



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
Faculdade de Engenharia Mecânica

**Karina Maretti Strangueto**

**Estimativa do Potencial Brasileiro de  
Produção de Energia Elétrica através de  
Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em  
Reservatórios de Hidroelétricas**

CAMPINAS  
2016

**Karina Maretti Strangueto**

# **Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas**

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor/Doutora em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. Ennio Peres da Silva

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA KARINA MARETTI STRANGUETO, E ORIENTADA PELO PROF. DR. ENNIO PERES DA SILVA.



---

ASSINATURA DO ORIENTADOR

**CAMPINAS  
2016**

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** FUNCAMP

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

St81e Strangueto, Karina Maretti, 1987-  
Estimativa do potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas / Karina Maretti Strangueto. – Campinas, SP : [s.n.], 2016.

Orientador: Ennio Peres da Silva.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Sistemas de energia fotovoltaica. 2. Energia solar. 3. Usinas hidroelétricas. I. Silva, Ennio Peres da, 1956-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Estimation of brazilian eletricity production potential through photovoltaic floating systems in hydropower reservoirs

**Palavras-chave em inglês:**

Photovoltaic systems

Solar energy

Hydroelectric plants

**Área de concentração:** Planejamento de Sistemas Energéticos

**Titulação:** Doutora em Planejamento de Sistemas Energéticos

**Banca examinadora:**

Ennio Peres da Silva [Orientador]

Carla Kazue Nakao Cavaliero

João Carlos Camargo

José Luiz Pereira Brittes

Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

**Data de defesa:** 25-02-2016

**Programa de Pós-Graduação:** Planejamento de Sistemas Energéticos

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

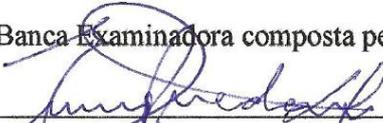
**TESE DE DOUTORADO**

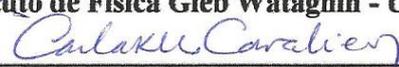
**Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção  
de Energia Elétrica através de Sistemas  
Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de  
Hidroelétricas**

Autor: Karina Maretti Strangueto

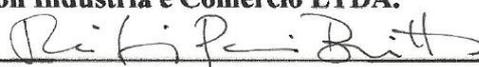
Orientador: Ennio Peres da Silva

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Ennio Peres da Silva, Presidente**  
Instituto de Física Gleb Wataghin - Unicamp

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Carla Kazue Nakao Cavaliero**  
Faculdade de Engenharia Mecânica - Unicamp

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. João Carlos Camargo**  
Hytron Indústria e Comércio LTDA.

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. José Luiz Pereira Brittes**  
Faculdade de Ciências Aplicadas - Unicamp

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

Campinas, 25 de Fevereiro de 2016.

## Dedicatória

Dedico esse trabalho principalmente à Silvana, minha mãe, cuja fé inabalável em minha capacidade sempre me fez seguir adiante no que eu gostava, independentemente do que o resto do mundo pudesse achar.

Dedico também a Wagner, meu pai, que me mostrou que a vida tem sempre dois lados.

À minha irmã, Milena, que desde pequena me fez avançar nos estudos, me adiantando os conteúdos que eu veria só depois de dois anos, me tornando uma pessoa mais crítica no aprender.

Ao meu namorado, que soube ceder espaço e tempo de nosso convívio e, até mesmo, soube me cobrar em alguns momentos para que esse trabalho fosse feito.

A todos os meus demais familiares que sempre me apoiaram e acharam o máximo a minha iniciativa.

Dedico aos meus verdadeiros amigos, que sentiram minha ausência, mas que souberam entender o quanto esse trabalho era importante para mim, me apoiando mesmo que silenciosamente e de longe.

## **Agradecimentos**

Este trabalho não poderia ser realizado sem a ajuda de diversas pessoas, às quais presto minha homenagem:

Ao Prof. Ennio Peres da Silva pela orientação, pelo tempo dedicado a responder minhas dúvidas, pela confiança em meu trabalho e pelas discussões sempre enriquecedoras.

Ao pessoal associado ao Laboratório de Hidrogênio, amigos indispensáveis para todas as horas, sempre dispostos a ajudar.

À minha família, namorado e amigos pelo apoio, incentivo e compreensão sempre.

À CPFL Energia, em especial ao Eng. Antonio Roberto Donadon, que proporcionou suporte financeiro a essa pesquisa através de seus projetos de P&D e que sempre me inspirou pela coragem em investir em energias alternativas.

Ao pessoal da empresa Hytron, sempre dedicados ao estudo das inovações energéticas, em especial ao João Carlos Camargo, que tanto me ajudou com dados e explicações durante esses anos de estudo.

Finalmente, mas não menos importante, a todos os maravilhosos professores, funcionários e colegas do Curso de Pós-graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos, que ajudaram de forma direta e indireta na elaboração e conclusão deste trabalho.

## Resumo

Atualmente observa-se uma nova crise energética no Brasil. Estratégias são pensadas e estudadas para tentar aumentar a oferta de energia e a diversificação das fontes de suprimento, dentre estas a utilização da energia solar fotovoltaica flutuante nos reservatórios das usinas hidroelétricas. Esse tipo de tecnologia já é utilizado em outros países, principalmente em lagos, lagoas e represas, para a obtenção de energia para o bombeamento de água para a agricultura, produção de energia para a manutenção da produção ou incremento na rede, reduzir a taxa de evaporação da água dos reservatórios, diminuir a proliferação de algas. No Brasil, pode-se perceber a aplicabilidade já que não é necessária a aquisição de novas terras para a produção, já existe a infraestrutura necessária nos reservatórios, e o licenciamento ambiental dessas áreas já foi realizado. Em contrapartida, a adição dos flutuadores encarece o custo de instalação, pode haver restrições ambientais e interferência nos outros usos da água, como navegação, recreação e pesca. Os estudos relacionados a essa aplicação ainda estão se iniciando no Brasil e, visando atender à demanda gerada pelo interesse nesse tipo de tecnologia e na sua capacidade de geração, que essa tese foi pensada. Para obter as possibilidades de geração no país foram analisadas as principais instalações já construídas pelo mundo, analisando suas características para se pensar em suas aplicações em reservatórios do Brasil. Como esse trabalho leva em consideração a utilização dos reservatórios de hidrelétricas para a instalação dos sistemas, apresenta-se um levantamento sobre as hidrelétricas em operação, suas localizações e áreas. Com as características desses sistemas e as informações sobre as hidrelétricas conhecidas, o *software* PVsyst foi utilizado para calcular a geração média por área dos reservatórios, permitindo a estimativa do potencial energético dos reservatórios e da energia total que poderia ser produzida no país. Como resultados principais, se obteve para o cenário alto 4.519 GW<sub>p</sub> para o potencial brasileiro, com potência média de 753 GW<sub>médios</sub>, produzindo até 4.443 TWh de energia por ano, e 10% desses valores para o cenário baixo, observando a utilização de 80% e 8%, respectivamente, dos reservatórios em cada cenário.

## Abstract

Currently there has been a new energy crisis in Brazil. Strategies are designed and studied to try to increase the supply of energy and the diversification of supply sources, among them the use of floating photovoltaic solar energy in the reservoirs of hydropower plants. Such technology is already in use in other countries, especially in lakes, ponds and reservoirs, for obtaining energy for pumping water for farming, power generation to maintain production or increase the amount in the network, reduce the rate of evaporation of water on the reservoirs, reduce algal blooms. In Brazil, everyone can see the applicability because the acquisition of new land for production is not required, there is already the necessary infrastructure in the reservoirs, and the environmental licensing of these areas has already been done. In contrast, the addition of a floating system turns more expensive the cost of installation, may be exist environmental restrictions and interference with other water uses, such as navigation, recreation and fishing. Studies related to this application are just starting in Brazil and, to meet the demand generated by the interest in this type of technology and its generation capacity, this thesis was thought. For obtain the possibilities of generation in the country were analyzed major facilities already built the world, analyzing its characteristics and thinking about their applications in Brazil's reservoirs. As this work considers the use of hydropower reservoirs to install the systems, presents a survey of the hydropower plants in operation, their locations and areas. With the characteristics of these systems and information on known hydroelectric plants, the PVsyst software was used to calculate the average generation by area of the reservoirs, allowing the estimation of the energy potential of the reservoirs and the total energy that could be produced in the country. As the main results obtained for the high scenario were 4519  $\text{GW}_p$  for the Brazilian potential, with average power of 753  $\text{GW}_{\text{médios}}$ , producing up to 4,443 per year TWh of energy and, 10% of these values for the low scenario, noting the uses of 80% and 8%, respectively, of the reservoirs in each scenario.

## Lista de Ilustrações

Figura 2.1: Evolução das instalações de sistemas fotovoltaicos no mundo. ....	20
Figura 2.2: Previsão da Evolução da capacidade instalada e energia solar gerada. ....	21
Figura 2.3: Evolução da eficiência energética dos painéis fotovoltaicos. ....	22
Figura 2.4: Irradiação solar global horizontal média anual Brasileira. ....	25
Figura 2.5: Radiação solar global diária média anual. ....	27
Figura 2.6: Insolação diária no Brasil, média anual. ....	28
Figura 2.7: Aumento da produção de painéis e redução de custo. ....	29
Figura 2.8: Balanço água-energia. ....	41
Figura 2.9: Geometria básica dos painéis. ....	42
Figura 2.10: Módulo flutuante. ....	44
Figura 2.11: Componentes de um sistema fotovoltaico flutuante. ....	45
Figura 2.12: Estrutura fotovoltaica flutuante instalada em Far Niente. ....	45
Figura 2.13: Desenho esquemático do painel fotovoltaico flutuante instalado em Bubano. ....	46
Figura 2.14: Suporte Hydrelio© da Ciel & Terre. ....	46
Figura 2.15: Desenho esquemático do filme fino flutuante. ....	48
Figura 2.16: Desenho esquemático do conceito SUNdy com 2 MW <sub>p</sub> . O desenho hexagonal consiste em 4.200 painéis individuais. ....	49
Figura 2.17: Conceito de painel fotovoltaico submergível do SCINTEC. ....	50
Figura 2.18: Protótipo de arranjo solar fotovoltaico flutuante com concentradores da Sunergy. ....	51
Figura 3.1: Fluxograma da modelagem utilizada. ....	53
Figura 3.2: Seleção de camada no sistema SIGEL. ....	55
Figura 3.3: Usinas hidrelétricas instaladas no Brasil. ....	56
Figura 3.4: Procedimento de localização da hidrelétrica pelo nome cadastrado no sistema SIGEL. ....	56
Figura 3.5: Hidrelétrica pesquisada no sistema SIGEL. ....	57
Figura 3.6: Detalhes da hidrelétrica pesquisada. ....	57
Figura 3.7: Procedimento de identificação de hidrelétrica por retângulo. ....	58
Figura 3.8: Seleção de retângulo para obtenção dos dados da hidrelétrica. ....	59
Figura 3.9: Tela inicial do PVsyst. ....	63
Figura 3.10: Segundo passo para realizar a montagem do Sistema no <i>software</i> PVsyst. ....	64

Figura 3.11: Etapas para definição de localização no PVsyst. ....	65
Figura 3.12: Definição de albedo para o sistema.....	66
Figura 3.13: Processo de otimização por localização.....	67
Figura 3.14: Parâmetros para configuração do sistema.....	69
Figura 3.15: Procedimento para observar os dados da energia gerada.....	70
Figura 4.1: Disposição dos painéis fotovoltaicos no arranjo adotado. ....	81

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Potencial anual médio diário de energia solar por região brasileira.....	24
Tabela 2.2: Áreas das regiões políticas brasileiras.....	24
Tabela 2.3: Os 10 maiores fornecedores de painéis fotovoltaicos do mundo. ....	30
Tabela 2.4: Painéis registrados no Brasil. ....	31
Tabela 2.5: Instalações fotovoltaicas flutuantes em operação.....	33
Tabela 2.6: Número de unidades fotovoltaicas e energia instalada dependendo do ângulo fixado.....	47
Tabela 3.1: Escolha do painel fotovoltaico. ....	60
Tabela 3.2: Escolha do inversor fotovoltaico. ....	61
Tabela 4.1: Geração por área de painel para cada reservatório considerado.....	74
Tabela 4.2: Área total considerada dos reservatórios com área superior a 0,01 km <sup>2</sup> .....	79
Tabela 4.3: Análise do distanciamento dos painéis.....	80
Tabela 4.4: Área ocupada pelos painéis nos reservatórios.....	82
Tabela 4.5: MW <sub>P</sub> instalados por km <sup>2</sup> de arranjo. ....	86
Tabela 4.6: Relação entre potência de pico por potência média e fator de capacidade.....	88
Tabela 4.7: Geração média por área considerada e fator de capacidade. ....	93
Tabela 4.8: Estimativa do potencial e da energia gerada por usina.....	98
Tabela 4.9: Resultados para o Brasil. ....	103

## Lista de Abreviaturas e Siglas

- $\alpha$  – inclinação do painel solar fotovoltaico
- A – área
- CA – corrente alternada
- CC – corrente contínua
- EE – energia elétrica
- $E_{\text{fot}}$  – energia fotovoltaica
- GEE – gases de efeito estufa
- $\text{GW}_p$  – giga watt pico
- ha - hectare
- $H_T$  – radiação incidente
- kg – quilograma
- $\text{km}^2$  – quilometro quadrado
- kW – quilo watt
- $\text{kWh.m}^{-2}$  – quilo watt hora por metro quadrado
- $\text{kW}_p$  – quilo watt pico
- m – metro
- mm – milimetro
- ms - milisegundos
- MW – mega watt
- $\text{MW}_p$  – megawatt pico
- $\eta$  – eficiência
- NHIE – número de horas de insolação equivalente
- $P_n$  – potencia nominal
- ppm – partes por milhão
- $\text{Wh.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  – watt hora por metro quadrado por dia
- $\text{W.m}^{-2}$  – watt por metro quadrado
- $\text{W}_p$  – watt pico

## Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	17
1.2 Estrutura da Tese .....	18
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	19
2.1 Energia Fotovoltaica.....	19
2.2 Fornecedores de painéis fotovoltaicos.....	29
2.3 Arranjo Fotovoltaico Flutuante .....	32
2.4 Usinas hidroelétricas.....	51
3 MODELAGEM TEÓRICA.....	53
3.1 Levantamento de dados das hidroelétricas .....	54
3.2 Escolha do painel fotovoltaico .....	60
3.3 Determinação do número total de painéis em função da área a ser ocupada .....	61
3.4 PVsyst.....	62
3.5 Cálculo dos potenciais brasileiros .....	70
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	72
4.1 Cálculo do potencial de geração por área de painel .....	72
4.2 Cálculo das áreas ocupadas por painéis nos reservatórios .....	79
4.3 Cálculo do potencial de geração solar nos reservatórios.....	85
4.4 Geração média na área considerada.....	91
4.5 Estimativa do potencial por usina.....	97
4.6 Estimativa do potencial brasileiro .....	102
5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	104
Referências .....	107
ANEXO A – Usinas Hidrelétricas em Operação no Brasil .....	113
ANEXO B – Levantamento de dados das UHEs brasileiras .....	132
ANEXO C – Ficha técnica do painel (KD245GX-LPB).....	142
ANEXO D – Ficha técnica do inversor Ingeteam – IngeconSun 500 TL U X208 outdoor...	144

## 1 INTRODUÇÃO

Da mesma forma que ocorreu com a energia eólica, a energia solar fotovoltaica poderá ser a próxima fonte renovável de energia a ganhar participação significativa na matriz energética brasileira.

Em apenas dez anos a capacidade instalada dos sistemas eólicos passou de 27,1 MW em 2005 (ABEEÓLICA, 2015) a 6.680 MW em 2015, participando atualmente com 4,8% da matriz elétrica nacional (ANEEL, 2015a).

O mesmo ocorre com a energia solar fotovoltaica. Segundo a IEA (2015), a potência solar fotovoltaica instalada no mundo cresceu mais de 10 vezes de 2008 a 2015, atingindo 177 GW<sub>P</sub> instalados no final de 2015. Uma pequena parte dessas novas instalações ocorreram na forma de painéis fotovoltaicos flutuantes.

No Brasil também pode ser notado um rápido crescimento da aplicação da energia solar fotovoltaica. Em 2011 havia apenas 6 empreendimentos desse tipo, responsáveis pela potência fiscalizada de 1.087 kW<sub>P</sub> (ANEEL, 2011), ou seja, menos de 0,01% do potencial energético instalado no país. Já em 2015, podiam ser contabilizados 25 empreendimentos, responsáveis por 21.233 kW<sub>P</sub> de potência fiscalizada (ANEEL, 2015a), ou seja, cerca de 0,02% do potencial instalado. Assim, em apenas quatro anos, a energia solar fotovoltaica cresceu quase 20 vezes no Brasil, apesar de, em termos de potência de pico, representar uma única Pequena Central Hidroelétrica (PCH). Apenas nos últimos anos o estudo da utilização da energia solar fotovoltaica em arranjos flutuantes, a serem instalados nas represas de usinas hidrelétricas do país, foi iniciado.

A utilização da energia solar fotovoltaica se torna cada vez mais interessante, pois houve: grandes evoluções na eficiência; redução dos custos de fabricação; ganhos de escala; incentivos e regulamentações, como a publicação da RN 482/12, que trata da mini e micro geração no Brasil e a elaboração do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD); crescimento da demanda de energia elétrica no Brasil, motivada pela melhoria das condições de vida da população; de redução da oferta de algumas fontes de energia primária convencionais, e busca por uma maior segurança no suprimento energético em todo o mundo.

Apesar das medidas de ajuste fiscal terem provocado uma redução do consumo nos primeiros meses de 2015, a expectativa é da volta do crescimento da demanda de eletricidade.

Outro fator que auxiliou na maior implantação de sistemas solares foi a elevação dos preços da energia elétrica, motivada pelo uso em larga escala das termoelétricas, o que tem reflexo positivo na competitividade das fontes alternativas, já que eleva o custo de geração. De fato, no dia 05 de maio de 2015 o presidente da EPE, Maurício Tolmasquim, durante evento sobre Geração Distribuída e Cogeração realizado em São Paulo/SP, anunciou que nas condições atuais a geração fotovoltaica é viável em 98% do mercado consumidor brasileiro (TRACTEBEL, 2015).

O agravamento dos problemas ambientais causados pelo uso das fontes fósseis, principalmente aqueles relacionados às mudanças climáticas, cujos eventos extremos vêm sendo sentidos em todo mundo, torna urgente a imposição de restrições às emissões de gases de efeito estufa (GEE), o que também incentiva a adoção de energias alternativas como a solar fotovoltaica. Destaca-se entre esses gases o dióxido de carbono resultante da combustão de combustíveis fósseis, cujo teor na atmosfera global, em maio de 2015, ultrapassou a marca histórica de 400 ppm pela primeira vez desde que se iniciaram as medições (NOAA, 2015). A recente reunião dos países na COP21, em Paris, representou o prosseguimento da busca pelo controle das emissões de GEE, iniciada de forma mais concreta, porém com poucos resultados práticos, com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto, em 2005. Com o envolvimento maior de países grandes emissores desses gases, a expectativa de resultados positivos agora é maior do que a uma década atrás.

Ainda com relação aos aspectos ambientais, a construção de novos empreendimentos hidroelétricos no Brasil, principalmente com o intuito de aproveitar os potenciais ainda não explorados das regiões Centro-Oeste e Norte, vem enfrentando uma crescente e bem articulada oposição de grupos ambientalistas, movimentos contra barragens, grupos indígenas e associações indigenistas, cujas articulações transcendem ao território nacional, tornando quase impossível suas realizações ou, quando efetivadas, com significativas reduções de capacidades e potência instalada. Vê-se então, a necessidade da utilização de alternativas menos danosas ao meio ambiente.

Fora essas questões, os dois períodos recentes de índices pluviométricos reduzidíssimos, verificados em um intervalo inferior a 15 anos (2001 e 2014), podem se repetir. Dessa forma, a capacidade de geração das hidroelétricas brasileiras será diminuída e o custo da eletricidade será elevado, como o atual, o que implicará em oportunidades para as fontes alternativas, como a solar fotovoltaica.

Em relação aos custos da energia elétrica fotovoltaica, o que se verifica no mercado internacional é o mesmo processo ocorrido com a energia eólica, de aumento acelerado da instalação dos sistemas, aumento da produção e conseqüente ganho de escala, com redução do custo unitário das células fotovoltaicas. De fato, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2015), a potência instalada de sistemas fotovoltaicos aumentou 10 vezes entre 2008 e 2014, atingindo nesse último ano a marca de 177 GW<sub>P</sub>, tornando essa fonte responsável por 1% de toda a eletricidade produzida no mundo. Como consequência, os preços dos sistemas instalados caíram à metade (FELDMAN et al., 2014).

Apesar de o momento atual favorecer o crescimento da energia eólica, verifica-se que os melhores sítios disponíveis no país para esse tipo de geração já estão sendo aproveitados. Evidentemente, a continuidade da implantação desses sistemas conduzirá à exploração de sítios menos favoráveis, de custos progressivamente mais elevados.

Além disso, o vento é inconstante. Sendo assim, não há garantia de que a quantidade planejada de produção de energia seja efetivada. O fator de capacidade também é um dado a ser relevado, já que uma planta só produz durante o tempo que está ventando e a sazonalidade dos ventos faz com que a produção oscile acentuadamente durante o dia e ao longo do ano (GAVINO, 2011). No ano de 2014, o fator de capacidade dos sistemas eólicos instalados no país foi de 36,2% (MME, 2014), menor do que o observado para as hidroelétricas no mesmo ano (49%, o menor em três anos) (MME, 2015).

Vantagens comparativas do Sol em relação ao vento são: apesar da energia solar não estar disponível em metade do tempo, é mais previsível; está disponível, em maiores ou menores quantidades, em todo o território nacional; pode ser aplicada em regiões populosas ou até mesmo em regiões que têm condições especiais e limitadas de utilização, como reservas ambientais, reservas indígenas e áreas fluviais, como reservatórios de usinas hidrelétricas.

Desvantagem: seu fator de capacidade foi estimado em apenas 17% pela EPE (2012); a instalação de sistemas fotovoltaicos próximos aos aglomerados urbanos encarece o custo da energia produzida devido ao alto valor do hectare para a instalação ou aluguel de telhados; concorrência com a produção rural (agricultura e agropecuária), em locais mais afastados, onde o valor do hectare é baixo.

Analisando a última vantagem descrita, pode-se observar a possibilidade de instalação de um grande potencial solar fotovoltaico flutuante no Brasil, já que existem grandes áreas inundadas onde a geração a partir de sistemas fotovoltaicos flutuantes pode ser considerada.

Mesmo com todos esses pontos, somente a partir de 2007 começaram a surgir, em alguns países desenvolvidos, sistemas de produção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos instalados em plataformas flutuantes, motivadas principalmente para fins de irrigação (aumento da demanda de energia na irrigação no sistema moderno de irrigação e agricultura). Além da energia produzida, dois benefícios comuns destes tipos de instalações são a redução na evaporação da água do reservatório/lagoa e a diminuição do crescimento de algas (devido a redução da penetração da luz solar no corpo de água (TRAPANI and SANTAFÉ, 2014). Também foi observado que os rendimentos elétricos do sistema fotovoltaico foram ligeiramente melhorados, na maioria dos casos relatados, provavelmente devido ao arrefecimento oferecido pela superfície da água que estava a baixo da estrutura, como observado por Bahaidarah (et al, 2013) ao testar um painel que estava em contato direto com a água.

No Brasil, até o momento, não há nenhum desses sistemas em operação, mas já foram anunciados projetos pilotos para esse tipo de instalação, como se pode ler em Borges (2015) e Gandra (2015). Visando analisar as necessidades e possibilidades dessa tecnologia para o sistema integrado brasileiro que essa tese foi concebida.

## **1.1 Objetivos**

Essa tese teve como objetivo geral realizar uma estimativa do potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas.

Com isso, os objetivos específicos foram: pesquisar as áreas das usinas hidrelétricas brasileiras, disponíveis para essa aplicação; estabelecer um arranjo fotovoltaico flutuante melhor adaptado ao caso brasileiro; simular o potencial instalado e a energia elétrica gerada utilizando esse arranjo em cada reservatório de usina hidroelétrica considerada; estimar o potencial nacional de geração e o total da energia elétrica gerada a partir da utilização de sistemas fotovoltaicos flutuantes no Brasil.

## 1.2 Estrutura da Tese

Esta tese é dividida em cinco capítulos, descritos a seguir:

- Capítulo 1: Introdução, representada por este capítulo.
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica, dividida em três subseções cobrindo os seguintes tópicos: energia fotovoltaica; arranjo fotovoltaico flutuante e usinas hidroelétricas em operação, abordando suas localizações e tamanhos de reservatórios.
- Capítulo 3: Modelagem Teórica, no qual é analisado o programa PVsyst e como realizar simulações a partir dos dados reais obtidos, afim de, posteriormente, se obter os valores de potencial instalado e energia produzida.
- Capítulo 4: Resultados, no qual são apresentados os resultados obtidos na realização do método proposto. Esse capítulo está dividido em seis partes para facilitar a análise de propostas.
- Capítulo 5: Conclusões, capítulo no qual são apresentadas as conclusões obtidas a partir da análise dos valores calculados, assim como estão apresentadas sugestões para futuros trabalhos na área.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Nesse capítulo estão apresentadas as revisões realizadas nos temas: energia fotovoltaica, arranjos fotovoltaicos flutuantes e usinas hidrelétricas em operação, abordando suas localizações e tamanhos de reservatórios. Através desta revisão se definem os principais conceitos utilizados no trabalho, bem como se delimita seu escopo e se determinam os parâmetros e variáveis a serem empregadas.

### **2.1 Energia Fotovoltaica**

Sendo o objetivo desse trabalho as aplicações dos painéis fotovoltaicos e considerando que as tecnologias das células solares já estão estabelecidas, não serão aqui abordados os princípios de seu funcionamento, o que se encontra amplamente disponível, seja de uma forma mais geral (SILVA, 2014), seja de forma mais aprofundada (FALK, 2010).

Quanto aos painéis fotovoltaicos, serão abordadas nessa tese apenas as perspectivas de suas utilizações de forma centralizada, em larga escala, distribuídas em sistemas de potências variáveis, o que implica na necessidade de se dispor de grandes áreas com alta incidência solar a custos reduzidos.

A utilização desse tipo de tecnologia vem crescendo a cada dia, atingindo, ao fim de 2014, a marca de 177 GW<sub>P</sub> instalados ao redor do mundo, sendo que 38,7 GW<sub>P</sub> desse total foram instalados apenas em 2014 (IEA, 2015). O crescimento da aplicação dessa tecnologia em todo o mundo, de 2000 a 2014, está mostrado na Figura 2.1. Nesta Figura pode-se observar o número crescente, em forma exponencial, do número de instalações solares fotovoltaicas principalmente a partir de 2008, quando houve redução do custo de módulos e painéis fotovoltaicos devido à maior produção de módulos e painéis, necessários a essa tecnologia.

Esse mesmo tipo de crescimento na utilização da tecnologia é esperado para o Brasil, como pode ser observado na Figura 2.2, que foi produzida pela Empresa de Pesquisa Energética (MME/EPE).

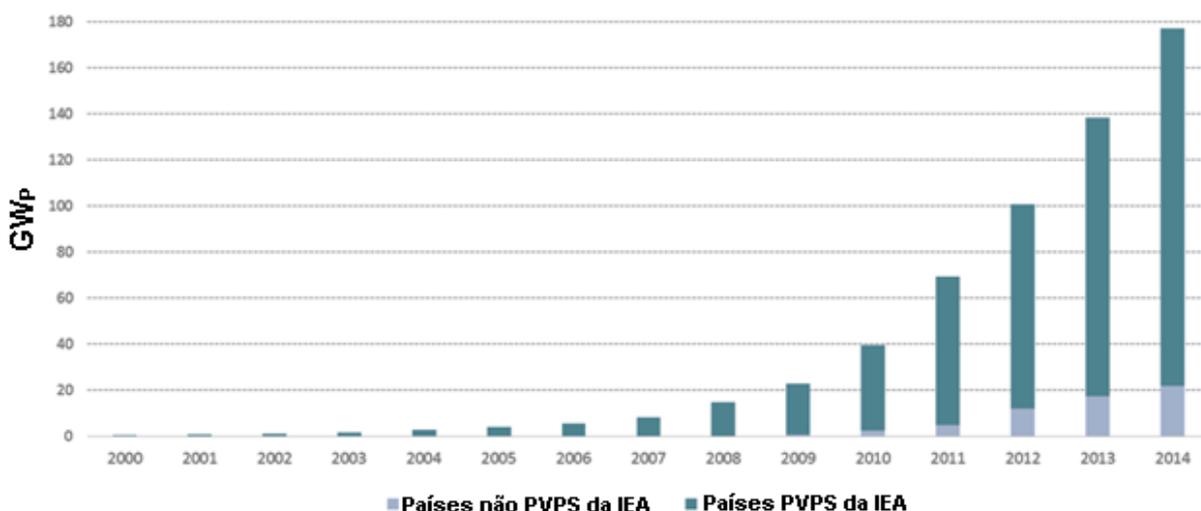


Figura 2.1: Evolução das instalações de sistemas fotovoltaicos no mundo.<sup>1</sup>

Fonte: IEA (2015).

Outro fator determinante ao crescimento do número de instalações da tecnologia solar fotovoltaica é a evolução da eficiência dos painéis, como pode ser observado na Figura 2.3. Pode-se notar a elevação nas curvas de eficiência de todos os tipos de tecnologias utilizadas nas células fotovoltaicas, inclusive na tecnologia das células de silício poli cristalino, que será a tecnologia analisada para os fins dessa tese.

Também é notável que as curvas de certos materiais começam a se estabilizar, mostrando uma maior maturidade no estudo e desenvolvimento dessas tecnologias.

Para o cálculo das eficiências mostradas na Figura 2.3, os módulos passam por testes nos laboratórios das empresas produtoras e em outras instituições, onde é observada sua operação em condições padronizadas, como já observado por Strangueto (2012). As condições padronizadas de teste, conhecidas como STC (Standard Test Condition), podem ser descritas com as seguintes características:

- Incidência de radiação de  $1.000 \text{ W.m}^{-2}$ ;
- Células fotovoltaicas a  $25^{\circ}\text{C}$ ;

<sup>1</sup> PVPS – Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica da Agencia Internacional de Energia (IEA).

Países participantes do PVPS-IEA: Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, China, Dinamarca, França, Alemanha, Israel, Itália, Japão, Coréia, Malásia, México, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça, Tailândia, Turquia e os Estados Unidos da América. A Comissão Europeia, a Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica, a Associação da Energia Elétrica Solar (Solar Electric Power Association), a Associação das Industrias da Energia Solar (Solar Energy Industries Association) e a Aliança de Cobre (Copper Alliance) também são membros.

- Distribuição do espectro de radiação de acordo com a ASTM E892 ou “Air mass (AM) 1,5””: Sol de meio-dia em dia claro, a aproximadamente 60° acima do horizonte, atravessando assim o equivalente a 1,5 vezes a espessura da atmosfera e temperatura do ar a 0°C.

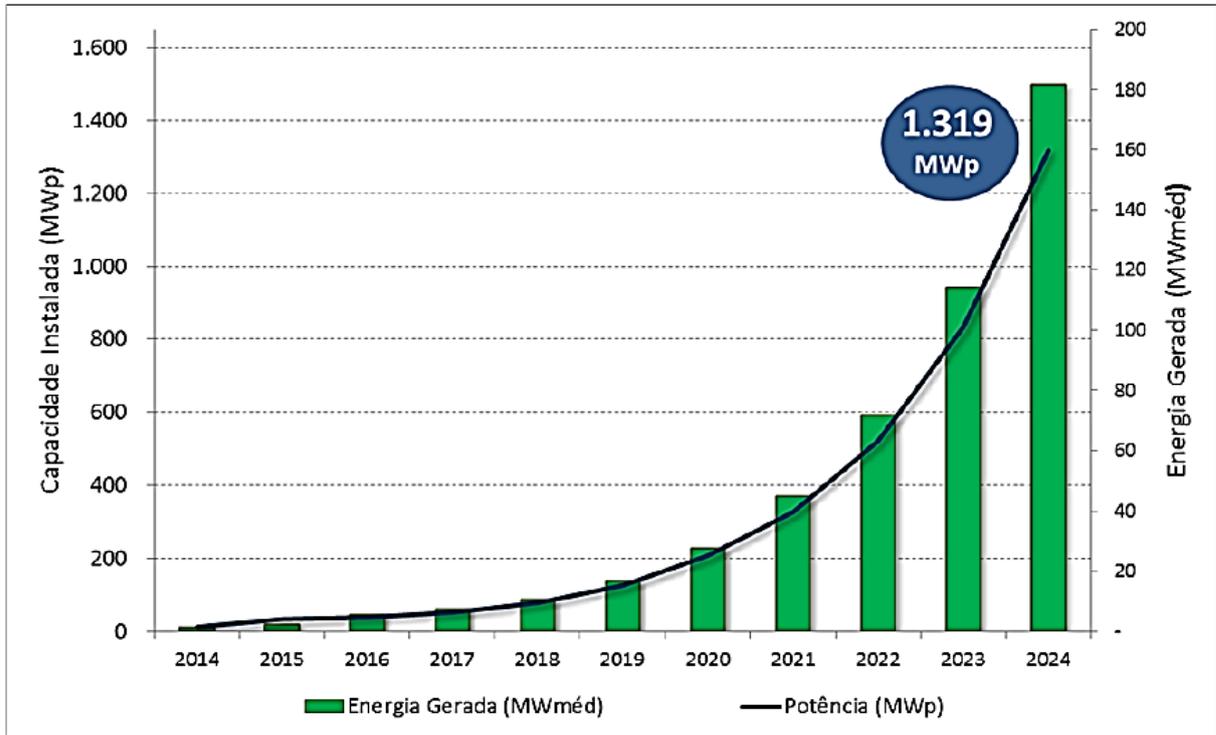


Figura 2.2: Previsão da Evolução da capacidade instalada e energia solar gerada.

Fonte: MME/EPE (2015)

Os testes ocorrem em uma câmara de teste, um simulador, com um *flash* de luz especial que simula o espectro solar como descrito, pelo tempo de 50 ms.

A potência do módulo fotovoltaico é dada, então, pela potência de pico observada, em Watt pico ( $W_p$ ) nas condições padrão do teste – STC – em laboratório.

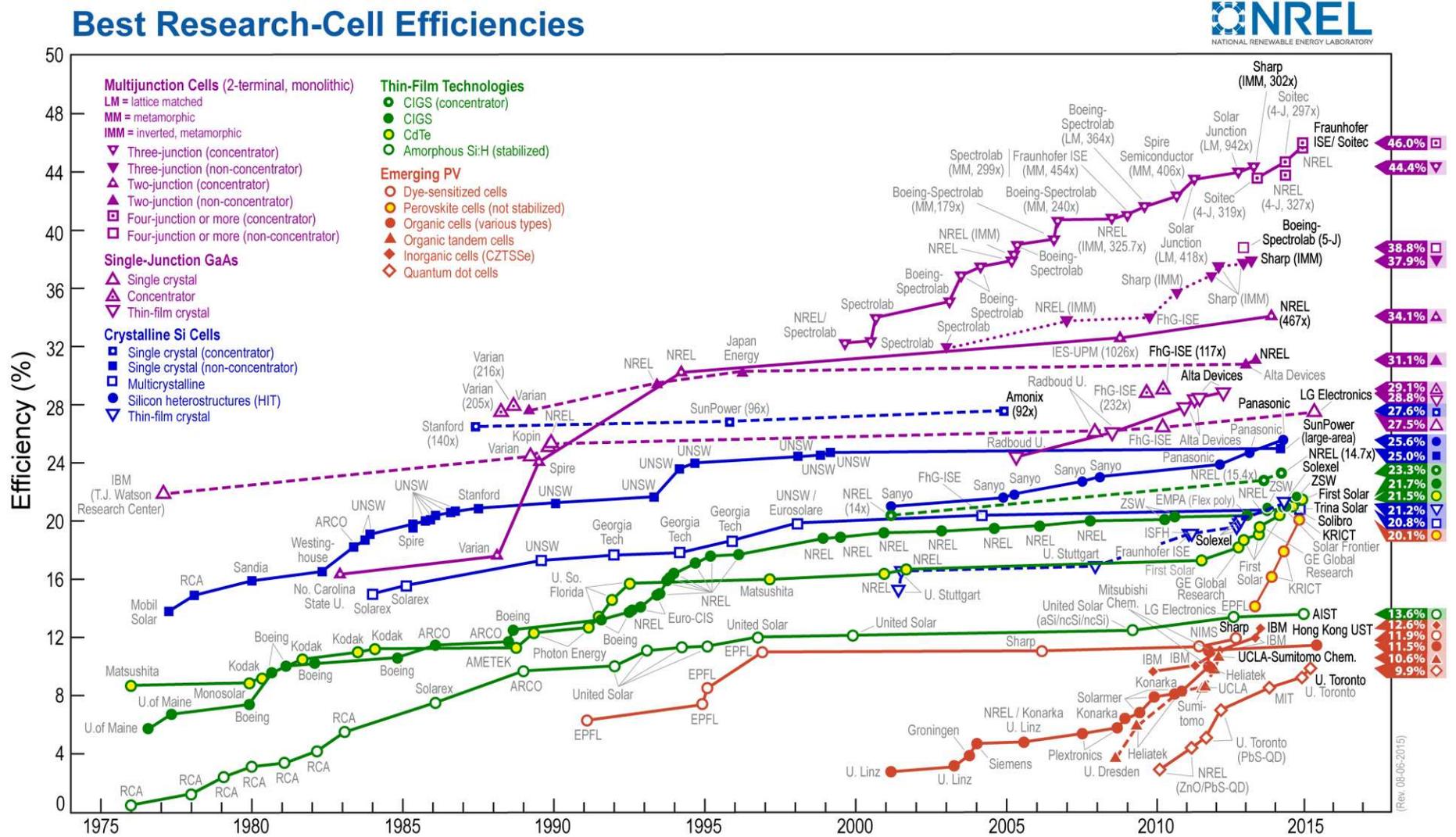


Figura 2.3: Evolução da eficiência energética dos painéis fotovoltaicos.

Fonte: DOE/NREL (2015)

Para estimar o quanto os sistemas conseguem gerar de energia solar fotovoltaica em outros ambientes, estuda-se a radiação<sup>2</sup> solar incidente ( $H_T$ ) no local da aplicação, obtendo-se a energia média diária, mensal ou anual no período considerado, expressa no primeiro caso em  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , ou, mais comumente,  $\text{kWh.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . A partir das características dos painéis utilizados e suas eficiências ( $\eta$ ), pode-se determinar, então, a energia total média ( $E_{\text{fot}}$ ) a ser produzida para um determinado tempo (dia, mês ou ano), para um ou uma quantidade determinada de painéis. Essa produção pode ser estimada através da Equação 1 (Furlan, 2008):

$$E_{\text{fot}} = \eta \cdot A \cdot H_T \quad (\text{Equação 1})$$

onde  $\eta$  é a eficiência de conversão do painel fotovoltaico,  $A$  ( $\text{m}^2$ ) é a área realmente ocupada pelo material semicondutor e  $H_T$  é a radiação incidente no local estudado.

O valor da área ocupada pelo material semicondutor ( $A$ ) dificilmente é encontrada nos manuais de especificações técnicas dos equipamentos, mas é constante para cada modelo de painel. O valor da eficiência ( $\eta$ ) é definido a partir dos valores padrão de teste, como explicado anteriormente, e é um valor característico para cada painel.

Desconsiderando a perda de eficiência, que ocorre no decorrer da utilização desse painel, pode-se observar que a multiplicação entre os fatores  $A$  e  $\eta$  deve ser um valor constante característico.

Dessa forma:

$$A \cdot \eta = \frac{E_{\text{fot}}}{H_T} \quad (\text{Equação 2})$$

Pode-se calcular o valor correspondente a essa multiplicação de  $A \cdot \eta$  utilizando-se para os cálculos os valores padrões de teste do painel, já que o valor da radiação e da energia produzida são informados nos manuais de especificações técnicas do equipamento. Então,

---

<sup>2</sup> Segundo o glossário do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016):

Radiação Solar: são ondas eletromagnéticas curtas emitidas pelo Sol responsáveis pelo aquecimento terrestre.

Irradiação: quantidade de energia radiante que atravessa uma superfície durante um certo intervalo de tempo, por unidade de área desta. É numericamente igual à integração da irradiância sobre ao longo do intervalo de tempo em questão [unidades SI:  $\text{J.m}^{-2}$ ].

Irradiância: fluxo que atravessa uma superfície, por unidade de área desta [unidades SI:  $\text{W.m}^{-2}$ ].

com esse valor pode-se calcular a energia fotovoltaica total que será gerada pelo painel para o local de interesse, já que os valores dessa multiplicação e da radiação no local são conhecidos.

As atuais tecnologias de painéis fotovoltaicos são padronizadas em suas potências de pico ( $W_P$ ) sob uma irradiância de  $1.000 \text{ W.m}^{-2}$ . Assim, para um painel com potência nominal de  $250 W_P$ , seu fator  $A.\eta$  será  $0,25$  ( $250 W_P/1.000 \text{ W.m}^{-2}$ ), possibilitando que se calcule a quantidade de energia que produzirá em um determinado intervalo de tempo (horas de insolação) a partir da multiplicação desse fator pela radiação solar local.

Segundo Pereira (2006), o valor da irradiação solar global horizontal média anual, pode ser observado na Figura 2.4 e o potencial anual médio de energia solar no Brasil, para cada região, pode ser observada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Potencial anual médio diário de energia solar por região brasileira.

<b>Região</b>	<b>Potencial anual médio (<math>\text{kWh.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}</math>)</b>
<b>Norte</b>	5,5
<b>Nordeste</b>	5,9
<b>Centro-Oeste</b>	5,7
<b>Sudeste</b>	5,6
<b>Sul</b>	5,2

Fonte: Adaptado de Pereira (2006).

Como essa irradiação está definida por metro quadrado, para se chegar a um valor médio para todo o Brasil necessita-se analisar os valores relativos às áreas de cada região brasileira.

Para isso, podem-se observar em IBGE (2015) esses valores, obtendo a relação mostrada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Áreas das regiões políticas brasileiras.

<b>Região</b>	<b>Área (<math>\text{km}^2</math>)</b>
<b>Norte</b>	3.853.669,768
<b>Nordeste</b>	1.554.291,744
<b>Centro-Oeste</b>	1.606.415,201
<b>Sudeste</b>	924.616,968
<b>Sul</b>	576.773,368
<b>Total</b>	8.515.767,049

Fonte: Adaptado de IBGE (2015)

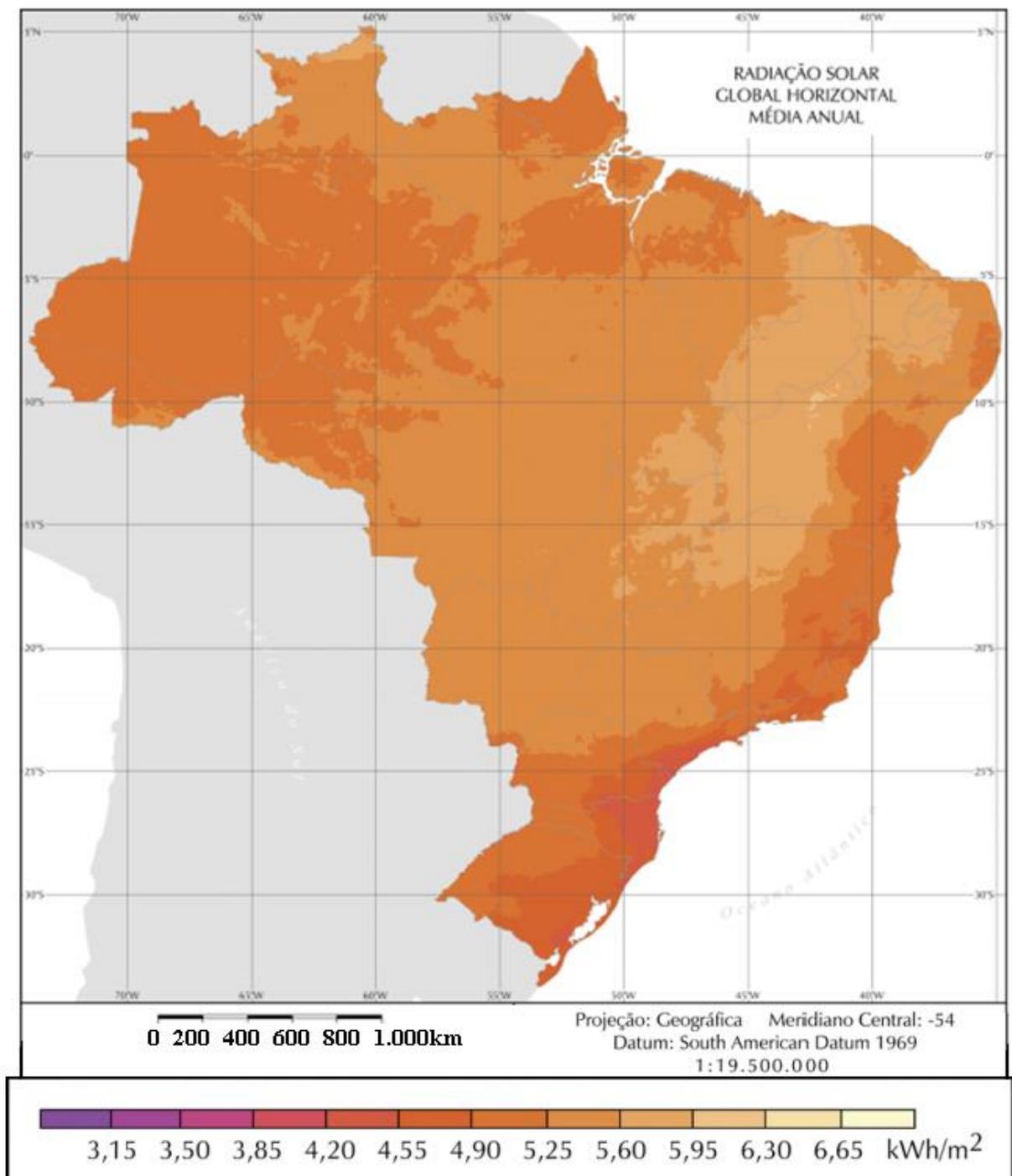


Figura 2.4: Irradiação solar global horizontal média anual Brasileira.

Fonte: Pereira (2006).

Realizando-se uma simples média ponderada entre os valores apontados nas Tabelas 2.1 e 2.2, obtém-se o valor  $5,6 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$  como potencial anual médio diário de energia solar no Brasil.

As horas de insolação podem variar dependendo da localização geográfica, da altitude, da umidade do ar, da estação do ano, do tipo de vegetação, construções próximas e, principalmente, da presença de nuvens. Fisicamente, tem-se que:

$$Potência = \frac{Energia}{Variação\ do\ Tempo} \quad (\text{Equação 3})$$

Dessa forma, considerando-se a potência de teste dos painéis ( $1.000\text{ W.m}^{-2} = 1\text{ kW.m}^{-2}$ ), e o valor da radiação global média brasileira como energia produzida, obtém-se 5,6 horas de insolação diária média no Brasil, para efeito de aproveitamento fotovoltaico.

O Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres (TIBA et. al., 2000) apresenta valores regionais para a radiação solar global diária, média anual (Figura 2.5) e para a insolação diária, média anual (Figura 2.6), que permitem cálculos mais realistas, já que o ideal seria dispor de medições locais, o que não pode ser obtido para todas as hidroelétricas consideradas nessa tese.

As melhores localizações para instalação dos sistemas fotovoltaicos são junto aos pontos de carga, já que dessa forma ocorrem menores perdas entre o processo de geração e distribuição. Esses pontos são encontrados, na maioria das vezes, junto aos aglomerados urbanos, cujo valor do hectare é elevado, encarecendo o custo final do kWh produzido. Nesses casos estuda-se até a locação de telhados para a implantação dos sistemas fotovoltaicos, trocando-se o custo da área pelo custo do aluguel.

No meio rural, os sistemas fotovoltaicos concorrem principalmente com o uso da terra para agricultura e agropecuária, setores essenciais e prioritários na economia brasileira. Fora essas áreas restam apenas áreas que têm condições especiais e limitadas de utilização, como reservas ambientais, reservas indígenas e áreas fluviais.

Portanto, o incremento em grande porte e de forma centralizada do uso da energia solar fotovoltaica está associado à busca por grandes áreas, de baixo custo e reduzidos impactos ambientais. Excluindo-se áreas urbanas (associadas a altos custos) e áreas agriculturáveis (menores custos, mas já ocupadas), as opções para a geração de energia renovável, com custos competitivos, ficam muito limitadas. Nas regiões Sul e Sudeste, pela baixa capacidade de geração de alguns tipos de energia e altos custos de implantação, elas são praticamente impossíveis de serem aplicadas em larga escala, conduzindo os investidores a regiões economicamente mais viáveis e que tenham altos índices de incidência solar, como é o caso da região Nordeste, por exemplo.

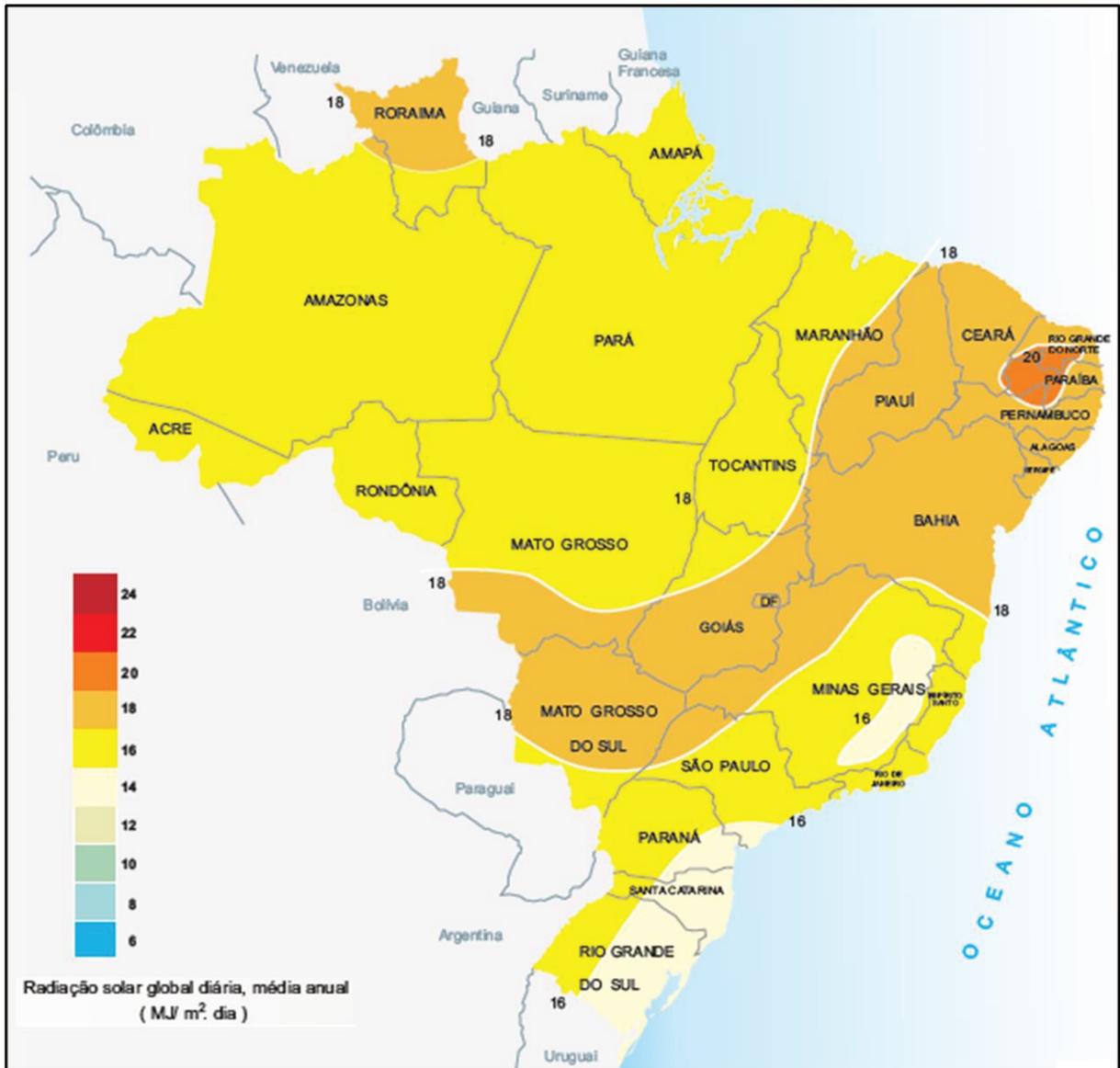


Figura 2.5: Radiação solar global diária média anual.

Fonte: Tiba (et al, 2000).

Dessa forma, verifica-se que um dos poucos espaços aproveitáveis a baixo custo, quando analisadas as regiões de maior custo por área como a Sudeste e Sul, são as áreas dos reservatórios das hidroelétricas. O estudo dessas áreas e suas características, juntamente com o estudo da irradiação local e custo dos materiais para geração e instalação, podem viabilizar a instalação de plantas fotovoltaicas a custos competitivos em áreas das regiões Sul e Sudeste principalmente, onde grande parte dos potenciais hidráulicos já foram utilizados havendo, portanto, um grande número de reservatórios disponíveis.

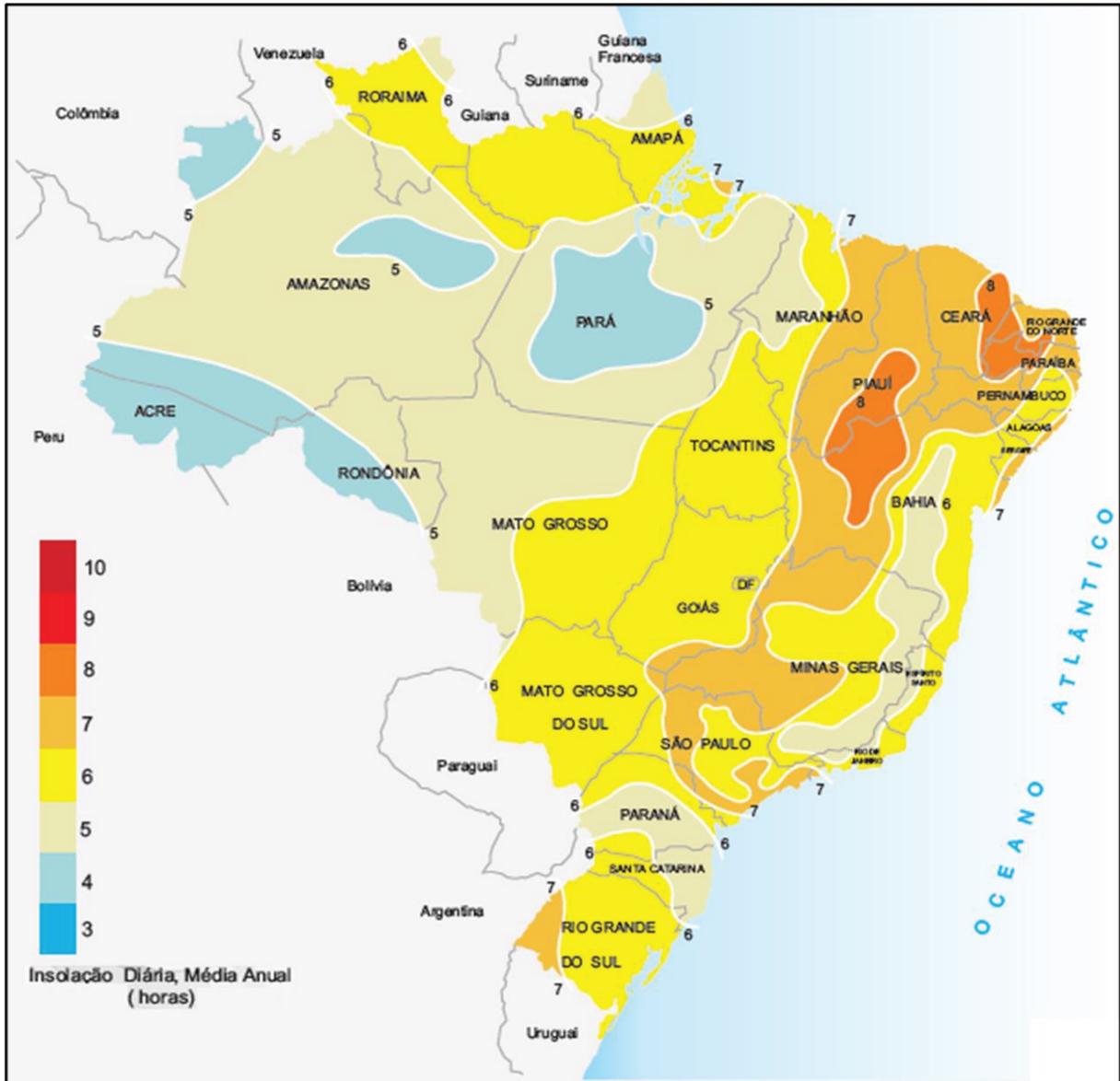


Figura 2.6: Insolação diária no Brasil, média anual.

Fonte: Tiba (et al, 2000)

Assim como está sendo discutida a possibilidade de instalações fotovoltaicas em áreas de reservatórios, também se pode pensar na aplicação dessa tecnologia em lagos, reservatórios de água, estações de tratamento e outros corpos d'água, aumentando a disponibilidade de áreas viáveis a esses empreendimentos.

## 2.2 Fornecedores de painéis fotovoltaicos

É notável a crescente produção de painéis fotovoltaicos e sua progressiva redução de custo por potência. Seguindo essa tendência a produção aumentará ainda mais em 2016, com consequente redução de preços por Watt produzido, como mostrado na Figura 2.7.

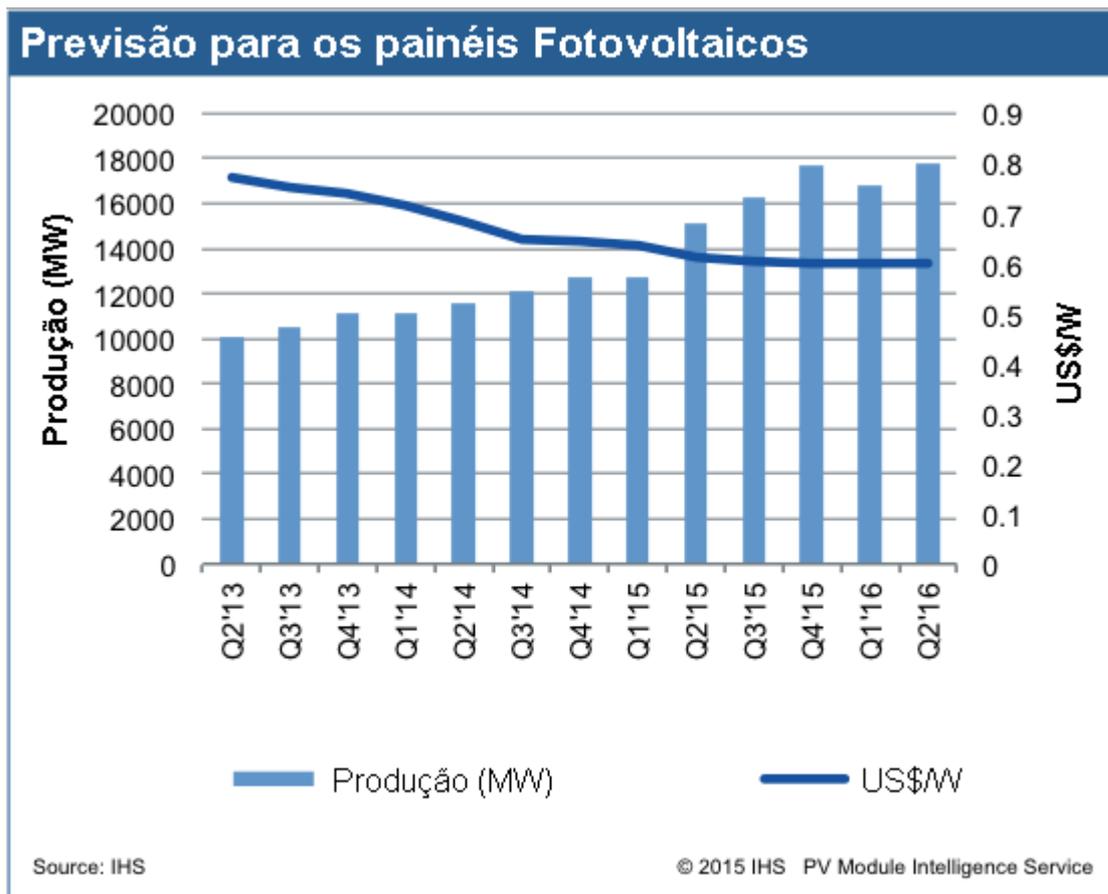


Figura 2.7: Aumento da produção de painéis e redução de custo.

Fonte: Adaptado de IHS<sup>3</sup> (2016a).

Segundo a empresa Enf Solar (2016), existem 3.106 fornecedores de células solares e 29.180 fornecedores de painéis solares cadastrados em seu banco de dados. Todos esses fornecedores podem ser localizados a partir de um mapa que está disponível no site da empresa. Na América Latina são listadas 14 empresas fornecedoras de painéis fotovoltaicos,

<sup>3</sup>IHS Inc. é o nome atual da empresa que, até 2005, era conhecida como Information Handling Services. Devido à abertura de seus capitais nesse ano, houve a mudança da razão social da empresa.

dentre as quais 8 estão no Brasil, trabalhando tanto com tecnologia monocristalina quanto com tecnologia policristalina.

Dentre os produtores listados nesse site, podem ser observadas as empresas que foram elencadas pelo IHS (IHS Inc., 2016b) como as 10 maiores produtoras de painéis solares fotovoltaicos do mundo. Essa classificação pode ser observada na Tabela 2.3.

Esses fornecedores são encontrados no Brasil através de revendedores credenciados, que têm painéis de diferentes potenciais em comercialização. A Tabela 2.4 mostra os painéis de cada fornecedor, que já foram testados pelo INMETRO (2016) e se encontram disponíveis no Brasil.

Dentre os painéis listados na Tabela 2.4, será escolhido o painel a ser utilizado para as simulações e cálculos dessa tese.

Tabela 2.3: Os 10 maiores fornecedores de painéis fotovoltaicos do mundo.

<b>Classificação</b>	<b>Fornecedor</b>
1°	Trina Solar
2°	Yingli Green Energy
3°	Canadian Solar
4°	Hanwha SolarOne
5°	Jinko Solar
6°	JA Solar
7°	Sharp
8°	ReneSola
9°	First Solar
10°	Kyocera

Fonte: Adaptado de IHS (2016b).

Tabela 2.4: Painéis registrados no Brasil.

<b>Fornecedor</b>	<b>Painéis em comercialização</b>
Trina Solar	305PC05; 310PC05; 315PC05
Yingli Green Energy	YL010P-17B 1/12; YL020P-17B 1/6; YL030P-17B ¼; YL050P-17B 2/5; YL055P-17B 2/5; YL060P-17B ½; YL065P-17B ½; YL070P-17B ½; YL075P-17B 3/5; YL080P-17B 2/3; YL080P-17B 3/5; YL085P-17B 2/3; YL085P-17B 3/5; YL090P-17B 2/3; YL095P-17B 2/3; YL120P-17B; YL130P-17B; YL140P-17B; YL180P-23B; YL185P-23B; YL230P-29B; YL235P-29B; YL240P-29B; YL245P-29B; YL260C-30B; YL260P-29b; YL265C-30B; YL270C-30B; YL270P-30B; YL275P-35B; YL280P-35B; YL285P-35B; YL290P-35B; YL310P-35b; YL315P-35b
Canadian Solar	CS6P 235P; CS6P 240M; CS6P 240P; CS6P 245M; CS6P 245P; CS6P-250M; CS6P 250P
Hanwha SolarOne	Não há
Jinko Solar	Não há
JA Solar	JAP6-60-260 4BB 1500V JAP6-60-265 4BB 1500V JAP6-60-270 4BB 1500V JAP6-60-275 4BB 1500V JAP6-72-310 3BB 1500V JAP6-72-315 3BB 1500V
Sharp	Não há
ReneSola	JC90S-12-Hb; JC95S-12-Hb; JC140M-12-Gb, JC145M-12-Gbv; JC145M-12-Gb; JC145S-12-Gb; JC150M-12-Gbv; JC150S-12-Gb; JC190S-24-Db; JC195S-24-Db; JC200S-24-Db; JC230M-24-Bb; JC235M-24-Bb; JC240M-24-Bb; JC245M-24-Bb; JC245M-24-Bbv; JC245S-24-Bb; JC250M-24-Bb; JC250M-24-Bbv; JC250S-24-Bb; JC255M-24-Bb; JC255M-24-Bbv; JC255S-24-Bb; JC260M-24-Bbv; JC260M-24-Bb; JC260S-24-Bb; JC280M-24-Ab; JC285M-24-Ab; JC290M-24-Ab; JC290M-24-Abv; JC295M-24-Ab; JC295M-24-Abv; JC300M-24-Ab; JC300M-24-Abv; JC305M-24-Abv; JC305M-24/Ab; JC310M-24/Bb
First Solar	FD-280
Kyocera	KS5T; KS10T; KS20T; SM-42KSM; KS45T; SM-48KSM; SM-63KSM; SM-83KSM; KS90T; KD140SX-UFBS; KD140SX-UPU; KD240GH-2PB; KD240GX-LFB; KD240GX-LPB; KD245GH-4FB; KD245GH-4FB2; KD245GX-LPB; KD250GH-4FB2; KD255GX-LFB2; KD315GH-4FB

Fonte: Elaboração própria a partir de INMETRO (2016).

### 2.3 Arranjo Fotovoltaico Flutuante

É necessário se ter em mente que os arranjos fotovoltaicos flutuantes ainda estão em desenvolvimento e estudo. Dessa forma, não existe uma definição final sobre os formatos, configurações ou materiais mais apropriados para os flutuadores, bem como qual o melhor arranjo dos painéis, os quais operarão sobre oscilações constantes provocadas por ondas e ventos. As vantagens e desvantagens desses sistemas flutuantes também se encontram em estudo, já que dependem do local onde serão aplicados.

Entre as vantagens mais abordadas nos trabalhos já realizados estão: menores temperaturas de operação devido à proximidade ou mesmo ao contato com a água (dependendo do tipo de estrutura e painéis utilizados) (BAHAIDARAH et al, 2013); menor taxa de evaporação da água, o que deixa mais água nos reservatórios, permitindo uma maior geração de energia pelas hidrelétricas ou um maior volume de água que pode ser utilizado para o abastecimento de cidades, na irrigação de plantações e outras aplicações (TRAPANI and SANTAFÉ, 2013); e menor proliferação de algas, devido à diminuição da penetração da luz nas águas e consequente diminuição da fotossíntese desse tipo de vegetação (SANTAFÉ et al, 2014). Fora essas vantagens, já citadas em outros trabalhos, se pode esperar: menores custos de aquisição de áreas comparado a locais urbanos com elevado custo da terra (sob a ótica de concessionárias de energia ou de água); infraestrutura disponível (subestações, conexão à rede, pessoal para manutenção), e licenciamento ambiental em áreas já licenciadas (FERREIRA, 2016).

Pouco se fala sobre as desvantagens de sistemas desse tipo nos trabalhos já realizados. Pode-se prever que as desvantagens são parecidas com as dos sistemas em terra, acrescidas pela: dificuldade de acesso ao sistema; a necessidade de ancoragem adequada do arranjo, para que os painéis fiquem sempre voltados ao sol e para que as ondas não o movam; adequação da inclinação dos painéis para que os ventos não gerem forças muito grandes no arranjo, que poderiam fazer os painéis saírem dos encaixes, e; materiais com proteção adequada contra corrosão provocada pelo contato constante com a água. Fora essas desvantagens, pode-se notar que a adição dos sistemas flutuantes aumenta os custos de instalação; existem restrições ambientais a serem observadas, e a água dos reservatórios tem múltiplos usos, como navegação, recreação e pesca (FERREIRA, 2016). Dessa forma, um equilíbrio entre todos esses fatores tem que ser analisado para que a utilização do espaço para a geração solar fotovoltaica flutuante possa ocorrer.

Santafé (et al, 2013) fez uma revisão das principais instalações fotovoltaicas flutuantes desenvolvidas de 2007 até o final de 2013. Atualizando esse trabalho para 2015, as instalações mais importantes podem ser observadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Instalações fotovoltaicas flutuantes em operação.

Ano	Imagem	Localização/ Área	Empresa responsável	Potência instalada	Conectada à rede
2007		Aichi, Japão	National Institute of Advanced Industrial Science & Technology	20 kW <sub>P</sub>	Não
2008		Far Niente Wineries – California (EUA)	SPG Solar	175 kW <sub>P</sub>	Não
2008		Gundlach Bunshu Wineries – California (EUA)	SPG Solar	30 kW <sub>P</sub>	Não
2009		Bubano – Itália	Byro	500 kW <sub>P</sub>	Sim Sistema feed-in

Ano	Imagem	Localização/ Área	Empresa responsável	Potência instalada	Conectada à rede
2009		Agost - Espanha	Celemin Energy & Polytechnic University of Valencia	24 kW <sub>P</sub>	Não
2009		Solarolo - Itália	D.A.I.E.T.	20 kW <sub>P</sub>	Não
2010		Petra Winery - Itália	Terra Moretti Holding	200 kW <sub>P</sub>	Sim (mas só em 2011)
2010		Agost – Espanha (expansão)	Celemin Energy & Polytechnic University of Valencia	300 kW <sub>P</sub>	Não
2011		Lake Colignola - Itália	Scienza Industria Technologia	30 kW <sub>P</sub>	Não

Ano	Imagem	Localização/ Área	Empresa responsável	Potência instalada	Conectada à rede
2011		Avetrana - Itália	D.A.I.E.T.	20 kW <sub>p</sub>	Não
2011		Piolenc – França 0,016 ha	Ciel et Terre	15,04 kW <sub>p</sub>	Não
2011		Petaluma – Califórnia (EUA)	SPG Solar	350 kW <sub>p</sub>	Não
2011		Vendée - França	Osesol	4 kW <sub>p</sub>	Não
2011		Canoe Brook Water Treatment Facility – Nova Jersey (EUA)	ENERActive	112 kW <sub>p</sub>	Não

Ano	Imagem	Localização/ Área	Empresa responsável	Potência instalada	Conectada à rede
2012		Cheongju – Coréia do Sul	Techwin	20 kW <sub>P</sub>	Não
2012		Hapcheon Dam – Coréia do Sul	K-Water	500 kW <sub>P</sub>	Não
2012		Pommerai- sur – Sevre - França	Osesol	100 kW <sub>P</sub>	Não
2013		Bishan Park - Singapura	Phoenix Solar	5 kW <sub>P</sub>	Sim
2013		Sihwaho Lake – Coréia do Sul	K-Water	20 kW <sub>P</sub>	Não

Ano	Imagem	Localização/ Área	Empresa responsável	Potência instalada	Conectada à rede
2013		Sudbury – Canadá (protótipo)	MIRARCO	0,5 kW <sub>P</sub>	Não
2013		Okegawa – Japão 1,16 ha	Ciel et Terre	1176,36 kW <sub>P</sub> 4536 painéis (260W <sub>P</sub> JA SOLAR)	Sim (em Julho de 2013)
Jun 2014		Kawagoe – Japão 0,8 ha	Ciel et Terre	696,15 kW <sub>P</sub> 2730 painéis (255W <sub>P</sub> YINGLI)	Sim
Set. 2014		Maeno-Ike – Japão 0,98 ha	Ciel et Terre	848 kW <sub>P</sub> 3392 painéis (250W <sub>P</sub> YINGLI)	Sim
Out. 2014		SheepLands Farm – Reino Unido 0,21 ha	Ciel et Terre	200 kW <sub>P</sub> 800 painéis (250W <sub>P</sub> TRINA)	Sim

Ano	Imagem	Localização/ Área	Empresa responsável	Potência instalada	Conectada à rede
Out. 2014		Yothathikan – Tailândia 0,01 ha	Ciel et Terre	5,39 kW <sub>P</sub> 22 painéis (245W <sub>P</sub> KYOCERA)	Sim
Out. 2014		Reservatório Mekorot Eshkol – Israel	Solaris Synergy	50 kW <sub>P</sub>	Sim
Nov. 2014		Yasugi – Japão 1,25 ha	Ciel et Terre	1097,6 kW <sub>P</sub> 4480 painéis (245W <sub>P</sub> KYOCERA)	Sim
Dez. 2014		Malta (em teste)	MIRARCO	8 kW <sub>P</sub> (filme fino)	não
Dez. 2014		Calcutá – Índia 0,01 ha	Vikram Solar Pvt. Ltd.	10 kW <sub>P</sub> 40 painéis (250 W <sub>P</sub> )	Sim

Ano	Imagem	Localização/ Área	Empresa responsável	Potência instalada	Conectada à rede
<b>Fev. 2015</b>		O-Chang - Coréia do Sul 0,56 ha	Ciel et Terre	494,5 kW <sub>P</sub> 1978 painéis (250 W <sub>P</sub> HANWHA)	Sim
<b>Mar. 2015</b>		Kato-Shi – Japão 3,13 ha	Ciel et Terre	2870,28 kW <sub>P</sub> 11256 painéis (255W <sub>P</sub> KYOCERA)	Sim
<b>Mai. 2015</b>		Sawa-Ike – Japão 1,14 ha	Ciel et Terre	1008 kW <sub>P</sub> 4032 painéis (250W <sub>P</sub> TRINA)	Sim
<b>Mai. 2015</b>		Sakasama-Ike – Hyogo Prefecture, Japão 2,61 ha	Ciel et Terre (projeto) Kyocera TCL Solar (executora)	2313,36 kW <sub>P</sub> 9072 painéis (255W <sub>P</sub> KYOCERA)	Sim
<b>Jun. 2015</b>		Fuku-Ike – Japão 1,11 ha	Ciel et Terre	1076,4 kW <sub>P</sub> 4032 painéis (260W <sub>P</sub> MITSUBIS HI)	Sim

Ano	Imagem	Localização/ Área	Empresa responsável	Potência instalada	Conectada à rede
Ago. 2015		Hirai-Ike – Japão 1,26 ha	Ciel et Terre	1125 kW <sub>P</sub> 4500 painéis (250W <sub>P</sub> TRINA)	Sim
Ago. 2015		Hanamidai – Japão 1,26 ha	Ciel et Terre	1153,11 kW <sub>P</sub> 4522 painéis (255W <sub>P</sub> KYOCERA)	Sim
Set. 2015		Funatsu Osawa – Japão 1,69 ha	Ciel et Terre	1485 kW <sub>P</sub> 5940 painéis (250W <sub>P</sub> YINGLI)	Sim
Set. 2015		Jamestown – Austrália	Infratech Industries	112 painéis	Não
Out. 2015		Umenoki – Japão 7,43 ha	Ciel et Terre	7750,4 kW <sub>P</sub> 27.456 painéis (275W <sub>P</sub> YINGLI)	Sim

Fonte: Elaboração própria a partir de Trapani and Santafé (2013), Ciel et Terre (2015), Kwater (2016), MIRARCO (2016), Times of Malta (2016), Solaris (2016), Vikram Solar (2016) e Infratech (2016).

Os empreendimentos mais antigos apresentados na Tabela 2.5 utilizam painéis fotovoltaicos com módulos de silício monocristalino, enquanto os mais recentes utilizam painéis policristalinos, que é a tecnologia mais empregada em sistemas fotovoltaicos atualmente. Todos esses sistemas são rígidos, com exceção do empreendimento Sudbury no Canadá, que analisa a potencial utilização de filmes finos flexíveis para a produção da energia fotovoltaica.

É interessante observar que nenhum desses empreendimentos está localizado em reservatórios de usinas hidroelétricas. Acredita-se que um fator determinante nesse sentido é a pouca utilização de hidroelétricas nos países que já utilizam essa tecnologia e a necessidade de geração localizada, com investimentos particulares ou no máximo municipais. Também é interessante que os empreendimentos estejam sendo empregados em diferentes localidades geográficas, climas, sistemas pluviométricos e com finalidades diversas, além da produção de energia elétrica.

Para Santafé (et al, 2014) e Ferrer-Gisbert (et al, 2013), o principal objetivo da cobertura fotovoltaica flutuante é melhorar o balanço de água-energia nos reservatórios de irrigação. Esse ponto é colocado já que a maioria dos projetos desenvolvidos até hoje tinham a preservação da água para utilização na irrigação como um fator chave. No Brasil existem reservatórios onde a quantidade de água evaporada chega a ser o mesmo valor da vazão do rio (FERREIRA, 2016), o que é relevante para a sociedade e o clima da região.

Ainda segundo Santafé, o balanço água-energia pode ser observado na Figura 2.8, para sistemas sem a cobertura dos painéis (a) e com a cobertura dos painéis (b).



Figura 2.8: Balanço água-energia.

Fonte: Adaptado de Santafé (et al, 2014).

A fim de satisfazer os requisitos da planta solar fotovoltaica e da produção de energia, os seguintes fatores para a construção dos sistemas devem ser observados, segundo Santafé (et al, 2014):

- Inclinação e orientação dos módulos para maximizar a eficiência da radiação.
- Separação entre os painéis para reduzir as áreas sombreadas a um mínimo, calculado de acordo com a latitude do local.
- Esquema de passarelas para serviços e manutenção planejada para facilitar a operação da usina fotovoltaica. Prevê-se um caminho de acesso mínimo de 0,5 m entre as linhas que formam o flutuador como um todo.

Em um dos casos estudados, Santafé (2014) adotou o arranjo da Figura 2.9, tendo os painéis solares a geometria básica de 1,65 m de comprimento (h) por 1,00 m de largura (b).

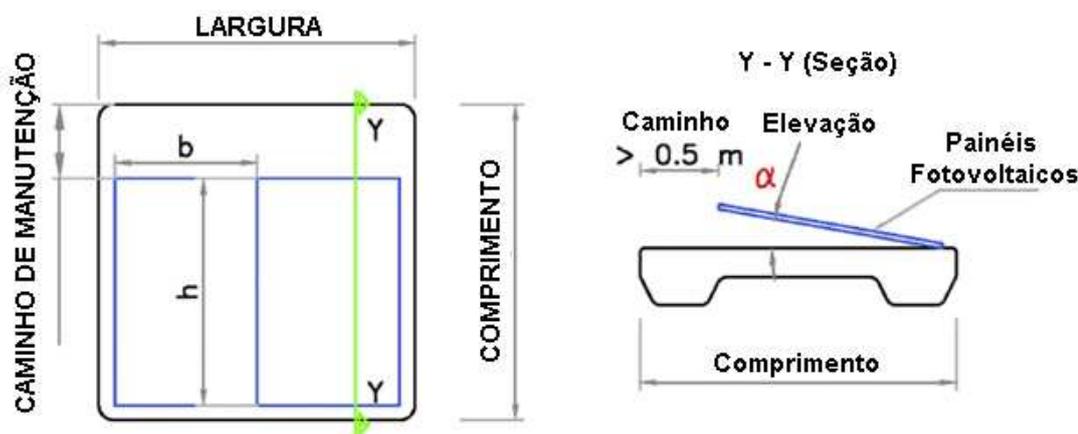


Figura 2.9: Geometria básica dos painéis.  
Fonte: Adaptado de Santafé (et al, 2014).

O pavimento flutuante colocado na superfície do reservatório deve também observar as características operacionais e de projeto do reservatório. Dessa forma, Santafé (et al, 2014) define que as seguintes características devem ser analisadas:

- Inclinação de painéis fotovoltaicos ( $\alpha$ ) (Figura 2.9). O ângulo de elevação dos módulos solares tem uma forte influência sobre a ação do vento que incide na cobertura.
- A geometria e as características do reservatório. A forma geométrica dos reservatórios é caracterizada por uma poligonal ou por formas irregulares, uma vez que a água procura se encaixar na topografia do terreno em que se encontra. Assim, a disposição dos painéis e os seus principais alinhamentos no formato da área podem ou não ser ótimos para a produção de energia, que depende dos alinhamentos com os pontos cardeais.
- Geometria, tipos e materiais de plataformas flutuantes. Módulos de flutuação devem oferecer versatilidade dimensional e mecânica, permitindo que o sistema seja adaptável a

diferentes condições dos reservatórios. Dentre os potenciais materiais disponíveis para serem utilizados, a fabricação industrial de peças ocas com materiais plásticos é uma solução normalmente escolhida para cumprir os requisitos técnicos e operacionais dentro de um custo acessível.

Com relação ao desenho estrutural, o sistema é composto por alguns elementos principais, citados tanto por Santafé (et. al., 2014) quanto por Ferrer-Gisbert (et al, 2013):

- Plataforma flutuante (também chamada de píer) que garante a flutuabilidade e estabilidade do sistema de geração de eletricidade. Em muitos casos são feitos de polietileno de média densidade por moldagem rotacional e cada um suporta dois painéis fotovoltaicos.
- Estrutura de suporte de painel fotovoltaico: deve ser capaz de suportar o peso dos painéis fotovoltaicos e de transmitir as forças produzidas pelo vento entre os píeres e daí para o sistema de ancoragem no perímetro.
- Acoplamentos articulados de metal entre os píeres (correntes de metal ou cabos que ligam os píeres em conjunto, permitindo deslocamentos verticais e horizontais, bem como giros) para que o flutuador seja capaz de se adaptar aos perfis irregulares da superfície do reservatório.
- Acoplamentos flexíveis de borracha (ou outros materiais flexíveis, mas que limitem um deslocamento máximo) permitindo que os píeres possam se mover um em relação aos outros, de modo que o sistema possa adaptar-se a diferentes níveis de água.
- Cordas (cordas náuticas de poliéster e nylon) usadas para amarrar os módulos exteriores da cobertura flutuante às bordas e/ou ao fundo do reservatório.
- Sistema de ancoragem rígida (estacas de concreto armado que resistem a forças laterais utilizando a pressão passiva do solo circundante), que ancora a cobertura flutuante e transmite horizontalmente as forças para as bordas do reservatório. No caso de ancoragem ao fundo do reservatório, devem ser consideradas também as forças verticais, produzidas pelas ondas da superfície.

Todos esses elementos podem ser observados nas Figuras (2.10, 2.11, 2.12, 2.13 e 2.14) que se seguem.

Em todos os sistemas fotovoltaicos, um fator importantíssimo é a relação entre a inclinação dos painéis e a área ocupada pelo conjunto, que irá definir a quantidade de energia elétrica a ser produzida em uma determinada localidade. A inclinação dos painéis, fixa ou móvel, permite uma melhor incidência (perpendicularidade) da luz solar sobre a superfície

fotovoltaica, sendo, de forma geral, recomendado para sistemas fixos que essa inclinação seja igual ou próxima da latitude local.



Figura 2.10: Módulo flutuante.

Fonte: (FERRER-GISBERT et al, 2013)

Entretanto, como os painéis são colocados em linha, com suas faces voltadas para a mesma direção (norte, no caso do Brasil), as linhas de painéis projetam sobre as imediatamente atrás uma sombra, que será tanto maior quanto maior for a inclinação e menor a distância entre as fileiras de painéis. Quanto maior a inclinação, maior o afastamento mínimo necessário, o que reduz a quantidade de painéis possíveis de serem instalados em uma determinada área.

Portanto, havendo limitação de área ou a busca da maior produção de energia em uma área conhecida, como pode ser o caso do aproveitamento dos reservatórios, o estudo da melhor inclinação é fundamental. Esse estudo deve revelar não apenas a maior produção de energia, mas também a melhor solução econômica para o empreendimento.

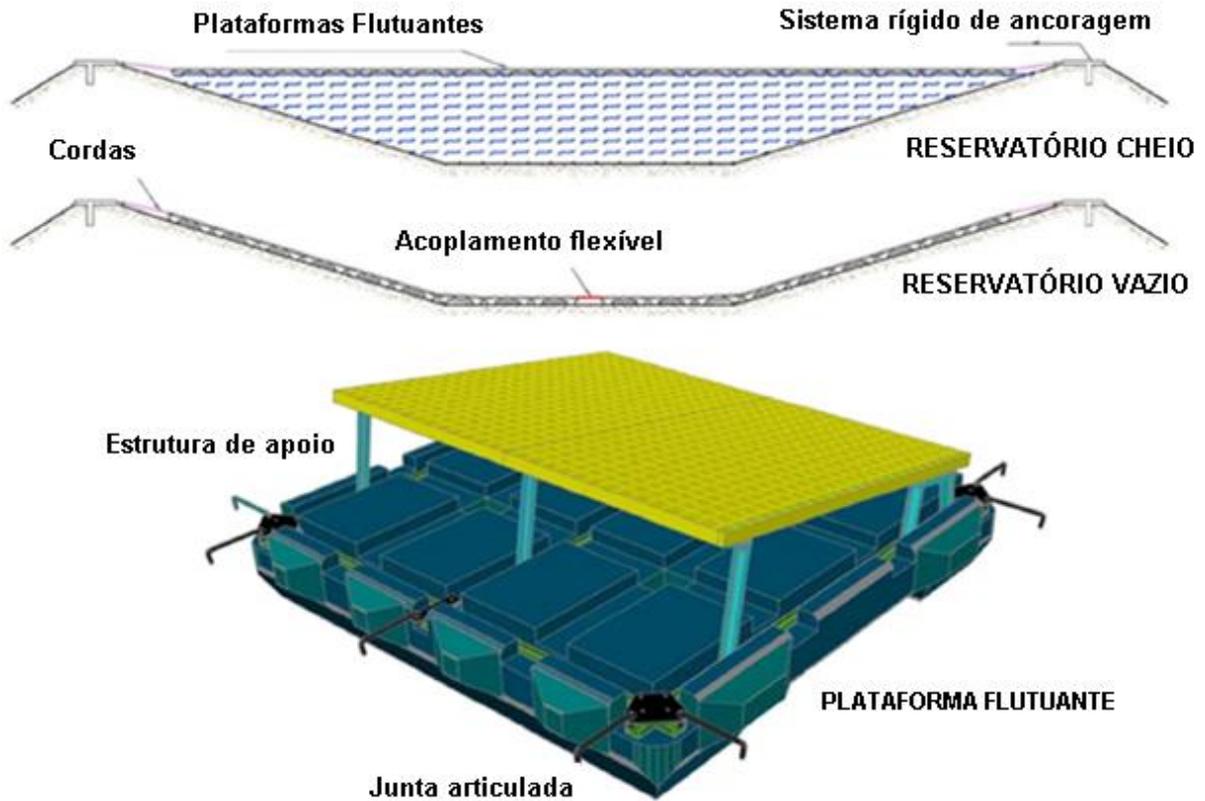


Figura 2.11: Componentes de um sistema fotovoltaico flutuante.

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

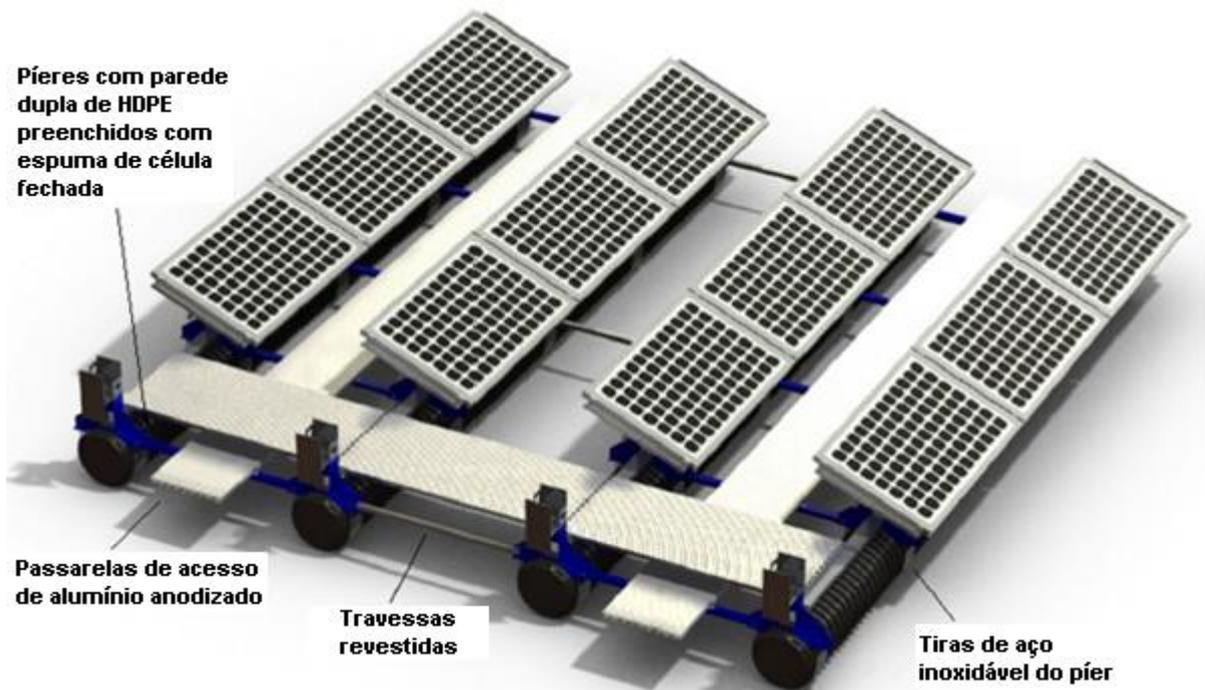


Figura 2.12: Estrutura fotovoltaica flutuante instalada em Far Niente.

Fonte: Adaptado de TRAPANI and SANTAFÉ (2013).

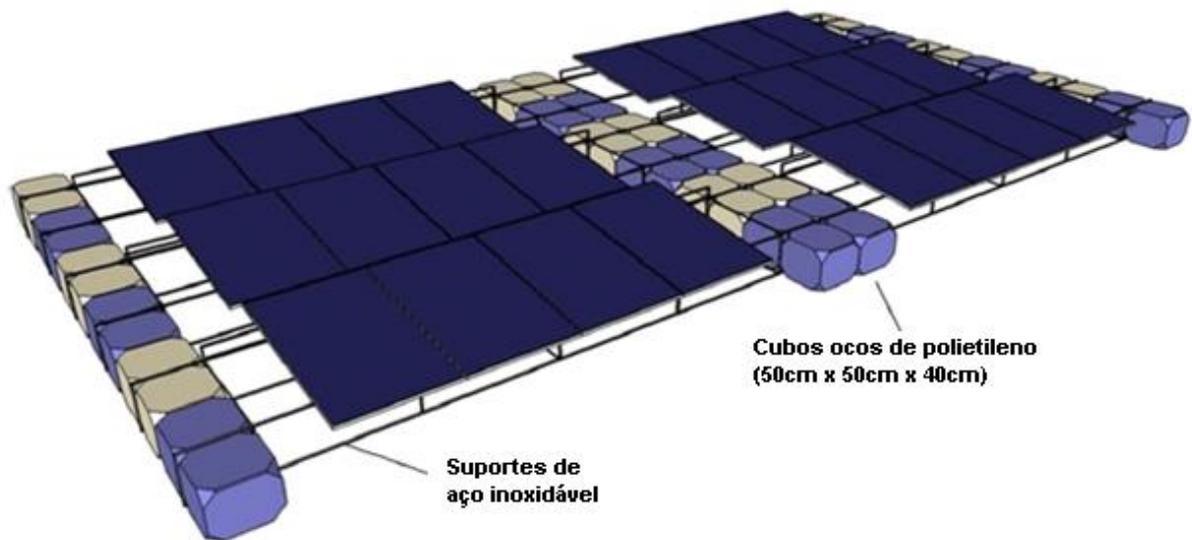


Figura 2.13: Desenho esquemático do painel fotovoltaico flutuante instalado em Bubano.

Fonte: (TRAPANI and SANTAFÉ, 2013).

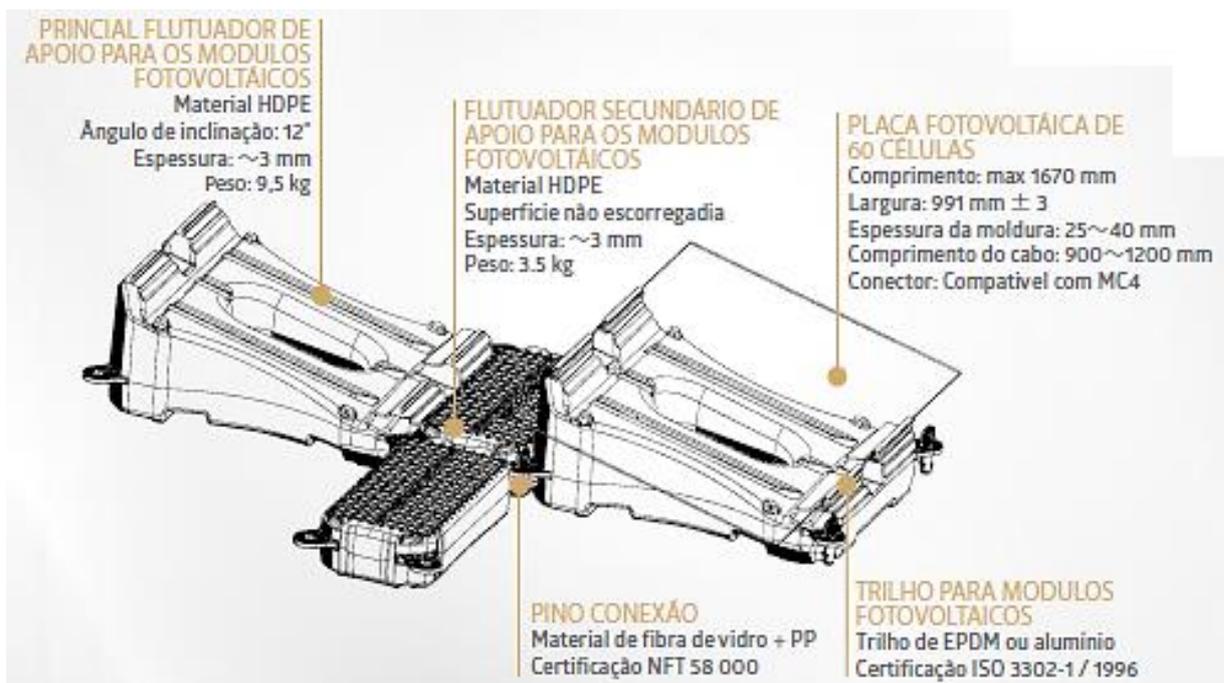


Figura 2.14: Suporte Hydrelío© da Ciel & Terre.

Fonte: Ciel & Terre (2015)

Para o caso da tecnologia de painéis flutuantes, Ferrer-Gisbert (et al, 2013) realizou uma série de medições e obteve o número de unidades fotovoltaicas e energia instalada dependendo do ângulo fixado, como pode ser observado na Tabela 2.6. Essas medidas foram obtidas a partir da utilização de um protótipo de módulo flutuante com dois painéis de 1,6 x

1,0 m e 200  $W_P$  com um caminho de acesso de 0,5 m, no reservatório “El Negret” na Espanha.

Tabela 2.6: Número de unidades fotovoltaicas e energia instalada dependendo do ângulo fixado.

<b>Ângulo Fixado</b>	<b>30°</b>	<b>15°</b>	<b>10°</b>
<b>Número de módulos flutuantes (2 painéis fotovoltaicos por módulo)</b>	652	787	908
<b>Tamanho do módulo flutuante (l x c) (m)</b>	3,40x2,00	2,20x2,55	2,20x2,20
<b>Energia de pico instalada (<math>kW_P</math>)</b>	260,8	314,8	363,2
<b>Densidade de potência de pico (<math>W_P.m^{-2}</math>)</b>	55,46	65,55	74,16
<b>Rendimento energético (<math>kWh.m^{-2} ano^{-1}</math>)</b>	82,49	104,27	114,89

Fonte: (FERRER-GISBERT et al, 2013).

Nesse experimento, Ferrer-Gisbert (et al, 2013) concluiu que menores ângulos de fixação do painel não só produzem melhores performances elétricas, mas também uma geometria modular mais regular. Com o decréscimo do ângulo de fixação, é necessário um menor espaçamento entre as linhas de painéis para prevenir a interação de sombras. Paralelamente, menores ângulos significam redução dos efeitos dos ventos, que elevam e deslocam o sistema.

Com relação à utilização de filmes finos para a geração solar fotovoltaica, Trapani (and SANTAFÉ, 2013) relata que os projetos realizados ao longo do período 2007-2013 foram exclusivamente para ambientes de água para autossuficiência, tais como reservatórios, lagoas e pequenos lagos. Isto significa que os requisitos para a estrutura e a amarração não têm comparação com as necessidades de componentes para ambientes marinhos ou de grandes lagos (reservatórios de hidroelétricas), que gerariam uma carga adicional a partir das marés, ventos fortes e ondas.

Dois conceitos têm sido propostos para tais ambientes *offshore*, com uma lógica semelhante em *design*, mas que, diferentemente das instalações fotovoltaicas flutuantes existentes, que incorporam painéis fotovoltaicos principalmente cristalinos rígidos, utilizam painéis fotovoltaicos flexíveis de filmes finos para gerar eletricidade. Dessa forma, o filme flexível se molda aos movimentos das ondas, em vez de resistir à sua força, e, por conseguinte, submete suas amarras a menores forças de carga, como pode ser observado na Figura 2.15.

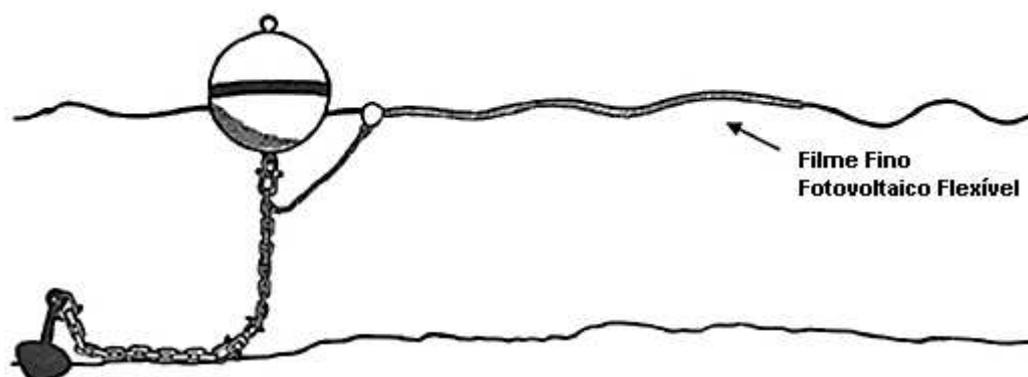


Figura 2.15: Desenho esquemático do filme fino flutuante.

Fonte: Adaptado de TRAPANI and SANTAFÉ (2013) e TRAPANI and MILLAR (2014).

Segundo Trapani (and SANTAFÉ, 2013), o primeiro desses projetos desenvolvido foi o de Mirarco. Ele surgiu quando uma empresa de pesquisa de mineração em Sudbury, Canadá, teve o objetivo de proporcionar um método alternativo para geração de energia elétrica para as minas remotas. Nesse caso utilizou-se o conceito de uma única matriz escalável (tanto com painéis maiores e/ou com um maior número de painéis). O sistema foi concebido para ter os conectores de terminais ligados uns aos outros dentro da matriz, com o número de painéis ligados em série e em paralelo, dependendo da voltagem de saída necessária. A flutuabilidade foi projetada para ser incorporada nos painéis fotovoltaicos de filme fino, prendendo-se bolsas de ar dentro da laminação.

O desenho destinou-se a diminuir o número de componentes dentro do projeto, mantendo baixos os custos com operações e manutenção, aumentando a confiabilidade, já que com menos componentes é menor a propensão de falhas. Além disso, o objetivo foi fazer com que os painéis tivessem um melhor resfriamento, já que permanecem em contato direto com a água, permitindo também a autolimpeza.

Em 2013 a Mirarco realizou um teste com  $0,5 \text{ kW}_P$  em uma lagoa pequena em Sudbury, Canadá, para a coleta e análise de dados. Para esse protótipo, não era viável integrar a flutuabilidade no interior do laminado e, por isso, tiras finas de neoprene foram coladas na parte de trás da matriz. Dessa forma, os painéis ficaram ligados entre si em série, não requerendo outros componentes para ligações. Painéis fotovoltaicos idênticos foram instalados, como controle, no terreno próximo da lagoa, a fim de permitir comparações entre as duas configurações.

Após o experimento, Trapani (and MILLAR, 2014), concluiu que o conceito de painel fotovoltaico flutuante a partir de filme fino (T3F-PV) provou ser realizável através do

desenvolvimento do protótipo. Além disso, o protótipo mostrou que existem algumas vantagens reais para a implantação de um arranjo que flutua na água, em vez de colocar esse arranjo no chão. Testes comparativos para sistemas idênticos, um na terra e outro flutuando em um lago, resultaram em um aumento médio de 5% no rendimento elétrico, durante o período de teste, principalmente devido ao efeito de arrefecimento térmico da água em relação ao solo.

A presença de água, no entanto, demonstrou que tem efeito prejudicial sobre a saída dos painéis. Houve uma redução de 1% na eficiência devido à acumulação de sujeira sobre os painéis, o que leva à necessidade de um futuro desenvolvimento do melhor mecanismo de autolimpeza do arranjo, sendo esperado que o movimento das ondas auxilie na remoção de sedimentos.

Ainda segundo Trapani (and SANTAFÉ, 2013), outro conceito de painel fotovoltaico flutuante flexível é chamado SUNdy, que foi realizado pela Det Norske Veritas. O projeto total pode ser observado na Figura 2.16, e é composto de uma série de painéis fotovoltaicos de filme fino ligados entre si, com os cabos de ancoramento fixados através dos vértices do hexágono. Os painéis estão previstos para serem estratificados e aderirem a uma superfície da espuma flexível, a qual proporciona a flutuabilidade e a estrutura aos painéis.

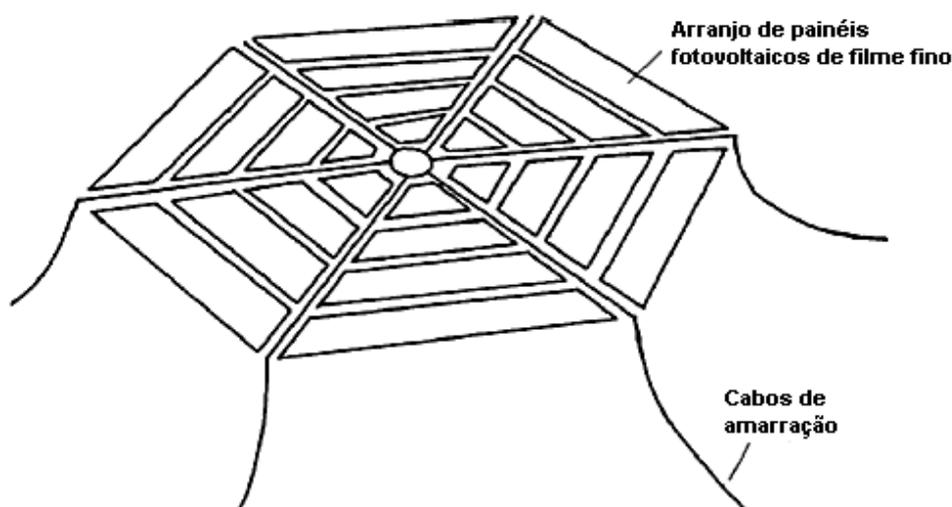


Figura 2.16: Desenho esquemático do conceito SUNdy com 2 MW<sub>p</sub>. O desenho hexagonal consiste em 4.200 painéis individuais.

Fonte: Adaptado de TRAPANI and SANTAFÉ (2013).

Esse projeto prevê painéis de 560 W<sub>p</sub>, estando incorporado dentro da espuma flexível e por baixo dos painéis um micro inversor trifásico, que converte a eletricidade de DC para AC diretamente. Na borda do flutuador também está incorporado um conector do tipo naval, o

que permite que os painéis possam ser ligados uns aos outros, tanto mecânica como eletricamente.

Outra opção mostrada por Trapani (and SANTAFÉ, 2013) é a do Scintec (ROSA-CLOT et al, 2010a). Esse modelo tem alguns elementos de ambos os projetos existentes e os conceitos mencionados nessa seção, já que utiliza um arranjo rígido para os painéis e que também está em contato direto com a água, tal como ilustrado na Figura 2.17. Esse sistema não consegue ondular com as ondas que se aproximam já que ele é rígido. Então, ao invés de resistir às condições de águas agitadas, ele é projetado para ser capaz de submergir até 2 metros. A submersão e a flutuação do arranjo são realizadas pelo bombeamento de água para dentro ou fora, respectivamente, nas boias fechadas que estão ao seu redor. Para as condições normais de funcionamento, o arranjo é concebido para estar sob apenas 0-2 m de água que, de acordo com pesquisa empreendida pelo Scintec, não detém a radiação solar efetiva na superfície do painel fotovoltaico (ROSA-CLOT et al, 2010b), enquanto a submersão ajudaria com o arrefecimento dos painéis, melhorando a sua eficiência elétrica.

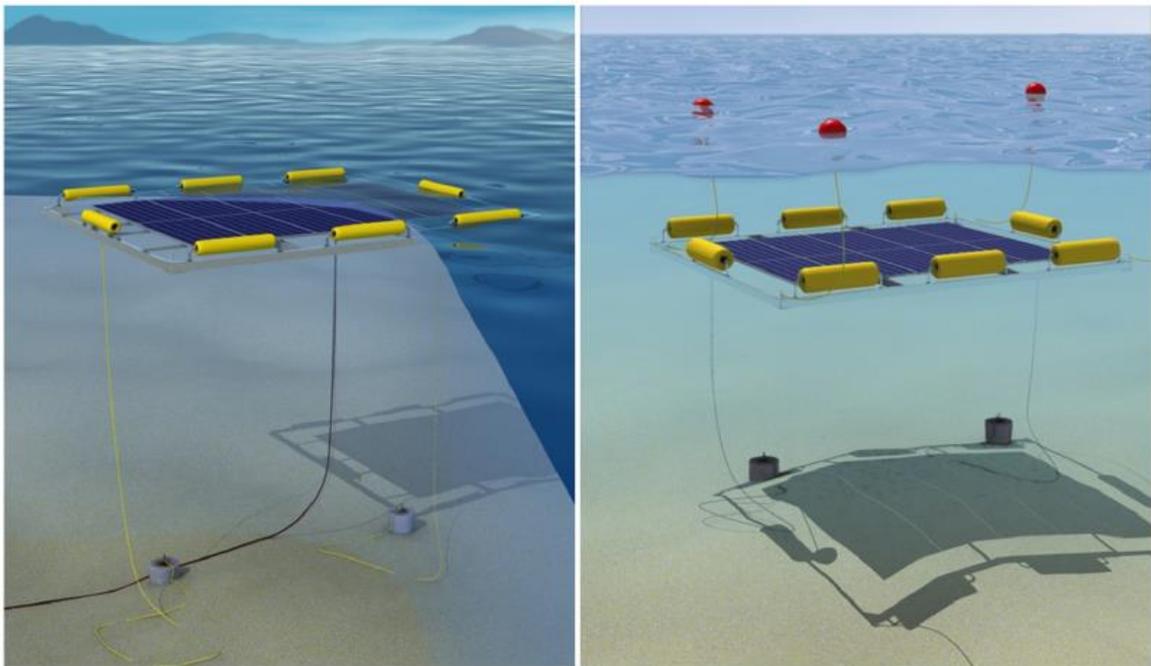


Figura 2.17: Conceito de painel fotovoltaico submergível do SCINTEC.

Fonte: (TRAPANI and SANTAFÉ, 2013)

Além dessas opções já apresentadas, a empresa Sunengy (2016) criou um arranjo onde a luz passa por concentradores, antes de chegar às células fotovoltaicas, como pode ser observado na Figura 2.18. No site da própria empresa é citado que essa tecnologia é mais cara

e com isso menos empregada. Dessa forma, ela não será a tecnologia escolhida para os cálculos desse trabalho.

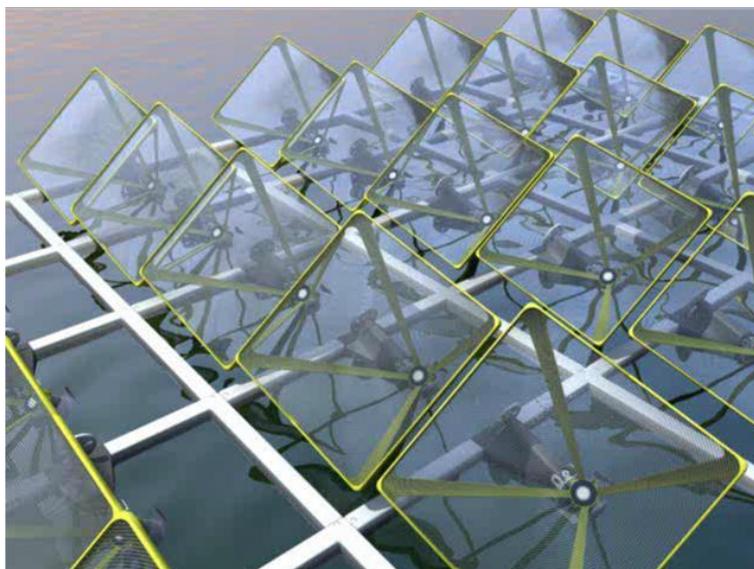


Figura 2.18: Protótipo de arranjo solar fotovoltaico flutuante com concentradores da Sunergy.

Fonte: Sunergy (2016).

## 2.4 Usinas hidroelétricas

Não é objetivo desse trabalho analisar os diferentes tipos de hidroelétricas em funcionamento no país ou sua geração de energia elétrica, mas sim observá-las como áreas propícias ao aproveitamento da energia solar fotovoltaica.

Após todas as vantagens e desvantagens elencadas, observa-se que a melhor possibilidade de aplicação da tecnologia solar fotovoltaica flutuante no Brasil, de forma centralizada, é nos reservatórios das usinas hidroelétricas, já que elas concentram grandes áreas que podem ser aproveitadas para a geração adicional de energia. Além disso, nota-se a possibilidade de um maior equilíbrio na geração elétrica, considerando-se que em períodos chuvosos a geração solar fotovoltaica seria prejudicada, mas a geração hidroelétrica seria beneficiada. Já em períodos de escassez de chuvas, a disponibilidade de energia solar é ampliada, já que há menores períodos com nebulosidade, o que propicia a maior geração solar fotovoltaica.

É de consenso que o Brasil tem um dos maiores potenciais hidroelétricos do mundo, mas a construção de novas usinas tem enfrentado maiores dificuldades, ambientais e sociais, a

cada dia. Dessa forma, as áreas já alagadas podem ser utilizadas com uma finalidade adicional: suporte para as instalações das usinas solares fotovoltaicas flutuantes.

Segundo o Banco de Informações Gerencias da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2015a), no Brasil existem 198 Usinas Hidroelétricas, 10 em construção e outras 5 com a construção ainda não iniciada. Dentre essas 198 hidrelétricas, observam-se empreendimentos que são de Serviço Público (SP), Produtores Independentes de Energia (PIE) e Autoprodutores de Energia (APE) e é a partir da análise dessas usinas que serão realizados os cálculos dessa tese.

Esses números levam a crer na existência de um grande potencial, ainda inexplorado, para a geração de energia no país. A tabela completa desses empreendimentos, suas potências nominais e localizações podem ser consultadas no Anexo A.

### 3 MODELAGEM TEÓRICA

Nesse capítulo são apresentados os procedimentos realizados para os cálculos e análises desse trabalho. Para tanto, foi desenvolvida a sequência lógica mostrada no fluxograma da Figura 3.1.

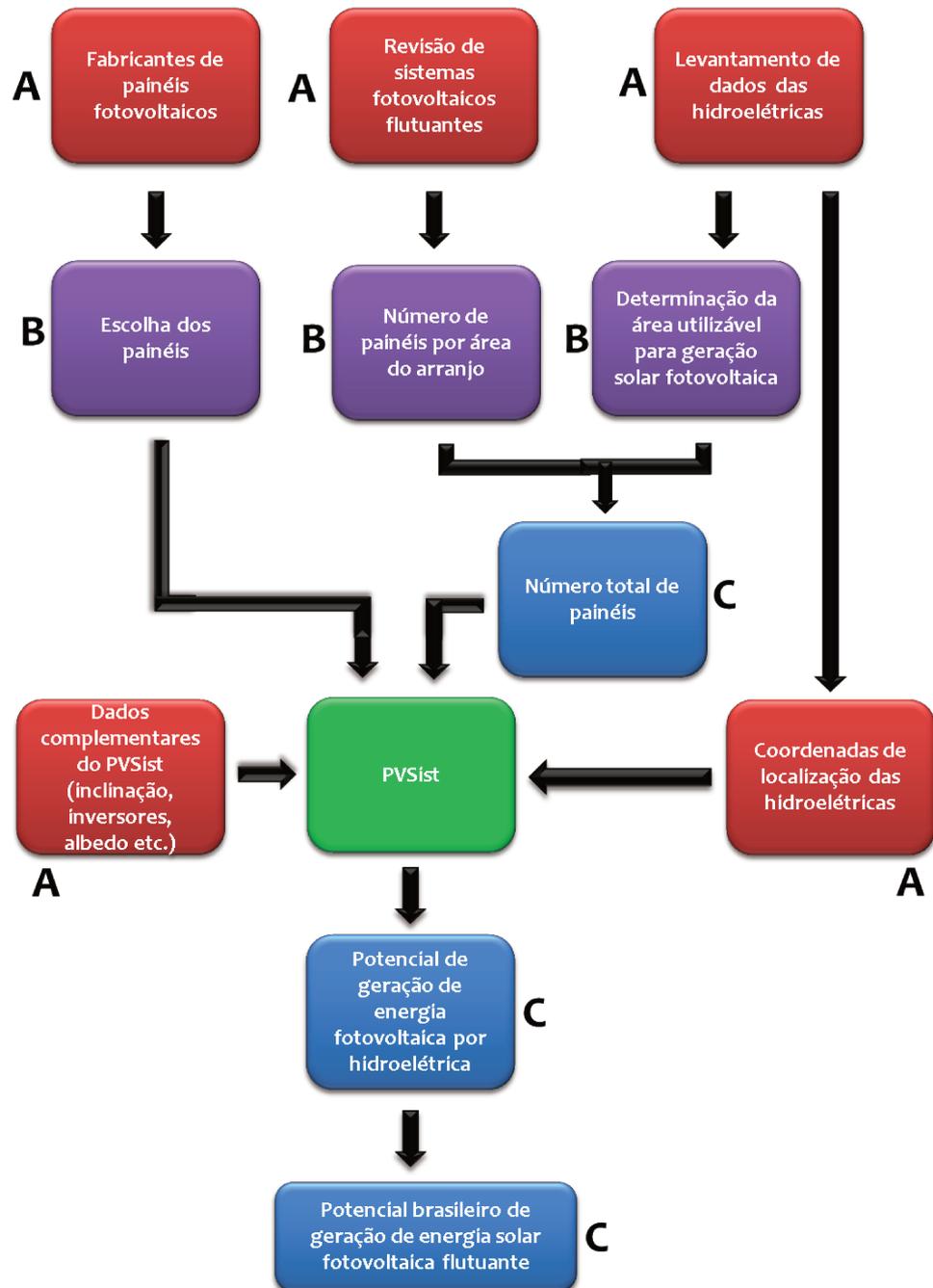


Figura 3.1: Fluxograma da modelagem utilizada.

Os itens (A), em vermelho, se referem aos dados que foram obtidos através de pesquisas bibliográficas e deram base para as escolhas de hipóteses e para toda a parte de cálculo posteriormente realizada.

Os itens (B), em roxo, se referem às decisões tomadas como melhores hipóteses e que foram escolhidas para basearem, juntamente com as informações das pesquisas bibliográficas, os cálculos.

Os itens (C), em azul, se referem à cadeia lógica utilizada para os cálculos, considerando todas as opções que foram avaliadas e são os resultados da tese. A seguir são detalhados cada item da metodologia.

### 3.1 Levantamento de dados das hidroelétricas

A fim de realizar um levantamento das usinas hidrelétricas em funcionamento no Brasil, foi acessado o site do Banco de Informações Gerenciais da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2015a). Nesse site, são apresentadas todas as informações sobre geração elétrica no Brasil, abrangendo todos os tipos de empreendimentos em operação e suas potências.

Ainda nesse site é possível verificar que existem 198 empreendimentos classificados como Usinas Hidrelétricas que estão em operação, 10 em construção e mais 5 com a construção ainda não iniciada. Dentre essas 198 hidrelétricas observam-se empreendimentos que são de Serviço Público (SP), Produtores Independentes de Energia (PIE) e Autoprodutores de Energia (APE).

Com os nomes dos empreendimentos e suas localizações (municípios e estados) obtidas foi possível localizar cada um deles através do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico - SIGEL (Aneel, 2015b), observando suas coordenadas geográficas e suas áreas de reservatórios, assim como outras características trazidas pelo sistema, mas que não são de interesse desse trabalho.

Para realizar essa localização através do sistema, o seguinte procedimento foi realizado:

Passo 1 – Seleção da exibição que seria utilizada. Clicando em **exibição; camadas** (Figura 3.2).

Passo 2 – Seleção das camadas que serão mostradas no mapa. Na janela que se abre na extremidade superior direita da página, já aparece pré-selecionada a **Base Cartográfica**. Também foram selecionadas **Geração**, e dentro desse item, **Usinas Hidrelétricas – UHE** e

**Reservatórios UHE (Na MaxMaximorum)**, obtendo-se a Figura 3.3 que mostra a localização das hidrelétricas do país, assim como seus reservatórios.

Passo 3 – Seleção da Hidroelétrica. Para selecionar mais facilmente a Hidroelétrica da qual se desejavam os valores, foram utilizadas duas ferramentas diferentes do sistema: **Pesquisas** e **Identificação**.

Quando o campo **Pesquisas** é selecionado ele abre as opções de pesquisa por nome ou por atributo. Selecionando por nome, aparece uma janela à direita da tela, embaixo da janela das camadas, onde o nome da Hidrelétrica pode ser inserido para a busca (Figura 3.4). Após colocar o nome da Hidrelétrica, Itaipu, por exemplo, e clicar no botão localizar, a Hidrelétrica é destacada das demais em amarelo (Figura 3.5).

Pode-se observar, então, o que o sistema localizou com o nome proposto para as camadas escolhidas. Nesses resultados, pode-se observar uma seta dentro de um círculo preto. Clicando nessa seta, é aberta uma janela que contém os detalhes de cada hidrelétrica ou reservatório (Figura 3.6). Também se pode obter fotos do empreendimento clicando no quadrado azul, ou verificar os Atos Legais, clicando no símbolo de arquivo em PDF.

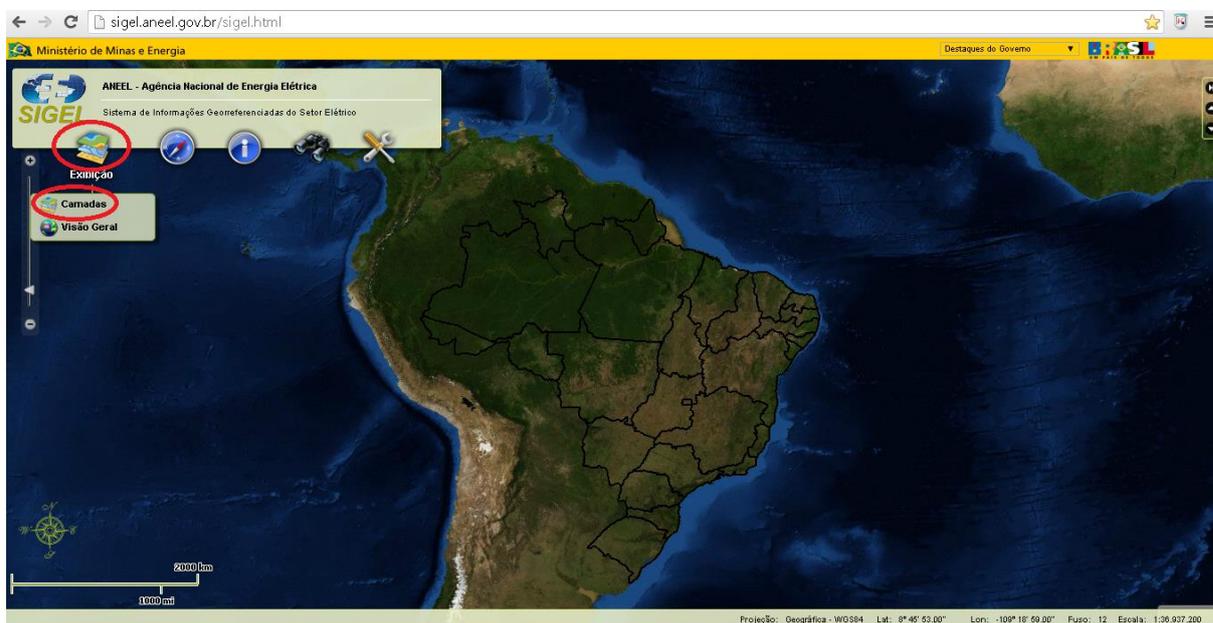


Figura 3.2: Seleção de camada no sistema SIGEL.

Fonte: Elaboração própria a partir de Aneel (2015b)

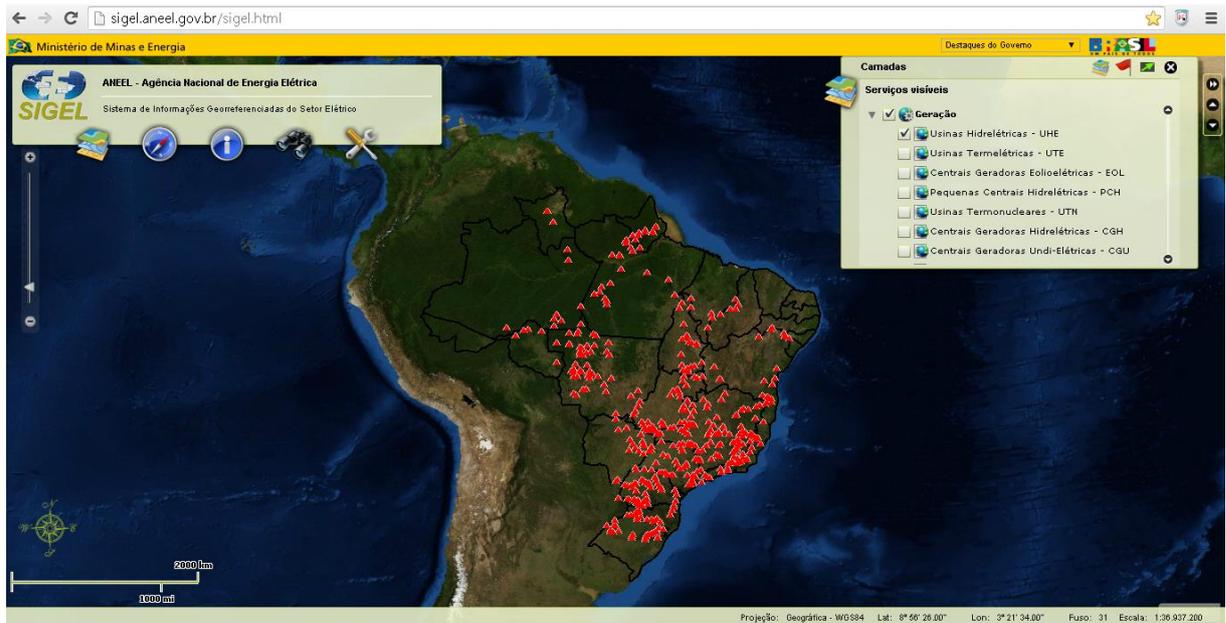


Figura 3.3: Usinas hidrelétricas instaladas no Brasil.

Fonte: Elaboração própria a partir de Aneel (2015b)

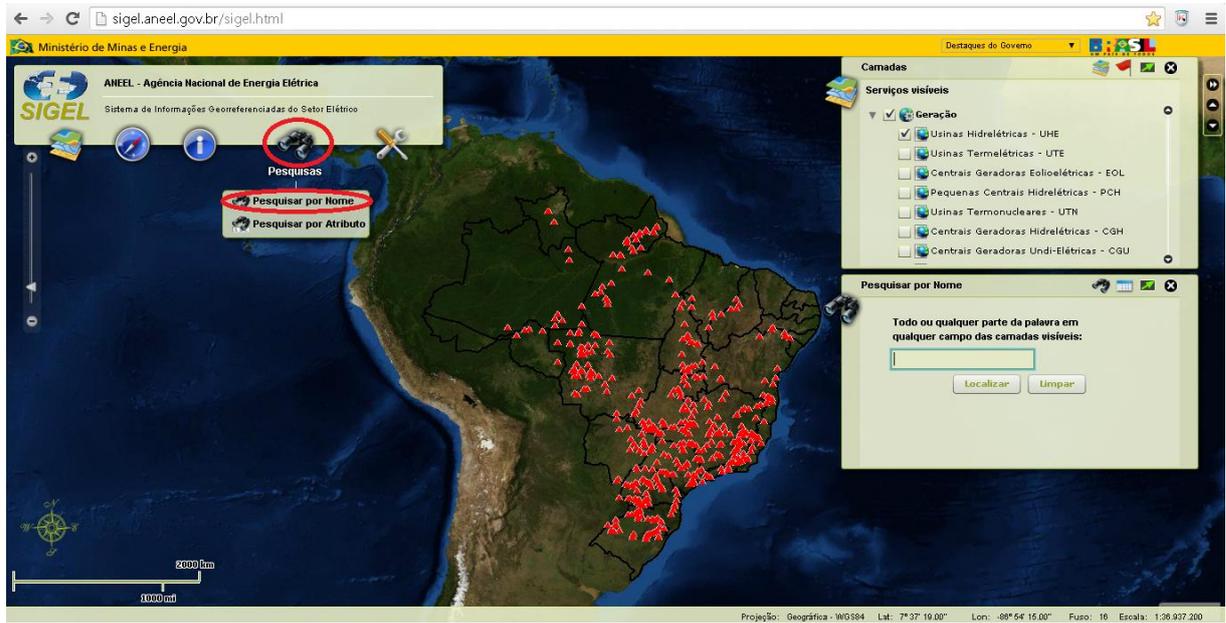


Figura 3.4: Procedimento de localização da hidrelétrica pelo nome cadastrado no sistema SIGEL.

Fonte: Elaboração própria a partir de Aneel (2015b).

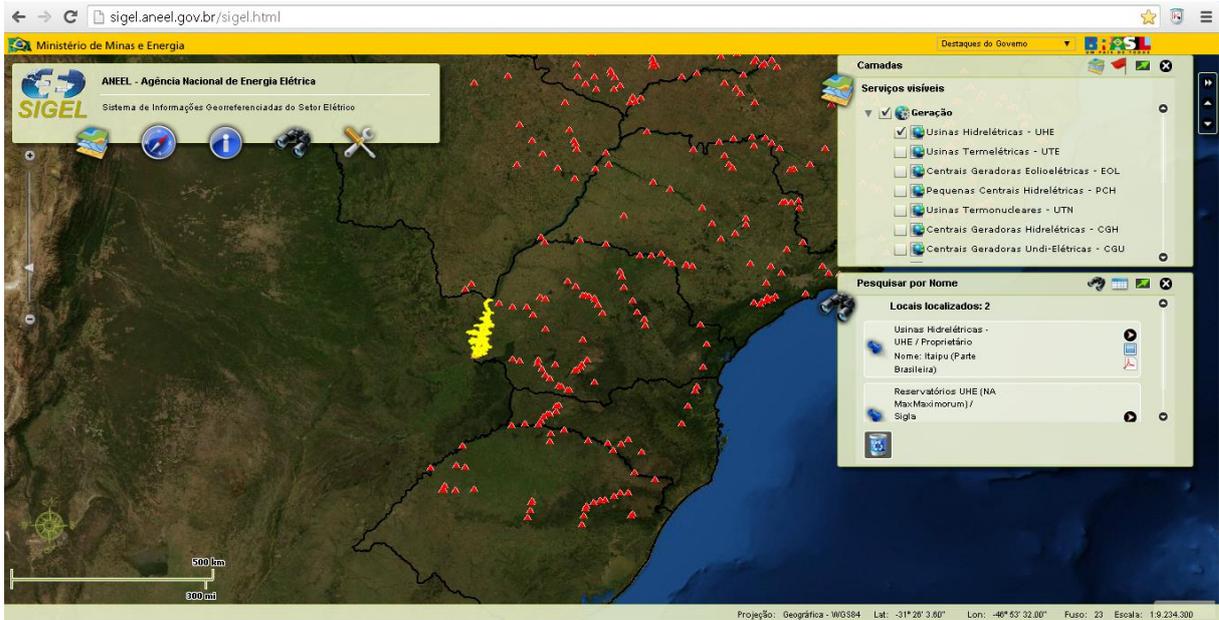


Figura 3.5: Hidrelétrica pesquisada no sistema SIGEL.

Fonte: Elaboração própria a partir de Aneel (2015b).



Figura 3.6: Detalhes da hidrelétrica pesquisada.

Fonte: Elaboração própria a partir de Aneel (2015b).

Essa foi uma das formas utilizadas para a obtenção das coordenadas e áreas de reservatórios, que são de interesse desse trabalho. A outra forma, quando não se conseguiu obter o resultado pela ferramenta **Pesquisa por Nome**, foi utilizar a ferramenta **Identificar por retângulo** (Figura 3.7). Essa ferramenta localiza todos os empreendimentos dentro do retângulo desenhado, trazendo os resultados da mesma forma que a **Pesquisa por Nome**, ou seja, para obter os dados procurados era só seguir o mesmo procedimento a partir da localização da hidrelétrica desejada (Figura 3.8).

As coordenadas geográficas são de interesse desse trabalho, já que serão inseridas no programa PVsyst a fim de que este possa calcular a energia solar fotovoltaica que pode ser produzida para a região e empreendimento considerados. A área do empreendimento também é de interesse, uma vez que seu valor informará a área disponível para a alocação dos painéis fotovoltaicos flutuantes.

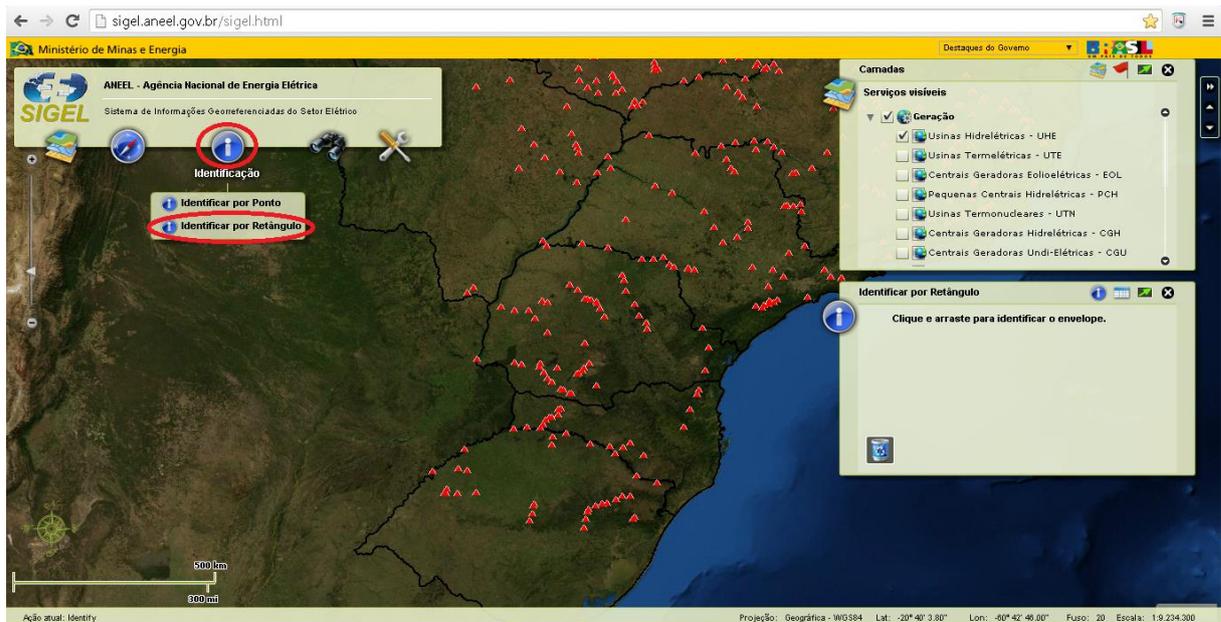


Figura 3.7: Procedimento de identificação de hidrelétrica por retângulo.

Fonte: Elaboração própria a partir de Aneel (2015b).

Segundo Silva (2014), existem diversas formas de classificar as usinas hidroelétricas, de acordo com a característica que se queira destacar:

- (a) Quanto à potência: micro (até 100 kW); mini (de 100 a 1.000 kW); pequena (de 1 a 30 MW); média (de 30 a 500 MW) e grande (acima de 500 MW).
- (b) Quanto ao reservatório: de fio d'água (sem reservatório); de acumulação (diária, semanal, sazonal, plurianual); reversível.
- (c) Quanto à queda d'água: baixa queda (<50m); média queda (entre 50 e 250 m); alta queda (>250 m).

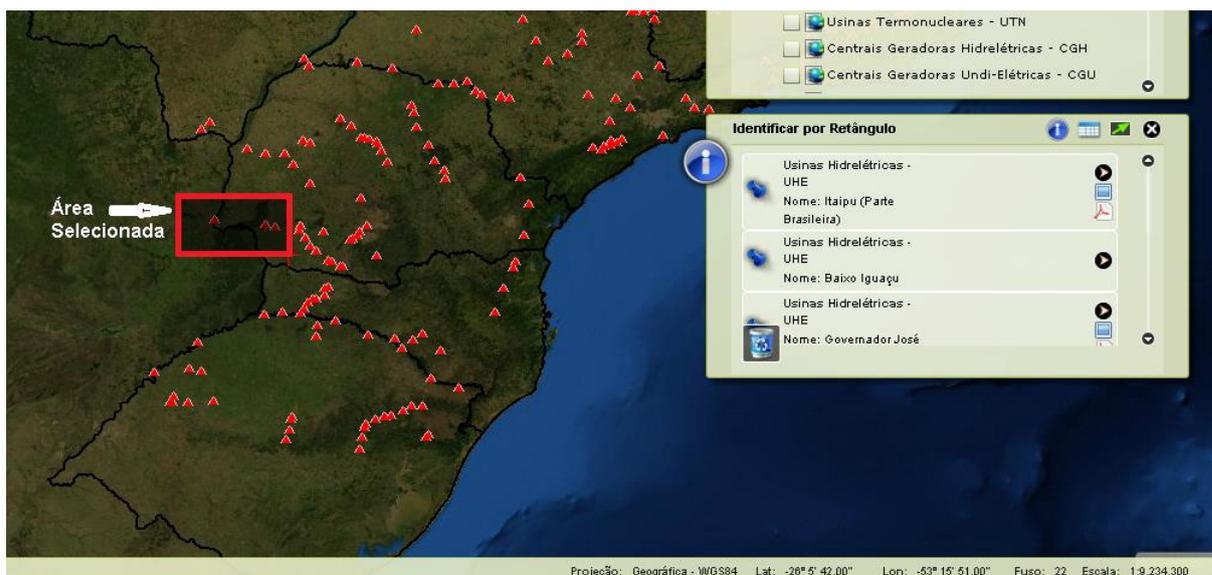


Figura 3.8: Seleção de retângulo para obtenção dos dados da hidrelétrica.

Fonte: Elaboração própria a partir de Aneel (2015b).

Entretanto, para esse trabalho a classificação que foi levada em consideração foi quanto ao reservatório, já que para produzir energia através de painéis fotovoltaicos flutuantes é necessária uma área alagada suficientemente grande para compensar o investimento nesse tipo de sistema.

Dessa forma, serão analisados os dados obtidos (Anexo B) selecionando apenas as usinas de acumulação para os cálculos desse trabalho. Como usinas de acumulação serão consideradas as usinas com áreas de reservatório maiores que zero no sistema SIGEL, ou seja, como o sistema considera duas casas decimais para os valores de área, serão consideradas usinas com reservatórios iguais ou superiores a  $0,01 \text{ km}^2$ . Esse valor mínimo equivale a 1 ha, área próxima às observadas para as usinas de Tanquinho e Tauá (1,37 ha e 1,2 ha, respectivamente), e a outras usinas fotovoltaicas flutuantes construídas em 2014 e 2015 apresentadas na Tabela 2.5. Portanto, serão considerados no cálculo do potencial solar fotovoltaico dos reservatórios brasileiros a instalação de usinas acima de  $1 \text{ MW}_p$ .

Para maiores informações sobre os projetos de Tanquinho ou Tauá sugere-se a leitura de Lopes (2013).

### 3.2 Escolha do painel fotovoltaico

A escolha do painel fotovoltaico a ser considerado nessa tese foi realizada a partir da observação dos painéis utilizados principalmente nos dois últimos anos para a construção dos arranjos fotovoltaicos flutuantes, mostrados na Tabela 2.5; da verificação da existência dos dados dos painéis no PVsyst; e da observação dos painéis comercializados no mercado brasileiro, com a certificação do INMETRO, apresentados na Tabela 2.4. Não há razão técnica para que um mesmo painel não seja adotado para todas as regiões consideradas no território nacional. Já a utilização de outros painéis, desde que de mesma potência nominal, eventualmente alteraria apenas a estrutura a ser construída ou considerada, mas não alteraria a área total utilizada, o potencial instalado ou a energia gerada.

A partir dessa análise foi obtida a Tabela 3.1, na qual se pode observar que apenas um dos painéis da Kyocera apresentou todas as características pré-estabelecidas. Dessa forma, o painel escolhido para os cálculos desse estudo foi o painel Kyocera de 245 W<sub>P</sub> (KD245GX-LPB).

Para a escolha do inversor, foram observados os equipamentos desse tipo utilizados nos arranjos que participaram da Chamada 13 da Aneel, e que foram estudados por Lopes (2013). Esses equipamentos estão apresentados na Tabela 3.2.

Pode-se notar a predominância do inversor da fabricante Ingeteam modelo IngeconSun 500 TL U X275. Este aparece em 10 dos 13 projetos apresentados. Como esse equipamento também tem suas características técnicas no banco de dados do PVsyst, ele foi o escolhido para as simulações, onde será testada a sua adequação ao arranjo proposto.

Tabela 3.1: Escolha do painel fotovoltaico.

<b>Fabricante/Painel (W<sub>P</sub>)</b>	<b>PVsyst</b>	<b>Mercado Brasileiro/Classificação do INMETRO</b>
Kyocera / 245	Sim	Sim / A
Hanwha / 250	Sim	Não
Trina / 250	Sim	Não
Yingli / 250	Sim	Não
Kyocera / 255	Não	Sim / A
Yingli / 255	Sim	Não
Mitsubishi / 260	Sim	Não
Yingli / 275	Não	Sim / A

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3.2: Escolha do inversor fotovoltaico.

<b>Projeto Fotovoltaico</b>	<b>Inversor (Fabricante – Modelo)</b>
Subestação Tanquinho	Ingeteam - IngeconSun 500 TL U X275 Fronius International - IG Plus 120 V-3 SMA - Sunny Mini Central 5000A-11
Projeto PUCSOLAR	Ingeteam - Ingecon Sun 500 TL UX275
FURNAS	Ingeteam - Ingecon Sun 500 TL U X275
COELBA	Ingeteam - Ingecon Sun 500 TL U X275 SMA - Sunny Mini Central 5000A-11
CHESF	Ingeteam - Ingecon Sun 500 TL U X275 SMA - Sunny Mini Central 5000A-11 SMA - Sunny Mini Central 5000A-11
Projeto Villa Lobos – CESP	Ingeteam - Ingecon Sun 40 TL Ingeteam - Ingecon Sun 6 HF
ISA-CTEEP	Ingeteam - Ingecon Sun 500 TL U X275
PETROBRÁS	Ingeteam - Ingecon Sun 500 TL U X275 SMA - Sunny Mini Central 5000A-11
TRACTEBEL	Ingeteam - Ingecon Sun 500 TL U X275 Fronius International – AGILO 100.0-3
Projeto SOL+ – ELETROSUL	Ingeteam - Ingecon Sun 500 TL U X275
CEMIG-D	Ingeteam - Ingecon Sun 500 TL U X275
CEEE-GT	Ingeteam - Ingecon Sun 60
MPX	Fronius International – AGILO 100.0-3

Fonte: Elaboração própria a partir de Lopes (2013).

### 3.3 Determinação do número total de painéis em função da área a ser ocupada

Primeiramente, para se determinar o número total de painéis considerado em cada localidade foi analisada a área total dos reservatórios. Para isso foram observadas as informações das áreas ocupadas pelos reservatórios de cada usina hidrelétrica em funcionamento no país, obtidas a partir do levantamento descrito no item 2.4 dessa tese e apresentado no Anexo B.

Após, foi observado que em cada usina é necessária a exclusão das áreas de segurança (proximidades às tomadas d'água, vertedouros e sistemas ancilares, áreas de manobras de equipamentos etc.), bem como um afastamento mínimo das margens, devido à presença de vegetação, sombreamentos, instalações diversas e a própria segurança dos painéis. Considerou-se ainda a necessidade de uma área de aeração do reservatório, não

imprescindível como no caso de lagos e lagoas, uma vez que a água no reservatório é corrente, mas importante para a preservação dos processos biológicos presentes que dependem do oxigênio do ar. Dessa forma, definiu-se como área disponível 80% da área real, considerando como 20% as áreas descritas anteriormente.

Os reservatórios que ficarem com valor de área útil inferior a área mínima definida a ser considerada nesse trabalho serão desconsiderados.

Como pôde ser notado no item 2.3, os arranjos fotovoltaicos apresentam plataformas de pelo menos 0,5 m entre as fileiras de painéis, a fim de que se possa circular entre essas fileiras para a realização de manutenções. Os arranjos mais modernos otimizaram os espaçamentos, e pode-se observar que a cada duas fileiras de painéis existe esse espaço de manutenção. Fora isso, é necessária uma plataforma para interligar esses corredores, e essa plataforma deve seguir a mesma largura (0,5 metros) dos corredores.

Outro fator a ser observado para a realização do cálculo da área ocupada pelos painéis é a inclinação necessária devido à localização geográfica do arranjo. Quanto maior a inclinação dos painéis, maior o distanciamento necessário com relação à próxima fileira, a fim de se evitar sombreamentos que reduzirão a produção de energia. Outra opção é a manutenção dos painéis de forma paralela à superfície da água (inclinação nula), acabando com o sombreamento, mas colocando os painéis em posições onde gerarão uma menor quantidade de energia, já que os raios solares incidirão não perpendicularmente a eles, problema que é tanto maior quanto maior a latitude de localização do reservatório.

Todos esses fatores podem ser ajustados com a utilização do PVsyst, no qual, modificando a inclinação dos painéis se pode obter qual o espaçamento entre as fileiras oferece menor sombreamento para o sistema, otimizando a geração de energia no sistema. Esse *software* também fornece o número de painéis por área, segundo os dados estabelecidos para a simulação, como pode ser observado no item 3.3 desse trabalho.

### 3.4 PVsyst

A estimativa da energia elétrica gerada foi realizada através do uso do programa computacional PVsyst. Esse *software* foi desenvolvido em 1992 pelo físico suíço André Mermoud (PVsyst, 2015) e foi escolhido por ter sido descrito por Pinho e Galdino (2014)

além de ter sido utilizado em outros trabalhos, como em Lopes (2013), o qual calculou valores muito próximos aos valores reais obtidos experimentalmente.

Segundo Lopes (2013) o PVsyst permite trabalhar com diferentes níveis de complexidade, desde um estágio inicial de representação até um sistema detalhado de simulação, com estudo de sombreamento, dados econômicos de investimento etc. Apresenta também uma ferramenta adicional, tridimensional, que leva em conta as limitações do horizonte e de objetos que possam criar sombras sobre os módulos fotovoltaicos. Ao final, o programa fornece resultados sob a forma de relatório completo, com gráficos e tabelas. Este *software* é um dos mais utilizados no mundo para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

A versão do *software* utilizado nesse trabalho foi a 6.3.9 de 22 de julho de 2015. A interface inicial do *software* é apresentada na Figura 3.9, onde é pedido para que se escolha uma entre as quatro seções principais: Arranjo preliminar, Arranjo do projeto, Base de dados e Ferramentas. Como o objetivo do uso do PVsyst foi elaborar o arranjo fotovoltaico para analisar a geração de energia em cada reservatório, foi selecionado o botão Arranjo do projeto (*Project desing*).

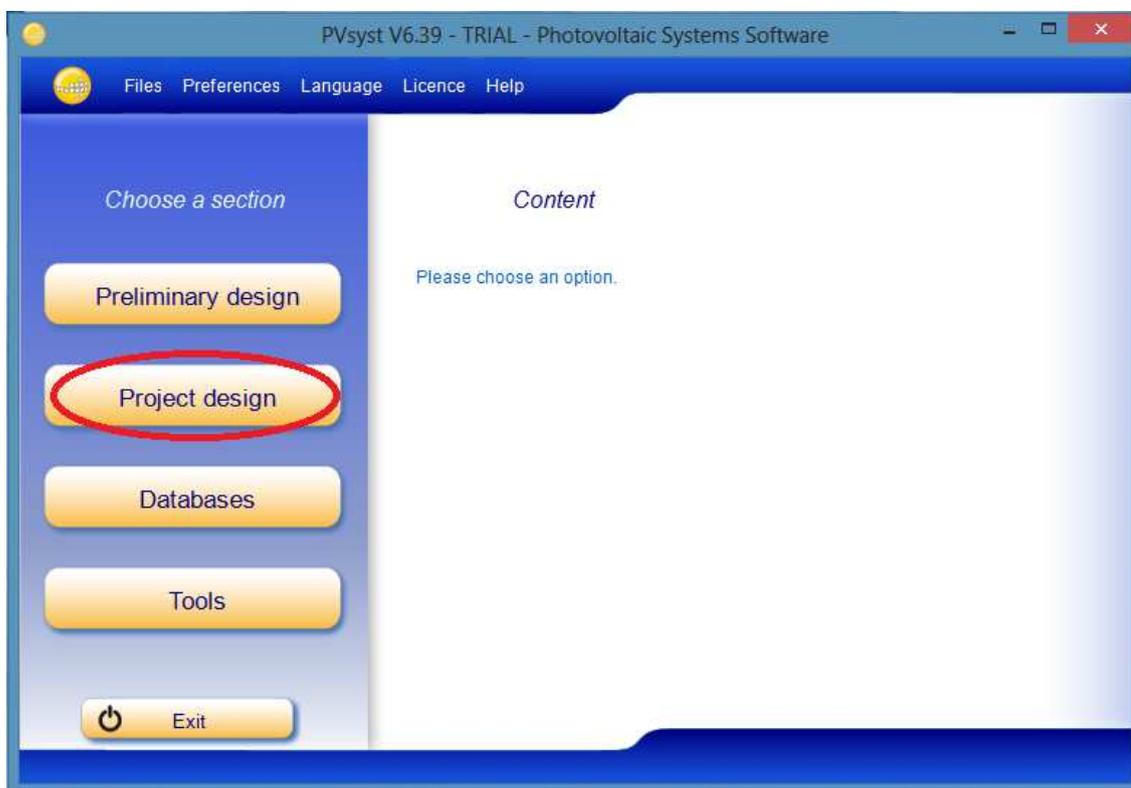


Figura 3.9: Tela inicial do PVsyst.

Fonte: elaboração própria a partir do *software* PVsyst.

Após selecionar esse botão, aparecem as escolhas de sistema possíveis (Figura 3.10): conectado à rede (*grid-connected*), desconectado (*stand alone*), bombeamento (*pumping*) e, rede CC (*DC grid*).

Como esse trabalho considera a possibilidade da energia gerada estar conectada ao sistema interligado nacional (SIN), será analisado o sistema conectado à rede.

Os parâmetros de entrada do PVsyst necessários para estimar a energia elétrica gerada nas usinas fotovoltaicas flutuantes, que podem ser instaladas nos reservatórios das hidrelétricas brasileiras, estão listados e descritos a seguir.

Parâmetro 1 - Localização geográfica: Este é um dos primeiros dados que o programa exige que seja indicado. Assim como Lopes (2013), foi utilizado o banco de dados do “GOOGLE MAPS” localizando geograficamente a cidade com latitude, longitude e altitude, pois, apesar das latitudes e longitudes serem conhecidas do SIGEL (ANEEL, 2015b), a altitude de cada hidrelétrica teria que ser encontrada em outra fonte já que o sistema não fornece esse dado. Os valores foram ajustados com o banco de dados do próprio *software* “Synthetic - Meteororm 7.1 (1991-2010)” que interpola valores de mais de 1.000 estações pelo mundo, ou pelo banco de dados da NASA: “NASA-SSE satellite data, 1983-2005”.



Figura 3.10: Segundo passo para realizar a montagem do Sistema no *software* PVsyst.

Fonte: elaboração própria a partir do *software* PVsyst.

Como o cálculo do potencial de geração e da energia gerada dependem dos valores de irradiação, esse é um dos dados fundamentais que o programa vai fornecer a partir de seu banco de dados. Então, o *software* já calcula a média mensal e anual da Irradiação Global, Irradiação Difusa e Temperatura. A Figura 3.11 mostra as etapas e telas realizadas no programa para a cidade de São Paulo, SP, como exemplo da sequência de procedimentos.

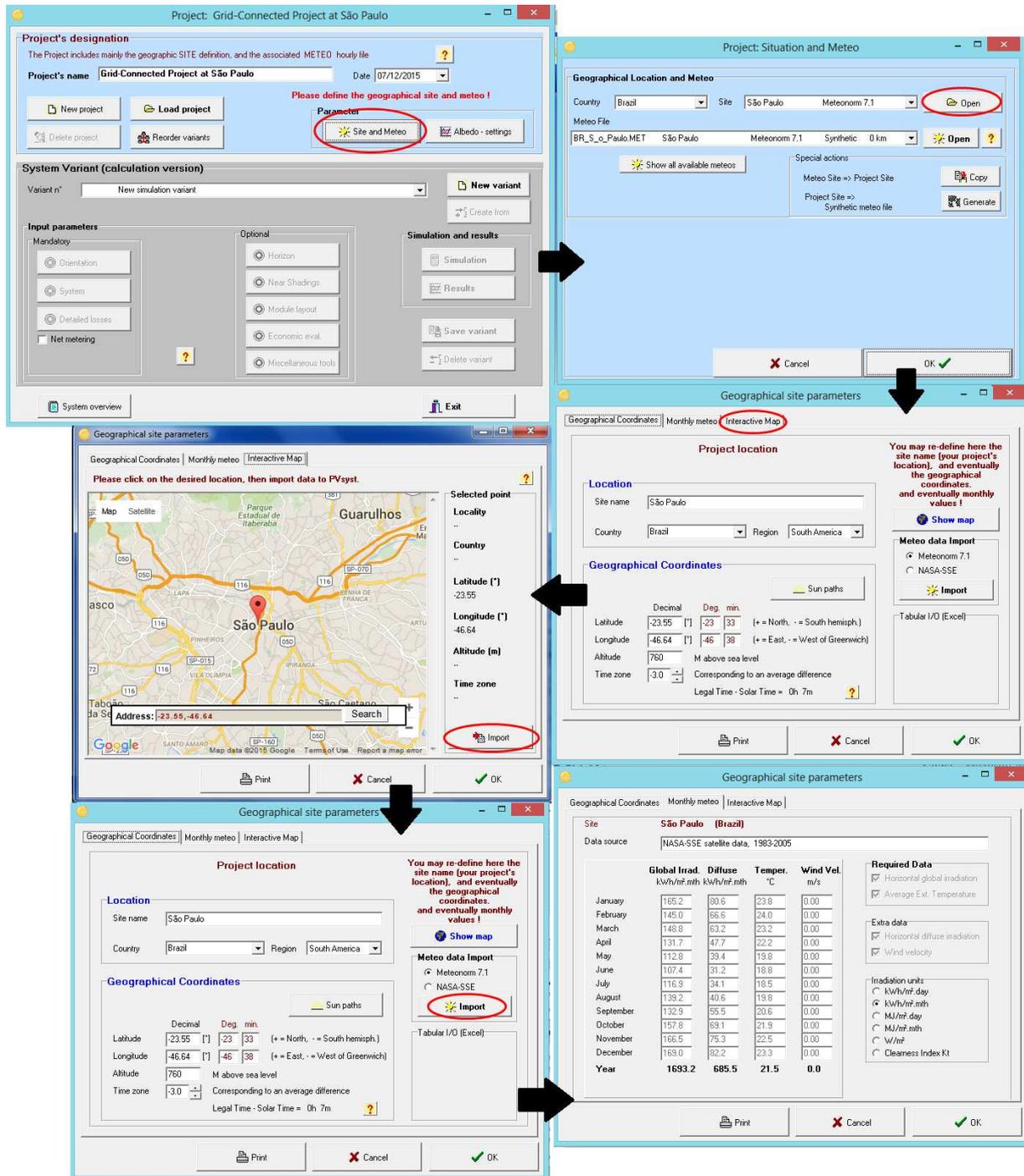


Figura 3.11: Etapas para definição de localização no PVsyst.

Fonte: Elaboração própria a partir do PVsyst.

Parâmetro 2 – Definição do Albedo: albedo (ou coeficiente de reflexão) é a razão entre a quantidade de irradiação refletida pela irradiação incidente em uma determinada superfície. Após realizar a etapa da definição da localização geográfica, o *software* permite que se escolha o valor do albedo onde será instalado o arranjo. Diferentes valores para várias condições de instalação já são oferecidos pelo *software*, mas também existe um campo para a inserção manual do valor (Figura 3.12). Segundo Leivas (2007), o albedo médio para um corpo d'água sem nebulosidade é de 0,124 no Rio Grande do Sul; Oliveira (2013) chegou a um valor de 0,051 para o albedo em corpo d'água na Bacia Amazônica; já Andrade (2014) observou um albedo de 0,08 a 0,10 em Rondônia. Dessa forma, optou-se por utilizar o valor 0,10 para o albedo no PVsyst, valor mediano arredondado entre os valores apresentados.

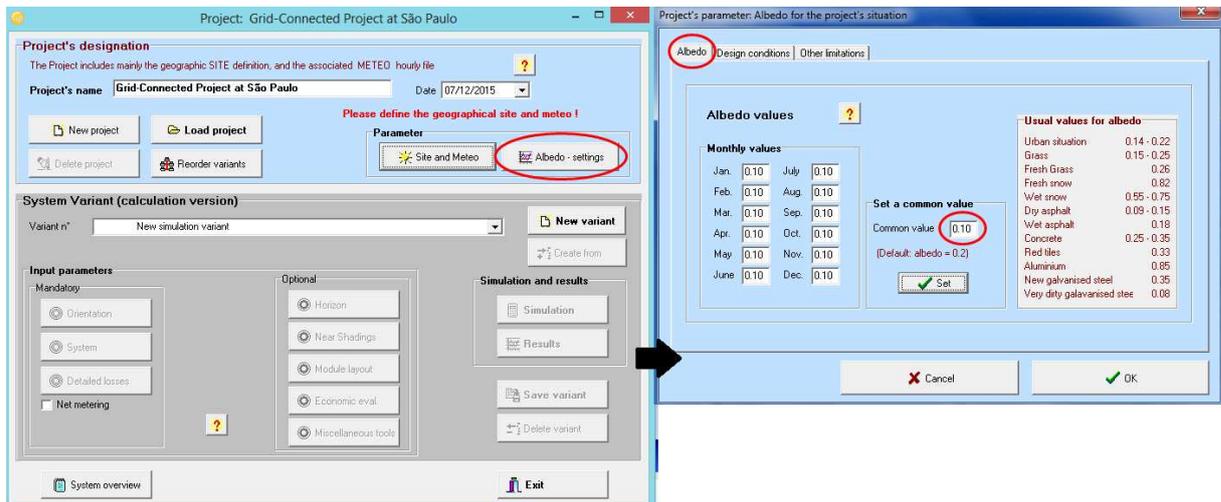


Figura 3.12: Definição de albedo para o sistema.

Fonte: Elaboração própria a partir do PVsyst.

Parâmetro 3 - Inclinação do módulo fotovoltaico (*plane tilt*) e azimute geográfico (angulação formada a partir do Norte Magnético). O próximo passo na configuração do sistema é a definição dos parâmetros a serem utilizados, e o primeiro foi a Orientação. Para essa definição adotou-se sistemas fixos, já que a maioria dos sistemas fotovoltaicos flutuantes instalados é desse tipo. O seguinte procedimento foi adotado para a definição do ângulo de inclinação: para cada hidrelétrica considerada foi aberta a janela de otimização do sistema, mostrada na Figura 3.13. Nessa janela, pode-se observar os gráficos de otimização a partir do ângulo de fixação do painel e do azimute geográfico. Dessa forma, os ângulos foram variados até a obtenção do maior valor, respeitando os índices de irradiação anual. O azimute

geográfico utilizado nas simulações foi de  $0^\circ$ , ou seja, considera-se que os módulos fotovoltaicos estavam sempre direcionados para o Norte Geográfico.

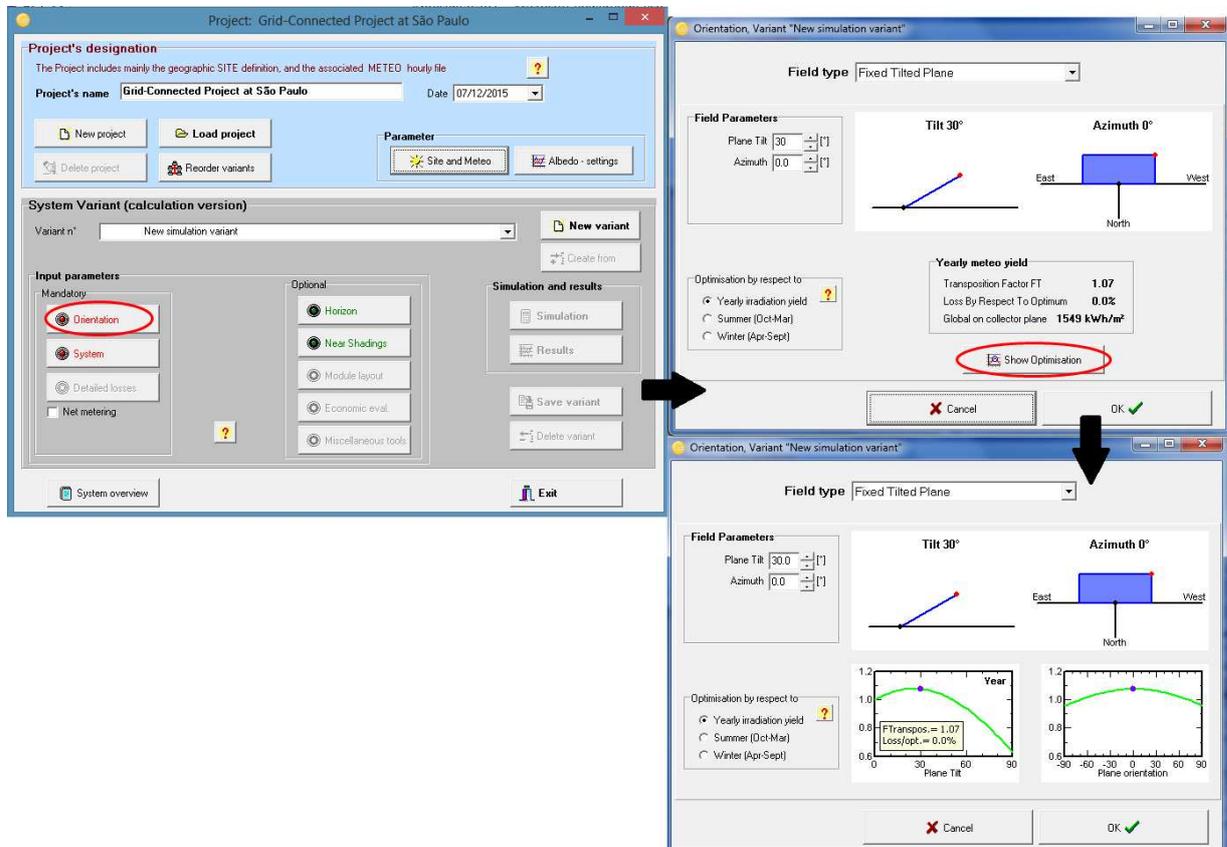


Figura 3.13: Processo de otimização por localização.

Fonte: Elaboração própria a partir do PVsyst.

Parâmetro 4 – Configuração do sistema: os últimos parâmetros para simular a energia elétrica gerada são os dados dos sistemas. Para este trabalho, como não há projeto pré-definido, foram adotados:

i) Área da instalação: como o sistema aceita até um valor máximo de  $100.000 \text{ m}^2$  ( $0,1 \text{ km}^2$ ), e existiam reservatórios menores do que esse valor, foi utilizado como padrão para calcular as produções para as localidades a área mínima ( $0,01 \text{ km}^2$  ou 1 há) foi tomada como padrão. Caso o reservatório analisado seja menor do que esse valor, ele será desconsiderado; do contrário, esse valor foi multiplicado proporcionalmente à área disponível do reservatório. Definiu-se como área disponível 80% da área real, considerando-se que 20% representam afastamentos regulamentares (tomadas de água, vertedouros, sistemas ancilares), irregularidades do contorno e áreas de aeração do reservatório.

ii) Seleção dos módulos fotovoltaicos: nesta seção é escolhida a tecnologia do painel fotovoltaico das empresas fabricantes dos diferentes módulos fotovoltaico (há um vasto banco de dados no próprio *software*). Nesse ponto foi escolhido o painel mais parecido com os últimos aplicados para o tipo de instalação estudada.

iii) Seleção do inversor de frequência (CC/CA): o banco de dados do *software* apresenta os fabricantes e modelos desse equipamento e, da mesma forma que a seleção dos módulos, para a seleção dos inversores foram utilizados dados observados nos projetos estudados e em projetos de instalações reais em solo.

Essas etapas de seleção de parâmetros do sistema podem ser observadas na Figura 3.14.

Como pode ser observado no final da Figura 3.14, após a definição de todos os parâmetros mencionados o programa fornece o número de painéis a ser utilizado, bem como a área total ocupada. Também é fornecida a potência total da usina.

A fim de se analisar e comparar o valor da energia teoricamente produzida pelo arranjo solar fotovoltaico flutuante proposto, nas áreas disponíveis, a partir do PVSyst com as contas teóricas presentes em outros estudos, foram utilizados três cálculos diferentes. Deve-se observar que neste momento não são analisadas a disposição dos painéis e nem as perdas no arranjo.

Na primeira forma, utiliza-se a Equação 2, dada no item 2.1 dessa tese.

Na segunda forma, calcula-se a energia elétrica produzida em um ano, utilizando o número de horas de insolação equivalente na Equação 4.

$$E.E = NHIE. 365. Pn \quad (\text{Equação 4})$$

onde:

NHIE = número de horas diárias de insolação equivalente (média anual);

E.E = energia elétrica gerada em MWh;

365 = número de dias de 1 ano;

Pn = potência nominal em MW<sub>p</sub>.

O número de horas de insolação equivalente para cada região do país está mostrado na Figura 2.5.

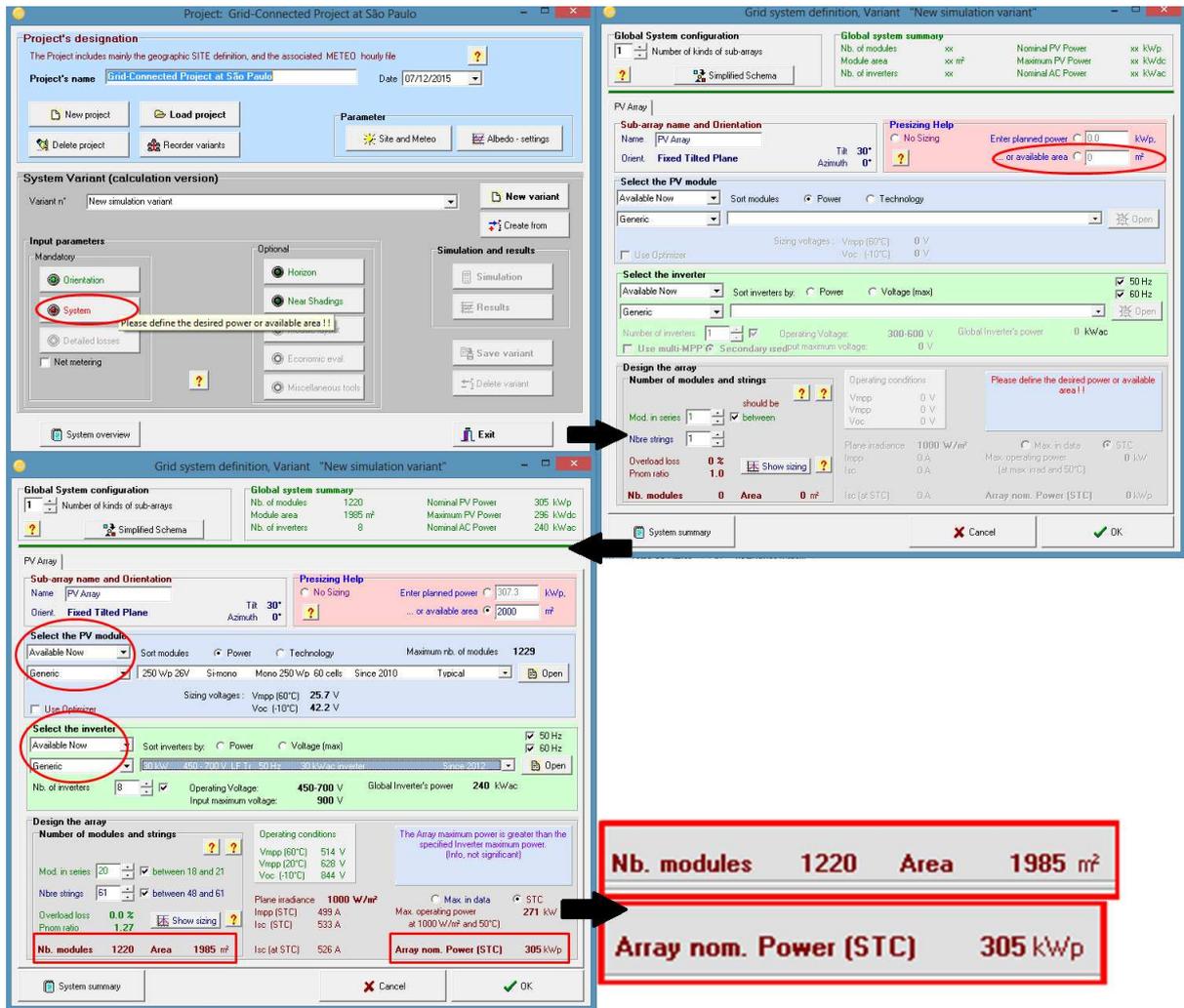


Figura 3.14: Parâmetros para configuração do sistema.

Fonte: Elaboração própria a partir do PVsyst.

Uma terceira forma de se obter a energia total produzida pelo sistema é pelo *software* PVsyst. Após a obtenção da potência do sistema, pode-se selecionar o botão simulação, de forma o que *software* mostrará os resultados obtidos, gerando um relatório que descreve o sistema e parâmetros definidos anteriormente, o número de módulos e de inversores utilizados no sistema, a produção e as perdas por mês de funcionamento, assim como a razão de desempenho, a potência por metro quadrado do sistema, a irradiação horizontal global, a temperatura ambiente, incidência global no plano resfriado, irradiação global corrigida pelas sombras, energia efetivamente de saída do arranjo, energia injetada na rede, percentual da energia de saída do arranjo pela área ocupada, percentual da energia de saída do sistema pela área ocupada, o diagrama de perdas durante o ano.

A Figura 3.15 mostra o processo desenvolvido no *software* para observar esses dados.

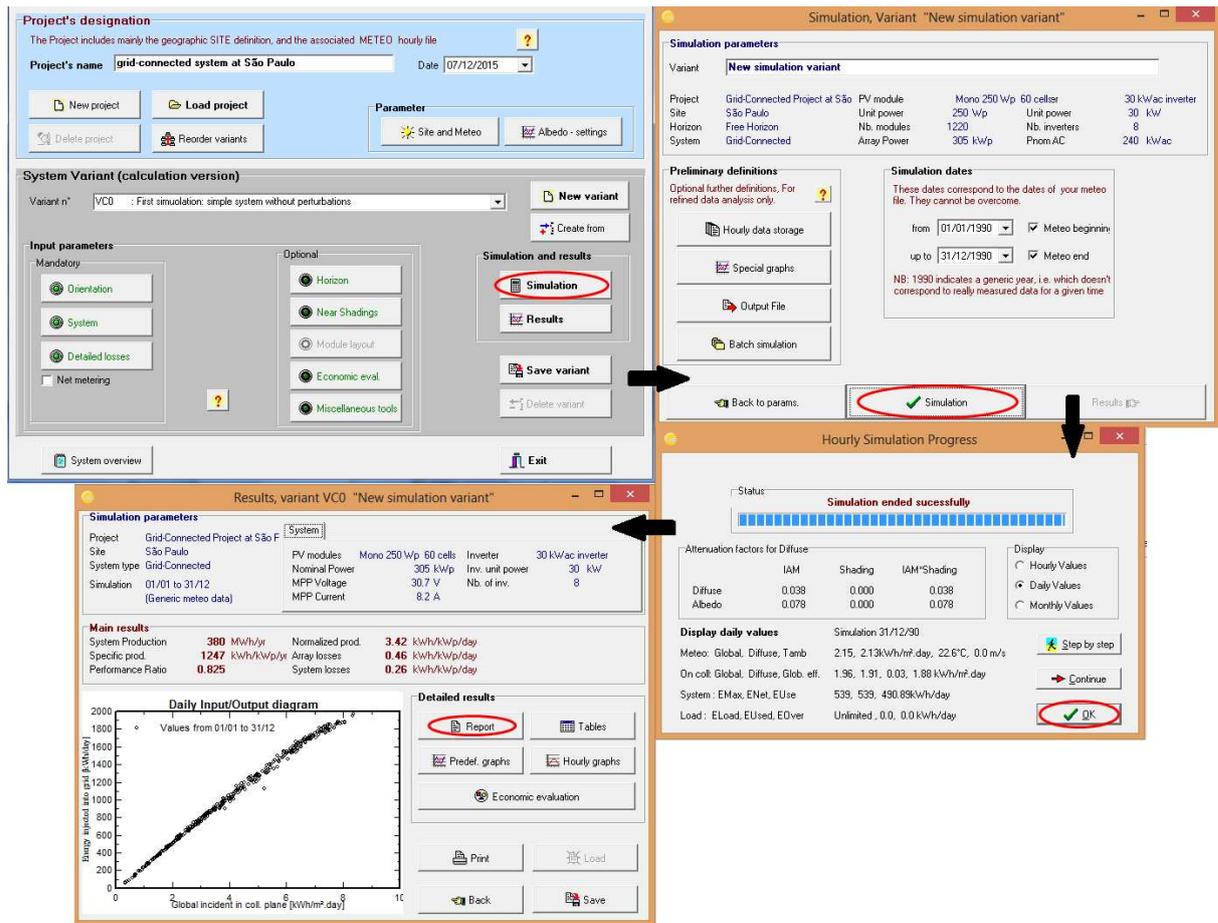


Figura 3.15: Procedimento para observar os dados da energia gerada.

Fonte: Elaboração própria a partir do PVsyst.

### 3.5 Cálculo dos potenciais brasileiros

Para a obtenção do potencial brasileiro, serão analisados os resultados obtidos principalmente a partir da realização do procedimento demonstrado no item 3.3 e da generalização desse procedimento para os arranjos que considerem os espaçamentos entre as fileiras de módulos, já que esse é o arranjo proposto para este trabalho.

Como já observado, ao se realizar os cálculos, é necessário lembrar que existe um valor máximo para a área informada no PVsyst, e como muitas das áreas de reservatórios estudadas ultrapassam esse valor, será realizada uma proporcionalidade com relação à área considerada como útil desse reservatório, ou seja, será observada a área total aproveitável desse reservatório e quantas vezes ela é maior do que ao arranjo montado no PVsyst.

Essa razão será utilizada para a obtenção do número de painéis solares fotovoltaicos totais a serem empreendidos no reservatório analisado, assim como para obter a área total utilizada e a potência nominal do reservatório.

Como foi observado no item 3.1, neste trabalho serão consideradas usinas com reservatórios iguais ou superiores a  $0,01 \text{ km}^2$ . Portanto, será construído um modelo básico de usina com essas dimensões no PVsyst ( $0,01 \text{ km}^2$ ) para análise da quantidade de painéis necessário, área ocupada, potência nominal e energia gerada por ano, onde os dados obtidos no *software* serão diretamente utilizados, tanto como valores finais quanto como fonte para os cálculos.

A partir desses procedimentos, serão então calculados os potenciais nominais de cada reservatório de cada usina em funcionamento no Brasil. Somando-se os valores unitários, será obtido então o valor total do potencial brasileiro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são mostrados e discutidos os resultados obtidos através do desenvolvimento do método proposto para essa Tese, apresentado no capítulo anterior. Eles estão divididos em seis etapas sequenciais:

- cálculo do potencial de geração por área de painel;
- cálculo da área ocupada por painéis nos reservatórios;
- cálculo do potencial de geração solar nos reservatórios;
- geração média na área considerada;
- estimativa do potencial por usina;
- estimativa do potencial brasileiro.

### 4.1 Cálculo do potencial de geração por área de painel

A partir da Equação 2, para a multiplicação  $A \cdot \eta$  obtém-se o valor de 0,245 ( $245 \text{ W}_p/1000 \text{ W.m}^{-2}$ ) para cada metro quadrado do painel escolhido (Kyocera KD245GX-LPB).

Aplicando-se esse valor na Equação 1 e utilizando-se as irradiações aferidas nas localidades dos reservatórios das usinas ( $H_T$ ), pode-se estimar a produção de energia fotovoltaica por metro quadrado de painel ( $\text{Wh.m}^{-2}$ ):

$$E_{\text{fot}} = 0,245 \cdot H_T$$

Utilizando o valor médio de irradiação solar diária obtido no item 2.1 pode-se chegar a um valor médio de energia por metro quadrado para a produção brasileira:  $0,245 \times 5,6 \text{ kWh.m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} = 1,372 \text{ kW.h.m}^{-2}$  diários, totalizando aproximadamente  $501 \text{ kWh.m}^{-2}$  anuais.

A segunda forma de obtenção desse valor é aplicando a Equação 4, que resultará na energia elétrica gerada a partir do número de horas de insolação equivalente e da potência nominal do painel:

$$E \cdot E = \text{NHIE} \cdot 365 \cdot 245 = \text{NHIE} \cdot 89425$$

Considerando-se a média de 5,6 horas de insolação diária média no Brasil (valor obtido e mostrado no item 2.1 dessa Tese), obtém-se  $5,6\text{h} \times 89.425 \text{ W}_p = 501 \text{ kW.h.m}^{-2}$  anuais, ou seja, o mesmo valor do cálculo anterior.

A terceira maneira de se obter esse valor é analisando os dados gerados pelo PVsyst, após a inserção e simulação dos parâmetros observados para cada localização (reservatório de usina). Esse método, apesar de estimativo, é bem mais complexo e elaborado que as médias descritas anteriormente, consequentemente mais preciso e por isso foi o adotado nesta Tese.

Inicialmente, para se comparar com os valores médios anteriores, foi realizada a simulação adotando os painéis horizontais ao solo, para a área mínima estabelecida ( $0,01 \text{ km}^2$ ), considerando a localização de cada usina e as perdas inerentes ao sistema, sem levar em conta a necessidade de espaçamento entre os painéis para evitar o sombreamento ou outras possíveis perdas.

A escolha da realização da simulação para a área mínima e não por painel, quando utilizado o PVsyst, foi necessária, já que o programa não disponibiliza a opção da realização da simulação para apenas um painel. O resultado da produção anual fornecido pelo programa, como mostrado na Figura 3.15, foi dividido pelo número de painéis, também fornecido pelo programa, e pela área de cada painel, que é de  $1,645 \text{ m}^2$ , conforme especificado no Anexo C. Os valores obtidos por essa terceira maneira, ordenados do maior para o menor reservatório, estão mostrados na Tabela 4.1, onde também são apresentadas as áreas totais de cada reservatório analisado (dados mais completos para cada reservatório podem ser observados nos Anexos A e B).

Pode-se observar que o valor médio da energia elétrica gerada pelo arranjo simulado no PVsyst ( $211 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ) diferiu do valor obtido pelos métodos 1 e 2 ( $501 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ), sendo que todos os valores encontrados estão entre 241 (Usina Sobradinho) e  $175 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  (Usinas Guaricana e Gov. Parigot de Souza). Portanto, essa diferença não pode ser atribuída exclusivamente à maior concentração de usinas (e seus reservatórios) nas Regiões Sul e Sudeste, como mostrado na Figura 3.3, com menores índices de irradiação. Tampouco apenas as perdas calculadas pelo programa, que não são levadas em consideração pelos outros métodos, como temperatura de operação, altitude, perdas elétricas, entre outras, podem explicar uma discrepância inferior à metade do valor dos métodos 1 e 2.

Tabela 4.1: Geração por área de painel para cada reservatório considerado.

Usina	Localização	Área Total do reservatório (km <sup>2</sup> )	Energia Elétrica (kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Balbina	Presidente Figueiredo – AM	4.437,72	200
Sobradinho	Sobradinho – BA	4.380,79	241
Tucuruí I e II	Tucuruí – PA	3.014,23	212
Porto Primavera	Anaurilândia - MS Teodoro Sampaio - SP	2.976,98	212
Furnas	São João Batista do Glória - MG São José da Barra - MG	1.406,26	221
Ilha Solteira	Ilha Solteira - SP Selvíria - MS	1.357,62	219
Serra da Mesa	Cavalcante - GO Minaçu - GO	1.254,09	222
Três Marias	Três Marias - MG	1.110,54	224
Itaipu (Parte Brasileira)	Foz do Iguaçu - PR	1.049,56	204
Luiz Gonzaga	Glória - BA Jatobá - PE Petrolândia - PE	839,40	231
Itumbiara	Araporã - MG Itumbiara - GO	749,12	226
São Simão	Santa Vitória - MG São Simão - GO	735,56	222
Luís Eduardo Magalhães	Miracema do Tocantins - TO Palmas - TO	703,94	216
Água Vermelha	Indiaporã - SP Iturama - MG Ouroeste - SP	673,63	223
Três Irmãos	Andradina - SP	669,59	219
Samuel	Porto Velho - RO	655,6	200
Capivara	Porecatu - PR Taciba - SP	609,73	216
Promissão	Ubarana - SP	572,72	221
Jurumirim	Cerqueira César - SP	470,42	213
Marimbondo	Fronteira - MG Içém - SP	452,38	223
Emborcação	Cascalho Rico - MG Catalão - GO	432,48	228
Manso	Chapada dos Guimarães - MT Rosário Oeste - MT	427,00	215
Nova Ponte	Nova Ponte - MG	397,41	224
Santo Antônio	Porto Velho - RO	396,24	200
Chavantes	Chavantes - SP Ribeirão Claro - PR	392,12	213
Boa Esperança	Guadalupe - PI São João dos Patos - MA	376,35	223
Jirau	Porto Velho - RO	354,42	201
Barra Bonita	Barra Bonita - SP	331,69	218
Jupia	Castilho - SP Três Lagoas - MS	321,68	219
Peixe Angical	Peixe - TO São Salvador do Tocantins - TO	318,45	224
Marechal Mascarenhas de Moraes	Delfinópolis - MG Ibiraci - MG	269,48	222
Rosana	Diamante do Norte - PR Rosana - SP	261,44	214
Passo Real	Salto do Jacuí - RS	248,82	198
Nova Avanhandava	Buritama - SP	218,04	220
Salto Santiago	Saudade do Iguaçu - PR	213,65	206

Usina	Localização	Área Total do reservatório (km <sup>2</sup> )	Energia Elétrica (kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Pedra do Cavalo	Cachoeira - BA Governador Mangabeira - BA	198,89	211
Paraibuna	Paraibuna - SP	197,62	192
Volta Grande	Conceição das Alagoas - MG Miguelópolis - SP	196,68	224
Corumbá IV	Luziânia - GO	186,51	224
Governador Bento Munhoz da Rocha Neto	Guarapuava - PR Mangueirinha - PR Pinhão - PR	165,07	206
Teles Pires	Jacareacanga - PA Paranaíta - MT	150,00	200
Porto Colômbia	Guaíra - SP Planura - MG	148,94	224
Irapé	Berilo - MG Grão Mogol - MG	148,81	225
Passo Fundo	Entre Rios do Sul - RS	141,07	202
Governador José Richa	PR Capitão Leônidas Marques - PR Realeza - PR Salto do Lontra - PR	140,99	204
Henry Borden	Cubatão - SP	135,58	218
Itá	Aratiba - RS Itá - SC	126,32	203
Ibitinga	Ibitinga - SP	126,06	222
Curuá-Una	Santarém - PA	121,00	218
Taquaruçu (Escola Politécnica)	Sandovalina - SP Santa Inês - PR	110,26	216
Barra Grande	Anita Garibaldi - SC Esmeralda - RS	99,99	203
São Salvador	Paraná - TO São Salvador do Tocantins - TO	99,65	230
Apolônio Sales	Delmiro Gouveia - AL Santa Brígida - BA	94,96	231
Machadinho	Maximiliano de Almeida - RS Piratuba - SC	89,33	202
Pedra	Jequié - BA	89,17	218
Governador Ney Aminthas de Barros Braga	Guarapuava - PR Mangueirinha - PR Pinhão - PR	84,82	206
Rondon II	Pimenta Bueno - RO	75,87	204
Corumbá III	Luziânia - GO	70,38	224
Cachoeira Dourada	Cachoeira Dourada - GO Itumbiara - GO	64,70	226
Corumbá I	Caldas Novas - GO Corumbá - GO	62,80	227
Itapebi	Itapebi - BA	62,48	205
Cana Brava	Cavalcante - GO Minaçu - GO	61,05	222
Salto	Caçu - GO Itarumã - GO	60,24	218
Salto Osório	Quedas do Iguaçu - PR	59,90	204
Xingó	Canindé de São Francisco - SE Piranhas - AL	58,94	233
Bariri	Boracéia - SP	58,35	219
Miranda	Indianópolis - MG Uberlândia - MG	53,04	224
Camargos	Itutinga - MG Nazareno - MG	50,47	217
Estreito	Pedregulho - SP Sacramento - MG	46,56	226

Usina	Localização	Área Total do reservatório (km <sup>2</sup> )	Energia Elétrica (kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Jaguari	Jacareí - SP	46,39	191
Santa Branca	Jacareí - SP Santa Branca - SP	46,39	191
Amador Aguiar II	Araguari - MG Uberlândia - MG	43,55	226
Funil	Itatiaia - RJ Resende - RJ	43,18	205
Jaguara	Rifaina - SP Sacramento - MG	41,56	226
Igarapava	Conquista - MG Igarapava - SP	40,94	225
Campos Novos	Abdon Batista - SC Anita Garibaldi - SC Campos Novos - SC Celso Ramos - SC	40,76	203
Funil	Lavras - MG Perdões - MG	40,49	218
Paranoá	Brasília - DF	39,11	226
Fontes Nova	Piraí - RJ	37,07	196
Aimorés	Aimorés - MG Baixo Guandu - ES	36,88	202
Caconde	Caconde - SP	36,30	221
Queimado	Cristalina - GO Unaí - MG	36,25	226
Canoas I	Cândido Mota - SP Itamaracá - PR	30,75	218
Coaracy Nunes	Ferreira Gomes - AP Macapá - AP	30,37	209
Garibaldi	Abdon Batista - SC	28,50	202
Espora	Aporé - GO Serranópolis - GO	28,06	218
Cajuru	Carmo do Cajuru - MG Divinópolis - MG	27,00	222
Canoas II	Andirá - PR Palmital - SP	25,71	217
Itupararanga	Votorantim - SP	25,27	207
Santa Clara	Candói - PR Pinhão - PR	24,69	204
Dona Francisca	Agudo - RS Nova Palma - RS	22,30	199
Pitinga	Presidente Figueiredo - AM	22,00	197
Amador Aguiar I	Araguari - MG Uberlândia - MG	20,66	227
Passo São João	Dezesseis de Novembro - RS Roque Gonzales - RS	20,60	204
Pirajú	Piraju - SP	17,13	213
Baguari	Alpercata - MG Fernandes Tourinho - MG Governador Valadares - MG Iapu - MG Periquito - MG Sobrália - MG	16,65	205
Bugres	Canela - RS	16,33	190
Assis Chateaubriand	Ribas do Rio Pardo - MS	16,00	214
Paulo Afonso IV	Delmiro Gouveia - AL Paulo Afonso - BA	15,92	231
Ponte de Pedra	Itiquira - MT Sonora - MS	15,62	219
Governador Parigot de Souza (Capivari/Cachoeira)	Antonina - PR	15,61	175
Salto Grande (Lucas Nogueira Garcez)	Cambará - PR Salto Grande - SP	14,91	218
Itaúba	Pinhal Grande - RS	13,83	198
França	Juquitiba - SP	12,70	207
Ferreira Gomes	Ferreira Gomes - AP	11,67	209
Barra do Braúna	Recreio - MG	11,64	198
Caveiras	Lages - SC	10,40	197
São João	Itaú de Minas - MG	9,78	221

Usina	Localização	Área Total do reservatório (km <sup>2</sup> )	Energia Elétrica (kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Santa Clara	Nanuque - MG Serra dos Aimorés - MG	8,79	203
Engenheiro José Luiz Muller de Godoy Pereira	Caçu - GO São Simão - GO	8,39	218
Lobo	Itirapina - SP	7,00	218
Fumaça	Ibiúna - SP	6,92	207
14 de Julho	Bento Gonçalves - RS Cotiporã - RS	6,65	192
Quebra Queixo	Ipuacu - SC São Domingos - SC	6,22	203
Castro Alves	Nova Pádua - RS Nova Roma do Sul - RS	6,21	192
Funil	Ubaitaba - BA	6,16	208
Salto Grande	Braúnas - MG	5,72	204
Jacuí	Salto do Jacuí - RS	5,47	198
Alzir dos Santos Antunes	Faxinalzinho - RS Nonoai - RS	5,46	202
Paulo Afonso I, II e III	Delmiro Gouveia - AL Paulo Afonso - BA	5,19	232
Guaporé	Pontes e Lacerda - MT	5,09	212
Ourinhos	Jacarezinho - PR Ourinhos - SP	5,09	218
Jauru	Indiavaí - MT Jauru - MT	4,62	210
Mascarenhas	Aimorés - MG Baixo Guandu - ES	4,19	202
Itiquira (Casas de Forças I e II)	Itiquira - MT	3,85	219
João Camilo Penna	Raul Soares - MG	3,78	203
Porto Estrela	Açucena - MG Braúnas - MG Joanésia - MG	3,77	204
Ilha dos Pombos	Além Paraíba - MG Carmo - RJ	3,70	199
Vigário (Elevatória/Potência de bombeamento 90.820 kW)	Piraí - RJ	3,24	196
Palmeiras	Rio dos Cedros - SC	3,12	181
Jurupará	Ibiúna - SP Piedade - SP	2,90	207
Risoleta Neves (Antiga Candonga)	Rio Doce - MG Santa Cruz do Escalvado - MG	2,82	203
Juba II	Barra do Bugres - MT Tangará da Serra - MT	2,78	209
Rosal	Bom Jesus do Itabapoana - RJ Guaçuí - ES São José do Calçado - ES	2,77	202
Fundão	Foz do Jordão - PR Pinhão - PR	2,73	204
Salto do Iporanga	Juquiá - SP	2,69	177
Sá Carvalho	Antônio Dias - MG	2,60	204
Limoeiro (Armando Salles de Oliveira)	São José do Rio Pardo - SP	2,49	222
Glória	Muriaé - MG	2,44	198
Rio Bonito	Santa Maria de Jetibá - ES	2,20	194
São Domingos	São Domingos - GO	2,13	231
Serraria	Juquiá - SP	2,13	177

Usina	Localização	Área Total do reservatório (km <sup>2</sup> )	Energia Elétrica (kWh.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Monte Claro	Bento Gonçalves - RS Veranópolis - RS	2,11	192
Barra	Tapiraí - SP	2,02	207
Santa Cecília (Elevatória/Potência de bombeamento 34.960 kW)	Barra do Piraí - RJ	1,60	195
Porto Raso	Tapiraí - SP	1,59	207
Alecrim	Miracatu - SP	1,54	177
Paranapanema	Piraju - SP	1,49	213
Guaricana	Guaratuba - PR	1,42	175
Itutinga	Itutinga - MG Nazareno - MG	1,41	217
Rio do Peixe (Casa de Força I e II)	São José do Rio Pardo - SP	1,36	222
Rasgão	Pirapora do Bom Jesus - SP	1,15	202
Guilman-Amorim	Antônio Dias - MG Nova Era - MG	1,10	204
Picada	Juiz de Fora - MG	1,09	206
Pereira Passos	Piraí - RJ	1,07	196
Euclides da Cunha	São José do Rio Pardo - SP	1,06	222
Brecha	Guaraciaba - MG	1,00	215
Canastra	Canela - RS	1,00	190
Juba I	Barra do Bugres - MT Tangará da Serra - MT	0,92	209
Monjolinho	São Carlos - SP	0,90	219
Casca III	Chapada dos Guimarães - MT	0,37	216
Monte Alto	Passos - MG	0,27	221
Muniz Freire	Muniz Freire - ES	0,20	199
Porto Góes	Salto - SP	0,16	207
Suíça	Santa Leopoldina - ES	0,14	195
<b>Energia Elétrica Média Gerada (kWh.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>			<b>211</b>

Fonte: Elaboração própria.

Conclui-se que essa diferença deve ser atribuída, principalmente, aos valores das bases de dados utilizadas. De fato, os valores de irradiação média diária fornecidos por Pereira (2006), indicados por região geográfica brasileira na Tabela 2.1, são superiores a outras bases de dados, como aquelas do Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA et. al., 2000), cujos limites de irradiação média no país estão no intervalo de 2,22 a 6,11 kWh.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, enquanto que para Pereira esse intervalo é de 4,25 a 6,5 kWh.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. Infelizmente os dados do Atlas Solarimétrico do Brasil não permitem o cálculo de uma média única para o Brasil.

Dessa forma, com a utilização do *software*, que leva em consideração todos os valores disponíveis para cada localidade, obter-se-ão valores mais realistas para esse trabalho.

## 4.2 Cálculo das áreas ocupadas por painéis nos reservatórios

Pôde-se notar que existem 165 empreendimentos com área útil (80% da área total) acima da definida como base para esse trabalho (0,01 km<sup>2</sup>). Quando as áreas dos reservatórios foram analisadas, pôde-se perceber que os 40 maiores reservatórios concentram 60% das áreas consideradas e que, quando se amplia essa percepção para os 80 maiores, veem-se representadas 98% da totalidade das áreas estudadas. Dessa forma, pode-se perceber que a maior parte da potência fotovoltaica flutuante a ser instalada, nos moldes considerados nesse trabalho, se concentra em apenas 80 reservatórios, menos da metade do total.

Apesar disso, a proposta deste estudo foi analisar a totalidade dos empreendimentos para a obtenção das áreas ocupadas por painéis fotovoltaicos flutuantes nos reservatórios. Para se obter este valor foram consideradas as áreas de todos os 165 reservatórios e adotados 80% de cada uma como áreas úteis máximas, como justificado no Capítulo 3, o que se configura como um cenário alto para o potencial brasileiro de produção de energia elétrica através dessa tecnologia.

Também foi considerada a possibilidade de aplicação dessa tecnologia em apenas 10% da área útil máxima, valor que foi adotado como área mínima de aproveitamento (8% da área total do reservatório, realizando a mesma análise descrita anteriormente), o que resultou na estimativa de um potencial solar fotovoltaico flutuante mínimo para os reservatórios brasileiros, ou seja, um cenário baixo para o potencial brasileiro.

Dessa forma, foram obtidos, para a totalidade dos reservatórios analisados, os valores mostrados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Área total considerada dos reservatórios com área superior a 0,01 km<sup>2</sup>.

Área total (km <sup>2</sup> )	Área útil (km <sup>2</sup> )	Área mínima (km <sup>2</sup> )
37.922,95	30.338,36	3.033,84

Fonte: Elaboração própria.

As áreas mostradas na Tabela 4.2 são as totais para instalação, devendo-se descontar os espaçamentos entre as fileiras de painéis fotovoltaicos flutuantes para se chegar ao valor da área efetivamente ocupada por esses equipamentos.

Com relação ao sombreamento, o *software* PVsyst também foi utilizado para a obtenção desses valores. Como o objetivo era analisar e identificar um distanciamento genérico para os painéis, considerou-se suficiente analisar apenas os 20 maiores reservatórios, já que o distanciamento depende da inclinação da localização geográfica e estes reservatórios

estão distribuídos por praticamente todos os estados da União. Os valores obtidos nessa análise de sombreamento estão apresentados na Tabela 4.3.

Pode-se notar que, geralmente, para maiores ângulos de inclinação do painel são obtidas maiores perdas devido ao sombreamento. Para uma mesma latitude geográfica esse sombreamento não difere muito, e ainda é possível observar na Tabela 4.3 que a maior redução de perdas ocorre quando o espaçamento entre as fileiras de painéis é alterado de 1 metro para 1,5 metros. Como não há tanta variação no percentual perdido quando o espaçamento é ampliado para 2 metros, infere-se que muito espaço está sendo utilizado para pouco aumento de produtividade.

Então, após essa constatação, foi adotado o espaçamento de 1,5 m entre as fileiras de painéis e assumiu-se que não são necessárias análises específicas para a verificação de espaçamento para a passarela de manutenção entre os painéis a partir dos 10° de inclinação, já que os painéis estarão espaçados suficientemente para a sua existência (o painel escolhido tem 0,99 m de largura e a passarela de 0,5 m).

Tabela 4.3: Análise do distanciamento dos painéis.

Usina	Inclinação ótima do painel	Perdas devido ao sombreamento para espaçamento de:		
		1 metro	1,50 metro	2 metros
Balbina	10°	4,40%	0,60%	0,40%
Tucuruí I e II	12°	5,30%	0,80%	0,50%
Luiz Gonzaga	15°	6,30%	1,20%	0,70%
Sobradinho	15°	6,50%	1,10%	0,70%
Samuel	17°	8,20%	1,70%	1,00%
Serra da Mesa	23°	11,60%	2,60%	1,60%
Porto Primavera	25°	13,40%	3,30%	2,00%
Três Marias	26°	13,60%	3,30%	2,10%
Itaipu (Parte Brasileira)	26°	14,10%	3,70%	2,30%
Luís Eduardo Magalhães	27°	11,90%	3,40%	2,20%
São Simão	27°	13,70%	3,50%	2,30%
Itumbiara	27°	13,80%	3,50%	2,20%
Marimbondo	27°	14,00%	3,50%	2,30%
Água Vermelha	27°	14,00%	3,60%	2,30%
Três Irmãos	27°	14,10%	3,60%	2,30%
Promissão	27°	14,30%	3,60%	2,30%
Capivara	27°	14,40%	3,70%	2,30%
Furnas	27°	14,80%	3,70%	2,30%
Jurumirim	28°	15,20%	4,10%	2,60%
Ilha Solteira	30°	15,00%	4,30%	2,80%

Fonte: Elaboração própria.

A partir dessas considerações e do que foi discutido no item 3.4, utilizando o PVsyst para uma área de aproximadamente  $0,01 \text{ km}^2$  obteve-se um arranjo de 6.076 painéis, organizados em 434 fileiras de 14 painéis (Figura 4.1), para o qual são necessários 3 inversores. Uma vez que cada painel tem 1,662 m de comprimento, cada fileira de 14 painéis tem 23,27 m de comprimento. Portanto, cada fileira, incluindo o respectivo espaçamento de 1,5 m, tem uma área de  $57,9 \text{ m}^2$ , o que totaliza, para todo o arranjo, com 434 fileiras, uma área total de  $15.149 \text{ m}^2$ :

$$\text{Área total do arranjo} = 23,27 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 434 = 15.149 \text{ m}^2.$$

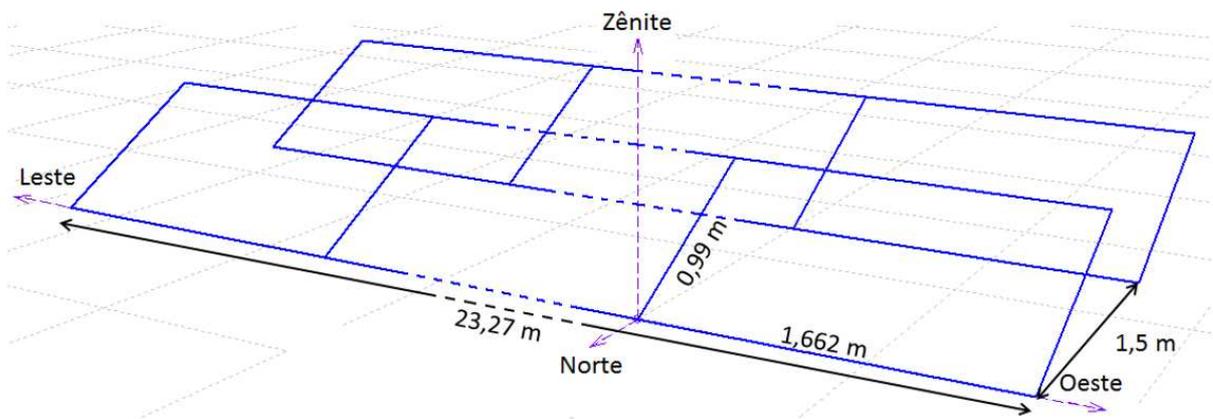


Figura 4.1: Disposição dos painéis fotovoltaicos no arranjo adotado.

Fonte: elaboração própria a partir do *software* PVsyst.

É necessário perceber que  $9.997 \text{ m}^2$  dessa área representam apenas os painéis instalados. Dessa forma, pôde-se calcular a porcentagem ocupada por painéis do arranjo a ser instalado.

$$\text{Porcentagem ocupada pelos painéis} = 9.997 \text{ m}^2 / 15.149 \text{ m}^2 = 0,66 \text{ ou } 66\%$$

O arranjo simulado tem potência de pico estimada em  $1.489 \text{ kW}_P$  ( $245 \text{ W}_P \times 6.076$ ).

Calculando a porcentagem de 66% sobre os valores das áreas dos reservatórios analisados, foram obtidos os valores de áreas máximas e mínimas de painéis que podem ser instalados em cada reservatório. Esses valores estão sistematizados na Tabela 4.4, organizados em ordem decrescente.

Eventuais distorções de valores observados na Tabela 4.4 são devidas aos arredondamentos efetuados nos valores finais encontrados para cada área máxima e mínima de cada reservatório.

Tabela 4.4: Área ocupada pelos painéis nos reservatórios.

Usina	Área máx do reservatório (km <sup>2</sup> )	Área mínima do reservatório (km <sup>2</sup> )	Área máx de painéis (km <sup>2</sup> )	Área mínima de painéis (km <sup>2</sup> )
Balbina	3.550,18	355,02	2.343,12	234,31
Sobradinho	3.504,63	350,46	2.313,06	231,31
Tucuruí I e II	2.411,38	241,14	1.591,51	159,15
Porto Primavera	2.381,58	238,16	1.571,85	157,18
Furnas	1.125,01	112,50	742,51	74,25
Ilha Solteira	1.086,10	108,61	716,82	71,68
Serra da Mesa	1.003,27	100,33	662,16	66,22
Três Marias	888,43	88,84	586,37	58,64
Itaipu (Parte Brasileira)	839,65	83,96	554,17	55,42
Luiz Gonzaga	671,52	67,15	443,20	44,32
Itumbiara	599,30	59,93	395,54	39,55
São Simão	588,45	58,84	388,38	38,84
Luís Eduardo Magalhães	563,15	56,32	371,68	37,17
Água Vermelha	538,90	53,89	355,68	35,57
Três Irmãos	535,67	53,57	353,54	35,35
Samuel	524,48	52,45	346,16	34,62
Capivara	487,78	48,78	321,94	32,19
Promissão	458,18	45,82	302,40	30,24
Jurumirim	376,34	37,63	248,38	24,84
Marimbondo	361,90	36,19	238,86	23,89
Emborcação	345,98	34,60	228,35	22,83
Manso	341,60	34,16	225,46	22,55
Nova Ponte	317,93	31,79	209,83	20,98
Santo Antônio	316,99	31,70	209,22	20,92
Chavantes	313,70	31,37	207,04	20,70
Boa Esperança	301,08	30,11	198,71	19,87
Jirau	283,54	28,35	187,13	18,71
Barra Bonita	265,35	26,54	175,13	17,51
Jupiá	257,34	25,73	169,85	16,98
Peixe Angical	254,76	25,48	168,14	16,81
Marechal Mascarenhas de Moraes	215,58	21,56	142,29	14,23
Rosana	209,15	20,92	138,04	13,80
Passo Real	199,06	19,91	131,38	13,14
Nova Avanhandava	174,43	17,44	115,13	11,51
Salto Santiago	170,92	17,09	112,81	11,28
Pedra do Cavalo	159,11	15,91	105,01	10,50
Paraibuna	158,10	15,81	104,34	10,43
Volta Grande	157,34	15,73	103,85	10,38
Corumbá IV	149,21	14,92	98,48	9,85
Governador Bento Munhoz da Rocha Neto	132,06	13,21	87,16	8,72
Teles Pires	120,00	12,00	79,20	7,92
Porto Colômbia	119,15	11,92	78,64	7,86

Usina	Área máx do reservatório (km <sup>2</sup> )	Área mínima do reservatório (km <sup>2</sup> )	Área máx de painéis (km <sup>2</sup> )	Área mínima de painéis (km <sup>2</sup> )
Irapé	119,05	11,90	78,57	7,86
Passo Fundo	112,86	11,29	74,49	7,45
Governador José Richa	112,79	11,28	74,44	7,44
Henry Borden	108,46	10,85	71,59	7,16
Itá	101,06	10,11	66,70	6,67
Ibitinga	100,85	10,08	66,56	6,66
Curuá-Una	96,80	9,68	63,89	6,39
Taquaruçu (Escola Politécnica)	88,21	8,82	58,21	5,82
Barra Grande	79,99	8,00	52,79	5,28
São Salvador	79,72	7,97	52,62	5,26
Apolônio Sales	75,97	7,60	50,14	5,01
Machadinho	71,46	7,15	47,17	4,72
Pedra	71,34	7,13	47,08	4,71
Governador Ney Aminthas de Barros Braga	67,86	6,79	44,79	4,48
Rondon II	60,70	6,07	40,06	4,01
Corumbá III	56,30	5,63	37,16	3,72
Cachoeira Dourada	51,76	5,18	34,16	3,42
Corumbá I	50,24	5,02	33,16	3,32
Itapebi	49,98	5,00	32,99	3,30
Cana Brava	48,84	4,88	32,23	3,22
Salto	48,19	4,82	31,81	3,18
Salto Osório	47,92	4,79	31,63	3,16
Xingó	47,15	4,72	31,12	3,11
Bariri	46,68	4,67	30,81	3,08
Miranda	42,43	4,24	28,01	2,80
Camargos	40,38	4,04	26,65	2,66
Estreito	37,25	3,72	24,58	2,46
Jaguari	37,11	3,71	24,49	2,45
Santa Branca	37,11	3,71	24,49	2,45
Amador Aguiar II	34,84	3,48	22,99	2,30
Funil	34,54	3,45	22,80	2,28
Jaguara	33,25	3,32	21,94	2,19
Igarapava	32,75	3,28	21,62	2,16
Campos Novos	32,61	3,26	21,52	2,15
Funil	32,39	3,24	21,38	2,14
Paranoá	31,29	3,13	20,65	2,07
Fontes Nova	29,66	2,97	19,57	1,96
Aimorés	29,50	2,95	19,47	1,95
Caconde	29,04	2,90	19,17	1,92
Queimado	29,00	2,90	19,14	1,91
Canoas I	24,60	2,46	16,24	1,62
Coaracy Nunes	24,30	2,43	16,04	1,60
Garibaldi	22,80	2,28	15,05	1,50
Espora	22,45	2,24	14,82	1,48
Cajuru	21,60	2,16	14,26	1,43
Canoas II	20,57	2,06	13,57	1,36
Itupararanga	20,22	2,02	13,34	1,33
Santa Clara	19,75	1,98	13,04	1,30
Dona Francisca	17,84	1,78	11,77	1,18
Pitinga	17,60	1,76	11,62	1,16

Usina	Área máx do reservatório (km <sup>2</sup> )	Área mínima do reservatório (km <sup>2</sup> )	Área máx de painéis (km <sup>2</sup> )	Área mínima de painéis (km <sup>2</sup> )
Amador Aguiar I	16,53	1,65	10,91	1,09
Passo São João	16,48	1,65	10,88	1,09
Pirajú	13,70	1,37	9,04	0,90
Baguari	13,32	1,33	8,79	0,88
Bugres	13,06	1,31	8,62	0,86
Assis Chateaubriand	12,80	1,28	8,45	0,84
Paulo Afonso IV	12,74	1,27	8,41	0,84
Ponte de Pedra	12,50	1,25	8,25	0,82
Governador Parigot de Souza (Capivari/Cachoeira)	12,49	1,25	8,24	0,82
Salto Grande (Lucas Nogueira Garcez)	11,93	1,19	7,87	0,79
Itaúba	11,06	1,11	7,30	0,73
França	10,16	1,02	6,71	0,67
Ferreira Gomes	9,34	0,93	6,16	0,62
Barra do Braúna	9,31	0,93	6,15	0,61
Caveiras	8,32	0,83	5,49	0,55
São João	7,82	0,78	5,16	0,52
Santa Clara	7,03	0,70	4,64	0,46
Engenheiro José Luiz Muller de Godoy Pereira	6,71	0,67	4,43	0,44
Lobo	5,60	0,56	3,70	0,37
Fumaça	5,54	0,55	3,65	0,37
14 de Julho	5,32	0,53	3,51	0,35
Quebra Queixo	4,98	0,50	3,28	0,33
Castro Alves	4,97	0,50	3,28	0,33
Funil	4,93	0,49	3,25	0,33
Salto Grande	4,58	0,46	3,02	0,30
Jacuí	4,38	0,44	2,89	0,29
Alzir dos Santos Antunes	4,37	0,44	2,88	0,29
Paulo Afonso I, II e III	4,15	0,42	2,74	0,27
Guaporé	4,07	0,41	2,69	0,27
Ourinhos	4,07	0,41	2,69	0,27
Jauru	3,70	0,37	2,44	0,24
Mascarenhas	3,35	0,34	2,21	0,22
Itiquira (Casas de Forças I e II)	3,08	0,31	2,03	0,20
João Camilo Penna	3,02	0,30	2,00	0,20
Porto Estrela	3,02	0,30	1,99	0,20
Ilha dos Pombos	2,96	0,30	1,95	0,20
Vigário (Elevatória/Potência de bombeamento 90.820 kW)	2,59	0,26	1,71	0,17
Palmeiras	2,50	0,25	1,65	0,16
Jurupará	2,32	0,23	1,53	0,15
Risoleta Neves (Antiga Candonga)	2,26	0,23	1,49	0,15
Juba II	2,22	0,22	1,47	0,15
Rosal	2,22	0,22	1,46	0,15
Fundão	2,18	0,22	1,44	0,14
Salto do Iporanga	2,15	0,22	1,42	0,14

Usina	Área máx do reservatório (km <sup>2</sup> )	Área mínima do reservatório (km <sup>2</sup> )	Área máx de painéis (km <sup>2</sup> )	Área mínima de painéis (km <sup>2</sup> )
Sá Carvalho	2,08	0,21	1,37	0,14
Limoeiro (Armando Salles de Oliveira)	1,99	0,20	1,31	0,13
Glória	1,95	0,20	1,29	0,13
Rio Bonito	1,76	0,18	1,16	0,12
São Domingos	1,70	0,17	1,12	0,11
Serraria	1,70	0,17	1,12	0,11
Monte Claro	1,69	0,17	1,11	0,11
Barra	1,62	0,16	1,07	0,11
Santa Cecília (Elevatória/Potência de bombeamento 34.960 kW)	1,28	0,13	0,84	0,08
Porto Raso	1,27	0,13	0,84	0,08
Alecrim	1,23	0,12	0,81	0,08
Paranapanema	1,19	0,12	0,79	0,08
Guaricana	1,14	0,11	0,75	0,07
Itutinga	1,13	0,11	0,74	0,07
Rio do Peixe (Casa de Força I e II)	1,09	0,11	0,72	0,07
Rasgão	0,92	0,09	0,61	0,06
Guilman-Amorim	0,88	0,09	0,58	0,06
Picada	0,87	0,09	0,58	0,06
Pereira Passos	0,86	0,09	0,56	0,06
Euclides da Cunha	0,85	0,08	0,56	0,06
Brecha	0,80	0,08	0,53	0,05
Canastra	0,80	0,08	0,53	0,05
Juba I	0,74	0,07	0,49	0,05
Monjolinho	0,72	0,07	0,48	0,05
Casca III	0,30	0,03	0,20	0,02
Monte Alto	0,22	0,02	0,14	0,01
Muniz Freire	0,16	0,02	0,11	0,01
Porto Góes	0,13	0,01	0,08	0,01
Suíça	0,11	0,01	0,07	0,01
<b>Total</b>	<b>30.338,35</b>	<b>3.033,86</b>	<b>20.042,51</b>	<b>2.004,20</b>

Fonte: Elaboração própria.

### 4.3 Cálculo do potencial de geração solar nos reservatórios

A fim de se comparar a geração por quilômetro quadrado do arranjo analisado nessa tese com os desenvolvidos em outras localidades, montou-se a Tabela 4.5, na qual pode-se verificar a relação  $MW_p$  instalados por  $km^2$  para os arranjos fotovoltaicos flutuantes existentes em outros países, conforme descrito no Capítulo 2. Os arranjos fotovoltaicos que

foram considerados são os desenvolvidos a partir de 2013, para os quais as informações necessárias ao cálculo da relação  $MW_p.km^{-2}$  estavam disponíveis.

Tabela 4.5:  $MW_p$  instalados por  $km^2$  de arranjo.

<b>Instalação</b>	<b>kWp</b>	<b>ha</b>	<b><math>MW_p.km^{-2}</math></b>
Okegawa – Japão	1.176,36	1,16	<b>101,41</b>
Kawagoe – Japão	696,15	0,80	<b>87,02</b>
Maeno-Ike - Japão	848,00	0,98	<b>86,53</b>
SheepLands Farm – Reino Unido	200,00	0,21	<b>95,24</b>
Yothathikan – Tailândia	5,39	0,01	<b>53,90</b>
Yasugi – Japão	1.097,60	1,25	<b>87,81</b>
Calcutá – Índia	10,00	0,01	<b>100,00</b>
O-Chang – Coréia do Sul	494,50	0,56	<b>88,30</b>
Kato-Shi – Japão	2.870,28	3,13	<b>91,70</b>
Sawa-Ike – Japão	1.008,00	1,14	<b>88,42</b>
Sakasama-Ike – Japão	2.313,36	2,61	<b>88,63</b>
Fuku-Ike – Japão	1.076,40	1,11	<b>96,97</b>
Hirai-Ike – Japão	1.125,00	1,26	<b>89,29</b>
Hanamidai – Japão	1.153,11	1,26	<b>91,52</b>
Funatsu Osawa – Japão	1.485,00	1,69	<b>87,87</b>
Umenoki – Japão	7.750,40	7,43	<b>104,31</b>
<b>Média (<math>MW_p.km^{-2}</math>)</b>			<b>89,93</b>

Fonte: Elaboração própria.

Para o arranjo simulado neste trabalho, teoricamente seriam obtidos  $98,30 MW_p.km^{-2}$  ( $1.489 kW_p$  distribuídos em uma área de  $15.147 m^2$ ), valor superior ao médio obtido na Tabela 4.5, mas inferior a alguns arranjos já instalados, mostrando que é um valor plausível para as condições e análises realizadas. Esse fator pode aumentar ou diminuir dependendo da localização, que levaria a uma alteração no espaçamento de fileiras de painéis fotovoltaicos, promovendo um aumento ou diminuição da energia gerada por área.

A fim de se poder comparar os valores da potência de geração solar fotovoltaica flutuante com o potencial instalado até o momento no país, multiplicou-se a média obtida na Tabela 4.5 com os valores de áreas disponíveis mostrados na Tabela 4.2.

$$\text{Potência de geração máxima} = 89,93 MW_p.km^{-2} \times 30.338,36 km^2 \cong 2.700 GW_p$$

$$\text{Potência de geração mínima} = 89,93 MW_p.km^{-2} \times 3.033,84 km^2 \cong 270 GW_p$$

Para o valor obtido para o arranjo simulado, os resultados seriam ainda melhores já que a relação de  $\text{MW}_P \cdot \text{km}^{-2}$  é maior ( $98,30 \text{ MW}_P \cdot \text{km}^{-2}$ ).

$$\text{Potência de geração máxima} = 98,30 \text{ MW}_P \cdot \text{km}^{-2} \times 30.338,36 \text{ km}^2 \cong 3.000 \text{ GW}_P$$

$$\text{Potência de geração mínima} = 98,30 \text{ MW}_P \cdot \text{km}^{-2} \times 3.033,84 \text{ km}^2 \cong 300 \text{ GW}_P$$

Para efeito de comparação, segundo a Aneel (2016a) o Brasil possui 4.448 empreendimentos em operação, totalizando 142 GW de potência instalada. Deve-se observar que não é possível comparar as potências de pico com as potências instaladas, uma vez que esta última pode produzir energia de forma contínua, enquanto a primeira ocorre apenas durante um período do dia. Portanto, mesmo de forma genérica, é necessário estabelecer uma proporcionalidade entre essas duas potências.

Através da simulação apresentada na Figura 3.14, pôde-se verificar que um sistema de  $305 \text{ kW}_P$  produziria na cidade de São Paulo 380 MWh durante um ano, o que equivale a  $43,4 \text{ kW}_{\text{médios}}$  (potência média obtida se o painel tivesse uma produção fixa ao longo das 24 horas do dia). Portanto, nesse caso, tem-se uma relação entre a potência de pico e a média de 7:1.

Essa relação também é dada no PVsyst no formato de  $\text{kWh} \cdot \text{kW}_P^{-1}$  anuais. Os valores fornecidos pelo *software* e o fator de capacidade, para as usinas analisadas, considerando a simulação em que não são consideradas a inclinação e o distanciamento dos painéis ( $0,01 \text{ km}^2$  de painéis), estão apresentados na Tabela 4.6.

Pode-se observar que a relação entre  $\text{kW}_P$  e  $\text{kW}_{\text{médio}}$  para as usinas observadas foi mais próximo de 6 do que de 7 (caso de São Paulo, descrito anteriormente). Dessa forma o valor 6 será considerado para o restante dos cálculos que dependam dessa relação.

Aplicando-se essa relação aos valores encontrados para os sistemas fotovoltaicos, obtém-se, respectivamente,  $450 \text{ GW}_{\text{médios}}$  e  $45 \text{ GW}_{\text{médios}}$  para o valor médio considerado ou, respectivamente,  $500 \text{ GW}_{\text{médios}}$  e  $50 \text{ GW}_{\text{médios}}$  para o arranjo simulado.

Também se nota uma geração média de  $2.106 \text{ MWh} \cdot \text{ano}^{-1}$  para cada hectare ( $0,01 \text{ km}^2$ ) de painéis instalados, ou, utilizando novamente a relação de 66% (área de painéis pela área total do arranjo),  $1.390 \text{ MWh} \cdot \text{ano}^{-1}$  por hectare de arranjo instalado.

Com relação ao fator de capacidade médio obtido, pode-se observar que foi bem próximo aos 17% comentados na introdução deste trabalho.

Tabela 4.6: Relação entre potência de pico por potência média e fator de capacidade.

Usina	Energia gerada pelo arranjo simulado (MWh.ano <sup>-1</sup> )	kW <sub>médio</sub>	kW <sub>p</sub> /kW <sub>médio</sub>	Fator de capacidade
Balbina	2.001	228,42	6,52	15%
Sobradinho	2.407	274,77	5,42	18%
Tucuruí I e II	2.122	242,24	6,15	16%
Porto Primavera (Eng <sup>o</sup> Sérgio Motta)	2.119	241,89	6,16	16%
Furnas	2.212	252,51	5,90	17%
Ilha Solteira	2.189	249,89	5,96	17%
Serra da Mesa	2.215	252,85	5,89	17%
Três Marias	2.242	255,94	5,82	17%
Itaipu (Parte Brasileira)	2.039	232,76	6,40	16%
Luiz Gonzaga (Itaparica)	2.309	263,58	5,65	18%
Itumbiara	2.259	257,88	5,77	17%
São Simão	2.224	253,88	5,86	17%
Luís Eduardo Magalhães (Lajeado)	2.163	246,92	6,03	17%
Água Vermelha	2.225	254,00	5,86	17%
Três Irmãos	2.187	249,66	5,96	17%
Samuel	2.003	228,65	6,51	15%
Capivara (Escola de Engenharia Mackenzie)	2.159	246,46	6,04	17%
Promissão (Mário Lopes Leão)	2.205	251,71	5,92	17%
Jurumirim (Armando Avellanal Laydner)	2.131	243,26	6,12	16%
Marimbondo	2.225	254,00	5,86	17%
Emborcação	2.283	260,62	5,71	18%
Manso	2.149	245,32	6,07	16%
Nova Ponte	2.241	255,82	5,82	17%
Santo Antônio	2.003	228,65	6,51	15%
Chavantes	2.130	243,15	6,12	16%
Boa Esperança	2.226	254,11	5,86	17%
Jirau	2.011	229,57	6,49	15%
Barra Bonita	2.181	248,97	5,98	17%
Jupia (Eng <sup>o</sup> Souza Dias)	2.194	250,46	5,95	17%
Peixe Angical	2.244	256,16	5,81	17%
Marechal Mascarenhas de Moraes	2.217	253,08	5,88	17%
Rosana	2.136	243,84	6,11	16%
Passo Real	1.978	225,80	6,59	15%
Nova Avanhandava (Rui Barbosa)	2.200	251,14	5,93	17%
Salto Santiago	2.058	234,93	6,34	16%
Pedra do Cavalo	2.112	241,10	6,18	16%
Paraibuna	1.916	218,72	6,81	15%
Volta Grande	2.238	255,48	5,83	17%
Corumbá IV	2.240	255,71	5,82	17%
Governador Bento Munhoz da Rocha Neto (Foz do Areia)	2.061	235,27	6,33	16%
Teles Pires	1.999	228,20	6,53	15%
Porto Colômbia	2.236	255,25	5,83	17%
Irapé	2.245	256,28	5,81	17%

Usina	Energia gerada pelo arranjo simulado (MWh.ano <sup>-1</sup> )	kW <sub>médio</sub>	kW <sub>p</sub> /kW <sub>médio</sub>	Fator de capacidade
Passo Fundo	2.022	230,82	6,45	16%
Governador José Richa	2.043	233,22	6,38	16%
Henry Borden	2.184	249,32	5,97	17%
Itá	2.027	231,39	6,43	16%
Ibitinga	2.224	253,88	5,86	17%
Curuá-Una	2.183	249,20	5,98	17%
Taquaruçu (Escola Politécnica)	2.158	246,35	6,04	17%
Barra Grande	2.026	231,28	6,44	16%
São Salvador	2.295	261,99	5,68	18%
Apolônio	2.308	263,47	5,65	18%
Machadinho	2.024	231,05	6,44	16%
Pedra	2.175	248,29	6,00	17%
Governador Ney Aminthas de Barros Braga	2.061	235,27	6,33	16%
Rondon II	2.041	232,99	6,39	16%
Corumbá III	2.238	255,48	5,83	17%
Cachoeira Dourada	2.261	258,11	5,77	17%
Corumbá I	2.267	258,79	5,75	17%
Itapebi	2.045	233,45	6,38	16%
Cana Brava	2.220	253,42	5,88	17%
Salto	2.176	248,40	5,99	17%
Salto Osório	2.043	233,22	6,38	16%
Xingó	2.329	265,87	5,60	18%
Bariri	2.186	249,54	5,97	17%
Miranda	2.237	255,37	5,83	17%
Camargos	2.174	248,17	6,00	17%
Estreito	2.260	257,99	5,77	17%
Jaguari	1.913	218,38	6,82	15%
Santa Branca	1.913	218,38	6,82	15%
Amador Aguiar II	2.257	257,65	5,78	17%
Funil	2.047	233,68	6,37	16%
Jaguara	2.258	257,76	5,78	17%
Igarapava	2.248	256,62	5,80	17%
Campos Novos	2.027	231,39	6,43	16%
Funil	2.178	248,63	5,99	17%
Paranoá	2.263	258,33	5,76	17%
Fontes Nova	1.956	223,29	6,67	15%
Aimorés	2.021	230,71	6,45	15%
Caconde	2.207	251,94	5,91	17%
Queimado	2.256	257,53	5,78	17%
Canoas I	2.175	248,29	6,00	17%
Coaracy Nunes	2.093	238,93	6,23	16%
Garibaldi	2.022	230,82	6,45	16%
Espora	2.179	248,74	5,99	17%
Cajuru	2.224	253,88	5,86	17%
Canoas II	2.174	248,17	6,00	17%
Itupararanga	2.071	236,42	6,30	16%
Santa Clara	2.043	233,22	6,38	16%
Dona Francisca	1.986	226,71	6,57	15%
Pitinga	1.969	224,77	6,62	15%
Amador Aguiar I	2.267	258,79	5,75	17%
Passo São João	2.038	232,65	6,40	16%

Usina	Energia gerada pelo arranjo simulado (MWh.ano <sup>-1</sup> )	kW <sub>médio</sub>	kW <sub>p</sub> /kW <sub>médio</sub>	Fator de capacidade
Pirajú	2.130	243,15	6,12	16%
Baguari	2.053	234,36	6,35	16%
Bugres	1.895	216,32	6,88	15%
Assis Chateaubriand	2.139	244,18	6,10	16%
Paulo Afonso IV	2.311	263,81	5,64	18%
Ponte de Pedra	2.190	250,00	5,96	17%
Governador Parigot de Souza (Capivari/Cachoeira)	1.751	199,89	7,45	13%
Salto Grande (Lucas Nogueira Garcez)	2.178	248,63	5,99	17%
Itaúba	1.983	226,37	6,58	15%
França	2.070	236,30	6,30	16%
Ferreira Gomes	2.093	238,93	6,23	16%
Barra do Braúna	1.984	226,48	6,57	15%
Caveiras	1.974	225,34	6,61	15%
São João	2.213	252,63	5,89	17%
Santa Clara	2.026	231,28	6,44	16%
Engenheiro José Luiz Muller de Godoy Pereira	2.177	248,52	5,99	17%
Lobo	2.176	248,40	5,99	17%
Fumaça	2.071	236,42	6,30	16%
14 de Julho	1.921	219,29	6,79	15%
Quebra Queixo	2.030	231,74	6,43	16%
Castro Alves	1.918	218,95	6,80	15%
Funil	2.078	237,21	6,28	16%
Salto Grande	2.044	233,33	6,38	16%
Jacuí	1.981	226,14	6,58	15%
Alzir dos Santos Antunes	2.022	230,82	6,45	16%
Paulo Afonso I, II e III	2.315	264,27	5,63	18%
Guaporé	2.119	241,89	6,16	16%
Ourinhos	2.178	248,63	5,99	17%
Jauru	2.096	239,27	6,22	16%
Mascarenhas	2.023	230,94	6,45	16%
Itiquira (Casas de Forças I e II)	2.190	250,00	5,96	17%
João Camilo Penna	2.027	231,39	6,43	16%
Porto Estrela	2.044	233,33	6,38	16%
Ilha dos Pombos	1.987	226,83	6,56	15%
Vigário (Elevatória/Potência de bombeamento 90.820 kW)	1.957	223,40	6,67	15%
Palmeiras	1.811	206,74	7,20	14%
Jurupará	2.071	236,42	6,30	16%
Risoleta Neves (Antiga Candonga)	2.026	231,28	6,44	16%
Juba II	2.091	238,70	6,24	16%
Rosal	2.017	230,25	6,47	15%
Fundão	2.043	233,22	6,38	16%
Salto do Iporanga	1.769	201,94	7,37	14%
Sá Carvalho	2.042	233,11	6,39	16%
Limoeiro (Armando Salles de Oliveira)	2.217	253,08	5,88	17%
Glória	1.979	225,91	6,59	15%
Rio Bonito	1.942	221,69	6,72	15%

Usina	Energia gerada pelo arranjo simulado (MWh.ano <sup>-1</sup> )	kW <sub>médio</sub>	kW <sub>p</sub> /kW <sub>médio</sub>	Fator de capacidade
São Domingos	2.309	263,58	5,65	18%
Serraria	1.769	201,94	7,37	14%
Monte Claro	1.921	219,29	6,79	15%
Barra	2.068	236,07	6,31	16%
Santa Cecília (Elevatória/Potência de bombeamento 34.960 kW)	1.954	223,06	6,68	15%
Porto Raso	2.068	236,07	6,31	16%
Alecrim	1.769	201,94	7,37	14%
Parapanema	2.130	243,15	6,12	16%
Guaricana	1.752	200,00	7,45	13%
Itutinga	2.174	248,17	6,00	17%
Rio do Peixe (Casa de Força I e II)	2.217	253,08	5,88	17%
Rasgão	2.020	230,59	6,46	15%
Guilman-Amorim	2.042	233,11	6,39	16%
Picada	2.061	235,27	6,33	16%
Pereira Passos	1.957	223,40	6,67	15%
Euclides da Cunha	2.217	253,08	5,88	17%
Brecha	2.152	245,66	6,06	16%
Canastra	1.895	216,32	6,88	15%
Juba I	2.091	238,70	6,24	16%
Monjolinho	2.188	249,77	5,96	17%
Casca III	2.157	246,23	6,05	17%
Monte Alto	2.213	252,63	5,89	17%
Muniz Freire	1.987	226,83	6,56	15%
Porto Góes	2.074	236,76	6,29	16%
Suíça	1.951	222,72	6,69	15%
<b>Valores médios</b>	<b>2.106</b>	<b>240,36</b>	<b>6,19</b>	<b>16%</b>

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.4 Geração média na área considerada.

A partir dos dados obtidos com o *software* PVsyst, pode-se simular a geração anual de energia elétrica das usinas, caso estivessem instaladas nos reservatórios descritos nessa tese. Com isso, é possível obter qual seria a geração de energia elétrica média em cada reservatório, já que são conhecidos os valores da geração e da área dos reservatórios.

Para isso, foram colocados no *software* os valores correspondentes às localizações dos reservatórios e foi realizado um desenho esquemático do arranjo. Como observado no item 3.4, utilizou-se a área 0,01 km<sup>2</sup> de painéis para essa construção e a realização da simulação e,

com o desenho esquematizado, pôde-se considerar as perdas por sombreamentos também, além das inerentes ao sistema, já observadas anteriormente.

Apesar o inversor escolhido ter sido o Ingeteam modelo IngeconSun 500 TL U X275, a simulação não pode ser rodada com ele pois o PVsyst alertava que o  $V_{mpp}$  do arranjo a 60°C era muito menor do que a tensão mínima operacional do inversor. Dessa forma, buscou-se outro inversor próximo a este e que se adequasse à construção utilizada como base para a simulação, substituindo-o pelo inversor Ingeteam modelo Ingecon Sun 500 TL U X208 outdoor, que opera com menores tensões a 60°C, suportando o arranjo testado. Para esse inversor a única mensagem apresentada pelo PVsyst é que ele estava ligeiramente superdimensionado, o que não impede o *software* de rodar a simulação.

Para a montagem do desenho esquemático do arranjo também foi encontrada uma dificuldade: o número máximo de linhas de painéis que o sistema aceita é 200. Como já explicado no item 4.2, o arranjo sugerido pelo *software* indicava uma construção de 434 linhas com 14 painéis ligados em série em cada uma delas. Dessa forma, considerando a estabilidade que o arranjo deve ter para que a sua fluutuabilidade e sistema de ancoragem não fiquem comprometidos, optou-se por um arranjo que teria o centro de gravidade mais próximo ao centro do sistema, desenhando-se três sistemas, que seriam encaixados um ao lado do outro. Dois deles teriam 145 linhas de 14 painéis e um deles teria 144 linhas de 14 painéis.

Como o programa retorna o valor da energia produzida por ano pelo arranjo considerado (tendo 9.997 m<sup>2</sup> como área de painel), para se estimar a energia por quilômetro quadrado são necessários alguns cálculos.

Inicialmente, deve-se transformar a área de painéis em quilômetros quadrados; após, para se determinar a área total do arranjo, é necessário dividir o valor encontrado por 0,66 (devido ao fator de 66% da área total do arranjo corresponder à área efetivamente ocupada pelos painéis).

Dessa forma:

$$\text{Área do arranjo} = 9.997 \times 10^{-6} \times 0,66^{-1} \cong 0,015 \text{ km}^2$$

Em seguida, deve-se dividir o valor da energia gerada para cada localidade pelo valor da área obtida acima. Dessa forma, o valor da energia por área será dado em MWh.km<sup>-2</sup>. Como se pode observar que números muito grandes serão obtidos a partir desse cálculo, indica-se a divisão do valor encontrado por mil, sendo o resultado final em GWh.km<sup>-2</sup>.

Com a realização desses cálculos e esquematizações efetuados, os dados obtidos foram organizados na Tabela 4.7, em ordem decrescente de área de reservatório. É importante lembrar que neste ponto do trabalho já estão sendo considerados os painéis inclinados e as perdas pelo sombreamento, podendo-se notar um aumento na produção. Dessa forma, conclui-se que as perdas com sombreamento são menores do que as perdas de geração dos painéis devido à eficiência reduzida pela falta de inclinação.

Também houve um ligeiro aumento no valor do  $kW_{\text{médio}}$  (de 240,36 para 248,15) e uma ligeira redução no valor da razão  $kW_{\text{pico}}/kW_{\text{médio}}$  (de 6,19 para 6,00). O aumento no valor do  $kW_{\text{médio}}$  pode ser explicado pelo aumento da geração por área, devido à incidência mais direta da luz solar nos painéis, o que também justifica a redução no valor da razão  $kW_{\text{pico}}/kW_{\text{médio}}$ .

Tabela 4.7: Geração media por área considerada e fator de capacidade.

Usina	Energia gerada pelo arranjo (MWh.ano <sup>-1</sup> )	$kW_{\text{médio}}$	$kW_p/kW_{\text{médio}}$	Energia.área <sup>-1</sup> (GWh.km <sup>-2</sup> )	Fator de capacidade
Balbina	1.993	227,51	6,54	132	15%
Sobradinho	2.427	277,05	5,37	160	19%
Tucuruí I e II	2.126	242,69	6,14	140	16%
Porto Primavera	2.211	252,40	5,90	146	17%
Furnas	2.307	263,36	5,65	152	18%
Ilha Solteira	2.241	255,82	5,82	148	17%
Serra da Mesa	2.268	258,90	5,75	150	17%
Três Marias	2.314	264,16	5,64	153	18%
Itaipu (Parte Brasileira)	2.124	242,47	6,14	140	16%
Luiz Gonzaga	2.307	263,36	5,65	152	18%
Itumbiara	2.328	265,75	5,60	154	18%
São Simão	2.294	261,87	5,69	151	18%
Luís Eduardo Magalhães	2.305	263,13	5,66	152	18%
Água Vermelha	2.305	263,13	5,66	152	18%
Três Irmãos	2.272	259,36	5,74	150	17%
Samuel	2.019	230,48	6,46	133	15%
Capivara	2.242	255,94	5,82	148	17%
Promissão	2.298	262,33	5,68	152	18%
Jurumirim	2.218	253,20	5,88	146	17%
Marimbondo	2.308	263,47	5,65	152	18%
Emborcação	2.329	265,87	5,60	154	18%
Manso	2.167	247,37	6,02	143	17%
Nova Ponte	2.319	264,73	5,62	153	18%
Santo Antônio	2.016	230,14	6,47	133	15%
Chavantes	2.215	252,85	5,89	146	17%
Boa Esperança	2.236	255,25	5,83	148	17%

Usina	Energia gerada pelo arranjo (MWh.ano <sup>-1</sup> )	kW <sub>médio</sub>	kW <sub>p</sub> /kW <sub>médio</sub>	Energia.área <sup>-1</sup> (GWh.km <sup>-2</sup> )	Fator de capacidade
Jirau	2.033	232,08	6,42	134	16%
Barra Bonita	2.284	260,73	5,71	151	18%
Jupia	2.271	259,25	5,74	150	17%
Peixe Angical	2.289	261,30	5,70	151	18%
Marechal Mascarenhas de Moraes	2.308	263,47	5,65	152	18%
Rosana	2.215	252,85	5,89	146	17%
Passo Real	2.065	235,73	6,32	136	16%
Nova Avanhandava	2.296	262,10	5,68	152	18%
Salto Santiago	2.133	243,49	6,12	141	16%
Pedra do Cavalo	2.126	242,69	6,14	140	16%
Paraibuna	1.982	226,26	6,58	131	15%
Volta Grande	2.321	264,95	5,62	153	18%
Corumbá IV	2.294	261,87	5,69	151	18%
Governador Bento Munhoz da Rocha Neto	2.072	236,53	6,30	137	16%
Teles Pires	2.018	230,37	6,46	133	15%
Porto Colômbia	2.321	264,95	5,62	153	18%
Irapé	2.284	260,73	5,71	151	18%
Passo Fundo	2.093	238,93	6,23	138	16%
Governador José Richa	2.122	242,24	6,15	140	16%
Henry Borden	2.113	241,21	6,17	139	16%
Itá	2.091	238,70	6,24	138	16%
Ibitinga	2.325	265,41	5,61	153	18%
Curuá-Una	2.184	249,32	5,97	144	17%
Taquaruçu (Escola Politécnica)	2.237	255,37	5,83	148	17%
Barra Grande	2.108	240,64	6,19	139	16%
São Salvador	2.351	268,38	5,55	155	18%
Apolônio	2.317	264,50	5,63	153	18%
Machadinho	2.096	239,27	6,22	138	16%
Pedra	2.195	250,57	5,94	145	17%
Governador Ney Aminthas de Barros Braga	2.131	243,26	6,12	141	16%
Rondon II	2.063	235,50	6,32	136	16%
Corumbá III	2.298	262,33	5,68	152	18%
Cachoeira Dourada	2.331	266,10	5,60	154	18%
Corumbá I	2.339	267,01	5,58	154	18%
Itapebi	2.068	236,07	6,31	137	16%
Cana Brava	2.269	259,02	5,75	150	17%
Salto	2.240	255,71	5,82	148	17%
Salto Osório	2.150	245,43	6,07	142	16%
Xingó	2.347	267,92	5,56	155	18%
Bariri	2.285	260,84	5,71	151	18%
Miranda	2.328	265,75	5,60	154	18%
Camargos	2.256	257,53	5,78	149	17%

Usina	Energia gerada pelo arranjo (MWh.ano <sup>-1</sup> )	kW <sub>médio</sub>	kW <sub>p</sub> /kW <sub>médio</sub>	Energia.área <sup>-1</sup> (GWh.km <sup>-2</sup> )	Fator de capacidade
Estreito	2.350	268,26	5,55	155	18%
Jaguari	2.150	245,43	6,07	142	16%
Santa Branca	1.977	225,68	6,60	131	15%
Amador Aguiar II	2.326	265,53	5,61	154	18%
Funil	2.121	242,12	6,15	140	16%
Jaguara	2.343	267,47	5,57	155	18%
Igarapava	2.347	267,92	5,56	155	18%
Campos Novos	2.096	239,27	6,22	138	16%
Funil	2.262	258,22	5,77	149	17%
Paranoá	2.327	265,64	5,61	154	18%
Fontes Nova	2.020	230,59	6,46	133	15%
Aimorés	2.074	236,76	6,29	137	16%
Caconde	2.313	264,04	5,64	153	18%
Queimado	2.323	265,18	5,61	153	18%
Canoas I	2.272	259,36	5,74	150	17%
Coaracy Nunes	2.091	238,70	6,24	138	16%
Garibaldi	2.112	241,10	6,18	139	16%
Espora	2.254	257,31	5,79	149	17%
Cajuru	2.317	264,50	5,63	153	18%
Canoas II	2.283	260,62	5,71	151	18%
Itupararanga	2.156	246,12	6,05	142	17%
Santa Clara	2.131	243,26	6,12	141	16%
Dona Francisca	2.095	239,16	6,23	138	16%
Pitinga	1.969	224,77	6,62	130	15%
Amador Aguiar I	2.354	268,72	5,54	155	18%
Passo São João	2.142	244,52	6,09	141	16%
Pirajú	2.224	253,88	5,86	147	17%
Baguari	2.116	241,55	6,16	140	16%
Bugres	1.980	226,03	6,59	131	15%
Assis Chateaubriand	2.221	253,54	5,87	147	17%
Paulo Afonso IV	2.317	264,50	5,63	153	18%
Ponte de Pedra	2.261	258,11	5,77	149	17%
Governador Parigot de Souza (Capivari/Cachoeira)	1.820	207,76	7,17	120	14%
Salto Grande (Lucas Nogueira Garcez)	2.355	268,84	5,54	155	18%
Itaúba	2.090	238,58	6,24	138	16%
França	2.171	247,83	6,01	143	17%
Ferreira Gomes	2.091	238,70	6,24	138	16%
Barra do Braúna	2.060	235,16	6,33	136	16%
Caveiras	2.061	235,27	6,33	136	16%
São João	2.318	264,61	5,63	153	18%
Santa Clara	2.066	235,84	6,31	136	16%
Engenheiro José Luiz Muller de Godoy Pereira	2.247	256,51	5,80	148	17%

Usina	Energia gerada pelo arranjo (MWh.ano <sup>-1</sup> )	kW <sub>médio</sub>	kW <sub>p</sub> /kW <sub>médio</sub>	Energia.área <sup>-1</sup> (GWh.km <sup>-2</sup> )	Fator de capacidade
Lobo	2.276	259,82	5,73	150	17%
Fumaça	2.156	246,12	6,05	142	17%
14 de Julho	2.014	229,91	6,48	133	15%
Quebra Queixo	2.114	241,32	6,17	140	16%
Castro Alves	2.005	228,88	6,51	132	15%
Funil	2.101	239,84	6,21	139	16%
Salto Grande	2.099	239,61	6,21	139	16%
Jacuí	2.079	237,33	6,27	137	16%
Alzir dos Santos Antunes	2.106	240,41	6,19	139	16%
Paulo Afonso I, II e III	2.334	266,44	5,59	154	18%
Guaporé	2.157	246,23	6,05	142	17%
Ourinhos	2.279	260,16	5,72	150	17%
Jauru	2.140	244,29	6,10	141	16%
Mascarenhas	2.085	238,01	6,26	138	16%
Itiquira (Casas de Forças I e II)	2.256	257,53	5,78	149	17%
João Camilo Penna	2.095	239,16	6,23	138	16%
Porto Estrela	2.094	239,04	6,23	138	16%
Ilha dos Pombos	2.049	233,90	6,37	135	16%
Vigário (Elevatória/Potência de bombeamento 90.820 kW)	2.022	230,82	6,45	133	16%
Palmeiras	1.868	213,24	6,98	123	14%
Jurupará	2.158	246,35	6,04	142	17%
Risoleta Neves (Antiga Candonga)	2.082	237,67	6,26	137	16%
Juba II	2.126	242,69	6,14	140	16%
Rosal	2.084	237,90	6,26	138	16%
Fundão	2.119	241,89	6,16	140	16%
Salto do Iporanga	1.823	208,11	7,16	120	14%
Sá Carvalho	2.095	239,16	6,23	138	16%
Limoeiro (Armando Salles de Oliveira)	2.318	264,61	5,63	153	18%
Glória	2.040	232,88	6,39	135	16%
Rio Bonito	1.982	226,26	6,58	131	15%
São Domingos	2.352	268,49	5,55	155	18%
Serraria	1.828	208,68	7,14	121	14%
Monte Claro	2.014	229,91	6,48	133	15%
Barra	2.161	246,69	6,04	143	17%
Santa Cecília (Elevatória/Potência de bombeamento 34.960 kW)	2.025	231,16	6,44	134	16%
Porto Raso	2.161	246,69	6,04	143	17%
Alecrim	1.828	208,68	7,14	121	14%
Parapanema	2.224	253,88	5,86	147	17%

Usina	Energia gerada pelo arranjo (MWh.ano <sup>-1</sup> )	kW <sub>médio</sub>	kW <sub>p</sub> /kW <sub>médio</sub>	Energia.área <sup>-1</sup> (GWh.km <sup>-2</sup> )	Fator de capacidade
Guaricana	1.812	206,85	7,20	120	14%
Itutinga	2.269	259,02	5,75	150	17%
Rio do Peixe (Casa de Força I e II)	2.325	265,41	5,61	153	18%
Rasgão	2.108	240,64	6,19	139	16%
Guilman-Amorim	2.106	240,41	6,19	139	16%
Picada	2.141	244,41	6,09	141	16%
Pereira Passos	2.027	231,39	6,43	134	16%
Euclides da Cunha	2.326	265,53	5,61	154	18%
Brecha	2.228	254,34	5,85	147	17%
Canastra	1.966	224,43	6,63	130	15%
Juba I	2.131	243,26	6,12	141	16%
Monjolinho	2.292	261,64	5,69	151	18%
Casca III	2.209	252,17	5,90	146	17%
Monte Alto	2.318	264,61	5,63	153	18%
Muniz Freire	2.052	234,25	6,36	135	16%
Porto Góes	2.167	247,37	6,02	143	17%
Suíça	2.008	229,22	6,50	133	15%
<b>Valores médios</b>	<b>2.174</b>	<b>248,15</b>	<b>6,00</b>	<b>144</b>	<b>17%</b>

Fonte: Elaboração própria.

Devido a esse aumento na geração, o valor do fator de capacidade foi elevado em um ponto percentual, se estabelecendo exatamente no mesmo valor teórico determinado pela EPE (2012) e comentado na Introdução deste trabalho.

#### 4.5 Estimativa do potencial por usina

A partir das construções e análises do PVSyst, pôde-se obter os valores das potências de cada usina e as respectivas quantidades de energia elétrica que podem ser introduzidas na rede por ano. Como no PVSyst é dado o valor da potência de pico do arranjo considerado, foi realizado o cálculo do espaço efetivamente ocupado por esse arranjo, como mostrado no item 4.4 (0,015 km<sup>2</sup>). Com esse valor foi possível determinar quantos arranjos desse tipo caberiam nas áreas úteis e áreas mínimas realizando os simples cálculos:

$$\text{N}^\circ \text{ de arranjos para cada reservatório} = \text{área considerada} \times (0,015 \text{ km}^2)^{-1}.$$

Com a determinação desse valor, apenas é necessário multiplicar o potencial instalado no arranjo e a energia gerada por esse fator para se chegar aos valores dos potenciais totais para cada reservatório considerado:

$$\text{Potencial total} = 1.489 \text{ kW}_P \times \text{N}^\circ \text{ de arranjos para cada reservatório.}$$

A energia gerada também pode ser calculada a partir da multiplicação dos valores de geração por quilômetros quadrados mostrados na Tabela 4.7 com os valores das áreas totais das áreas máximas e mínimas consideradas para cada reservatório, mostrados na Tabela 4.4:

$$\text{Potencial total máximo} = \text{Valor (Energia} \times \text{área}^{-1}) \times \text{área máxima.}$$

$$\text{Potencial total mínimo} = \text{Valor (Energia} \times \text{área}^{-1}) \times \text{área mínima.}$$

Os valores obtidos a partir desses processos estão mostrados na Tabela 4.8, que está em ordem decrescente de tamanho de reservatórios.

Tabela 4.8: Estimativa do potencial e da energia gerada por usina.

<b>Usina</b>	<b>Potência instalada máxima (MW<sub>P</sub>)</b>	<b>Potência instalada mínima (MW<sub>P</sub>)</b>	<b>Energia produzida no ano máxima (GWh.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Energia produzida no ano mínima (GWh.ano<sup>-1</sup>)</b>
Balbina	528.780	52.878	467.123	46.712
Sobradinho	521.996	52.200	561.547	56.155
Tucuruí I e II	359.163	35.916	338.457	33.846
Porto Primavera	354.724	35.472	347.639	34.764
Furnas	167.564	16.756	171.347	17.135
Ilha Solteira	161.768	16.177	160.688	16.069
Serra da Mesa	149.432	14.943	150.223	15.022
Três Marias	132.327	13.233	135.726	13.573
Itaipu (Parte Brasileira)	125.061	12.506	117.741	11.774
Luiz Gonzaga	100.019	10.002	102.278	10.228
Itumbiara	89.262	8.926	92.108	9.211
São Simão	87.646	8.765	89.120	8.912
Luís Eduardo Magalhães	83.878	8.388	85.698	8.570
Água Vermelha	80.267	8.027	82.008	8.201
Três Irmãos	79.785	7.979	80.349	8.035
Samuel	78.119	7.812	69.910	6.991
Capivara	72.653	7.265	72.200	7.220
Promissão	68.243	6.824	69.511	6.951
Jurumirim	56.053	5.605	55.108	5.511
Marimbondo	53.904	5.390	55.145	5.514

Usina	Potência instalada máxima (MW <sub>p</sub> )	Potência instalada mínima (MW <sub>p</sub> )	Energia produzida no ano máxima (GWh.ano <sup>-1</sup> )	Energia produzida no ano mínima (GWh.ano <sup>-1</sup> )
Emborcação	51.532	5.153	53.199	5.320
Manso	50.880	5.088	48.871	4.887
Nova Ponte	47.354	4.735	48.675	4.867
Santo Antônio	47.214	4.721	42.190	4.219
Chavantes	46.723	4.672	45.873	4.587
Boa Esperança	44.844	4.484	44.446	4.445
Jirau	42.231	4.223	38.056	3.806
Barra Bonita	39.523	3.952	40.012	4.001
Jupiaá	38.330	3.833	38.584	3.858
Peixe Angical	37.945	3.795	38.499	3.850
Marechal Mascarenhas de Moraes	32.110	3.211	32.849	3.285
Rosana	31.152	3.115	30.585	3.059
Passo Real	29.648	2.965	27.137	2.714
Nova Avanhandava	25.981	2.598	26.441	2.644
Salto Santiago	25.457	2.546	24.069	2.407
Pedra do Cavalo	23.699	2.370	22.333	2.233
Paraibuna	23.548	2.355	20.687	2.069
Volta Grande	23.436	2.344	24.110	2.411
Corumbá IV	22.224	2.222	22.597	2.260
Governador Bento Munhoz da Rocha Neto	19.669	1.967	18.064	1.806
Teles Pires	17.873	1.787	15.987	1.599
Porto Colômbia	17.747	1.775	18.258	1.826
Irapé	17.732	1.773	17.951	1.795
Passo Fundo	16.809	1.681	15.594	1.559
Governador José Richa	16.800	1.680	15.801	1.580
Henry Borden	16.155	1.616	15.131	1.513
Itá	15.052	1.505	13.951	1.395
Ibitinga	15.021	1.502	15.480	1.548
Curuá-Una	14.418	1.442	13.957	1.396
Taquaruçu (Escola Politécnica)	13.138	1.314	13.027	1.303
Barra Grande	11.914	1.191	11.132	1.113
São Salvador	11.874	1.187	12.374	1.237
Apolônio	11.315	1.132	11.621	1.162
Machadinho	10.644	1.064	9.889	989
Pedra	10.625	1.063	10.338	1.034
Governador Ney Aminthas de Barros Braga	10.107	1.011	9.547	955
Rondon II	9.040	904	8.267	827
Corumbá III	8.386	839	8.542	854
Cachoeira Dourada	7.709	771	7.965	797
Corumbá I	7.483	748	7.758	776
Itapebí	7.445	744	6.824	682
Cana Brava	7.274	727	7.316	732
Salto	7.178	718	7.127	713
Salto Osório	7.138	714	6.802	680
Xingó	7.023	702	7.306	731
Bariri	6.953	695	7.042	704

Usina	Potência instalada máxima (MW <sub>p</sub> )	Potência instalada mínima (MW <sub>p</sub> )	Energia produzida no ano máxima (GWh.ano <sup>-1</sup> )	Energia produzida no ano mínima (GWh.ano <sup>-1</sup> )
Miranda	6.320	632	6.522	652
Camargos	6.014	601	6.014	601
Estreito	5.548	555	5.779	578
Jaguari	5.528	553	5.268	527
Santa Branca	5.528	553	4.844	484
Amador Aguiar II	5.189	519	5.350	535
Funil	5.145	515	4.837	484
Jaguara	4.952	495	5.143	514
Igarapava	4.878	488	5.075	507
Campos Novos	4.857	486	4.512	451
Funil	4.825	482	4.837	484
Paranoá	4.660	466	4.807	481
Fontes Nova	4.417	442	3.955	395
Aimorés	4.394	439	4.040	404
Caconde	4.325	433	4.435	443
Queimado	4.319	432	4.448	445
Canoas I	3.664	366	3.690	369
Coaracy Nunes	3.619	362	3.354	335
Garibaldi	3.396	340	3.179	318
Espora	3.344	334	3.340	334
Cajuru	3.217	322	3.304	330
Canoas II	3.063	306	3.100	310
Itupararanga	3.011	301	2.878	288
Santa Clara	2.942	294	2.779	278
Dona Francisca	2.657	266	2.467	247
Pitinga	2.621	262	2.288	229
Amador Aguiar I	2.462	246	2.569	257
Passo São João	2.455	245	2.331	233
Pirajú	2.041	204	2.012	201
Baguari	1.984	198	1.861	186
Bugres	1.946	195	1.708	171
Assis Chateaubriand	1.906	191	1.877	188
Paulo Afonso IV	1.897	190	1.948	195
Ponte de Pedra	1.861	186	1.865	187
Governador Parigot de Souza (Capivari/Cachoeira)	1.860	186	1.501	150
Salto Grande (Lucas Nogueira Garcez)	1.777	178	1.855	185
Itaúba	1.648	165	1.527	153
França	1.513	151	1.456	146
Ferreira Gomes	1.391	139	1.289	129
Barra do Braúna	1.387	139	1.266	127
Caveiras	1.239	124	1.132	113
São João	1.165	117	1.197	120
Santa Clara	1.047	105	959	96
Engenheiro José Luiz Muller de Godoy Pereira	1.000	100	996	100
Lobo	834	83	841	84
Fumaça	825	82	788	79

Usina	Potência instalada máxima (MW <sub>p</sub> )	Potência instalada mínima (MW <sub>p</sub> )	Energia produzida no ano máxima (GWh.ano <sup>-1</sup> )	Energia produzida no ano mínima (GWh.ano <sup>-1</sup> )
14 de Julho	792	79	707	71
Quebra Queixo	741	74	694	69
Castro Alves	740	74	658	66
Funil	734	73	684	68
Salto Grande	682	68	634	63
Jacuí	652	65	601	60
Alzir dos Santos Antunes	651	65	608	61
Paulo Afonso I, II e III	618	62	640	64
Guaporé	607	61	580	58
Ourinhos	607	61	613	61
Jauru	550	55	522	52
Mascarenhas	499	50	461	46
Itiquira (Casas de Forças I e II)	459	46	459	46
João Camilo Penna	450	45	418	42
Porto Estrela	449	45	417	42
Ilha dos Pombos	441	44	400	40
Vigário (Elevatória/Potência de bombeamento 90.820 kW)	386	39	346	35
Palmeiras	372	37	308	31
Jurupará	346	35	331	33
Risoleta Neves	336	34	310	31
Juba II	331	33	312	31
Rosal	330	33	305	30
Fundão	325	33	306	31
Salto do Iporanga	321	32	259	26
Sá Carvalho	310	31	288	29
Limoeiro (Armando Salles de Oliveira)	297	30	305	30
Glória	291	29	263	26
Rio Bonito	262	26	230	23
São Domingos	254	25	265	26
Serraria	254	25	206	21
Monte Claro	251	25	224	22
Barra	241	24	231	23
Santa Cecília (Elevatória/Potência de bombeamento 34.960 kW)	191	19	171	17
Porto Raso	189	19	181	18
Alecrim	183	18	149	15
Parapanema	178	18	175	18
Guaricana	169	17	136	14
Itutinga	168	17	169	17
Rio do Peixe (Casa de Força I e II)	162	16	167	17
Rasgão	137	14	128	13
Guilman-Amorim	131	13	122	12

Usina	Potência instalada máxima (MW <sub>P</sub> )	Potência instalada mínima (MW <sub>P</sub> )	Energia produzida no ano máxima (GWh.ano <sup>-1</sup> )	Energia produzida no ano mínima (GWh.ano <sup>-1</sup> )
Picada	130	13	123	12
Pereira Passos	127	13	115	11
Euclides da Cunha	126	13	130	13
Brecha	119	12	118	12
Canastra	119	12	104	10
Juba I	110	11	104	10
Monjolinho	107	11	109	11
Casca III	44	4	43	4
Monte Alto	32	3	33	3
Muniz Freire	24	2	22	2
Porto Góes	19	2	18	2
Suíça	17	2	15	1
<b>Total</b>	<b>4.518.731</b>	<b>451.873</b>	<b>4.443.326</b>	<b>444.333</b>

Fonte: Elaboração própria.

Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2015), no ano de 2014 a oferta interna de energia elétrica foi de 624.254 GWh. Dessa forma, nota-se que, com a aplicação da tecnologia solar fotovoltaica flutuante nas áreas consideradas como mínimas, já haveria um acréscimo maior que 70% na oferta de energia elétrica anualmente ofertada no Brasil. Caso essa tecnologia seja aplicada nos máximos das áreas definidas, a oferta de energia elétrica poderia crescer mais de 8 vezes.

É interessante observar que apesar do valor da potência instalada mínima ser de praticamente 452 GW<sub>P</sub>, ela não pode ser comparada diretamente com os 142 GW de potência atualmente instalados no país. É necessário utilizar o fator discutido nos itens 4.3 e 4.4 para realizar a transformação dos GW<sub>P</sub> para GW<sub>médios</sub>. Dessa forma, obteve-se aproximadamente 75 GW<sub>médios</sub> para a potência mínima a ser instalada no país, praticamente a metade do valor atualmente instalado.

#### 4.6 Estimativa do potencial brasileiro

O resultado final para o potencial brasileiro de geração de energia elétrica de origem solar fotovoltaica em sistemas flutuantes nos reservatórios das hidroelétricas foi dado como a soma dos potenciais estimados para cada reservatório analisado. Esses resultados foram

apresentados como mínimos e máximos, respectivamente, representando a cobertura de 8% e 80% da área total dos reservatórios.

A Tabela 4.9 sintetiza os resultados obtidos para os reservatórios brasileiros maiores que 0,01 km<sup>2</sup>.

Tabela 4.9: Resultados para o Brasil.

	<b>Potência instalada máxima (GW<sub>P</sub>)</b>	<b>Potência instalada mínima (GW<sub>P</sub>)</b>	<b>Potência média máxima (GW<sub>médios</sub>)</b>	<b>Potência média mínima (GW<sub>médios</sub>)</b>	<b>Energia produzida no ano máxima (TWh.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Energia produzida no ano mínima (TWh.ano<sup>-1</sup>)</b>
<b>Total Brasil</b>	<b>4.519</b>	<b>452</b>	<b>753</b>	<b>75</b>	<b>4.443</b>	<b>444</b>

Fonte: Elaboração própria.

## 5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O objetivo principal dessa tese foi realizar uma estimativa do potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas, tendo-se obtido o valor total de potência instalada de até 4.519  $\text{GW}_P$ , ou 753  $\text{GW}_{\text{médios}}$ , correspondentes a uma produção anual de energia elétrica de 4.443 TWh. Além disso, outras conclusões relevantes foram obtidas, conforme foi proposto como objetivos específicos do estudo:

- Com a utilização do *software* PVsyst, notou-se que o valor da produção solar durante o ano difere bastante da considerada nos cálculos teóricos preliminares. Ao invés dos  $501 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$  previstos por ano, obteve-se  $211 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$ . O primeiro valor originou-se de uma base de dados de irradiação solar com valores superiores aos observados em outras bases, e levava em consideração apenas a média diária e a eficiência do painel, não descontando as perdas na geração devido a sombreamentos e outras possíveis perdas no sistema como o *software* realiza.
- Observou-se que a relação média entre  $\text{kW}_P$  e  $\text{kW}_{\text{médio}}$  para as usinas consideradas foi 6.
- Aplicando-se essa relação aos valores encontrados para os sistemas fotovoltaicos, foram obtidos os valores máximos e mínimos, respectivamente, 450  $\text{GW}_{\text{médios}}$  e 45  $\text{GW}_{\text{médios}}$  para o valor médio considerado ou, respectivamente, 500  $\text{GW}_{\text{médios}}$  e 50  $\text{GW}_{\text{médios}}$  para o arranjo simulado.
- Obteve-se uma geração média no país de  $2.106 \text{ MWh}\cdot\text{ano}^{-1}$  para cada hectare ( $0,01 \text{ km}^2$ ) de painéis instalados, ou, utilizando a relação de 66% (área de painéis pela área total do arranjo),  $1.390 \text{ MWh}\cdot\text{ano}^{-1}$  por hectare de arranjo instalado.
- O fator de capacidade médio obtido foi 17%, como o calculado pela EPE e discutido na introdução deste trabalho.
- Também houve um ligeiro aumento no valor do  $\text{kW}_{\text{médio}}$  simulado (de 240,36 para 248,15) e uma ligeira redução no valor da razão  $\text{kW}_{\text{pico}}/\text{kW}_{\text{médio}}$  (de 6,19 para 6,00) quando comparado os arranjos que não levavam em consideração perdas com sombreamento e a inclinação dos painéis, com aqueles que levam, mostrando o quanto a correta análise do arranjo a ser implementado pode afetar na geração de energia posteriormente.

- O arranjo idealizado e simulado nessa tese apresentou  $98,30 \text{ MW}_{\text{P.m}^{-2}}$ , ficando, assim, acima da média dos arranjos já em operação analisados (média de  $89,93 \text{ MW}_{\text{P.m}^{-2}}$ ), mas dentro dos valores de instalações já efetuadas.
- É interessante observar que apesar do valor da potência instalada mínima ser de praticamente  $452 \text{ GW}_{\text{P}}$ , ela não pode ser comparada diretamente com os  $142 \text{ GW}$  de potência atualmente instalados no país. É necessário utilizar o fator  $6 \text{ GW}_{\text{P}} : 1 \text{ GW}_{\text{médio}}$ . Dessa forma, obtém-se aproximadamente  $75 \text{ GW}_{\text{médios}}$ , praticamente a metade do potencial atualmente instalado no Brasil.
- Para o caso brasileiro analisado foram observados valores entre  $452 \text{ GW}_{\text{P}}$  e  $4.519 \text{ GW}_{\text{P}}$  para a potência instalada de painéis fotovoltaicos flutuante, correspondentes a uma faixa entre  $75 \text{ GW}_{\text{médios}}$  e  $753 \text{ GW}_{\text{médios}}$  para a potência média, e entre  $444$  e  $4.443 \text{ TWh.ano}^{-1}$  para a energia produzida.

Uma vez que o foco do trabalho se concentrou no aspecto técnico da determinação do potencial brasileiro de geração de eletricidade fotovoltaica, outros aspectos importantes não foram considerados e deverão ser objeto de estudos futuros, entre eles:

- Análise econômica dos empreendimentos fotovoltaicos flutuantes, envolvendo os custos dos painéis, da fabricação de flutuadores, ancoragem nos reservatórios etc.;
- Estudo dos possíveis impactos ambientais causados pela instalação dos painéis sobre os reservatórios sejam eles positivos (redução das perdas por evaporação da água) ou negativos (redução da oxigenação da água, mudanças na flora e na fauna dos reservatórios);
- Estudos sociais, envolvendo a redução de possíveis atividades pesqueiras e aquiculturais, perda de áreas de lazer etc;
- Estudos de campo para observar, caso a caso, a possibilidade e os valores de geração de cada sistema;
- Estudo sobre a profundidade dos reservatórios e suas variações de nível, e;
- Análise das áreas de exclusão no reservatório geradas pelas variações de nível das águas.

Ainda, para facilitar a aplicabilidade dessa tecnologia em menor escala, em lagos e lagoas, faltam estudos mapeando as localizações desse tipo de formações no Brasil. Com a aplicabilidade dessa tecnologia garantida para esse tipo de localidade, pode-se pensar também em geração distribuída, com pequenos arranjos nesse tipo de ambientes, o que implica um

acrécimo futuro nos valores de potenciais obtidos nessa tese para a produção de energia elétrica a partir da utilização de painéis fotovoltaicos flutuantes.

## Referências

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica, **Boletim de Dados Abril/2015**, São Paulo, SP, 2015.

ANDRADE, Silvia Cristina de Pádua. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do balanço de energia em áreas de floresta e pastagem em Rondônia no Brasil.** . 2014. 97p. Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações sobre Geração – BIG. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=12&fase=3>>. Acesso dia 24/10/2011.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações sobre Geração. **Capacidade de Geração do Brasil.** Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso dia 11/02/2016.

ANEEL – SIGEL: Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico. Disponível em <<http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html>> Acesso dia 28/11/2015b.

BAHAIDARAH, H., Subhan A., Gandhidasan P., Rehman S. **Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions.** *Energy*. vol.59, p445-453, 2013.

BORGES, André. – Estadão. **Reservatórios de hidrelétricas terão painéis para geração de energia solar.** Disponível em <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,reservatorios-de-hidreletricas-terao-paineis-para-geracao-de-energia-solar-imp-,1658125>>. Acesso dia 27/09/2015.

Ciel et Terre – **Our references.** Disponível em: <<http://www.ciel-et-terre.net/our-floating-solar-power-plants-references/>>. Acesso dia 09/12/2015.

DOE/NREL – U.S. Department of Energy Efficiency & Renewable Energy/ National Renewable Energy Laboratory. **Research Cell Efficiency Records.** 2015. Disponível em: <[http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg)>. Acesso dia 11/09/2015.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira.** Rio de Janeiro. 2012. Disponível em <[http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos\\_23/nt\\_energiasolar\\_2012.pdf](http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf)>. Acesso dia 12/03/2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2015: Ano base 2014.** 2015. 292p. Ministério de Minas e Energia, Brasília. Disponível em <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)>. Acesso dia 14/02/2016.

FALK, Fritz. **Photovoltaics Physics and Technology of Solar Cells Figures and Tables.** Institute of Photonic Technology, 2010.

FELDMAN, D., BARBOSE, G, et al, **Photovoltaic System Pricing Trends**, 2014 Edition, NREL/PR-6A20-62558, NREL/US DoE, 2014.

FERREIRA, R.S.A. Apontamentos de defesa de Tese 25/02/2016. Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas-SP.

FURLAN, André Luiz. **Análise comparativa de sistemas de armazenamento de energia elétrica fotovoltaica por meio de baterias e hidrogênio em localidades isoladas da região Amazônica.** 2008. 118p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FERRER-GISBERT, Carlos; FERRÁN-GOZÁLVEZ, José J.; REDÓN-SANTAFÉ, Miguel; FERRER-GISBERT, Pablo; SÁNCHEZ-ROMERO, Francisco J., TORREGROSA-SOLER, Juan Bautista. **A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs.** *Renewable Energy*. vol.60, p.63-70, 2013.

GANDRA, Alana. – Agência Brasi. **Projeto-piloto de geração de energia solar em reservatórios começa em 120 dias.** Disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2015-03/projeto-piloto-de-geracao-de-energia-solar-em-reservatorios-comeca-em-120>>. Acesso dia 27/09/2015.

GAVINO, Natália Azevedo. **Energia Eólica: uma análise dos incentivos à produção (2002-2009).** 2011. s.n. Monografia de Bacharelado – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial brasileira – consulta por unidade da Federação.** Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/principal.shtm>>. Acesso dia 01/11/2015.

IEA - International Energy Agency, 2014. **Snapshot of Global PV Markets**, Report IEA PVPS T1-26:2015, 2015.

IHS Inc. – Newsroom. **Record Photovoltaic Module Production and Shipments Forecast Through the First Half of 2016, IHS Says.** Disponível em <<http://press.ihs.com/press-release/technology/record-photovoltaic-module-production-and-shipments-forecast-through-first->>. Acesso dia 07/01/2016a.

IHS Inc. – Newsroom. **Chinese Suppliers Continued to Lead the Solar PV Module Market in 2014, IHS Says.** Disponível em <<http://press.ihs.com/press-release/technology/chinese-suppliers-continued-lead-solar-pv-module-market-2014-ihs-says>>. Acesso dia 07/01/2016b.

Infratech Industries – **Our projects.** Disponível em < <http://group2i.com/initiatives/our-projects/jamestown-floating-solar/>>. Acesso dia: 07/01/2016.

Ingeteam – Manual técnico inversor Ingecon Sun 500 TL U X208 outdoor. Disponível em: <[http://www.ingeteam.com/Portals/0/Catalogo/Productos/Documento/PRD\\_1040\\_Archivo\\_ingecon-sun-powermax-tl-u-x208v.pdf](http://www.ingeteam.com/Portals/0/Catalogo/Productos/Documento/PRD_1040_Archivo_ingecon-sun-powermax-tl-u-x208v.pdf)>. Acesso dia: 15/02/2016.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Tabela de Eficiência Energética – Sistema de Energia Fotovoltaica - Módulos - Edição 01/2016.** Disponível em <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela\\_fotovoltaico\\_modulo.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf)>. Acesso dia: 01/02/2016.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Glossário.** Disponível em <[http://pyata.cptec.inpe.br/radiacao/glossar/gloss\\_fo.htm](http://pyata.cptec.inpe.br/radiacao/glossar/gloss_fo.htm)> e <<http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#r>>. Acesso em: 12/03/2016.

Kwater Institute - **Marine solar light, "expansion of business area through R&D on solar light on the water".** Disponível em <[http://kiwe.kwater.or.kr/english/guide/sub01/facilPage.do?s\\_mid=1243](http://kiwe.kwater.or.kr/english/guide/sub01/facilPage.do?s_mid=1243)>. Acesso em 07/01/2016.

Kyocera – **Manual técnico do painel KD245GX-LPB**. Disponível em <<http://www.kyocerasolar.com/assets/001/5125.pdf>>. Acesso em 11/02/2016.

LEIVAS, Janice; FONTANA, Denise; BERLATO, Moacir; CARDOSO, Loana. **Varição Diária do Albedo Sobre uma Superfície Vegetada e Sobre um Lago na Estação Experimental da UFRGS-RS**. XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007.

LOPES, Davi Gabriel. **Análise de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo: estudo de caso dos projetos da chamada N°13 da ANEEL**. 2013. s.n.. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MIRARCO – **Floating PV Projects**. Disponível em <[http://www.mirarco.org/wp-content/uploads/mirarco\\_ERCM\\_Projects/Floating\\_PV-Projects.pdf](http://www.mirarco.org/wp-content/uploads/mirarco_ERCM_Projects/Floating_PV-Projects.pdf)>. Acesso em: 07/01/2016.

MME – Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético – Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia. **Energia Eólica no Brasil e Mundo**. Edição de 22/12/2014. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256600/Folder+Energia+Eolica.pdf/b1a3e78c-7920-4ae5-b6e8-7ba1798c5961>>. Acesso em: 12/03/2016.

MME – Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético – Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia. **Capacidade Instalada de Geração Elétrica Brasil e Mundo (2014)**. Edição de 05/03/2015. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/0/Capacidade+Instalada+de+EE+2014.pdf/cb1d150d-0b52-4f65-a86b-b368ee715463>>. Acesso em: 12/03/2016.

MME/EPE – Ministério de Minas e Energia / Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Brasília, 467p. 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>>. Acesso em: 12/03/2016.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. **Greenhouse gas benchmark reached**. Disponível em <<http://research.noaa.gov/News/NewsArchive/LatestNews/TabId/684/ArtMID/1768/ArticleID/11153/Greenhouse-gas-benchmark-reached-.aspx>>. Acesso em: 25/10/2015.

OLIVEIRA, Gabriel de, et al. **Avaliação do albedo em diferentes tipos de uso e cobertura da terra no sudoeste da Amazônia**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013.

PEREIRA, Enio Bueno, MARTINS, Fernando Ramos, ABREU, Samuel Luna de, RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2006. 60p. São José dos Campos: INPE.

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](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em: 12/03/2016.

PVSYST – Photovoltaic *software*. **Founders**. Disponível em: <<http://www.PVsystem.com/en/about-us/founder>>. Acesso dia 28/11/2015.

ROSA-CLOT, M.; ROSA-CLOT, P.; CARRARA S.; **Apparatus and method for generating electricity using photovoltaic painéis**. WO Patent 2,010,0260542; 2010a.

ROSA-CLOT, M.; ROSA-CLOT, P, Tina G. M.; SCANDURA, P.F. **Submerged photovoltaic solar panel: SP2**. *Renewable Energy*. vol. 35, p.1862-1865, 2010b.

SANTAFÉ, Miguel Redón, SOLER, Juan Bautista Torregrosa, ROMERO, Francisco Javier Sánchez, GISBERT, Pablo S. Ferrer, GOZÁLVEZ, José Javier Ferrán, GISBERT, Carlos M. Ferrer. **Theoretical and experimental analysis of a floating photovoltaic cover for water irrigation reservoirs**. *Energy*. vol.67, p.246-255, 2014.

SILVA, Ennio Peres da. **Fontes Renováveis de Energia: Produção de energia para um desenvolvimento sustentável**. 1ª edição. Editora Livraria da Física, p.181-182, 2014.

Solaris Synergy – **News**. Disponível em <<http://www.solaris-synergy.com/News.html#>>. Acesso dia 07/01/2016.

STRANGUETO, Karina Maretti. **Usina Fotovoltaica de 1 MW<sub>P</sub> para Suprimento de Veículos Elétricos: Estimativa da Frota Atendida, Logística de Abastecimento e Emissões de CO<sub>2</sub> Evitadas**. . 2012. 91p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TIBA, Chigueru et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil : banco de dados solarimétricos**. Ed. Universitária da UFPE, 111p. 2000.

Times of Malta - **Prototype floating PV panels being tested.** Disponível em <<http://www.timesofmalta.com/articles/view/20141221/environment/Prototype-floating-PV-panels-being-tested.549192>>. Acesso dia 07/01/2016.

TRAPANI, Kim; MILLAR, Dean L. **The thin film flexible floating PV (T3F-PV) array: The concept and development of the prototype.** *Renewable Energy*. vol.71, p.43-50, 2014.

TRAPANI, K. and SANTAFÉ, M.R., **A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013.** *Prog. Photovolt: Res. Appl.* (2014).

TRATEBEL Energia Notícias. **GD fotovoltaica é viável em 98% do mercado consumidor, diz Tolmasquim.** Disponível em <<http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/conteudos/gd-fotovoltaica-e-viavel-em-98-do-mercado-consumidor-diz-tolmasquim-106291>>, acesso em 25/10/2015.

Vikram Solar - **Floating solar power plant in West Bengal, India.** Disponível em <<http://www.vikramsolar.com/projects-and-services/pdf/wb-india.pdf>>. Acesso dia: 07/01/2016.

## ANEXO A – Usinas Hidrelétricas em Operação no Brasil

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.RS.000012-4.01	14 de Julho	25/12/2008	100.000	100.710	PIE	100% para Companhia Energética Rio das Antas	Bento Gonçalves - RS Cotiporã - RS	das Antas
UHE.PH.MG.000041-8.01	Água Vermelha (Antiga José Ermírio de Moraes)	22/08/1978	1.396.200	1.396.200	PIE	100% para AES Tietê S.A	Indiaporã - SP Iturama - MG Ouroeste - SP	Grande
UHE.PH.MG.000042-6.01	Aimorés	30/07/2005	330.000	330.000	PIE	100% para Aliança Geração de Energia S.A.	Aimorés - MG Baixo Guandu - ES	Doce
UHE.PH.SP.000047-7.01	Alecrim	01/01/1974	72.000	72.000	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Miracatu - SP	Juquiá-Guaçu
UHE.PH.MG.000109-0.01	Pedro Affonso Junqueira (Antiga Antas I)	-	8.780	8.860	SP	100% para DME Energética S.A	Poços de Caldas - MG	das Antas
UHE.PH.MG.000110-4.01	Walter Rossi (Antiga Antas II)	01/07/1998	16.500	15.782	SP	100% para DME Distribuição S.A	Poços de Caldas - MG	Antas
UHE.PH.AM.000190-2.01	Balbina	20/02/1989	250.000	249.750	SP	100% para Amazonas Geração e Transmissão de Energia S.A	Presidente Figueiredo - AM	Uatumã
UHE.PH.SP.000203-8.01	Bariri (Álvaro de Souza Lima)	26/12/1969	143.100	136.800	PIE	100% para AES Tietê S.A	Boracéia - SP	Tietê
UHE.PH.SP.000207-0.01	Barra	01/01/1986	40.400	40.400	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Tapiraí - SP	Juquiá-Guaçu
UHE.PH.SP.000208-9.01	Barra Bonita	20/05/1963	140.760	140.760	PIE	100% para AES Tietê S.A	Barra Bonita - SP	Tietê
UHE.PH.MG.000215-1.01	Barra do Braúna	25/12/2009	39.000	39.000	PIE	100% para Barra do Braúna Energética S.A.	Recreio - MG	Pomba
UHE.PH.PI.000267-4.01	Boa Esperança (Antiga Castelo Branco)	02/10/1970	237.300	237.300	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Guadalupe - PI São João dos Patos - MA	Parnaíba

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.MG.000315-8.01	Brecha	01/01/1958	12.400	12.400	APE	100% para Novelis do Brasil Ltda	Guaraciaba - MG	Piranga
UHE.PH.RS.000324-7.01	Bugres	01/01/1952	19.200	11.120	SP	100% para Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica	Canela - RS	Santa Cruz
UHE.PH.SP.000336-0.01	Buritis	-	800	800	SP	100% para Chimay Empreendimentos e Participações Ltda	Buritizal - SP	Bandeira
UHE.PH.MG.000473-1.01	João Camilo Penna (Antiga Cachoeira do Emboque)	01/01/1998	21.600	22.020	SP	100% para Zona da Mata Geração S.A.	Raul Soares - MG	Matipó
UHE.PH.GO.000528-2.01	Cachoeira Dourada	01/01/1959	658.000	658.000	SP	100% para Centrais Elétricas Cachoeira Dourada	Cachoeira Dourada - GO Itumbiara - GO	Paranaíba
UHE.PH.SP.000588-6.01	Caconde	22/08/1966	80.490	80.400	PIE	100% para AES Tietê S.A	Caconde - SP	Pardo
UHE.PH.MG.000597-5.01	Cajuru	-	7.200	7.200	PIE	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Carmo do Cajuru - MG Divinópolis - MG	Pará
UHE.PH.MG.000608-4.01	Camargos	01/01/1960	46.000	46.000	PIE	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Itutinga - MG Nazareno - MG	Grande
UHE.PH.GO.000630-0.01	Cana Brava	22/05/2002	450.000	450.000	PIE	100% para Tractebel Energia S/A	Cavalcante - GO Minaçu - GO	Tocantins
UHE.PH.RS.000635-1.01	Canastra	09/05/1905	44.800	42.500	SP	100% para Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica	Canela - RS	Santa Maria
UHE.PH.MG.000641-6.01	Risoleta Neves (Antiga Candonga)	07/09/2004	140.000	140.000	PIE	50% para Aliança Geração de Energia S.A. 50% para Vale S/A	Rio Doce - MG Santa Cruz do Escalvado - MG	Doce

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.SP.000647-5.01	Canoas I	09/05/1999	82.500	82.500	APE PIE	50.3% para Companhia Brasileira de Alumínio 49.7% para Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.	Cândido Mota - SP Itambaracá - PR	Paranapanema
UHE.PH.SP.000657-2.01	Capivara (Escola de Engenharia Mackenzie)	10/03/1977	619.000	619.000	PIE	100% para Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.	Porecatu - PR Taciba - SP	Paranapanema
UHE.PH.MT.000688-2.02	Casca III	01/01/1970	12.420	12.420	PIE	100% para Apiacás Energia S.A	Chapada dos Guimarães - MT	Casca
UHE.PH.RS.000718-8.01	Castro Alves	04/03/2008	130.000	130.845	PIE	100% para Companhia Energética Rio das Antas	Nova Pádua - RS Nova Roma do Sul - RS	das Antas
UHE.PH.SC.000728-5.01	Caveiras	-	3.829	3.829	PIE	100% para Celesc Geração S.A.	Lages - SC	Caveiras
UHE.PH.SP.000764-1.01	Chavantes	30/11/1970	414.000	414.000	PIE	100% para Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.	Chavantes - SP Ribeirão Claro - PR	Paranapanema
UHE.PH.AP.000783-8.01	Coaracy Nunes	30/12/1975	78.000	76.952	SP	100% para Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A.	Ferreira Gomes - AP Macapá - AP	Araguari
UHE.PH.GO.000866-4.01	Corumbá I	31/10/1996	375.000	375.300	SP	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Caldas Novas - GO Corumbáiba - GO	Corumbá
UHE.PH.GO.000908-3.01	Espora	07/09/2006	32.000	32.010	PIE	100% para Espora Energética S/A	Aporé - GO Serranópolis - GO	Corrente
UHE.PH.SP.000917-2.01	Estreito (Luiz Carlos Barreto de Carvalho)	16/03/1969	1.050.000	1.048.000	SP	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Pedregulho - SP Sacramento - MG	Grande
UHE.PH.SP.000923-7.01	Euclides da Cunha	07/12/1960	108.890	108.800	PIE	100% para AES Tietê S.A	São José do Rio Pardo - SP	Pardo
UHE.PH.RJ.000973-3.01	Fontes Nova	01/01/1940	131.988	130.300	SP	100% para Light Energia S/A	Pirai - RJ	Pirai

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.PR.000984-9.01	Governador Bento Munhoz da Rocha Neto (Foz do Areia)	01/10/1980	1.676.000	1.676.000	SP	100% para Copel Geração e Transmissão S.A.	Guarapuava - PR Mangueirinha - PR Pinhão - PR	Iguaçu
UHE.PH.SP.000990-3.01	França	01/01/1958	29.500	29.520	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Juquitiba - SP	Juquiá-Guaçu
UHE.PH.SP.001000-6.01	Fumaça	01/01/1964	36.400	36.400	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Ibiúna - SP	Juquiá-Guaçu
UHE.PH.MG.001006-5.01	Funil	30/12/2002	180.000	180.000	PIE	100% para Aliança Geração de Energia S.A.	Lavras - MG Perdões - MG	Grande
UHE.PH.MG.001007-3.01	Furnas	04/09/1963	1.216.000	1.216.000	SP	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	São João Batista do Glória - MG São José da Barra - MG	Grande
UHE.PH.MG.001034-0.01	Glória	01/01/1983	13.800	11.360	APE	100% para Vale S/A	Muriae - MG	Glória
UHE.PH.PR.001042-1.01	Governador Parigot de Souza (Capivari/Cachoeira)	03/09/1971	260.000	260.000	SP	100% para Copel Geração e Transmissão S.A.	Antonina - PR	Capivari
UHE.PH.MT.001066-9.01	Guaporé	08/04/2003	120.000	124.200	APE PIE	36% para Mineração Santa Elina Indústria e Comércio S/A 64% paraTangará Energia S/A	Pontes e Lacerda - MT	Guaporé
UHE.PH.PR.001075-8.01	Guaricana	01/01/1957	36.000	36.000	SP	100% para Copel Geração e Transmissão S.A.	Guaratuba - PR	Arraial
UHE.PH.MG.001079-0.01	Guilman Amorim	02/11/1997	140.000	140.040	APE	51% para Arcelor Mittal Brasil S.A. 49% para Samarco Mineração S/A	Antônio Dias - MG Nova Era - MG	Piracicaba
UHE.PH.SP.001084-7.01	Henry Borden	01/01/1926	889.000	889.000	SP	100% para Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A.	Cubatão - SP	Pedras
UHE.PH.SP.001097-9.01	Ibitinga	20/04/1969	131.490	131.490	PIE	100% para AES Tietê S.A	Ibitinga - SP	Tietê

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.SP.001098-7.01	Igarapava	31/12/1998	210.000	210.000	APE	52.65% para Aliança Geração de Energia S.A. 5.5% para AngloGold Ashanti Brasil Mineração LTDA 17.92% para Companhia Siderúrgica Nacional 23.93% para Votorantim Metais Zinco S.A	Conquista - MG Igarapava - SP	Grande
UHE.PH.RJ.001113-4.01	Ilha dos Pombos	01/01/1924	187.169	187.169	SP	100% para Light Energia S/A	Além Paraíba - MG Carmo - RJ	Paraíba do Sul
UHE.PH.SP.001120-7.01	Ilha Solteira	18/07/1973	3.444.000	3.444.000	SP	100% para Companhia Energética de São Paulo	Ilha Solteira - SP Selvíria - MS	Paraná
UHE.PH.MG.001146-0.01	Irapé	20/07/2006	399.000	399.000	PIE	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Berilo - MG Grão Mogol - MG	Jequitinhonha
UHE.PH.RS.001152-5.01	Itá	15/06/2000	1.450.000	1.450.000	PIE	60.5% para Itá Energética S/A 39.5% para Tractebel Energia S/A	Aratiba - RS Itá - SC	Uruguai
UHE.PH.PR.001161-4.01	Itaipu (Parte Brasileira)	01/04/1989	7.000.000	7.000.000	SP	100% para Itaipu Binacional	Foz do Iguaçu - PR	Paraná
UHE.PH.PE.001174-6.01	Luiz Gonzaga (Itaparica)	31/01/1988	1.479.600	1.479.600	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Glória - BA Jatobá - PE Petrolândia - PE	São Francisco
UHE.PH.BA.001175-4.01	Itapebi	18/02/2003	462.011	456.000	PIE	100% para Itapebi Geração de Energia S.A	Itapebi - BA	Jequitinhonha
UHE.PH.MG.001192-4.01	Ituerê	-	4.040	4.040	APE	100% para Vale S/A	Rio Pomba - MG	Pomba
UHE.PH.MG.001194-0.01	Itumbiara	24/04/1980	2.082.000	2.080.500	SP	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Araporã - MG Itumbiara - GO	Paranaíba
UHE.PH.SP.001196-7.01	Itupararanga	01/01/1914	55.000	56.170	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Votorantim - SP	Sorocaba

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.MG.001197-5.01	Itutinga	01/01/1955	52.000	52.000	SP	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Itutinga - MG Nazareno - MG	Grande
UHE.PH.RS.001217-3.01	Jacuí	01/01/1962	180.000	180.000	SP	100% para Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica	Salto do Jacuí - RS	Jacuí
UHE.PH.SP.001225-4.01	Jaguara	01/01/1971	424.000	424.000	SP	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Rifaina - SP Sacramento - MG	Grande
UHE.PH.MT.001245-9.01	Jauru	06/06/2003	121.500	121.500	APE PIE	10% para Cinco Estrelas Agropecuária e Participações Ltda 90% para Queiroz Galvão Energética S/A.	Indiavaí - MT Jauru - MT	Jauru
UHE.PH.MT.001268-8.01	Juba I	10/11/1995	42.000	42.000	APE	100% para Itamarati Norte S.A - Agropecuária	Barra do Bugres - MT Tangará da Serra - MT	Juba
UHE.PH.MT.001269-6.01	Juba II	16/08/1995	42.000	42.000	APE	100% para Itamarati Norte S.A - Agropecuária	Barra do Bugres - MT Tangará da Serra - MT	Juba
UHE.PH.SP.001282-3.01	Jupia (Engº Souza Dias)	14/04/1969	1.551.200	1.551.200	SP	100% para Companhia Energética de São Paulo	Castilho - SP Três Lagoas - MS	Paraná
UHE.PH.SP.001285-8.01	Jurumirim (Armando Avellanal Laydner)	21/09/1962	100.956	100.956	PIE	100% para Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.	Cerqueira César - SP	Paranapanema
UHE.PH.SP.001286-6.01	Jurupará	01/01/1947	7.200	7.200	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Ibiúna - SP Piedade - SP	Peixe

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.TO.001304-8.01	Luís Eduardo Magalhães (Lajeado)	01/12/2001	902.500	902.500	PIE	19.8% para CEB Lajeado S.A 1% para Investco S/A 72.27% para Lajeado Energia S.A. 6.93% para Paulista Lajeado Energia S.A	Miracema do Tocantins - TO Palmas - TO	Tocantins
UHE.PH.SP.001328-5.01	Limoeiro (Armando Salles de Oliveira)	17/12/1958	32.000	32.000	PIE	100% para AES Tietê S.A	São José do Rio Pardo - SP	Pardo
UHE.PH.SP.001335-8.01	Lobo	-	1.590	2.000	SP	100% para Aratu Geração S/A.	Itirapina - SP	Ribeirão do Lobo
UHE.PH.SP.001349-8.01	Macaco Branco	01/01/1911	2.363	2.363	SP	100% para CPFL Geração de Energia S.A.	Campinas - SP	Jaguari
UHE.PH.SC.001356-0.01	Machadinho	16/02/2002	1.140.000	1.140.000	APE SP	25.74% para Alcoa Alumínio S/A 27.52% para Companhia Brasileira de Alumínio 5.53% para Companhia Estadual de Energia Elétrica 2.73% para DME Distribuição S.A 5.28% para InterCement Brasil S.A 19.29% para Tractebel Energia S/A 8.29% para Vale S/A 5.62% para Votorantim Cimentos S.A.	Maximiliano de Almeida - RS Piratuba - SC	Pelotas
UHE.PH.MT.001401-0.01	Manso	29/11/2000	210.000	210.900	PIE SP	70% para Furnas Centrais Elétricas S/A. 30% para Produtores Energéticos de Manso S.A	Chapada dos Guimarães - MT Rosário Oeste - MT	Manso

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.MG.001417-6.01	Marimbondo	25/10/1975	1.440.000	1.440.000	SP	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Fronteira - MG Icém - SP	Grande
UHE.PH.ES.001432-0.01	Mascarenhas	21/09/1973	198.000	189.000	SP	100% para Energest S/A	Aimorés - MG Baixo Guandu - ES	Doce
UHE.PH.MG.001469-9.01	Miranda	30/05/1998	408.000	408.000	SP	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Indianópolis - MG Uberlândia - MG	Araguari
UHE.PH.SP.001486-9.01	Monjolinho	-	600	600	SP	100% para Mohini Empreendimentos e Participações Ltda	São Carlos - SP	Ribeirão Monjolinho
UHE.PH.MG.001489-3.01	Monte Alto	-	7.360	7.360	APE	100% para Votorantim Cimentos S.A.	Passos - MG	São João
UHE.PH.AL.001510-5.01	Apolônio Sales (Antiga Moxotó)	15/04/1977	400.000	400.000	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Delmiro Gouveia - AL Santa Brígida - BA	São Francisco
UHE.PH.ES.001518-0.01	Muniz Freire	01/01/1997	25.000	25.000	APE	100% para Samarco Mineração S/A	Muniz Freire - ES	Pardo
UHE.PH.RJ.001536-9.01	Nilo Peçanha	01/01/1953	380.030	378.420	SP	100% para Light Energia S/A	Piraí - RJ	Piraí
UHE.PH.SP.001552-0.01	Nova Avanhandava (Rui Barbosa)	19/12/1982	347.400	347.400	PIE	100% para AES Tietê S.A	Buritama - SP	Tietê
UHE.PH.MG.001574-1.01	Nova Ponte	01/01/1994	510.000	510.000	SP	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Nova Ponte - MG	Araguari
UHE.PH.SC.001945-3.01	Palmeiras	01/01/1963	24.602	24.602	PIE	100% para Celesc Geração S.A.	Rio dos Cedros - SC	dos Cedros
UHE.PH.SP.001972-0.01	Paranapanema	01/01/1957	31.500	31.500	SP	100% para Santa Cruz Geração de Energia S/A	Piraju - SP	Paranapanema
UHE.PH.DF.001975-5.01	Paranoá	01/01/1962	30.000	29.700	SP	100% para CEB Geração S.A	Brasília - DF	Paranoá

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.RS.001997-6.02	Passo de Ajuricaba	-	6.200	3.400	SP	100% para Departamento Municipal de Energia de Ijuí Geração	Ijuí - RS	Ijuí
UHE.PH.RS.002001-0.01	Passo Fundo	30/03/1973	226.000	226.000	PIE	100% para Tractebel Energia S/A	Entre Rios do Sul - RS	Passo Fundo
UHE.PH.RS.002003-6.01	Passo Real	01/01/1973	158.000	158.000	SP	100% para Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica	Salto do Jacuí - RS	Jacuí
UHE.PH.BA.002012-5.01	Paulo Afonso I	30/12/1964	180.001	180.001	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Delmiro Gouveia - AL Paulo Afonso - BA	São Francisco
UHE.PH.MG.002038-9.01	Marechal Mascarenhas de Moraes (Antiga Peixoto)	01/04/1957	476.000	492.100	SP	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Delfinópolis - MG Ibiraci - MG	Grande
UHE.PH.RJ.002043-5.01	Pereira Passos	01/01/1962	99.900	99.110	SP	100% para Light Energia S/A	Piraí - RJ	Lajes
UHE.PH.MG.002047-8.01	Peti	-	9.400	9.400	PIE	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	São Gonçalo do Rio Abaixo - MG	Santa Bárbara
UHE.PH.MG.002053-2.01	Picada	01/07/2006	50.000	50.000	APE	100% para Votorantim Metais Zinco S.A	Juiz de Fora - MG	Peixe
UHE.PH.SP.002077-0.01	Pirajú	12/09/2002	70.000	81.000	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Piraju - SP	Paranapanema
UHE.PH.MT.002103-2.01	Ponte de Pedra	19/07/2005	176.100	176.100	PIE	100% para Tractebel Energia S/A	Itiquira - MT Sonora - MS	Correntes
UHE.PH.MG.002117-2.01	Porto Colômbia	29/06/1973	320.000	319.200	SP	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Guaíra - SP Planura - MG	Grande
UHE.PH.SP.002123-7.01	Porto Góes	04/11/1928	24.800	24.800	SP	100% para Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A.	Salto - SP	Tietê
UHE.PH.SP.002127-0.01	Porto Primavera (Eng° Sérgio Motta)	22/01/1999	1.540.000	1.540.000	SP	100% para Companhia Energética de São Paulo	Anaurilândia - MS Teodoro Sampaio - SP	Paraná

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.SP.002128-8.01	Porto Raso	01/01/1982	28.400	28.400	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Tapiraí - SP	Juquiá-Guaçu
UHE.PH.SP.002158-0.01	Promissão (Mário Lopes Leão)	28/07/1975	264.000	264.000	PIE	100% para AES Tietê S.A	Ubarana - SP	Tietê
UHE.PH.SC.002167-9.01	Quebra Queixo	31/12/2003	120.000	121.500	PIE	100% para Companhia Energética Chapecó	Ipuaçu - SC São Domingos - SC	Chapecó
UHE.PH.MG.002176-8.01	Queimado	16/06/2004	105.000	105.450	PIE	17.5% para CEB Participações S.A 82.5% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Cristalina - GO Unai - MG	Preto
UHE.PH.SP.002187-3.01	Rasgão	06/09/1925	22.000	22.000	SP	100% para Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A.	Pirapora do Bom Jesus - SP	Tietê
UHE.PH.ES.002293-4.01	Rio Bonito	01/01/1959	22.500	22.500	PIE	100% para Energest S/A	Santa Maria de Jetibá - ES	Santa Maria
UHE.PH.SP.002353-1.01	Rio do Peixe (Casa de Força I e II)	01/01/1925	18.060	18.060	SP	100% para CPFL Geração de Energia S.A.	São José do Rio Pardo - SP	Peixe
UHE.PH.ES.002553-4.01	Rosal	18/01/2000	55.000	55.000	SP	100% para Rosal Energia S.A	Bom Jesus do Itabapoana - RJ Guaçuí - ES São José do Calçado - ES	Itabapoana
UHE.PH.SP.002555-0.01	Rosana	20/05/1987	354.000	354.000	PIE	100% para Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.	Diamante do Norte - PR Rosana - SP	Paranapanema
UHE.PH.MG.002563-1.01	Sá Carvalho	01/01/1951	78.000	78.000	SP	100% para Sá Carvalho S/A	Antônio Dias - MG	Piracicaba
UHE.PH.PR.002591-7.01	Governador José Richa (Salto Caxias)	18/02/1999	1.240.000	1.240.000	SP	100% para Copel Geração e Transmissão S.A.	Capitão Leônidas Marques - PR Realeza - PR Salto do Lontra - PR	Iguaçu

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.SP.002626-3.01	Salto do Iporanga	01/01/1989	36.870	36.870	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Juquiá - SP	Assungui
UHE.PH.SP.002648-4.01	Salto Grande (Lucas Nogueira Garcez)	31/05/1958	73.800	73.800	PIE	100% para Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.	Cambará - PR Salto Grande - SP	Paranapanema
UHE.PH.PR.002659-0.01	Salto Osório	01/01/1975	1.078.000	1.078.000	PIE	100% para Tractebel Energia S/A	Quedas do Iguaçu - PR	Iguaçu
UHE.PH.PR.002672-7.01	Salto Santiago	01/01/1980	1.420.000	1.420.000	PIE	100% para Tractebel Energia S/A	Saudade do Iguaçu - PR	Iguaçu
UHE.PH.RO.002687-5.01	Samuel	17/07/1989	216.750	216.750	SP	100% para Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A.	Porto Velho - RO	Jamari
UHE.PH.SP.002696-4.01	Santa Branca	21/05/1999	56.050	56.050	SP	100% para Light Energia S/A	Jacareí - SP Santa Branca - SP	Paraíba do Sul
UHE.PH.MG.002699-9.01	Santa Clara	20/02/2002	60.000	60.000	PIE	100% para Companhia Energética Santa Clara	Nanuque - MG Serra dos Aimorés - MG	Mucuri
UHE.PH.GO.002704-9.01	São Simão	01/01/1978	1.710.000	1.710.000	SP	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Santa Vitória - MG São Simão - GO	Paranaíba
UHE.PH.PR.002715-4.01	Governador Ney Aminthas de Barros Braga (Segredo)	29/09/1992	1.260.000	1.260.000	SP	100% para Copel Geração e Transmissão S.A.	Guarapuava - PR Mangueirinha - PR Pinhão - PR	Iguaçu
UHE.PH.GO.002731-6.01	Serra da Mesa	30/04/1998	1.275.000	1.275.000	SP	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Cavalcante - GO Minaçu - GO	Tocantins
UHE.PH.SP.002740-5.01	Serraria	01/01/1978	24.000	24.000	APE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Juquiá - SP	Juquiá - Guaçu
UHE.PH.BA.002755-3.01	Sobradinho	03/03/1982	1.050.300	1.050.300	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Sobradinho - BA	São Francisco
UHE.PH.MG.002757-0.01	Sobragi	01/07/1998	60.000	60.000	PIE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Belmiro Braga - MG Simão Pereira - MG	Paraibuna

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.SP.002762-6.01	Socorro	-	1.000	1.000	SP	100% para Mohini Empreendimentos e Participações Ltda	Socorro - SP	Peixe
UHE.PH.ES.002781-2.01	Suíça	01/01/1965	33.900	34.515	PIE	100% para Energest S/A	Santa Leopoldina - ES	Santa Maria
UHE.PH.SP.002821-5.01	Taquaruçu (Escola Politécnica)	12/11/1992	525.000	525.000	PIE	100% para Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.	Sandovalina - SP Santa Inês - PR	Paranapanema
UHE.PH.SP.002873-8.01	Três Irmãos	28/11/1993	807.500	811.450	SP	100% para Tijoa Participações e Investimentos S.A	Andradina - SP	Tietê
UHE.PH.SP.002877-0.01	Três Saltos	-	640	640	SP	100% para Jayaditya Empreendimentos e Participações Ltda	Torrinha - SP	Pinheirinho
UHE.PH.PA.002889-4.01	Tucuruí I e II	30/12/1984	8.535.000	8.535.000	SP	100% para Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A.	Tucuruí - PA	Tocantins
UHE.PH.RJ.002982-3.01	Vigário (Elevatória/Potência de bombeamento 90.820 kW)	01/01/1952	0	0	SP	100% para Light Energia S/A	Piraí - RJ	Piraí
UHE.PH.SP.003045-7.01	Volta Grande	22/04/1974	380.000	380.000	SP	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Conceição das Alagoas - MG Miguelópolis - SP	Grande
UHE.PH.AP.026792-9.01	Santo Antônio do Jari	17/09/2014	373.400	373.400	APE	100% para ECE Participações S.A.	Almeirim - PA Laranjal do Jari - AP	Jari

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.RS.027012-1.01	Dona Francisca	05/02/2001	125.000	125.000	PIE SP	5% para Companhia Estadual de Energia Elétrica 10% para Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica 90% para Dona Francisca Energética S/A	Agudo - RS Nova Palma - RS	Jacuí
UHE.PH.RS.027019-9.01	Itaúba	01/01/1979	500.400	500.400	SP	100% para Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica	Pinhal Grande - RS	Jacuí
UHE.PH.BA.027046-6.01	Funil	13/02/1970	30.000	30.000	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Ubaitaba - BA	das Contas
UHE.PH.BA.027048-2.01	Paulo Afonso II	24/10/1961	443.000	443.000	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Delmiro Gouveia - AL Paulo Afonso - BA	São Francisco
UHE.PH.BA.027049-0.01	Paulo Afonso III	21/10/1971	794.200	794.200	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Delmiro Gouveia - AL Paulo Afonso - BA	São Francisco
UHE.PH.BA.027050-4.01	Paulo Afonso IV	01/12/1979	2.462.400	2.462.400	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Delmiro Gouveia - AL Paulo Afonso - BA	São Francisco
UHE.PH.BA.027052-0.01	Pedra	13/11/1978	20.007	20.007	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Jequié - BA	das Contas
UHE.PH.SE.027053-9.01	Xingó	16/12/1994	3.162.000	3.162.000	SP	100% para Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Canindé de São Francisco - SE Piranhas - AL	São Francisco

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.SP.027092-0.01	Canoas II	13/07/1999	72.000	72.000	APE PIE	50.3% para Companhia Brasileira de Alumínio 49.7% para Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.	Andirá - PR Palmital - SP	Paranapanema
UHE.PH.MG.027113-6.01	Três Marias	01/01/1962	396.000	396.000	SP	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Três Marias - MG	São Francisco
UHE.PH.MG.027115-2.01	Emborcação	02/08/1982	1.192.000	1.192.000	SP	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Cascalho Rico - MG Catalão - GO	Paranaíba
UHE.PH.RJ.027118-7.01	Funil	20/03/1970	216.000	216.000	SP	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Itatiaia - RJ Resende - RJ	Paraíba do Sul
UHE.PH.SP.027122-5.01	Paraibuna	20/04/1978	87.020	87.020	SP	100% para Companhia Energética de São Paulo	Paraibuna - SP	Paraibuna
UHE.PH.MG.027126-8.01	Santana	01/01/1911	650	500	APE	100% para Votorantim Cimentos S.A.	Jacuí - MG	Santana
UHE.PH.PA.027130-6.01	Curuá-Una	01/01/1977	30.300	30.300	SP	100% para Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A.	Santarém - PA	Curuá-Una
UHE.PH.SP.027131-4.01	Jaguari	11/12/1973	27.600	27.600	SP	100% para Companhia Energética de São Paulo	Jacareí - SP	Jaguari
UHE.PH.PR.027174-8.01	Barra	01/08/2001	5.200	5.200	APE	100% para Rio Jordão Papéis S.A	Candói - PR	Jordão
UHE.PH.MG.027195-0.01	São João	-	3.200	3.200	APE	100% para Votorantim Cimentos S.A.	Itaú de Minas - MG	São João
UHE.PH.MG.027196-9.01	Porto Estrela	04/09/2001	112.000	112.000	APE	66.66% para Aliança Geração de Energia S.A. 33.33% para Companhia de Tecidos Norte de Minas	Açucena - MG Braúnas - MG Joanésia - MG	Santo Antônio
UHE.PH.MG.027210-8.01	Salto Grande	01/01/1956	102.000	102.000	SP	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A	Braúnas - MG	Santo Antônio

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.RJ.027217-5.01	Santa Cecília (Elevatória/Potência de bombeamento 34.960 kW)	01/01/1952	0	0	SP	100% para Light Energia S/A	Barra do Piraí - RJ	Paraíba do Sul
UHE.PH.MT.027244-2.01	Itiquira (Casas de Forças I e II)	06/11/2002	157.770	156.000	APE	100% para Itiquira Energética S/A	Itiquira - MT	Itiquira
UHE.PH.SC.027401-1.01	Campos Novos	03/02/2007	880.000	880.000	PIE	100% para Campos Novos Energia S/A.	Abdon Batista - SC Anita Garibaldi - SC Campos Novos - SC Celso Ramos - SC	Canoas
UHE.PH.BA.027414-3.01	Alto Fêmeas I	01/01/1992	10.650	10.649	SP	100% para AFLUENTE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA S/A	São Desidério - BA	Fêmeas
UHE.PH.RO.027448-8.01	Rondon II	31/03/2011	73.500	73.500	SP	100% para Eletrogoes S/A.	Pimenta Bueno - RO	Comemoração
UHE.PH.MG.027483-6.01	Amador Aguiar I (Antiga Capim Branco I)	21/02/2006	240.000	243.675	APE	87.36% para Aliança Geração de Energia S.A. 12.64% para Votorantim Metais Zinco S.A	Araguari - MG Uberlândia - MG	Araguari
UHE.PH.MG.027484-4.01	Amador Aguiar II (Antiga Capim Branco II)	09/03/2007	210.000	210.000	APE	87.36% para Aliança Geração de Energia S.A. 12.64% para Votorantim Metais Zinco S.A	Araguari - MG Uberlândia - MG	Araguari
UHE.PH.RS.027556-5.01	Barra Grande	01/11/2005	690.000	698.250	PIE	100% para Energética Barra Grande S/A	Anita Garibaldi - SC Esmeralda - RS	Pelotas
UHE.PH.SC.027620-0.01	Santa Anna	26/03/2015	1.345	1.345	não identificado	não identificado	Joaçaba - SC	Peixe
UHE.PH.GO.027665-0.01	São Domingos	01/01/1991	12.000	14.336	SP	100% para Celg Geração e Transmissão S.A	São Domingos - GO	São Domingos
UHE.PH.GO.027795-9.01	Corumbá IV	01/04/2006	127.000	127.000	PIE	100% para Corumbá Concessões S.A	Luziânia - GO	Corumbá

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.SP.027872-6.01	Ourinhos	07/12/2005	44.000	44.400	PIE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Jacarezinho - PR Ourinhos - SP	Parapanema
UHE.PH.RS.027968-4.01	Monte Claro	29/12/2004	130.000	130.000	PIE	100% para Companhia Energética Rio das Antas	Bento Gonçalves - RS Veranópolis - RS	das Antas
UHE.PH.AM.028009-7.01	Pitinga	01/01/1986	24.960	24.960	APE	100% para Mineração Taboca S/A	Presidente Figueiredo - AM	Pitinga
UHE.PH.MG.028011-9.01	Coronel Jove Soares Nogueira (Antiga Benfica)	-	1.000	1.007	APE	100% para Companhia Industrial Itaunense	Itaúna - MG	São João
UHE.PH.MS.028012-7.01	Assis Chateaubriand (Antiga Salto Mimoso)	01/10/1969	29.500	29.500	PIE	100% para Pantanal Energética Ltda	Ribas do Rio Pardo - MS	Pardo
UHE.PH.GO.028352-5.01	Corumbá III	24/10/2009	96.447	96.447	PIE	40% para Energética Corumbá III S/A 60% para Geração CIII S.A.	Luziânia - GO	Corumbá
UHE.PH.TO.028353-3.01	Peixe Angical	27/06/2006	498.750	498.750	PIE	100% para Enerpeixe S.A	Peixe - TO São Salvador do Tocantins - TO	Tocantins
UHE.PH.RS.028354-1.01	Foz do Chapecó	14/10/2010	855.000	855.000	PIE	100% para Foz do Chapecó Energia S.A	Águas de Chapecó - SC Alpestre - RS	Uruguai
UHE.PH.GO.028355-0.01	Serra do Facão	13/07/2010	212.580	212.580	PIE	100% para Serra do Facão Energia S.A.	Catalão - GO Davinópolis - GO	São Marcos
UHE.PH.PR.028360-6.01	Fundão	23/06/2006	120.168	120.168	PIE	100% para Centrais Elétricas do Rio Jordão S/A	Foz do Jordão - PR Pinhão - PR	Jordão
UHE.PH.PR.028361-4.01	Santa Clara	31/07/2005	120.168	120.168	PIE	100% para Centrais Elétricas do Rio Jordão S/A	Candói - PR Pinhão - PR	Jordão
UHE.PH.RS.028562-5.01	Alzir dos Santos Antunes (Antiga Monjolinho)	01/09/2009	74.000	74.000	PIE	100% para Monel Monjolinho Energética S/A	Faxinalzinho - RS Nonoai - RS	Passo Fundo

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.SC.028564-1.01	Salto Pilão	11/12/2009	191.890	191.890	PIE	60% para Companhia Brasileira de Alumínio 20% para Companhia Geração de Energia Pilão 20% para DME Energética S.A	Apiúna - SC Ibirama - SC Lontras - SC	Itajaí
UHE.PH.BA.028565-0.01	Pedra do Cavalo	16/12/2004	160.000	162.000	PIE	100% para Votorantim Cimentos N.NE S.A	Cachoeira - BA Governador Mangabeira - BA	Paraguaçu
UHE.PH.TO.028567-6.01	São Salvador	06/08/2009	243.200	243.200	PIE	100% para Tractebel Energia S/A	Paraná - TO São Salvador do Tocantins - TO	Tocantins
UHE.PH.GO.028756-3.01	Caçu	24/07/2010	65.000	65.000	PIE	100% para Gerdau Aços Longos S.A.	Caçu - GO	Claro
UHE.PH.GO.028757-1.01	Barra dos Coqueiros	19/06/2010	90.000	90.000	PIE	100% para Gerdau Aços Longos S.A.	Cachoeira Alta - GO	Claro
UHE.PH.GO.028758-0.01	Salto	25/05/2010	116.000	116.000	PIE	100% para Rio Verde Energia S.A.	Caçu - GO Itarumã - GO	Verde
UHE.PH.GO.028760-1.01	Salto do Rio Verdinho	06/07/2010	93.000	93.000	PIE	100% para Companhia Brasileira de Alumínio	Caçu - GO Itarumã - GO	Verde
UHE.PH.MS.028761-0.01	São Domingos	14/06/2013	48.000	48.000	PIE	100% para Eletrosul Centrais Elétricas S.A	Água Clara - MS Ribas do Rio Pardo - MS	Verde
UHE.PH.MA.028863-2.01	Estreito	29/04/2011	1.087.000	1.087.000	PIE	40.07% para Companhia Energética Estreito S.A. 25.49% para Estreito Energia S.A. 4.44% para InterCement Brasil S.A 30% para Vale S/A	Aguiarnópolis - TO Estreito - MA	Tocantins

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.MG.029453-5.01	Baguari	09/09/2009	140.000	140.544	PIE	49% para Baguari Energia S.A. 51% para Baguari I Geração de Energia Elétrica S.A	Alpercata - MG Fernandes Tourinho - MG Governador Valadares - MG Iapu - MG Periquito - MG Sobralia - MG	Doce
UHE.PH.MG.029454-3.01	Batalha (Antiga Paulista)	17/05/2014	52.500	52.500	PIE	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Cristalina - GO Paracatu - MG	São Marcos
UHE.PH.GO.029455-1.01	Engenheiro José Luiz Muller de Godoy Pereira (Antiga Foz do Rio Claro)	05/08/2010	68.400	68.400	PIE	100% para Foz do Rio Claro Energia S.A.	Caçu - GO São Simão - GO	Claro
UHE.PH.RS.029456-0.01	Passo São João	24/03/2012	77.000	77.000	PIE	100% para Eletrosul Centrais Elétricas S.A	Dezesseis de Novembro - RS Roque Gonzales - RS	Ijuí
UHE.PH.MG.029457-8.01	Retiro Baixo	03/03/2010	83.657	83.657	PIE	100% para Retiro Baixo Energética S.A	Curvelo - MG Pompéu - MG	Paraopeba
UHE.PH.MG.029458-6.01	Simplicio	05/06/2013	333.700	305.700	PIE	100% para Furnas Centrais Elétricas S/A.	Além Paraíba - MG Chiador - MG Sapucaia - RJ Três Rios - RJ	Paraíba do Sul
UHE.PH.RS.029459-4.01	São José	29/03/2011	51.000	51.000	PIE	100% para Ijuí Energia S.A.	Rolador - RS Salvador das Missões - RS	Ijuí
UHE.PH.MT.029597-3.01	Dardanelos	09/08/2011	261.000	261.000	PIE	100% para Energética Águas da Pedra S.A.	Aripuanã - MT	Aripuanã
UHE.PH.PR.029598-1.01	Mauá	23/11/2012	361.000	363.138	PIE	51% para Copel Geração e Transmissão S.A. 49% para Eletrosul Centrais Elétricas S.A	Ortigueira - PR Telêmaco Borba - PR	Tibagi

USINAS do tipo UHE em Operação								
CEG	Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
UHE.PH.RO.029707-0.01	Santo Antônio	30/03/2012	3.568.000	2.355.670	PIE	100% para Santo Antônio Energia S.A.	Porto Velho - RO	Madeira
UHE.PH.RO.029736-4.01	Jirau	06/09/2013	3.750.000	2.700.000	PIE	100% para Energia Sustentável do Brasil S.A.	Porto Velho - RO	Madeira
UHE.PH.AP.030385-2.01	Ferreira Gomes	04/11/2014	252.000	252.000	PIE	100% para Ferreira Gomes Energia S.A	Ferreira Gomes - AP	Araguari
UHE.PH.SC.030415-8.01	Garibaldi	24/09/2013	191.900	191.900	PIE	100% para Rio Canoas Energia S.A	Abdon Batista - SC	Canoas
UHE.PH.PA.030557-0.01	Teles Pires	07/11/2015	1.819.800	364.000	PIE	100% para Companhia Hidrelétrica Teles Pires	Jacareacanga - PA Paranaíta - MT	Teles Pires
Total:198 Usina(s)	Total Potência Outorgada:89.519.401 kW							

Legenda	
APE	Autoprodução de Energia
PIE	Produção Independente de Energia
REG	Registro
REG-RN482	Registro mini/ micro Geradores RN482/2012
SP	Serviço Público

Fonte: Aneel (2015)

### ANEXO B – Levantamento de dados das UHEs brasileiras

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
Balbina	Presidente Figueiredo - AM	250000	249750	-1,916667	-59,466667	4437,72
Sobradinho	Sobradinho - BA	1050300	1050300	-09:25:15	-40:50:00	4380,79
Tucuruí I e II	Tucuruí - PA	8535000	8535000	-03:45:00	-49:40:00	3014,23
Porto Primavera (Eng <sup>o</sup> Sérgio Motta)	Anaurilândia - MS Teodoro Sampaio - SP	1540000	1540000	-22:27:00	-52:53:00	2976,98
Furnas	São João Batista do Glória - MG São José da Barra - MG	1216000	1216000	-20,664722	-46,320278	1406,26
Ilha Solteira	Ilha Solteira - SP Selvíria - MS	3444000	3444000	-20,382222	-51,363611	1357,62
Serra da Mesa	Cavalcante - GO Minaçu - GO	1275000	1275000	-13:50:06	-48:18:04	1254,09
Três Marias	Três Marias - MG	396000	396000	-18:12:54	-45:15:33	1110,54
Itaipu (Parte Brasileira)	Foz do Iguaçu - PR	7000000	7000000	-25,426944	-56,593056	1049,56
Luiz Gonzaga (Itaparica)	Glória - BA Jatobá - PE Petrolândia - PE	1479600	1479600	-9,143992	-38,313367	839,40
Itumbiara	Araporã - MG Itumbiara - GO	2082000	2080500	-18,423611	-49,118333	749,12
São Simão	Santa Vitória - MG São Simão - GO	1710000	1710000	-19:01:05	-50:29:57	735,56
Luís Eduardo Magalhães (Lajeado)	Miracema do Tocantins - TO Palmas - TO	902500	902500	-9,757222	-48,371389	703,94
Água Vermelha (Antiga José Ermírio de Moraes)	Indiaporã - SP Iturama - MG Ouroeste - SP	1396200	1396200	-19,851111	-59,345556	673,63
Três Irmãos	Andradina - SP	807500	811450	-20:40:00	-51:13:00	669,59
Samuel	Porto Velho - RO	216750	216750	-08:45:00	-63:28:00	655,60
Capivara (Escola de Engenharia Mackenzie)	Porecatu - PR Taciba - SP	619000	619000	-22,656667	-51,337778	609,73

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
Promissão (Mário Lopes Leão)	Ubarana - SP	264000	264000	-21:17:46	-49:46:59	572,72
Jurumirim (Armando Avellanal Laydner)	Cerqueira César - SP	100956	100956	-23,209444	-49,23	470,42
Marimbondo	Fronteira - MG Icem - SP	1440000	1440000	-20,301111	-49,196667	452,38
Emborcação	Cascalho Rico - MG Catalão - GO	1192000	1192000	-18,451944	-47,993889	432,48
Manso	Chapada dos Guimarães - MT Rosário Oeste - MT	210000	210900	-14,863611	-55,794444	427,00
Nova Ponte	Nova Ponte - MG	510000	510000	-19°12'35"	-47°43'20"	397,41
Santo Antônio	Porto Velho - RO	3150400	2286080	-8:48:04	-63:56:59	396,24
Chavantes	Chavantes - SP Ribeirão Claro - PR	414000	414000	-23,128611	-49,731389	392,12
Boa Esperança (Antiga Castelo Branco)	Guadalupe - PI São João dos Patos - MA	237300	237300	-6,688889	-43,566667	376,35
Jirau	Porto Velho - RO	3750000	2250000	-9,331111	-64,734444	354,42
Barra Bonita	Barra Bonita - SP	140760	140760	-22,51944	-48,534444	331,69
Jupiá (Eng <sup>o</sup> Souza Dias)	Castilho - SP Três Lagoas - MS	1551200	1551200	-20,775833	-51,626667	321,68
Peixe Angical	Peixe - TO São Salvador do Tocantins - TO	498750	498750	-12:14:00	-48:22:00	318,45
Marechal Mascarenhas de Moraes (Antiga Peixoto)	Delfinópolis - MG Ibiraci - MG	476000	492100	-20,287778	-47,066111	269,48
Rosana	Diamante do Norte - PR Rosana - SP	354000	354000	-22:36:00	-52:52:10	261,44
Passo Real	Salto do Jacuí - RS	158000	158000	-29,016667	-53,183333	248,82
Nova Avanhandava (Rui Barbosa)	Buritama - SP	347400	347400	-21,118889	-50,201111	218,04
Salto Santiago	Saudade do Iguaçu - PR	1420000	1420000	-25:39:00	-52:37:00	213,65
Pedra do Cavalo	Cachoeira - BA Governador Mangabeira - BA	160000	162000	-12:35:4	-38:59:51 <sup>4</sup>	198,89

<sup>4</sup> \* localização de <http://wikimapia.org/121994/pt/Hidroel%C3%A9trica-de-Pedra-do-Cavalo>

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
Paraibuna	Paraibuna - SP	87020	87020	-23:24:36	-45:36:02	197,62
Volta Grande	Conceição das Alagoas - MG Miguelópolis - SP	380000	380000	-20:01:44	-48:13:15	196,68
Corumbá IV	Luziânia - GO	127000	127000	-16,326389	-48,187778	186,51
Governador Bento Munhoz da Rocha Neto (Foz do Areia)	Guarapuava - PR Mangueirinha - PR Pinhão - PR	1676000	1676000	-26,083333	-51,65	165,07
Teles Pires	Jacareacanga - PA Paranaíta - MT	1.819.800	364.000	-9:20:35	-56:46:35	150,00 <sup>5</sup>
Porto Colômbia	Guaíra - SP Planura - MG	320000	319200	-20:07:27	-48:34:19	148,94
Irapé	Berilo - MG Grão Mogol - MG	399000	399000	-16,738056	-42,574722	148,81
Passo Fundo	Entre Rios do Sul - RS	226000	226000	-27:33:00	-52:44:00	141,07
Governador José Richa (Salto Caxias)	Capitão Leônidas Marques - PR Realeza - PR Salto do Lontra - PR	1240000	1240000	-25,55	-53,5	140,99
Henry Borden	Cubatão - SP	889000	889000	-23,875278	-46,448611	135,58
Itá	Aratiba - RS Itá - SC	1450000	1450000	-27,255	-52,383611	126,32
Ibitinga	Ibitinga - SP	131490	131490	-21,759167	-48,990556	126,06
Curuá-Una	Santarém - PA	30300	30300	-2,789444	-54,291667	121,00
Taquaruçu (Escola Politécnica)	Sandovalina - SP Santa Inês - PR	525000	525000	-22:32:31	-52:00:00	110,26
Barra Grande	Anita Garibaldi - SC Esmeralda - RS	690000	698250	-27,7725	-51,216944	99,99
São Salvador	Paraná - TO São Salvador do Tocantins - TO	243200	243200	-12°48'37"	-48°14'19"	99,65
Apolônio Sales (Antiga Moxotó)	Delmiro Gouveia - AL Santa Brígida - BA	400000	400000	-9,3575	-38,208333	94,96
Machadinho	Maximiliano de Almeida - RS Piratuba - SC	1140000	1140000	-27,527778	-51,790278	89,33
Pedra	Jequié - BA	20007	20007	-13:53:00	-40:03:00	89,17
Governador Ney Aminthas de Barros	Guarapuava - PR Mangueirinha - PR Pinhão - PR	1260000	1260000	-25,783333	-52,133333	84,82

<sup>5</sup> <http://www.uhetelespires.com.br/site/empreendimento/#body>

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
Braga (Segredo)						
Rondon II	Pimenta Bueno - RO	73500	73500	-11°59'52"	-60°41'52"	75,87
Corumbá III	Luziânia - GO	96447	96447	-16,786111	-47,941944	70,38
Cachoeira Dourada	Cachoeira Dourada - GO Itumbiara - GO	658000	658000	-18,5025	-49,493056	64,70
Corumbá I	Caldas Novas - GO Corumbá - GO	375000	375300	-17,992222	-48,528611	62,80
Itapebi	Itapebi - BA	462011	456000	-15,940278	-39,520556	62,48
Cana Brava	Cavalcante - GO Minaçu - GO	450000	450000	-13,399167	-48,1425	61,05
Salto	Caçu - GO Itarumã - GO	116000	116000	-18,808333	-51,169444	60,24
Salto Osório	Quedas do Iguaçu - PR	1078000	1078000	-25:32:00	-53:02:00	59,90
Xingó	Canindé de São Francisco - SE Piranhas - AL	3162000	3162000	-09:37:05	-37:47:00	58,94
Bariri (Álvaro de Souza Lima)	Boracéia - SP	143100	136800	-22,153333	-48,7525	58,35
Miranda	Indianópolis - MG Uberlândia - MG	408000	408000	-18,912222	-48,041389	53,04
Camargos	Itutinga - MG Nazareno - MG	46000	46000	-21,325556	-44,616111	50,47
Estreito (Luiz Carlos Barreto de Carvalho)	Pedregulho - SP Sacramento - MG	1050000	1048000	-20,150556	-47,279444	46,56
Jaguari	Jacareí - SP	27600	27600	-23,195	-46,027778	46,39
Santa Branca	Jacareí - SP Santa Branca - SP	56050	56050	-23:11:42	-46:01:40	46,39
Amador Aguiar II (Antiga Capim Branco II)	Araguari - MG Uberlândia - MG	210000	210000	-18,659722	-48,435278	43,55
Funil	Itatiaia - RJ Resende - RJ	216000	216000	-22,530278	-44,566944	43,18
Jaguara	Rifaina - SP Sacramento - MG	424000	424000	-20,023056	-47,434444	41,56
Igarapava	Conquista - MG Igarapava - SP	210000	210000	-19,983333	-47,75	40,94
Campos Novos	Abdon Batista - SC Anita Garibaldi - SC Campos Novos - SC Celso Ramos - SC	880000	880000	-27,601667	-51,316944	40,76
Funil	Lavras - MG Perdões - MG	180000	180000	-21,186111	-45,146667	40,49
Paranoá	Brasília - DF	30000	29700	-15:47:14	-47:47:23	39,11

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
Fontes Nova	Piraí - RJ	131988	130300	-22,703056	-43,881389	37,07
Aimorés	Aimorés - MG Baixo Guandu - ES	330000	330000	-19,498289	-41,023586	36,88
Caconde	Caconde - SP	80490	80400	-21,576667	-46,624167	36,30
Queimado	Cristalina - GO Unaí - MG	105000	105450	-16:12:36	-47:19:30	36,25
Canoas I	Cândido Mota - SP Itambaracá - PR	82500	82500	-22,941389	-50,516944	30,75
Coaracy Nunes	Ferreira Gomes - AP Macapá - AP	78000	76952	0,916667	-51,25	30,37
Garibaldi	Abdon Batista - SC	191900	191900	-27,621667	-50,988191	28,50
Espora	Aporé - GO Serranópolis - GO	32000	32010	-18,683333	-51,85	28,06
Cajuru	Carmo do Cajuru - MG Divinópolis - MG	7200	7200	-20,239444	-44,753889	27,00
Canoas II	Andará - PR Palmital - SP	72000	72000	-22,936111	-50,249722	25,71
Itupararanga	Votorantim - SP	55000	56170	-23,6125	-47,396944	25,27
Santa Clara	Candói - PR Pinhão - PR	120168	120168	-25,647778	-51,953611	24,69
Dona Francisca	Agudo - RS Nova Palma - RS	125000	125000	-29,433333	-53,266667	22,30
Pitinga	Presidente Figueiredo - AM	24960	24960	0:51:58	-59:36:17 <sup>6</sup>	22,00 <sup>7</sup>
Amador Aguiar I (Antiga Capim Branco I)	Araguari - MG Uberlândia - MG	240000	243675	-18,790278	-48,147222	20,66
Passo São João	Dezesseis de Novembro - RS Roque Gonzales - RS	77000	77000	-28:08:22	-55:02:52	20,60
Pirajú	Pirajú - SP	70000	81000	-23:10:40	-49:22:51	17,13
Baguari	Alpercata - MG Fernandes Tourinho - MG Governador Valadares - MG Iapu - MG Periquito - MG Sobrália - MG	140000	140544	-19,022	-42,123	16,65
Bugres	Canela - RS	19200	11120	-29,35	-50,7	16,33
Assis Chateaubriand(Antiga	Ribas do Rio Pardo - MS	29500	29500	-20,676111	-53,563333	16,00

<sup>6</sup> <http://wikimapia.org/32947138/pt/Usina-Hidrel%C3%A9trica-do-Pitinga>

<sup>7</sup> [http://www.intertechne.com.br/index.php?option=com\\_zoom&Itemid=3&page=view&catid=4&key=7&hit=1](http://www.intertechne.com.br/index.php?option=com_zoom&Itemid=3&page=view&catid=4&key=7&hit=1)

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
Salto Mimoso)						
Paulo Afonso IV	Delmiro Gouveia - AL Paulo Afonso - BA	2462400	2462400	-9:22:00	-38:16:00	15,92
Ponte de Pedra	Itiquira - MT Sonora - MS	176100	176100	-17,610278	-54,826944	15,62
Governador Parigot de Souza (Capivari/Cachoeira)	Antonina - PR	260000	260000	-25,466667	-48,866667	15,61
Salto Grande (Lucas Nogueira Garcez)	Cambará - PR Salto Grande - SP	73800	73800	-22:54:15	-50:00:01	14,91
Itaúba	Pinhal Grande - RS	500400	500400	-29,25	-53,233333	13,83
França	Juquitiba - SP	29500	29520	-23,940556	-47,194444	12,70
Ferreira Gomes	Ferreira Gomes - AP	252000	252000	0,852	-51,2	11,67
Barra do Braúna	Recreio - MG	39000	39000	-21,45	-42,4	11,64
Caveiras	Lages - SC	4290	3829	-27,815556	-50,480278	10,40
São João	Itaú de Minas - MG	3200	3200	-16,739553	-48,227147	9,78
Santa Clara	Nanuque - MG Serra dos Aimorés - MG	60000	60000	-17:35:39	-41:01:03	8,79
Engenheiro José Luiz Muller de Godoy Pereira (Antiga Foz do Rio Claro)	Caçu - GO São Simão - GO	68400	68400	-19,117778	-50,645556	8,39
Lobo	Itirapina - SP	1590	2000	-22,161528	-47,901139	7,00
Fumaça	Ibiúna - SP	36400	36400	-24,0075	-47,263889	6,92
14 de Julho	Bento Gonçalves - RS Cotiporã - RS	100000	100710	-29,064753	-51,674942	6,65
Quebra Queixo	Ipuacu - SC São Domingos - SC	120000	121500	-26:39:01	-52:33:04	6,22
Castro Alves	Nova Pádua - RS Nova Roma do Sul - RS	130000	130845	-29,008333	-51,379167	6,21
Funil	Ubaitaba - BA	30000	30000	-14,233333	-39,5	6,16
Salto Grande	Braúnas - MG	102000	102000	-19:06:56	-42:43:07	5,72
Jacuí	Salto do Jacuí - RS	180000	180000	-29,066667	-53,2	5,47
Alzir dos Santos Antunes (Antiga	Faxinalzinho - RS Nonoai - RS	74000	74000	-27,345556	-52,731111	5,46

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
Monjolinho)						
Paulo Afonso I, II e III	Delmiro Gouveia - AL Paulo Afonso - BA	180001	180001	-9:22:00	-38:16:00	5,19
Guaporé	Pontes e Lacerda - MT	120000	124200	-15,123889	-58,964722	5,09
Ourinhos	Jacarezinho - PR Ourinhos - SP	44000	44400	-23,069444	-49,849722	5,09
Jauru	Indiavaí - MT Jauru - MT	121500	121500	-15,233333	-58,726667	4,62
Mascarenhas	Aimorés - MG Baixo Guandu - ES	198000	189000	-19,500833	-40,918056	4,19
Itiquira (Casas de Forças I e II)	Itiquira - MT	157770	156000	-17,094444	-54,939444	3,85
João Camilo Penna (Antiga Cachoeira do Emboque)	Raul Soares - MG	21600	22020	-20,12	-42,393889	3,78
Porto Estrela	Açucena - MG Braúnas - MG Joanésia - MG	112000	112000	-19:07:00	-42:39:33	3,77
Ilha dos Pombos	Além Paraíba - MG Carmo - RJ	187169	187169	-21,85	-42,583333	3,70
Vigário (Elevatória/Potência de bombeamento 90.820 kW)	Piraí - RJ	0	0	-22:41:00	-43:52:26	3,24
Palmeiras	Rio dos Cedros - SC	24602	24602	-26:39:39	-49:20:01	3,12
Jurupará	Ibiúna - SP Piedade - SP	7200	7200	-23,962222	-47,39	2,90
Risoleta Neves (Antiga Candonga)	Rio Doce - MG Santa Cruz do Escalvado - MG	140000	140000	-20:12:25	-42:50:57	2,82
Juba II	Barra do Bugres - MT Tangará da Serra - MT	42000	42000	-14,756111	-58,023056	2,78
Rosal	Bom Jesus do Itabapoana - RJ Guaçuí - ES São José do Calçado - ES	55000	55000	-20:55:00	-41:42:00	2,77
Fundão	Foz do Jordão - PR Pinhão - PR	120168	120168	-25,721111	-52,038056	2,73
Salto do Iporanga	Juquiá - SP	36870	36870	-24:05:59	-47:43:13	2,69
Sá Carvalho	Antônio Dias - MG	78000	78000	-19:38:09	-42:48:22	2,60
Limoeiro (Armando Salles de Oliveira)	São José do Rio Pardo - SP	32000	32000	-21,625278	-47,009444	2,49

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
Glória	Muriaé - MG	13800	11360	-21,035833	-42,331667	2,44
Rio Bonito	Santa Maria de Jetibá - ES	22500	22500	-20:03:30	-40:37:58	2,20
São Domingos	São Domingos - GO	12000	14336	-13:24:25	-46:20:37	2,13
Serraria	Juquiá - SP	24000	24000	-24:09:07	-47:32:53	2,13
Monte Claro	Bento Gonçalves - RS Veranópolis - RS	130000	130000	-29,030278	-51,520556	2,11
Barra	Tapiraí - SP	40400	40400	-24,024167	-47,355556	2,02
Santa Cecília (Elevatória/Potência de bombeamento 34.960 kW)	Barra do Piraí - RJ	0	0	-22°28'59"	-43°50'21"	1,60
Porto Raso	Tapiraí - SP	28400	28400	-24,0625	-47,415833	1,59
Alecrim	Miracatu - SP	72000	72000	-24,081389	-47,506667	1,54
Parapanema	Piraju - SP	31500	31500	-23:11:13	-49:23:02	1,49
Guaricana	Guaratuba - PR	36000	36000	-25,726111	-48,949722	1,42
Itutinga	Itutinga - MG Nazareno - MG	52000	52000	-21,291667	-44,623889	1,41
Rio do Peixe (Casa de Força I e II)	São José do Rio Pardo - SP	18060	18060	-21:37:36	-46:47:11	1,36
Rasgão	Pirapora do Bom Jesus - SP	22000	22000	-23:22:48	-47:01:56	1,15
Guilman-Amorim	Antônio Dias - MG Nova Era - MG	140000	140040	-19,708333	-42,96	1,10
Picada	Juiz de Fora - MG	50000	50000	-21:54:38	-43:32:10	1,09
Pereira Passos	Piraí - RJ	99900	99110	-22:41:11	-43:49:31	1,07
Euclides da Cunha	São José do Rio Pardo - SP	108890	108800	-21,603056	-46,949167	1,06
Brecha	Guaraciaba - MG	12400	12400	-20,7125	-42,951389	1,00
Canastra	Canela - RS	44800	42500	-29,383333	-50,733333	1,00
Juba I	Barra do Bugres - MT Tangará da Serra - MT	42000	42000	-14,748333	-58,073889	0,92
Monjolinho	São Carlos - SP	600	600	-22,024566	-47,915556	0,9
Casca III	Chapada dos Guimarães - MT	12420	12420	-15,358611	-55,461667	0,37

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
Monte Alto	Passos - MG	7360	7360	-20,775	-46,725	0,27
Muniz Freire	Muniz Freire - ES	25000	25000	-20,466667	-41,466667	0,20
Porto Góes	Salto - SP	24800	24800	-23:12:33	-47:17:47	0,16
Suíça	Santa Leopoldina - ES	33900	34515	-20:05:05	-40:33:36	0,14
Sobragi	Belmiro Braga - MG Simão Pereira - MG	60000	60000	-21:56:24	-43:22:12	0,03
Walter Rossi (Antiga Antas II)	Poços de Caldas - MG	16500	15782	-21:44:50	-46:36:10	0,01
Alto Fêmeas I	São Desidério - BA	10650	10649	-12,45	-45,2	0,01
Barra dos Coqueiros	Cachoeira Alta - GO	90000	90000	-18,723333	-51,003056	0
Batalha (Antiga Paulista)	Cristalina - GO Paracatu - MG	52500	52500	-17,35	-47,48333	0
Caçu	Caçu - GO	65000	65000	-18,529444	-51,15	0
Dardanelos	Aripuanã - MT	261000	261000	-10,163333	-59,464167	0
Salto do Rio Verdinho	Caçu - GO Itarumã - GO	93000	93000	-19,145556	-50,767222	0
São Domingos	Água Clara - MS Ribas do Rio Pardo - MS	48000	48000	-20:05:15	-53:10:28	0
Serra do Facão	Catalão - GO Davinópolis - GO	212580	212580	-18:04	-47:40	0
Buritis	Buritizal - SP	800	800	-20,216667	-47,716667	0
Coronel Jove Soares Nogueira (Antiga Benfica)	Itaúna - MG	1000	1007	-20,099722	-44,554722	0
Ituerê	Rio Pomba - MG	4040	4040	-21,3	-43,216667	0
Macaco Branco	Campinas - SP	2363	2363	-22,790556	-46,897222	0
Nilo Peçanha	Piraí - RJ	380030	378420	-22,683333	-43,873889	0
Santana	Jacuí - MG	650	500	-20,811667	-46,808333	0
Barra	Candói - PR	5200	5200	-25,766667	-52,083333	0
Foz do Chapecó	Águas de Chapecó - SC Alpestre - RS	855000	855000	-27,141667	-53,039722	0
Mauá	Ortigueira - PR Telêmaco Borba - PR	361000	363138	-24,06222	-50,70639	0
Salto Pilão	Apiúna - SC Ibirama - SC Lontras - SC	191890	191890	-27°7'25"	-49°29'55"	0

Usina	Município	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Latitude	Longitude	Área Res (km <sup>2</sup> )
São José	Rolador - RS Salvador das Missões - RS	51000	51000	-28°10'49"	-54°49'33"	0
Estreito	Aguiarnópolis - TO Estreito - MA	1087000	1087000	-6,587222	-47,459444	0
Santo Antônio do Jari	Almeirim - PA Laranjal do Jari - AP	373400	373400	0°39'2"	-52°30'59"	0
Pedro Affonso Junqueira (Antiga Antas I)	Poços de Caldas - MG	8780	8860	-21°45'0"	-46°36'0"	0
Retiro Baixo	Curvelo - MG Pompéu - MG	83657	83657	-18°53'41"	-44°46'55"	0
Simplício	Além Paraíba - MG Chiador - MG Sapucaia - RJ Três Rios - RJ	333700	305700	-21°55'17"	-42°47'25"	0
Socorro	Socorro - SP	1000	1000	-21°55'18"	-42°47'24"	0
Três Saltos	Torrinha - SP	640	640	-22°2'41"	-48°10'28"	0
Passo de Ajuricaba	Ijuí - RS	6200	3400	-28°16'59"	-53°48'35"	0
Santa Anna	Joaçaba - SC	1.345	1.345			
Peti	São Gonçalo do Rio Abaixo - MG	9400	9400			

\*Peti é considerada PCH pela Cemig.

## ANEXO C – Ficha técnica do painel (KD245GX-LPB)

### HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE



## KD 200-60 P Series

KD240GX-LPB KD245GX-LPB

### CUTTING EDGE TECHNOLOGY

As a pioneer with over 35 years in the solar energy industry, Kyocera demonstrates leadership in the development of solar energy products. Kyocera's *Kaizen* Philosophy, commitment to continuous improvement, is shown by repeatedly achieving world record cell efficiencies.

### QUALITY BUILT IN

- UV stabilized, aesthetically pleasing black anodized frame
- Supported by major mounting structure manufacturers
- Easily accessible grounding points on all four corners for fast installation
- Proven junction box technology with 12 AWG PV wire to work with transformerless inverters
- Quality locking MC4 plug-in connectors to provide safe and quick connections

### RELIABLE

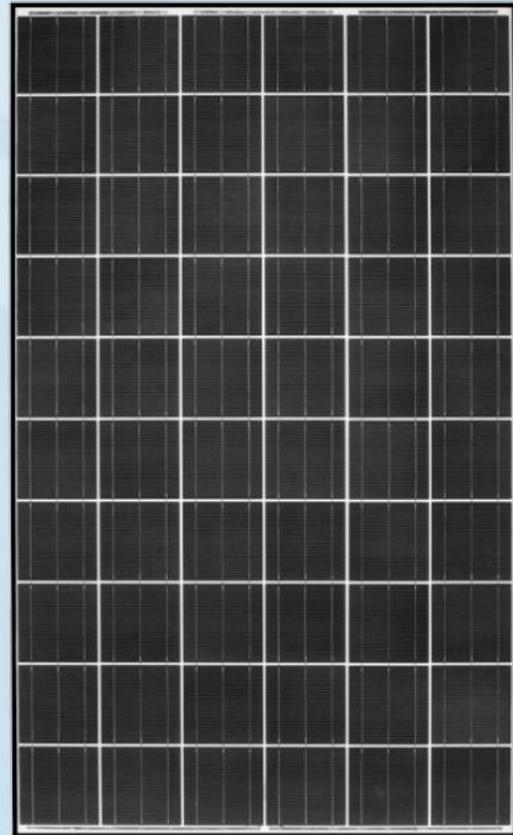
- Proven superior field performance
- Tight power tolerance
- Only module manufacturer to pass rigorous long-term testing performed by TÜV Rheinland

### QUALIFICATIONS AND CERTIFICATIONS

UL Listing  
QIGU.E173074



NEC 2008 Compliant, UL 1703, ISO 9001, and ISO 14001  
UL1703 Certified and Registered, UL Fire Safety Class C, CEC, FSEC  
Certified IEC61215 Ed 2 IEC61730 by JET



**SOLAR** by KYOCERA

**ELECTRICAL SPECIFICATIONS**

Standard Test Conditions (STC) <i>STC = 1000 W/M<sup>2</sup> irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum*</i>			
	KD240GX-LPB	KD245GX-LPB	
P <sub>mp</sub>	240	245	W
V <sub>mp</sub>	29.8	29.8	V
I <sub>mp</sub>	8.06	8.23	A
V <sub>oc</sub>	36.9	36.9	V
I <sub>sc</sub>	8.59	8.91	A
P <sub>tolerance</sub>	+5/-3	+5/-3	%

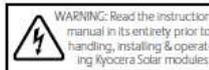
Nominal Operating Cell Temperature Conditions (NOCT) <i>NOCT = 800 W/M<sup>2</sup> irradiance, 20°C ambient temperature, AM 1.5 spectrum*</i>			
T <sub>NOCT</sub>	45	45	°C
P <sub>max</sub>	172	176	W
V <sub>mp</sub>	26.7	26.8	V
I <sub>mp</sub>	6.45	6.58	A
V <sub>oc</sub>	33.7	33.7	V
I <sub>sc</sub>	6.95	7.21	A
PTC	217.3	219.1	W

Temperature Coefficients			
P <sub>max</sub>	-0.46	-0.46	%/°C
V <sub>mp</sub>	-0.52	-0.52	%/°C
I <sub>mp</sub>	0.0064	0.0065	%/°C
V <sub>oc</sub>	-0.36	-0.36	%/°C
I <sub>sc</sub>	0.060	0.060	%/°C
Operating Temp	-40 to +90	-40 to +90	°C

System Design	
Series Fuse Rating	15 A
Maximum DC System Voltage (UL)	600 V
Hailstone Impact	1in (25mm) @ 51mph (23m/s)

\* Subject to simulator measurement uncertainty of +/- 3%. KYOCERA reserves the right to modify these specifications without notice.

NEC 2008 COMPLIANT  
UL 1703 LISTED  
CERTIFIED IEC61215 ED2 IEC61730 BY JET

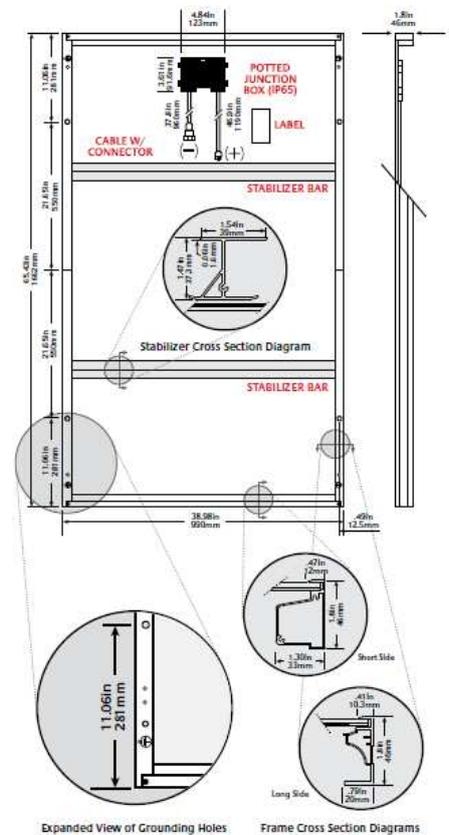


**MODULE CHARACTERISTICS**

Dimensions:	65.43in/38.98in/1.8in <i>length/width/height</i>
Weight:	46.3lbs (21.0kg)

**PACKAGING SPECIFICATIONS**

Modules per pallet:	20
Pallets per 53' container:	36
Pallet box dimensions:	66.54in/39.76in/47.24in <i>length/width/height</i>
Pallet box weight:	1050 lbs (480kg)



Legend		
○ MOUNTING HOLES	■ DRAINAGE HOLES	⊕ GROUND SYMBOL
.35in (9mm)		.35in (9mm)

021313

OUR VALUED PARTNER

KYOCERA Solar, Inc. 800-223-9580 800-523-2329 fax www.kyocerasolar.com

Fonte: Kyocera (2016).

## ANEXO D – Ficha técnica do inversor Ingeteam – IngeconSun 500 TL U X208 outdoor.

**INGECON**
**SUN**

 PowerMax X Series  
 208 Vac

**TRANSFORMERLESS  
CENTRAL  
INVERTERS WITH  
A MASTER-SLAVE  
CONFIGURATION**

### 375TL U X208 Outdoor / 500TL U X208 Outdoor

The central inverter with a Master-Slave configuration, in any of its versions, is equipped with three to four power blocks, connected in parallel to the same PV generator and to the same medium voltage transformer.

#### **DC and AC supplies in the same cabinet**

The input and output lines are integrated into the same cabinet, facilitating maintenance and repair work.

#### **Maximum efficiency values**

Through the use of innovative electronic conversion topologies, efficiency values up to 98.6% can be easily achieved. Thanks to a sophisticated control algorithm, this equipment can guarantee maximum efficiency through the selective operation of its power blocks, based on the PV power available. This maximizes the efficiency and service life of the equipment. In this way, in periods of low irradiance, it is able to increase performance by up to 1.8 points.

#### **Enhanced functionality**

This new INGECON® SUN PowerMax U inverter range features a revamped, improved enclosure which, together with its innovative air cooling system, makes it possible to increase the ambient operating temperature to deliver its rated power up to 122 °F (50 °C).

#### **A complete range of equipment for all types of projects**

The PowerMax U inverters are fully adaptable to all types of engineering projects. This is made possible thanks to their wide range of power outputs and to the variety of possible configurations.

#### **Maximum protection**

These three-phase inverters are equipped with a motorized DC load break switch to decouple the PV generator from the inverter. Optionally, the PowerMax U inverters can be supplied with DC fuses. Optional positive or negative grounding, or non-grounded.

**UL 1741  
CERTIFIED**



[www.ingeteam.com](http://www.ingeteam.com)  
[solar.us@ingeteam.com](mailto:solar.us@ingeteam.com)

**Ingeteam**

375TL U X208 Outdoor / 500TL U X208 Outdoor

**Long-lasting design**

The inverters have been designed to guarantee a service life of more than 20 years, as demonstrated by the stress tests they are subjected to. Standard 5 year warranty, extendable for up to 20 years.

**Grid support**

The INGECON® SUN PowerMax U family has been designed to comply with the grid connection requirements in different countries, contributing to the quality and stability of the electric system. These inverters therefore can deliver reactive power and control the active power delivered to the grid.

**Ease of maintenance**

Easily replaceable modular power blocks for shorter maintenance times.

**Easy to operate**

The INGECON® SUN PowerMax U inverters feature an LCD screen for the simple and convenient monitoring of the inverter status and a range of internal variables. The display also includes a number of LEDs to show the inverter operating status with warning lights to indicate any incident. All this helps to simplify and facilitate maintenance tasks.

**Monitoring and communication**

RS-485 communications supplied as standard for monitoring the internal operating variables (alarms, real time production data, etc.) in addition to the historical production data. Ethernet, GSM / GPRS and Bluetooth are also available. The following applications are included at no extra cost: INGECON® SUN Manager, INGECON® SUN Monitor and its iSun Monitor Smartphone version for monitoring and recording the inverter data over the Internet.

**PROTECTIONS**

- DC reverse polarity.
- Short-circuits and overloads at the output.
- Anti-islanding with automatic disconnection.
- Insulation failure.
- 4 DC fuse-holders per power block. Non-grounded inverters have both poles protected.
- DC and AC surge arresters, type 2.
- Motorized DC switch for the automatic disconnection of the inverter from the PV array.
- AC fuses.

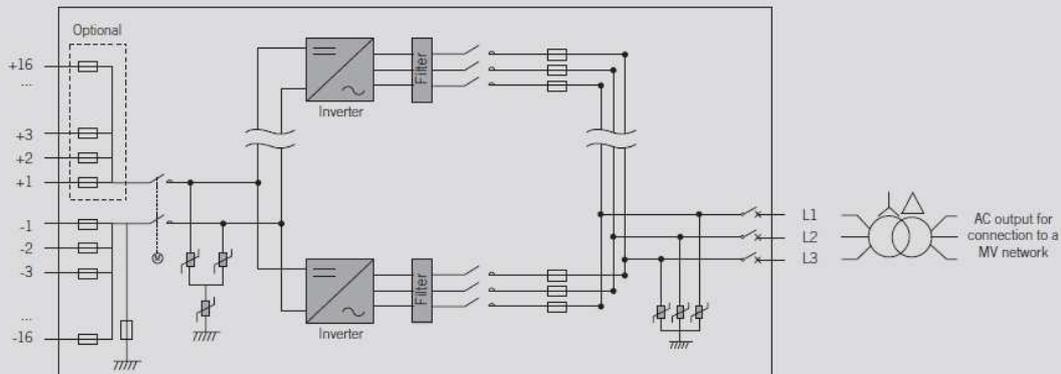
**OPTIONAL ACCESSORIES**

- GSM / GPRS remote communication.
- Inter-inverter communication via Ethernet or Bluetooth.
- Kit for operating at an ambient temperature of -22 °F (-30 °C).
- DC fuses.
- Monitoring of the input DC currents.
- Wattmeter on the AC side.
- Low voltage ride-through capability.
- Auxiliary services kit.

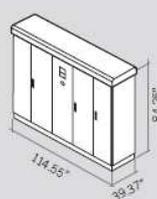
**ADVANTAGES OF THE MASTER-SLAVE VERSION**

- Enhanced performance.
- In the event of the failure of one of the blocks, the power is then distributed amongst the remaining blocks.
- Lightweight spares, for shorter delivery times.
- It allows to ground the PV array, either the positive or the negative pole.

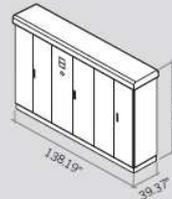
**PowerMax TL U X Series Outdoor**



**Size and weight** (inches and lbs)



**375TL U X208 Outdoor**  
4,520 lbs



**500TL U X208 Outdoor**  
5,950 lbs

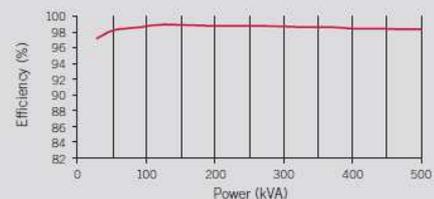
INGECON

SUN

PowerMax X Series 208 Vac

	375TL U X208 Outdoor	500TL U X208 Outdoor
<b>Input (DC)</b>		
Recommended PV array power range <sup>(1)</sup>	382.1 - 502.1 kWp	509.5 - 669.5 kWp
Voltage Range MPP	311 - 820 V	311 - 820 V
Maximum voltage <sup>(2)</sup>	1,000 V	1,000 V
Maximum current	1,170 A	1,560 A
N° inputs with fuse holders	8 - 16 (16 - 32 for floating configuration)	8 - 16 (16 - 32 for floating configuration)
Fuse dimensions	125 A / 1,000 V to 400 A / 1,000 V fuses, maximum current from 82 to 260 A for positive and negative poles	
Type of connection	Connection to copper bars	
Power blocks	3	4
MPPT	1	1
Current at each input	82 to 260 A	82 to 260 A
<b>Input protections</b>		
Overvoltage protections	DC surge arresters, type 2	
DC switch	Motorized DC switch	
Other protections	DC insulation monitor with alarm. Optionally, from 8 to 16 pairs of DC fuses (16 to 32 pairs for floating configuration)	
<b>Output (AC)</b>		
Rated power <sup>(3)</sup>	375 kVA	500 kVA
Maximum current	1,050 A	1,400 A
Rated voltage	208 V IT System	208 V IT System
Frequency	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Phi Cosine <sup>(4)</sup>	1	1
Phi Cosine adjustable	Yes. Smax=375 kVA	Yes. Smax=500 kVA
THD (Total Harmonic Distortion) <sup>(5)</sup>	<3%	<3%
<b>Output protections</b>		
Overvoltage protections	AC surge arresters, type 2	
AC switch	Yes	
Anti-islanding protection	Yes, with automatic disconnection (for each power stage)	
Other protections	AC fuses, AC short circuits and overloads (for each power stage)	
<b>Features</b>		
Maximum efficiency	98.1%	98.1%
CEC	97.5%	97.5%
Stand-by consumption <sup>(6)</sup>	90 W	120 W
Consumption at night	90 W	120 W
<b>General Information</b>		
Ambient temperature	-4 °F to 149 °F (-20 °C to 65 °C)	-4 °F to 149 °F (-20 °C to 65 °C)
Relative humidity (non-condensing)	0 - 95%	0 - 95%
Protection class	NEMA 3R	NEMA 3R
Maximum altitude <sup>(7)</sup>	9,842 ft (3,000 m)	9,842 ft (3,000 m)
Cooling system	Air forced with temperature control (230 V phase + neutral power supply)	
Air flow	37.96 ft <sup>3</sup> /s (fans: 1,300 VA)	45.56 ft <sup>3</sup> /s (fans: 1,500 VA)
Acoustic emission	< 55 dB (A) at 4 m and < 67 dB (A) at 1 m with fans working at maximum power	
Marking	CE, ETL	
EMC and security standards	UL1741, FCC Part 15, IEEE C37.90.1, IEEE C37.90.2	
Grid connection standards	IEC 62116, UL1741, IEEE1547, IEEE1547.1, NEC CODE	

**Notes:** <sup>(1)</sup> Depending on the type of installation and geographical location. Data for STC conditions <sup>(2)</sup> Consider the voltage increase of the 'Voc' at low temperatures <sup>(3)</sup> AC Power for 122 °F (50 °C) ambient temperature. The output power will be reduced at the rate of 1% for each 1 °F (0.56 °C) of increase <sup>(4)</sup> For P<sub>out</sub>>25% of the rated power <sup>(5)</sup> For P<sub>out</sub>>25% of the rated power and voltage in accordance with IEEE 1547.1 <sup>(6)</sup> Consumption from PV field <sup>(7)</sup> Over 3,300 ft. temperature for rated power 122 °F (50 °C) is reduced 2.42 °F each 1,000 ft.

Efficiency INGECON® SUN 500TL U X208 Outdoor V<sub>dc</sub> = 311 V

Ingeteam



## Ingeteam

**Ingeteam INC.**  
5201 Great American Parkway, Suite 320  
SANTA CLARA, CA 95054 - USA  
Tel.: +1 (415) 450 1869 / +1 (408) 524 2929 / Fax: +1 (408) 824 1327  
e-mail: solar.us@ingeteam.com

**Ingeteam INC.**  
3550 W. Canal St.  
MILWAUKEE, WI 53208 - USA  
Tel.: +1 (414) 934 4100 / +1 (855) 821 7190 / Fax: +1 (414) 342 0736  
e-mail: solar.us@ingeteam.com

**Ingeteam Power Technology, S.A.**  
Avda. Ciudad de la Innovación, 13  
31621 SARRIGUREN (Navarra) - Spain  
Tel.: +34 948 288 000 / Fax: +34 948 288 001  
e-mail: solar.energy@ingeteam.com

**Ingeteam S.r.l.**  
Via Emilia Ponente, 232  
48014 CASTEL BOLOGNESE (RA) - Italy  
Tel.: +39 0546 651 490 / Fax: +39 054 665 5391  
e-mail: italia.energy@ingeteam.com

**Ingeteam GmbH**  
Herzog-Heinrich-Str. 10  
80336 MUNICH - Germany  
Tel.: +49 89 99 65 38 0 / Fax: +49 89 99 65 38 99  
e-mail: solar.de@ingeteam.com

**Ingeteam SAS**  
La Naurouze B - 140 rue Carmin  
31670 Labège - France  
Tel: +33 (0)5 61 25 00 00 / Fax: +33 (0)5 61 25 00 11  
e-mail: france@ingeteam.com

**Ingeteam, a.s.**  
Technologická 371/1  
70800 OSTRAVA - PUSTKOVEC  
Czech Republic  
Tel.: +420 59 732 6800 / Fax: +420 59 732 6899  
e-mail: czech@ingeteam.com

**Ingeteam Shanghai, Co. Ltd.**  
Shanghai Trade Square, 1105  
188 Si Ping Road  
200086 SHANGHAI - P.R. China  
Tel.: +86 21 65 07 76 36 / Fax: +86 21 65 07 76 38  
e-mail: shanghai@ingeteam.com

**Ingeteam, S.A. de C.V.**  
Ave. Revolución, n° 643, Local 9  
Colonia Jardín Español - MONTERREY  
64820 - NUEVO LEÓN - México  
Tel.: +52 81 8311 4858 / Fax: +52 81 8311 4859  
e-mail: northamerica@ingeteam.com

**Ingeteam Ltda.**  
Estrada Duílio Beltrami, 6975  
Chácara Sao Bento  
13278-078 VALINHOS SP - Brazil  
Tel.: +55 19 3037 3773 / Fax: +55 19 3037 3774  
e-mail: brazil@ingeteam.com

**Ingeteam Pty Ltd.**  
Unit 2 Alphen Square South  
16th Road, Randjiespark, Midrand 1682 - South Africa  
Tel.: +2711 314 3190 / Fax: +2711 314 2420  
e-mail: southafrica@ingeteam.com

**Ingeteam SpA**  
Cerro El Plomo 5630, Piso 9, Oficina 901  
7560742 Las Condes - Santiago de Chile - Chile  
Tel.: +56 2 26664370  
e-mail: chile@ingeteam.com

**Ingeteam Power Technology India Pvt. Ltd.**  
2nd Floor, 431  
Udyog Vihar, Phase III  
122016 Gurgaon (Haryana) - India  
Tel.: +91 124 420 6491-5 / Fax: +91 124 420 6493  
e-mail: india@ingeteam.com

**Ingeteam Sp. z o.o.**  
Ul. Koszykowa 60/62 m 39  
00-673 Warszawa - Poland  
Tel.: +48 22 821 9930 / Fax: +48 22 821 9931  
e-mail: polska@ingeteam.com

**Ingeteam Australia Pty Ltd.**  
Suite 112, Level 1, Mike Codd Building 232  
Innovation Campus, Squires Way  
North Wollongong, NSW 2500 - Australia  
Tel.: +61 499 988 022  
e-mail: australia@ingeteam.com