CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ LUAN FILIPE COMIN THOMAZI

ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE SOBRE O RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA GOVERNADOR JOSÉ RICHA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ LUAN FILIPE COMIN THOMAZI

ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE
SOBRE O RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA GOVERNADOR JOSÉ
RICHA

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientador: Prof. Gilson Debastiani

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ LUAN FILIPE COMIN THOMAZI

ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE SOBRE O RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA GOVERNADOR JOSÉ RICHA

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do Professor Gilson Debastiani.

BANCA EXAMINADORA

Guson Debastiani

Físico, Prof. Me.

Ederson Zanchet

Engenheiro de Controle e Automação, Prof. Esp.

Ewerson Luiz Poisk

Engenheiro Eletricista, Prof. Esp.

RESUMO

Visando buscar e aumentar o suprimento de energia elétrica no país para comportar a demanda que cresce mais a cada dia, aproveitando a localização, a área privilegiada do Brasil e a supremacia hidráulica de fornecimento de energia elétrica, bem como a implantação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de usinas hidrelétricas, a proposta é buscar uma solução para o aumento da geração de energia proveniente de fontes renováveis e para a locação dos módulos fotovoltaicos, que ocupam uma grande área que poderia ser utilizada para outros fins. Os benefícios trazidos por estes sistemas implicam tanto na geração da energia elétrica quanto na preservação dos reservatórios, pois, além de haver um resfriamento natural dos módulos fotovoltaicos, provocam um aumento da eficiência dos mesmos, e assim, torna possível a utilização das subestações já existentes nas hidrelétricas para elevação da tensão e transmissão da energia elétrica. Este sistema reduz a evaporação da água dos lagos e diminui a formação de algas. Em contrapartida, o custo da instalação fotovoltaica, que já não é tão acessível, torna-se ainda mais elevado devido as estruturas de flutuação para locação dos módulos e dos materiais especiais utilizados para evitar corrosão, já que se encontram muito próximos ou até dentro da água. Mediante as características deste sistema, foi utilizado o software PVsyst® para calcular a geração média anual de dois sistemas com potências de inversores instalados distintos, 24 MW e 1242 MW. Para a instalação de 24 MW, obteve-se uma geração de energia elétrica média anual de 47.758 MWh e para o sistema de 1242 MW, o valor médio anual de geração foi de 2.521.179 MWh.

ABSTRACT

Aiming to seek and increase the supply of electric power in the country to accommodate the demand that grows more every day, taking advantage of the location, the privileged area of Brazil and the hydraulic supremacy of electricity supply, the implantation of floating photovoltaic systems in reservoirs of hydroelectric plants, the proposal is to seek a solution to increase the generation of energy from renewable sources, and to lease the photovoltaic modules, which occupy a large area that could be used for other purposes. The benefits brought by these systems imply both the generation of electrical energy and the preservation of the reservoirs, as well as a natural cooling of the photovoltaic modules, implying an increase in their efficiency, and it is possible to use the existing substations in the hydroelectric dams to raise the voltage and transmit electricity, this system reduces the evaporation of water from the lakes and decreases the formation of algae. On the other hand, the cost of the photovoltaic plant, which is no longer so accessible, becomes even higher because of the floatation structures for the modules and special materials to avoid corrosion, since they are very close to or even in the water. Through the characteristics of this system, the PVsyst® software was used to calculate the average annual generation of two systems with different inverter power ratings, 24 MW and 1242 MW. For the installation of 24 MW, an average annual electricity generation of 47,758 MWh was obtained and for the system of 1242 MW, the average annual value of generation was 2,521,179 MWh.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1 - Geração de energia elétrica anual por módulo fotovoltaico em relação	as horas
de insolação	47
Equação 4.2 - Geração de energia elétrica anual por módulo fotovoltaico	49
Equação 4.3 - Potencial total de geração elétrica anual do sistema fotovoltaico	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Oferta Interna de Energia no Brasil – 2016 (%)	.14
Figura 2.2 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte	.16
Figura 2.3 - Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica	.19
Figura 2.4 - Comparação do Potencial Energético Solar Perante as Outras Fontes de Energetico Solar Perante As Outras Fontes Perante Perante Perante Perante Perante Perante Perante Perante Per	rgia
	.20
Figura 2.5 - Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol	.21
Figura 2.6 - Média Anual de Radiação Solar Global	.22
Figura 2.7 - Média Sazonal Brasileira de Radiação Solar	.23
Figura 2.8 - Média Sazonal Paranaense de Radiação Solar	.24
Figura 2.9 - Composição de um Sistema Fotovoltaico Isolado	.26
Figura 2.10 - Composição de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	.27
Figura 2.11 - Composição de um Sistema Híbrido de Geração Elétrica	.27
Figura 2.12 - Diagrama Unifilar de uma Central Fotovoltaica	.28
Figura 2.13 - Diagrama Esquemático de uma Central Fotovoltaica conectada à rede	de
transmissão	.29
Figura 2.14 - Diagrama esquemático de uma Central Fotovoltaica conectada à rede	de
distribuição	.29
Figura 2.15 - Vista geral da Usina Solar de Tauá	.30
Figura 2.16 - Usina Fotovoltaica de Pirapora - MG	.31
Figura 2.17 - Usina fotovoltaica Solar Star	.31
Figura 2.18 - Balanço água-energia	.33
Figura 2.19 - Plataforma flutuante	.33
Figura 2.20 - Estrutura de um sistema fotovoltaico flutuante ancorado no fundo	do
reservatório	.34
Figura 2.21 - Estrutura de um sistema fotovoltaico flutuante ancorado nas bordas	do
reservatório	.34
Figura 2.22 - Componentes da plataforma HYDRELIO	.35
Figura 2.23 - Usina Hirono Nigo Ike - Hyogo, Japão	.36
Figura 2.24 - Usina Yukimine Kami Ike – Tokushima, Japão	.37
Figura 3.1 - Localização da Usina Hidrelétrica de Governador José Richa	.38
Figura 3.2 - Local das quatro turbinas	.39

Figura 3.3 - Dutos de passagem de água até as turbinas	40
Figura 3.4 - Barragem da Usina Hidrelétrica Governador José Richa	41
Figura 3.5 - Reservatório da Usina Hidrelétrica Governador José Richa	42
Figura 3.6 - Subestação de transformação da hidrelétrica	42
Figura 3.7 - Subestação de transformação da hidrelétrica	43
Figura 4.1 - Dimensionamento <i>PVsyst</i> ® - Sistema 24 MW	48
Figura 4.2 - Geração anual <i>PVsyst</i> ® - Sistema 24 MW	49
Figura 4.3 - Dimensionamento <i>PVsyst</i> ® - Sistema 1242 MW	50
Figura 4.4 - Geração anual <i>PVsyst</i> ® - Sistema 1242 MW	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Oferta Interna de Energia	15
Tabela 2.2 - Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE)	16
Tabela 2.33 - Capacidade de Geração do Brasil	17
Tabela 4.1 - Irradiação Solar Diária Média Anual	45

LISTA DE ABREVIATURAS

BEN - Balanço Energético Nacional

BIG – Banco de Informações de Geração

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

EOL – Usinas Elioelétricas

GWh – Giga Watt Hora

HDPE – High Density Polyethylene

KW – Quilo Watt

Mtep – Mega Tonelada Equivalente de Petróleo

MW – Mega Watt

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OIEE – Oferta Interna de Energia Elétrica

PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment

TWh – Tera Watt Hora

UFV - Central Geradora Fotovoltaica

UHE – Usinas Hidrelétricas

UTE – Central Geradora Termelétrica

UTN – Usinas Termonucleares

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO	14
2.2 MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA NACIONAL	15
2.3 FONTES RENOVÁVEIS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	17
2.3.1 Energia hidráulica	18
2.3.2 Energia solar	20
2.3.2.1 Radiação solar	21
2.3.2.2 Radiação solar no Brasil	22
2.3.2.3 Energia solar fotovoltaica	24
2.3.2.4 Grandes Centrais Fotovoltaicas	28
2.3.2.5 Sistemas fotovoltaicos flutuantes	32
3 METODOLOGIA	38
3.1 DADOS DA USINA HIDRELÉTRICA GOVERNADOR JOSÉ RICHA	38
3.2 DIMENSIONAMENTO	43
3.2.1 DETERMINAÇÃO DA ÁREA OCUPADA PELO SISTEMA FOTOVOL	TAICO
FLUTUANTE	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 IRRADIAÇÃO SOLAR NA USINA HIDRELÉTRICA GOVERNADOR RICHA	
4.2 ESCOLHA DO MÓDULO FOTOVOLTÁICO	
4.3 ESCOLHA DO INVERSOR FOTOVOLTÁICO	
4.4 CÁLCULOS DE POTENCIAL DE GERAÇÃO	46
A A 1 CÁI CUI O DO DOTENCIAL DE CEDACÃO DOD MÓDULO EOTOVOLTAR	CO 47

4.4.2 CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA MEDIANTE POTÊNCIA INSTALADA
5 CONCLUSÃO53
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS53
REFERÊNCIAS
ANEXO A – TABELA SOLARPLAZA 70 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES (2016)
ANEXO B – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO CS6U-340M(1500V) – CANADIAN
ANEXO C – CERTIFICADO INMETRO MÓDULO FOTOVOLTAICO CS6U-340M(1500V) - CANADIAN
ANEXO D – DATASHEET INVERSOR SIW1500 – 1500V – 3MW - WEG64
ANEXO E – DATASHEET ELETROCENTRO ESW 1500V68
APÊNDICE A – RELATÓRIO <i>PVSYST</i> ® - SISTEMA 24MW75
APÊNDICE B – RELATÓRIO <i>PVSYST</i> ® - SISTEMA 1242MW78

1 INTRODUÇÃO

Em consequência do aumento excessivo da demanda energética, aos altos custos das fontes naturais, como o petróleo, e a necessidade em diminuir a emissão de gases poluentes na atmosfera, uma melhoria na matriz energética mundial torna-se essencial.

A exploração de fontes alternativas e renováveis de energia, visando o grande potencial das mesmas no Brasil, faz com que o desenvolvimento, tanto na exploração quanto na tecnologia destas fontes, seja uma das melhores maneiras para uma sustentabilidade energética futura. Dentre essas fontes, a energia solar se destaca no Brasil, tendo uma irradiação solar média excelente durante todo o ano e em quase todo o seu território, além de se tratar de uma energia limpa. Esta fonte, tanto para o aquecimento de água, quanto para a geração de energia elétrica, requer um grande espaço para a implantação de módulos fotovoltaicos ou concentradores, quando não se trata de uma geração residencial média.

Este trabalho tem por finalidade, buscar a solução, tanto para uma geração de energia elétrica mais limpa, que ajude a atender o crescente aumento nas demandas, quanto para resolver a necessidade de um espaço grande para a geração, aproveitando o espaço não utilizado do reservatório da usina hidrelétrica de Governador José Richa.

Abrangendo os aspectos físicos e geográficos desta hidrelétrica, é possível visualizar o potencial total para a implantação de um sistema fotovoltaico flutuante na área laminada do reservatório desta usina, podendo assim, implementar a geração de energia elétrica desta unidade geradora através de um sistema híbrido de geração, auxiliando no suprimento da demanda que cresce mais a cada dia.

Mesmo não havendo uma grande quantidade de sistemas instalados ao redor do mundo, os benefícios deste tipo de instalação, como a redução da evaporação dos reservatórios e a diminuição de crescimento das algas são de extrema atratividade. Além destes benefícios, para a instalação de um sistema fotovoltaico em qualquer local, necessita-se de uma grande área para a implantação dos módulos, neste caso, a área não ocupada dos reservatórios de irrigação, de usinas hidrelétricas ou de lagos são uma opção para a locação destes sistemas. Tendo ainda, quando instalado em reservatórios de usinas hidrelétricas, o suporte das subestações existentes para a elevação de tensão, e dos sistemas de transmissão para o transporte da energia produzida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PANORAMA ENERGÉTICO BRASILEIRO

O Brasil, com quase 8,5 milhões de quilômetros quadrados e mais de 7 mil quilômetros de litoral, obtém um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo. O imenso potencial hidráulico da biomassa solar e da força dos ventos faz com que as reservas, relativamente reduzidas de combustíveis fósseis, não impeçam a autossuficiência energética do país (ANEEL, 2002).

Segundo BEN (ANEEL, 2017.a), a oferta interna de energia no país, em 2016, foi de 288,3 Mtep, com uma redução de 3,8% em relação a 2015. Com o enfraquecimento da atividade econômica, o consumo final, energético e não energético, caiu 2,2% em relação a 2015. Tendo uma redução de 0,9 milhões de tep no setor industrial, 1,4 milhões de tep no setor de transportes, e 1,5 milhões de tep no setor energético (ANEEL, 2017. a).

Em 2016, as fontes renováveis apresentaram significativa participação na oferta interna de energia no Brasil. Brasil (2017), através da figura 2.1, apresenta a composição da matriz energética nacional, onde a participação das renováveis evidencia um percentual de 43,5%. Dentre as renováveis, o maior destaque ocorre para o potencial do Etanol e Bagaço de cana (40,1%). Já na participação das energias não renováveis, o destaque ocorre para o Óleo, com representatividade de 64,6%.

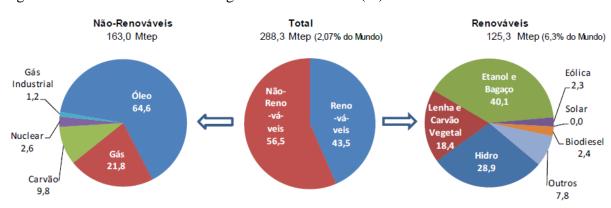


Figura 2.1 - Oferta Interna de Energia no Brasil – 2016 (%)

Renováveis: Mundo (14,2%) e OCDE (9,5%)

FONTE: BRASIL (2017)

Na tabela 2.1, pode-se observar um aumento na participação das fontes renováveis, de 2015 para 2016, em relação à retração das fontes não renováveis (BRASIL, 2017).

Tabela 2.1 - Oferta Interna de Energia

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		16/15%	Estruti	ıra (%)
	2015	2016	10/10/0	2015	2016
NÃO-RENOVÁVEL	175.903	162.975	-7,3	58,7	56,5
PETRÓLEO E DERIVADOS	111.626	105.354	-5,6	37,3	36,5
GÁS NATURAL	40.971	35.569	-13,2	13,7	12,3
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	17.625	15.920	-9,7	5,9	5,5
URÂNIO (U3O8) E DERIVADOS	3.855	4.211	9,2	1,3	1,5
OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS (*)	1.826	1.921	5,2	0,6	0,7
RENOVÁVEL	123.668	125.345	1,4	41,3	43,5
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	33.897	36.265	7,0	11,3	12,6
LENHA E CARVÃO VEGETAL	24.900	23.095	-7,2	8,3	8,0
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	50.648	50.318	-0,7	16,9	17,5
OUTRAS RENOVÁVEIS	14.223	15.667	10,1	4,7	5,4
TOTAL	299.570	288.319	-3,8	100,0	100,0
Das quais, fósseis	172.047	158.763	-7,7	57,4	55,1

^(*) Gás industrial de alto forno, aciaria, coqueria, enxofre e de refinaria.

FONTE: Adaptada de BRASIL (2017)

2.2 MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA NACIONAL

Em 2016, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) foi constituída por 578,9 TWh provenientes de centrais de serviço público e autoprodutores, somadas aos 40,8 TWh referentes às importações líquidas, totalizando 619,7 TWh, 0,7% superior ao ano anterior (615,7 TWh). As fontes eólicas e solares tiveram destaque em seu aumento de produção no ano de 2016 (BRASIL, 2017).

Em relação a 2015, as maiores variações das fontes na matriz de energia elétrica nacional foram proporcionadas pelas fontes eólicas, cujo aumento foi de 54,9%, seguida da fonte solar, cujo acréscimo foi de 44,7%. Outro destaque em 2016 foi a significativa redução da participação do óleo, com variação percentual de -52,8% (ANEEL, 2017.a).

A tabela 2.2 representa o avanço percentual das fontes renováveis na geração de energia elétrica entre 2015 e 2016, juntamente com o decaimento das fontes não renováveis.

Tabela 1.2 – Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE)

ESPECIFICAÇÃO	GWh		16/15%	Estruti	ıra (%)
	2015	2016	10/10/0	2015	2016
HIDRÁULICA	359.743	380.911	5,9	58,4	61,5
BAGAÇO DE CANA	34.163	35.236	3,1	5,5	5,7
EÓLICA	21.626	33.489	54,9	3,5	5,3
SOLAR	59	85	44,7	0,010	0,014
OUTRAS RENOVÁVEIS	15.074	15.805	4,8	2,4	2,6
ÓLEO	25.657	12.103	-52,8	4,2	2,0
GÁS NATURAL	79.490	56.485	-28,9	12,9	9,1
CARVÃO	18.856	17.001	-9,8	3,1	2,7
NUCLEAR	14.734	15.864	7,7	2,4	2,6
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	11.826	11.920	0,8	1,9	1,9
IMPORTAÇÃO	34.422	40.795	18,5	5,6	6,6
TOTAL	615.650	619.693	0,7	100,0	100,0
Das quais, renováveis	465.087	506.320	8,9	75,5	81,7

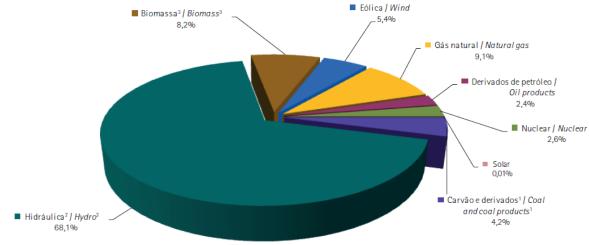
FONTE: Adaptada de BRASIL (2017)

O Brasil possui uma matriz elétrica predominantemente renovável, predominância a qual representou 81,7% da oferta interna de eletricidade do país em 2016. A geração hidráulica teve destaque nesse percentual renovável, correspondendo a 68,1% da OIEE (ANEEL, 2017.a).

Na figura 2.2 pode-se observar o percentual das fontes renováveis e não renováveis da OIEE em 2016.

Figura 1.2 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte

Biomassa³ / Biomassa³



FONTE: ANEEL (2017.a)

Segundo o BIG (ANEEL, 2017. b), O Brasil possui uma potência instalada e fiscalizada de 155.430.016 kW, distribuídos em 4.744 diferentes empreendimentos em operação, todos representados a seguir, na tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Capacidade de Geração do Brasil

Empreendimentos em Operação					
		Potência			
Tipo	Quantidade	Outorgada (kW)	Fiscalizada (kW)	%	
CGH	619	562.569	565.025	0,36	
EOL	476	11.707.239	11.668.243	7,51	
PCH	430	4.969.491	4.960.209	3,19	
UFV	61	387.013	385.078	0,25	
UHE	219	101.188.678	94.488.995	60,79	
UTE	2.937	42.751.632	41.372.466	26,62	
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,28	
Total	4.744	163.556.622	155.430.016	100	

Os valores de porcentagem são referentes a Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual a considerada no Ato da Outorga. A potência Fiscalizada é igual a considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

FONTE: Adaptada de ANEEL (2017.b)

2.3 FONTES RENOVÁVEIS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Fontes de energia, as quais são renovadas constantemente em uma escala de tempo humana e provém de processos e recursos naturais, são chamadas de Fontes Renováveis. Tais fontes são ótimos substitutos para combustíveis fósseis (PORTAL SOLAR, 2017).

Dentre estas fontes, encontram-se a energia eólica (proveniente dos ventos), a energia hidráulica (utiliza os rios como fonte), a maremotriz (energia obtida nos mares e oceanos), a energia geotérmica que tem como fonte o calor da Terra, e a energia solar, utilizando o calor e a radiação do Sol para aquecimento de água ou geração de energia elétrica (WHITE PAPER, 2011).

Outra fonte renovável de energia é a biomassa, podendo-se utilizar de matérias orgânicas, como resíduos animais e vegetais, lenha, bagaço de cana, que é utilizado para a fabricação do álcool, considerado um combustível renovável, além do gás de aterros

sanitários que podem ser utilizados para a geração de energia elétrica (GOLDEMBERG, 2007).

O Brasil, devido a sua localização favorável, possui um grande potencial energético em todas estas fontes de energia renováveis, o que faz com que a concentração da matriz energética nas fontes hidráulica e termoelétrica, além do ininterrupto esforço para explorar as reservas de petróleo do pré-sal, não se justifiquem (GRANZIERA, 2015).

Com o crescimento populacional afetando diretamente o aumento da demanda de energia, uma das alternativas, tanto para descongestionar os sistemas de geração, quanto para resolver os problemas de perdas na transmissão e distribuição de energia elétrica, é o investimento na geração distribuída. Neste sistema, o consumidor gera, principalmente através de sistemas fotovoltaicos, uma parcela, toda, ou um excedente da sua demanda de energia elétrica mensal, repassando este excedente para o sistema elétrico da concessionária (PEREIRA, 2014).

2.3.1 Energia hidráulica

A energia hidráulica provém do aproveitamento do fluxo das águas em usinas hidrelétricas. As obras civis, em tais usinas, são tão ou mais importantes que os equipamentos instalados para a geração de energia elétrica. Obras as quais envolvem tanto a construção, quanto o desvio do rio e a formação do reservatório. Sendo assim, a contratação da chamada indústria da construção pesada é imprescindível para a construção de uma usina hidrelétrica (ANEEL, 2008).

Os fatores utilizados para a classificação de uma usina hidrelétrica são todos interdependentes. A altura da queda d'água e a vazão dependem do local de construção, com essas variáveis pode-se determinar qual será a potência instalada, que por sua vez, permite identificar a melhor turbina, barragem e reservatório, que atendem as especificações da usina (ANEEL, 2008).

Como ilustrado na figura 2.3, esta fonte de energia utiliza condutos que captam a água do reservatório e a leva até a casa de força onde se encontram as turbinas conectadas a geradores. A água passa pelas pás das turbinas e faz com que elas girem, com isto, a energia cinética das turbinas é transformada em energia elétrica pelo gerador (QUEIROZ, 2013).

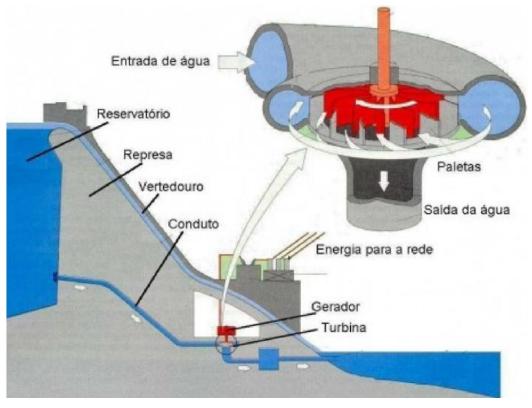


Figura 2.3 - Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica

FONTE: QUEIROZ (2013)

Os reservatórios possuem duas diferentes classificações: acumulação e fio d'água. Reservatórios de acumulação, geralmente, estão localizados na cabeceira dos rios e, dado o seu grande porte, permitem o acúmulo de grandes quantidades de água, funcionando como estoques nos períodos de estiagem, além de regularem a vazão de água para as outras usinas, já que nestas se encontra a montante das demais hidrelétricas (ANEEL, 2008).

As hidrelétricas a fios d'água são classificadas pela sua altura baixa, média ou alta, dependendo da altitude da queda d'água. Este tipo de usina hidráulica utiliza a velocidade da água dos rios para movimentar as turbinas e gerar energia elétrica. E também é caracterizado por não possuir reservatório ou possuir reservatórios com dimensões muito menores, sendo assim, em épocas de escassez de água, a capacidade de geração é reduzida drasticamente, podendo até levar a desativação da hidrelétrica em algumas épocas do ano (QUEIROZ, 2013).

Usinas hidrelétricas são classificadas mediante sua potência instalada, sendo elas: Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGH (com até 1 MW de potência instalada), Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH (entre 1,1 MW e 30 MW) e Usinas Hidrelétricas de Energia – UHE (potência instalada superior a 30 MW) (ANEEL, 2008).

De acordo com o BIG (ANEEL, 2017. b), no Brasil encontram-se em operação 619 CGH, 430 PCHe 219 UHE, totalizando 100.014.229 kW de potência hidráulica instalada.

Em 2016, a OIEE total, referente à geração hidráulica, foi de 421,7 TWh, totalizando 68,1% da matriz elétrica do país. O Paraná contribuiu com 105.678 GWh da produção de eletricidade, mediante fontes hidráulicas (ANEEL, 2017.a).

2.3.2 Energia solar

O Sol é responsável pela origem de praticamente todas as fontes de energia. É a partir do Sol que ocorre a evaporação das águas, criando-se assim o ciclo das águas, possibilitando a geração de eletricidade proveniente das usinas hidrelétricas. A radiação solar, induzindo a circulação atmosférica em larga escala, causa os ventos, os quais são aproveitados por geradores eólicos (CRESESB, 2006).

A energia solar que incide sobre a superfície da Terra é superior a cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia por ano. O que dificulta o seu aproveitamento, é a baixa densidade (energia/área), além de um desafio técnico para um aproveitamento mais eficiente (GALDINO, 2000).

A figura 2.4 representa o excepcional potencial energético solar perante as outras fontes de energia.



Figura 2.4 - Comparação do Potencial Energético Solar Perante as Outras Fontes de Energia

FONTE: PORTAL SOLAR (2017)

A energia proveniente da luz e do calor do Sol é aproveitada e utilizada por meio de diferentes tecnologias, dentre elas, o aquecimento solar, a energia solar fotovoltaica e a energia heliotérmica são as principais (PORTAL SOLAR, 2017).

Ao se utilizar superfícies escuras para a captação, a energia solar será transformada em calor. Os equipamentos utilizados para a produção de calor são chamados de coletores e concentradores, pois além de coletar, também podem concentrar a radiação em um só ponto. Esta concentração é o princípio de muitos aquecedores solares de água. Para a produção de energia elétrica, podem ser utilizados, tanto concentradores (energia heliotérmica), quanto células fotovoltaicas (ANEEL, 2008).

2.3.2.1 Radiação solar

A radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende diretamente da latitude local e da posição no tempo, como a hora do dia e o dia do ano. Devemos essa dependência a inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e a trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação e revolução). Tais movimentos são demonstrados na figura 2.5 (ANEEL, 2002).

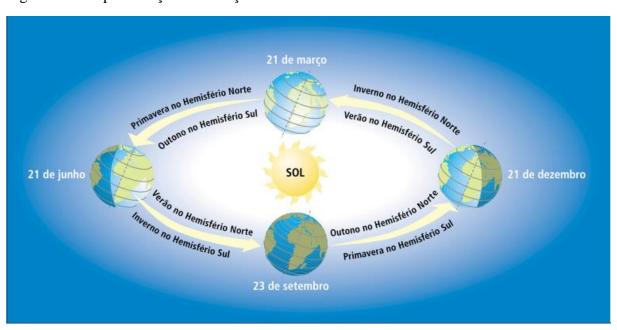


Figura 2.5 - Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol

FONTE: ANEEL (2002)

As condições climáticas, como a nebulosidade e a umidade relativa do ar, são outros fatores dos quais influenciam o nível de radiação solar na superfície terrestre. Devido a estas condições climáticas e da reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera, apenas uma fração, de toda a radiação solar que chega as camadas superiores da atmosfera, atinge a superfície terrestre. Mesmo assim, o Sol fornece anualmente, cerca de 1,5 x 10^{18} kWh de energia para a atmosfera terrestre (CRESESB, 2006).

2.3.2.2 Radiação solar no Brasil

O Brasil é um país que possui um grande potencial para o aproveitamento de energia solar durante todo o ano, já que está localizado, em sua maior parte, próximo a linha do Equador, desta forma, não se observa grandes variações na duração do Sol durante o dia (ANEEL, 2002).

A figura 2.6 mostra a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro.

6,65

kWh/m²

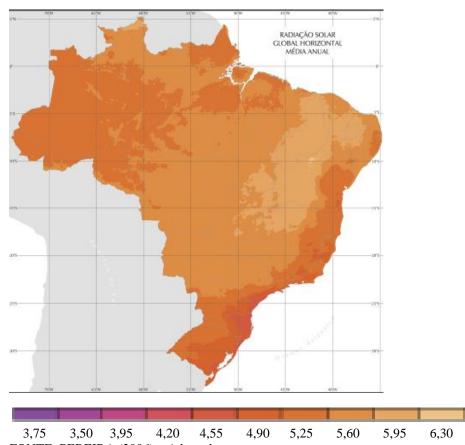


Figura 2.6 - Média Anual de Radiação Solar Global

FONTE: PEREIRA (2006) - Adaptado

Analisando o mapa, pode-se observar que a média anual de irradiação solar brasileira, além de alta, é bem uniforme. O valor máximo de irradiação global ocorre na Bahia, com um valor de 6,5 kWh/m². Já o menor valor de irradiação solar global encontra-se no litoral norte de Santa Catarina, com 4,25 kWh/m² (PEREIRA, 2006).

Com o movimento de translação da Terra, a radiação solar global, durante as diferentes estações do ano, pode ser observada na figura 2.7.

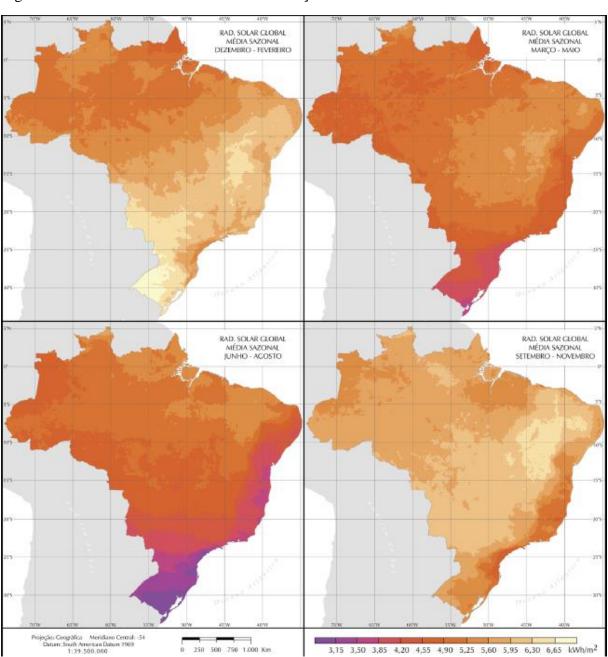


Figura 2.7 - Média Sazonal Brasileira de Radiação Solar

FONTE: PEREIRA (2006)

Na figura 2.8 é representado o mapa sazonal do estado do Paraná.

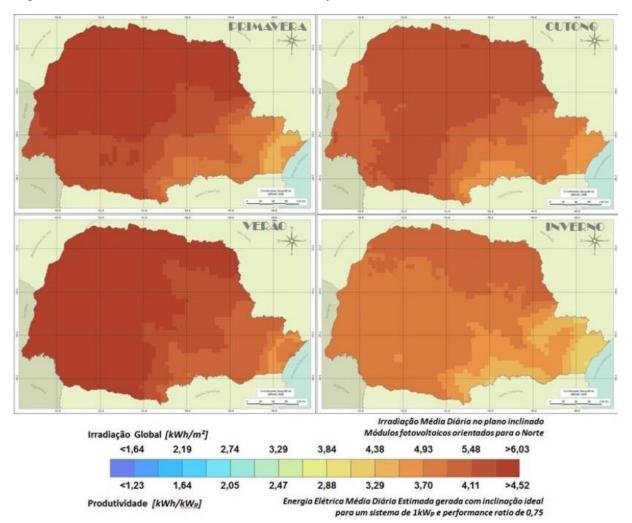


Figura 2.8 - Média Sazonal Paranaense de Radiação Solar

FONTE: TIEPOLO (2014)

Os níveis de irradiação brasileiros, comparados com algumas regiões da Europa, como Alemanha, Itália e Espanha, as quais possuem uma grande capacidade total instalada de geração fotovoltaica, são muito maiores. Como comparação, até mesmo um Estado como o Paraná possui um maior valor de irradiação solar global do que cada um destes países (TIEPOLO, 2014).

2.3.2.3 Energia solar fotovoltaica

Além dos processos para aquecimento de água ou geração de energia elétrica através de métodos heliotérmicos, a energia solar pode ser convertida diretamente em eletricidade. A energia fotovoltaica, considerada a fonte de energia limpa que mais cresce no mundo, utiliza de semicondutores, como o silício cristalino, para converter a luz solar em energia elétrica (PORTAL SOLAR, 2017).

Em 1839, Edmond Becquerel constatou pela primeira vez, uma diferença de potencial nos extremos de um material semicondutor ao ser exposto a luz. Em 1876 foi montado o primeiro aparato fotovoltaico, sendo produzido em escala industrial apenas em 1956 (CRESESB, 2006).

O efeito fotovoltaico provém da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença de luz solar. Entre os materiais mais utilizados na confecção de células fotovoltaicas, está o silício. A eficiência de um sistema fotovoltaico é medida através da proporção de radiação solar que atinge as células fotovoltaicas (ANEEL, 2002).

A maior parte das células fotovoltaicas são fabricadas utilizando o silício, podendo ser constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo. Células constituídas com silício monocristalino são as mais eficientes. Utilizando-se silício policristalino, têm-se uma redução nos custos, devido a um processo menos rigoroso em sua fabricação, porém, possuem uma eficiência menor. O silício amorfo, mesmo sendo o menos eficiente de todos, possui algumas vantagens, como um processo de fabricação simples e barato, possibilidade de fabricação de células em grandes áreas, e um baixo consumo de energia para a fabricação (CRESESB, 2006).

Segundo o BIG (ANEEL, 2018), existem 2210 empreendimentos fotovoltaicos no Brasil, com uma capacidade de carga instalada de 1.306.483 kW, correspondendo somente a 0,82% da matriz elétrica total do país. Em comparação ao total de empreendimentos fotovoltaicos fiscalizados em 2017, o Brasil teve um crescimento do número destes sistemas de aproximadamente 3623%.

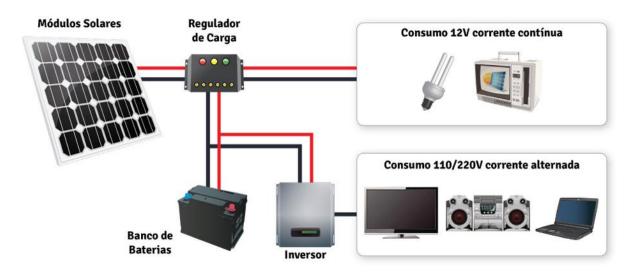
Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de três maneiras: sistemas isolados, sistemas conectados à rede e sistemas híbridos (CRESESB, 2006).

Os sistemas isolados são caracterizados pelo armazenamento de energia, tanto armazenamento de energia elétrica, através de baterias, quanto armazenamento gravitacional, mediante bombeamento de água para tanques em sistemas abastecidos. Este sistema utiliza painéis fotovoltaicos para a geração de eletricidade, baterias para seu armazenamento, controladores de carga, cuja função principal é a proteção da bateria, não permitindo que ela sofra uma sobrecarga ou uma descarga profunda. Também são utilizados inversores, caso a

alimentação de equipamentos em corrente alternada seja necessária, já que a produção de energia pelos painéis se dá em corrente contínua (CRESESB, 2006).

A configuração básica de sistemas isolados pode ser visualizada na figura 2.9, abaixo.

Figura 2.9 - Composição de um Sistema Fotovoltaico Isolado



FONTE: REAL SOLAR (2017)

Sistemas conectados à rede são compostos por painéis solares, gerando eletricidade em corrente contínua, inversores, transformando esta corrente em corrente alternada, abastecendo as cargas residenciais, e, caso haja um excedente na produção, essa corrente passa por um medidor de energia bidirecional, o qual calcula a diferença de energia elétrica entregue pela concessionária e a energia entregue pelo consumidor. A energia excedente ao consumo residencial é transformada em créditos, podendo ser utilizada em outros meses ou em dias nublados, onde a geração de eletricidade é menor (CRESESB, 2006).

A figura 2.10 representa a composição de um sistema solar conectado à rede.

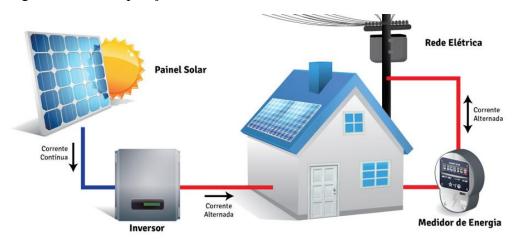


Figura 2.10 - Composição de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

FONTE: REAL SOLAR (2017)

Já os sistemas híbridos são desconectados da rede e compostos por várias fontes de geração de energia elétrica, tais como: turbinas eólicas, geração a diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras. Estes sistemas também utilizam inversores, pois trabalham com corrente contínua (CRESESB, 2006).

Na figura 2.11, pode-se observar um esquema exemplificando a geração híbrida de energia.

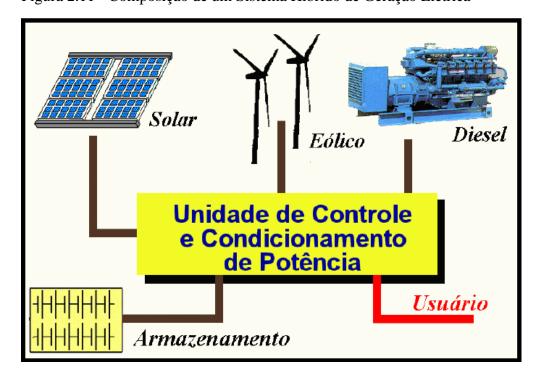


Figura 2.11 - Composição de um Sistema Híbrido de Geração Elétrica

FONTE: CRESESB (2006)

2.3.2.4 Grandes Centrais Fotovoltaicas

Segundo Câmara (2011), uma grande central fotovoltaica, por não utilizar armazenamento de energia, fornece toda a sua geração, instantaneamente, para a rede, mediante a utilização de um ou mais inversores e transformadores, como mostrado na figura 2.12.

Rede elétrica

Inversor com
SPMP

Rede elétrica

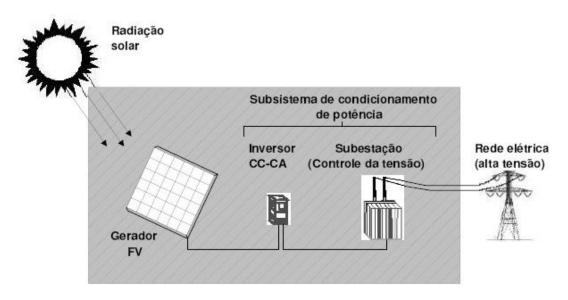
Figura 2.12 - Diagrama Unifilar de uma Central Fotovoltaica

FONTE: CÂMARA (2011)

Este tipo de sistema é uma complementação do sistema elétrico de grande porte, como as usinas hidrelétricas. Todo este sistema é conectado a inversores que fazem a mediação entre o sistema de geração e a rede, transformando a corrente CC em corrente CA, além de ter dispositivos de segurança tais como, sistema de anti-ilhamento, que evitam a operação isolada deste sistema, distorção harmônica e proteção contra sobretensão e sobrecorrente (CÂMARA, 2011).

Um dos empecilhos encontrados pelas grandes centrais fotovoltaicas é a necessidade de grandes áreas para a ocupação do sistema, fazendo com que estas usinas estejam geralmente afastadas dos grandes centros de consumo, fazendo-se necessária a utilização de sistemas de transmissão, como ilustrado na figura 2.13, para transportar esta energia até as cargas (CÂMARA, 2011).

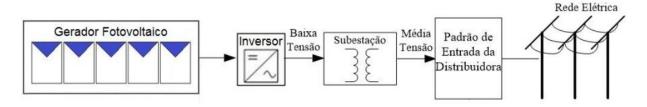
Figura 2.13 - Diagrama Esquemático de uma Central Fotovoltaica conectada à rede de transmissão



FONTE: CÂMARA (2011)

Segundo Pinho (2014), usinas fotovoltaicas menores podem utilizar o sistema de distribuição, ou seja, média tensão, 13.8 kV e 34.5 kV para o transporte de energia elétrica, como ilustrado na figura 2.14.

Figura 2.14 - Diagrama esquemático de uma Central Fotovoltaica conectada à rede de distribuição



FONTE: PINHO (2014)

O pioneirismo brasileiro da geração fotovoltaica em escala comercial teve início com a Usina Solar de Tauá, no município de Tauá, no Ceará. Esta usina, conforme na figura 2.15, é conectada diretamente ao sistema de distribuição de 13.8 kV. Com um potencial de 1 MWp, esta usina poderá sofrer uma ampliação para até 5 MWp no futuro, pois possui autorização da ANEEL para aumento da capacidade instalada (BEIGELMAN, 2013).



Figura 2.15 - Vista geral da Usina Solar de Tauá

FONTE: BEIGELMAN (2013)

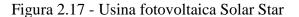
A maior central fotovoltaica da América Latina se encontra no Brasil. Ilustrada na Figura 2.16, a usina de Pirapora, em Minas Gerais, possui apenas a segunda de três fases de construção completa e terá uma capacidade de 400MWp ao término de sua instalação (O TEMPO, 2017).



Figura 2.16 - Usina Fotovoltaica de Pirapora - MG

FONTE: G1 GLOBO (2017)

Segundo Solar (2018), uma das maiores usinas solares do mundo teve sua construção concluída em 2015 nos Estados Unidos da América. Instalada no deserto, como mostra a figura 2.17, a usina Solar Star é localizada próximo a cidade de Rosamond na Califórnia e possui uma potência de 579MWp.





FONTE: PORTAL SOLAR (2018)

Países dependentes da importação de combustíveis fósseis para a produção de eletricidade têm encontrado nas usinas fotovoltaicas, uma opção viável para a substituição desta matriz de energia elétrica, proveniente de fontes não renováveis. Nações como Alemanha, Espanha, Itália e Portugal optaram por esta troca de fonte energética e são destaques na geração de energia elétrica através de usinas fotovoltaicas (PINHO, 2014).

Mesmo não sendo tão atrativa pelo fato dos custos serem elevados, a energia fotovoltaica pode se tornar muito competitiva com incentivos estatais, tendo em vista a Alemanha, que possui usinas nucleares, sendo estas desativadas devido à implantação de fontes renováveis na matriz energética alemã, que faz com que a tarifa praticada não remunere a operação em usinas nucleares (GROTH, 2013).

2.3.2.5 Sistemas fotovoltaicos flutuantes

Sistemas flutuantes de geração fotovoltaica são caracterizados pela sua instalação em lagos de pedreira, lagos ou reservatórios de água. Estes sistemas possuem vantagens sobre a geração fotovoltaica em terra, havendo poucas regras e regulamentos para estruturas construídas sobre a água (SUJAY S., 2017).

Ainda segundo destaca Sujay S. (2017), além de possuírem um revestimento especial para evitar ferrugem e corrosão, ao instalar um sistema fotovoltaico sobre a água, faz com que os módulos sejam resfriados de forma natural, aumentando a eficiência na produção de energia. O ambiente mais frio também reduz o estresse do sistema, aumentando assim o seu tempo de vida.

Diminuir o nível de evaporação dos reservatórios de irrigação ou de hidroelétricas é um dos principais fatores do sistema fotovoltaico flutuante. Tendo em vista manter o máximo de água nos reservatórios, há a possibilidade de redução da evaporação em até 33% em lagos naturais e 50% em reservatórios de irrigação feitos pelo homem ao se utilizar um sistema fotovoltaico de geração elétrica flutuante (AHLERT, 2017).

A figura 2.18 mostra o balanço água-energia para sistemas sem a cobertura dos módulos fotovoltaicos (a) e com a cobertura dos módulos (b).

Figura 2.18 - Balanço água-energia



FONTE: STRANGUETO (2016)

Além da redução da evaporação, cobrir reservatórios com módulos solares leva à uma redução da incidência da luz do Sol na água, fazendo com que ocorra uma redução do crescimento de algas que podem causar a eutrofização da água do lago ou reservatório (AHLERT, 2017).

Os sistemas fotovoltaicos flutuantes possuem uma plataforma flutuante que garante a flutuabilidade e estabilidade do arranjo fotovoltaico, geralmente feitos de polietileno de média densidade, suportando até dois módulos fotovoltaicos, como mostrado na figura 2.19. Esta plataforma também é chamada de píer (STRANGUETO, 2016).





FONTE: STRANGUETO (2016)

Além do píer, o sistema flutuante necessita de uma estrutura com acoplamento articulado de metal e acoplamento flexível de borracha entre os píeres para suporte dos módulos fotovoltaicos, a qual deve suportar o peso do sistema, adaptar-se à superfície irregular dos reservatórios e fazer com que a força dos ventos seja transmitida entre os píeres até o sistema de ancoragem (GOZÁLVEZ, 2012).

A planta fotovoltaica flutuante possui cordas que a amarram a uma ancoragem rígida feita de estacas de concreto armado, localizadas nas bordas ou no fundo dos reservatórios, como mostrado nas figuras 2.20 e 2.21. Este sistema de ancoragem transmite as forças horizontais para as bordas do reservatório e, caso seja ancorada ao fundo do reservatório, transmite também as forças verticais decorrente das ondas da superfície (GOZÁLVEZ, 2012).

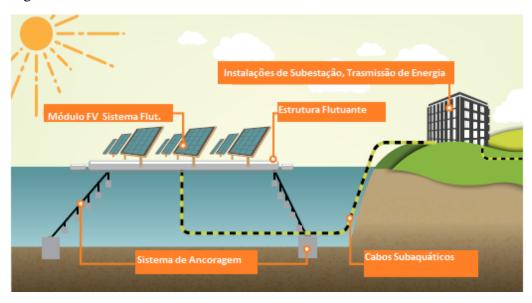


Figura 2.20 - Estrutura de um sistema flutuante ancorado no fundo do reservatório

FONTE: Adaptado de LS IS (2016)

Plataformas Flutuantes

Cordas

Acoplamento flexível

RESERVATÓRIO CHEIO

RESERVATÓRIO VAZIO

Figura 2.21 - Estrutura de um sistema flutuante ancorado nas bordas do reservatório

FONTE: AHLERT (2017)

O método mais utilizado ao redor do mundo é o sistema de plataforma flutuante HYDRELIO®, ilustrado na figura 2.22, sendo adequando tanto para usinas de pequeno quanto para grande porte. Essa planta utiliza boias de HDPE, que é um polietileno de alta densidade, dando ao sistema mais de 20 anos de vida útil, e, além de possuir rápida montagem e não utilizar equipamentos pesados, estas plataformas suportam ventos de aproximadamente 190 km/h (AHLERT, 2017).

COMPONENTES HYDRELIO® **BOIA PRINCIPAL DE SUPORTE** DE MÓDULO FOTOVOLTÁICO Material de HDPE MÓDULO FOTOVOLTÁICO DE Ângulo de Inclinação: 12° **60 CÉLULAS EMOLDURADO BOIA SECUNDÁRIA PARA** CONVENCIONAL Espessura ∼3 mm MANUTENÇÃO/FLUTUAÇÃO Comprimento: máx 1670 mm Peso: 9,5 Kg Material de HDPE Largura: 991 mm \pm 3 Superfície antideslizante Espessura Moldura: 25~40 mm Comprimento 900~1200 mm Espessura ∼3 mm Peso: 3.5 Kg do Cabo: Conector: compatibilidade com MC4 PINO DE CONEXÃO TRILHO PARA FIXAR O Fibra de Vidro + Material PP MÓDULO NAS BOIAS Certificação NFT 58 000 Trilho de Alumínio ou EPDM Certificado ISO 3302-1/1996

Figura 2.22 - Componentes da plataforma HYDRELIO

FONTE: AHLERT (2017)

A ocupação dos reservatórios não pode ser total, ou seja, de 100% da superfície alagada, tendo em vista a preservação da fauna e da flora existentes nos locais. Segundo Strangueto (2016), é necessário a exclusão das áreas de segurança das hidrelétricas para a ocupação do sistema fotovoltaico flutuante, tendo em vista a proximidade das tomadas d'água, vertedouros e áreas de manobra de equipamentos. Além disto, o sistema flutuante precisa de um afastamento mínimo das margens, em razão da vegetação, do sombreamento e da própria segurança dos módulos fotovoltaicos. Outro ponto importante é a necessidade de uma área para a aeração do reservatório para a preservação dos processos biológicos presentes

no lago. Mediante estes dados, é definido 80% do reservatório como área máxima, sendo os outros 20% destinados aos processos descritos anteriormente.

Esta tecnologia, no entanto, ainda não possui muitos adeptos no senário mundial, quer pela maior complexibilidade na instalação e manutenção, quer pela tecnologia que deve ser aplicada. No entanto, Sujay S. (2017) destaca que um pequeno número de sistemas flutuantes é encontrado na França, Índia, Japão, Coréia do Sul, Reino Unido, Singapura e Estados Unidos. Dentre estes países, o que possui as maiores plantas fotovoltaicas flutuantes é o Japão.

Em 2016, o número de sistemas fotovoltaicos flutuantes ao redor do mundo era de 70, totalizando 93 MW de capacidade instalada. Deste montante, o Japão liderava em número de usinas, com um total de 45 das plantas operantes que, somadas, obtinham uma potência instalada de aproximadamente 56,5 MW. Deste levantamento, a maior usina possuía 20 MW instalados e se encontrava na província de Anhuí na China. A companhia Solarplaza elaborou uma tabela (Anexo A) com todos os 70 sistemas flutuantes (MINAMINO, 2016).

Ciel et Terre (2017) citam algumas das usinas fotovoltaicas flutuantes instaladas no ano de 2017, ilustrada na figura 2.23, a Hirono Nigo Ike, com 1.261 kWp e a Yukimine Kami Ike, figura 2.24, com 1.558 kWp instalados, ambas as usinas estão sobre reservatórios de irrigação e encontram-se no Japão.



Figura 2.23 - Usina Hirono Nigo Ike - Hyogo, Japão

FONTE: CIEL et TERRE (2017)



Figura 2.24 - Usina Yukimine Kami Ike – Tokushima, Japão

FONTE: CIEL et TERRE (2017)

Nas figuras 2.23 e 2.24, Ciel et Terre (2017) destacam a necessidade de serem aplicados os recuos mínimos de segurança, visando não comprometer a segurança da usina e dos organismos subaquáticos.

3 METODOLOGIA

Este capítulo é destinado ao estudo da região não utilizada do reservatório da Usina Hidrelétrica Governador José Richa, com a proposta de maximizar a produção de energia elétrica desta unidade geradora, mediante a instalação de módulos fotovoltaicos flutuantes para uma geração híbrida de eletricidade.

Foi realizado um levantamento em relação a radiação solar incidente sobre a unidade geradora, além de um estudo para um melhor dimensionamento e preenchimento da superfície do reservatório pelo sistema fotovoltaico flutuante.

3.1 DADOS DA USINA HIDRELÉTRICA GOVERNADOR JOSÉ RICHA

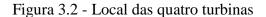
A usina se encontra instalada no Rio Iguaçu, no município de Capitão Leônidas Marques – Paraná, e tem sua localização geográfica definida pelas coordenadas 25° 32' 35'' Latitude Sul (S) e 53° 29' 42'' Longitude Oeste (O).

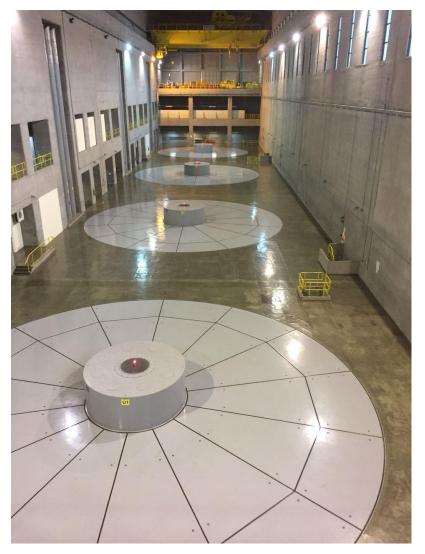


Figura 3.1 - Localização da Usina Hidrelétrica de Governador José Richa

FONTE: Google Mapas.

Esta usina possui quatro unidades geradoras, constituídas por turbinas Francis, de potência individual de 310MW, que totalizam 1.240MW de potência instalada, apresentando uma média de geração anual de 5.431,2 GWh.





FONTE: Autor (2017)

A tomada d'água desta usina possui quatro comportas tipo vagão, que conduzem a água do reservatório até as turbinas através dos dutos mostrados na figura 3.3.



Figura 3.3 - Dutos de passagem de água até as turbinas

FONTE: Autor (2017)

Esta usina possui uma barragem com 1.083m de comprimento e 67m de altura, feitas de concreto convencional e concreto compactado a rolo. O vertedouro da hidrelétrica é composto por 14 comportas de segmento e uma comporta tipo ensecadeira, tendo como descarga máxima 47.500 m³/s.



Figura 3.4 - Barragem da Usina Hidrelétrica Governador José Richa

FONTE: Autor (2017)

A usina utiliza um nível mínimo e máximo do reservatório para operação, sendo de 323m em relação ao mar o nível mínimo e 325m em relação ao mar o nível máximo, tendo uma variação do nível do reservatório de apenas 2m, o que teve grande importância na escolha da usina como objeto de estudo. O reservatório possui uma área total de 141 km², equivalente a aproximadamente 19.748 campos de futebol, com volume total de 3.573 milhões de m³.

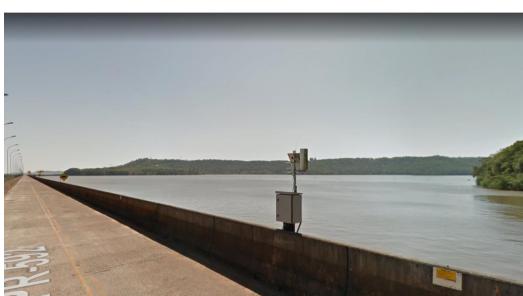


Figura 3.5 - Reservatório da Usina Hidrelétrica Governador José Richa

FONTE: Adaptado de Google Maps (2018)

A hidrelétrica possui uma subestação isolada a gás SF6, com tensão nominal de 550kV e casa de força do tipo abrigada, e conta com cinco transformadores trifásicos de 345 MVA, sendo 4 em serviço e 1 reserva.



Figura 3.6 - Subestação de transformação da hidrelétrica

FONTE: Autor (2017)



Figura 3.7 - Subestação de transformação da hidrelétrica

FONTE: Autor (2017)

Além disto, a usina possui duas linhas de transmissão em 525 kV, uma para a interligação da hidrelétrica com a subestação de Salto Santiago, e outra para a subestação de Cascavel.

3.2 DIMENSIONAMENTO

Este subcapítulo tem como finalidade realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico flutuante. O parâmetro destacado será a determinação da área, juntamente com o número total de módulos que ocuparão a área laminada do reservatório da Usina Hidrelétrica Governador José Richa.

3.2.1 DETERMINAÇÃO DA ÁREA OCUPADA PELO SISTEMA FOTOVOLTAICO FLUTUANTE

Para a determinação da área de ocupação, respeitando os limites usuais de utilização descritos no capítulo 2.3.2.5, foram utilizados dois parâmetros, sendo assim, obteve-se duas opções de área de ocupação.

A primeira medida leva em conta as informações recebidas pela empresa WEG, onde consta uma potência total de inversores de 24 MW, sendo assim, a primeira área se dá através da ocupação total dos módulos fotovoltaicos para satisfazer esta potência instalada.

A segunda área se deu mediante a instalação da potência do sistema fotovoltaico flutuante igual a potência hidráulica da Usina Hidrelétrica Governador José Richa, sendo esta de 1240 MW, porém, para objeto de estudo, utilizou-se 1242 MW.

A quantidade de módulos utilizados, tanto para o sistema de 24 MW quanto para o sistema de 1.242 MW, será determinada pelo *software PVsyst*®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentadas as informações de irradiação solar na região da usina hidrelétrica sob estudo, obtidas mediante dois diferentes programas, sendo eles o *SunData 3.0* e o Global Solar Atlas.

São apresentados também os componentes escolhidos para o sistema fotovoltaico, a quantidade de módulos e inversores por sistema, assim como a área ocupada pelos mesmos, os cálculos do potencial de geração por módulo fotovoltaico e os cálculos do potencial de geração referentes a potência instalada, mediante informação de irradiação obtida em cada programa.

4.1 IRRADIAÇÃO SOLAR NA USINA HIDRELÉTRICA GOVERNADOR JOSÉ RICHA

Além dos dados da irradiação solar obtidos no banco de dados do *PVsyst*®, referente a localização da Usina Hidrelétrica Governador José Richa, foram consultados outros dois programas com base nos dados solarimétricos para a obtenção da irradiação solar média nas coordenadas de estudo.

Utilizando o *SunData 3.0* de 2017, obteve-se uma irradiação média anual por dia de 4,73 kWh/m²/dia em relação ao plano horizontal. Quando a incidência ocorre em relação ao ângulo igual à latitude, o valor encontrado foi de 4,94 kWh/m²/dia, como mostrado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Irradiação Solar Diária Média Anual

	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	6,23	5,72	5,24	4,23	3,29	2,86	3,07	4,09	4,25	5,26	6,13	6,39	4,73
Ângulo igual a latitude	26° N	5,56	5,44	5,45	4,91	4,18	3,81	4,02	4,99	4,57	5,14	5,56	5,60	4,94

Fonte: Adaptado de CRESESB (2018)

Ao consultar o Global Solar Atlas do *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (*SWERA*), com informações referentes ao ano de 2018, obteve-se os dados de irradiação para

a região da Usina Hidrelétrica Governador José Richa, valor médio de 5,008 kWh/m²/dia para o plano horizontal e 5,37 kWh/m²/dia quando a inclinação dos módulos fotovoltaicos for igual à latitude.

Para o dimensionamento da usina, foi utilizada a inclinação dos módulos fotovoltaicos em 25° conforme definido pelo *SunData 3.0* e pelo *SWERA*, ou 30° conforme definido pelo *software PVsyst*®, ambos faceados ao norte geográfico, pois é nesta posição que ocorrerá a maior produção de energia.

4.2 ESCOLHA DO MÓDULO FOTOVOLTÁICO

A escolha do módulo fotovoltaico para este trabalho foi realizada através da análise do melhor componente fotovoltaico, além da verificação de existência do certificado do INMETRO para este equipamento.

O módulo fotovoltaico de 340 Wp, modelo CS6U-340M(1500 V) da marca Canadian, foi escolhido para este objeto de estudo. O *datasheet* com as informações técnicas deste módulo encontram-se no anexo B, e seu certificado do INMETRO no anexo C.

4.3 ESCOLHA DO INVERSOR FOTOVOLTÁICO

Para a escolha do inversor fotovoltaico foi levado em consideração a grandeza do projeto fotovoltaico flutuante, sendo assim, foi optado por se utilizar inversores SIW1500 – 1500V da WEG, tendo como potência nominal 3 MW. Para locação destes inversores será utilizado eletrocentros ESW 1500V que comportam dois inversores SIW1500 – 1500V cada.

As informações técnicas do inversor e do eletrocentro, como potência nominal, faixa de tensão de funcionamento, corrente nominal, frequência nominal, entre outros, encontramse no anexo D e anexo E, respectivamente.

4.4 CÁLCULOS DE POTENCIAL DE GERAÇÃO

Este tópico mostra os cálculos e resultados obtidos através de fórmulas e do *software PVsyst*® para a geração de energia elétrica, tanto por módulo fotovoltaico quanto por sistema como um todo.

4.4.1 CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO POR MÓDULO FOTOVOLTAICO

Para o cálculo de geração elétrica por módulo fotovoltaico foram utilizados quatro parâmetros diferentes, sendo estes, os dados de irradiação recebidos pelo *SunData 3.0* e pelo *SWERA*, e um para cada potência total instalada de sistema 24 MW e 1242 MW.

Segundo Strangueto (2016), para calcular a energia elétrica gerada em um único módulo, mediante o número de horas de insolação equivalente e a potência nominal do módulo fotovoltaico, utiliza-se a equação 4.1.

Equação 4.1 - Geração de energia elétrica anual por módulo fotovoltaico em relação as horas de insolação

E.E = NHIE * 365 * Pn

Onde:

NHIE = número de horas diárias de insolação equivalente (média anual) em kWh/m²/dia;

E.E = energia elétrica gerada;

365 = número de dias de 1 ano;

Pn = potência nominal do módulo fotovoltaico em Wp.

Ao utilizar a equação 1 com o valor de irradiação solar média anual para o ângulo igual a latitude, obtido através do *SunData 3.0* no item 4.1, observou-se o seguinte valor de geração.

$$E.E = 4.94 * 365 * 340 = 613,054 \, kWh/ano$$

Para o valor de irradiação solar média anual encontrada através do *SWERA*, o valor para a geração de energia elétrica foi o seguinte:

$$E.E = 5.37 * 365 * 340 = 666.417 \, kWh/ano$$

Para o sistema de 24 MW, foi utilizado 87.836 módulos fotovoltaicos de 340 Wp, modelo CS6U-340M(1500V) da marca Canadian, como ilustrado na figura 4.1, cobrindo uma área total de 170.781 m², o equivalente a quase 24 campos de futebol. Para este sistema foram necessários 8 inversores SIW1500 – 1500V da WEG de potência 3 MW cada, todos locados em 4 eletrocentros ESW 1500V.

_ O X Grid system definition, Variant "New simulation variant" Global System configuration Global system summary Nb. of modules 87836 Nominal PV Power 29864 kWp Number of kinds of sub-arrays 170781 m² Maximum PV Power 28845 kWdc Module area Nominal AC Power Simplified Schema Nb. of inverters 8 24000 kWac ? PV Array Sub-array name and Orientation Presizing Help Enter planned power @ 28800.0 Name PV Array No sizing Tilt 30* or available area(modules) 🧖 164696 Orient. Fixed Tilted Plane Resize Azimuth Select the PV module Approx. needed modules 84706 Available Now ▼ 340 Wp 32V Canadian Solar Inc. CS6H-340M1500V Since 2017 Manufacturer 2017 💌 Dpen | Si-mono Sizing voltages: Vmpp (60°C) 32.3 V Voc (-10°C) ☐ Use Optimizer Select the inverter ▼ 50 Hz Available Now ₩ 60 Hz WEG Equip. Eletricos ▼ 3000 kW 850 - 1350 V TL 60 Hz SIW1500-T1665-33-v1 Den Open Since 2014 -Nb. of inverters Global Inverter's power 24000 kWac 850-1350 V Operating Voltage: Input maximum voltage: 1500 V Design the array Number of modules and strings Operating conditions The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum power. (Info, not significant) ? ? Vmpp (60°C) 904 V Vmpp (20°C) 1085 V Mod. in series 28 Voc (-10°C) 1445 V Nbre strings 3137 Plane irradiance 1000 W/m² STC C Max in data Max, operating power Impp (STC) 28206 A 26790 kW Overload loss 01% K Show sizing at 1000 W/m² and 50°C) Isc (STC) 29739 A Pnom ratio 1.24 Nb. modules 87836 Area 170781 m Isc (at STC) 29739 A Array nom. Power (STC) 29864 kWp X Cancel System overview ✓ OK

Figura 4.1 - Dimensionamento PVsyst® - Sistema 24 MW

FONTE: Autor, a partir do software PVsyst® (2018)

Através do *software PVsyst*® não é possível fazer a simulação utilizando apenas um módulo fotovoltaico, pois pode haver alterações da geração dependendo do tamanho dos arranjos. Sendo assim, para o cálculo da energia gerada por apenas um módulo, foi utilizada a

Exit

potência total gerada anualmente, ilustrado na figura 4.2, e dividida pelo número total de módulos fotovoltaicos.

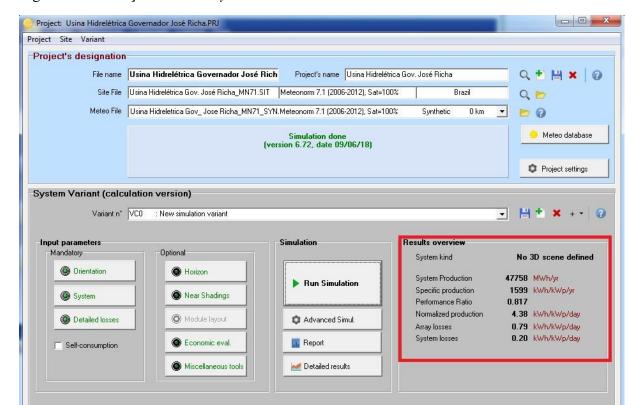


Figura 4.2 - Geração anual PVsyst® - Sistema 24 MW

FONTE: Autor, a partir do software PVsyst® (2018)

System overview

Sendo assim, utilizando a equação 4.2.

Equação 4.2 - Geração de energia elétrica anual por módulo fotovoltaico

$$\textit{Geração por m\'odulo} = \frac{\textit{Geração total anual do sistema}}{\textit{N\'umero total de m\'odulos}}$$

$$Gera \cite{capacita} gor \ m\'odulo = \frac{47.758 \ MWh/ano}{87.836} = 543,718 \ kWh/ano$$

Para o sistema de 1242 MW foram utilizados 4.641.168 módulos fotovoltaicos de 340 Wp, modelo CS6U-340M(1500 V) da marca Canadian, como ilustrado na figura 4.3, cobrindo uma área total de 9.023.916 m², o equivalente a aproximadamente 1264 campos de futebol. Para este sistema foram necessários 414 SIW1500 – 1500V da WEG de potência 3 MW cada, todos locados em 207 eletrocentros ESW 1500V.

_ O X Grid system definition, Variant "New simulation variant" Global System configuration Global system summary Nb. of modules 4641168 Nominal PV Power 1577997 kWp Number of kinds of sub-arrays 9023916 m² Maximum PV Power 1524119 kWdc Module area Simplified Schema Nb. of inverters 414 Nominal AC Power 1242000 kWac ? PV Array Sub-array name and Orientation Presizing Help Enter planned power 🕟 1578000 Name PV Array No sizing Tilt 30* or available area(modules) © 9023931 Orient. Fixed Tilted Plane Resize Azimuth Select the PV module Approx. needed modules 4641176 Available Now Manufacturer 2017 🛨 📙 Open Canadian Solar Inc. ▼ 340 Wp 32V CS6H-340M1500V Since 2017 Si-mono Sizing voltages: Vmpp (60°C) 32.3 V 51.6 V Voc (-10°C) Use Optimizer Select the inverter ▼ 50 Hz Available Now ₩ 60 Hz WEG Equip. Eletricos ▼ 3000 kW 850 - 1350 V TL 60 Hz SIW1500-T1665-33-v1 🖹 Open Since 2014 414 Nb. of inverters Global Inverter's pow1242000 kWac Operating Voltage: 850-1350 V Input maximum voltage: 1500 V Design the array Number of modules and strings Operating conditions The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum power. (Info, not significant) ? ? Vmpp (60°C) 904 V Vmpp (20°C) 1085 V Mod. in series 28 Voc (-10°C) 1445 V STC C Max. in data Plane irradiance 1000 W/m² Impp (STC) 1490397 A Max. operating power 1415553 kW Overload loss 03% Show sizing at 1000 W/m² and 50°C) Isc (STC) 1571367 A Prom ratio 1 27 Nb. modules 4641168 Area 9023916 m2 Isc (at STC)1571367 A Array nom. Power (STC)1577997 kWp System overview X Cancel ✓ ok

Figura 4.3 - Dimensionamento PVsyst® - Sistema 1242 MW

FONTE: Autor, a partir do software PVsyst® (2018)

Assim como o sistema de 24 MW, não é possível fazer a simulação utilizando apenas um módulo fotovoltaico. Sendo assim, utilizou-se a mesma equação 4.1 para o cálculo da energia gerada anualmente por apenas um módulo no sistema de 1242 MW.

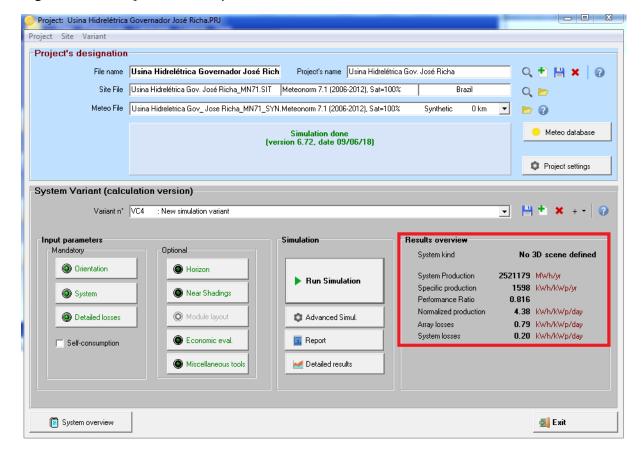


Figura 4.4 - Geração anual PVsyst® - Sistema 1242 MW

FONTE: Autor, a partir do software PVsyst® (2018)

Utilizando a equação 4.2 para o sistema de 1242 MW.

$$Geração\ por\ m\'odulo = \frac{Geração\ total\ anual\ do\ sistema}{N\'umero\ total\ de\ m\'odulos}$$

$$Geração\ por\ m\'odulo = \frac{2.521.179\ MWh/ano}{4.641.168} = 543,221\ kWh/ano$$

4.4.2 CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA MEDIANTE POTÊNCIA INSTALADA

O cálculo para o potencial de geração elétrica total dos dois sistemas propostos, sendo eles, 24 MW e 1242 MW, será dado através da equação 4.3.

Equação 4.3 - Potencial total de geração elétrica anual do sistema fotovoltaico $Geração\ total = Geração\ por\ m\'odulo\ fotovoltaico * N\'umero\ total\ de\ m\'odulos$

Ao utilizar o índice de irradiação obtido através do *SunData 3.0* para o sistema de 24 MW, o valor total de geração anual é de:

 $Geração\ total = 613,054 * 87.836 = 53.848,211\ MWh/ano$

E para o sistema de 1242 MW.

 $Geração\ total = 613,054 * 4.641.168 = 2.845.286,607\ MWh/ano$

Para os dados obtidos através do *SWERA*, os valores de geração elétrica total anual dos sistemas de 24 MW e 1242 MW são respectivamente:

 $Geração\ total = 666,417 * 87.836 = 58.535,403\ MWh/ano$

 $Geração\ total = 666,417 * 4.641.168 = 3.092.953,255\ MWh/ano$

O potencial de geração elétrica anual total obtido através do *software PVsyst*® para os sistemas de 24 MW e 1242 MW são de 47.758 MWh/ano e 2.521.179 MWh/ano respectivamente, como ilustrado na figura 4.2 e figura 4.4. Os relatórios gerados para ambos os sistemas através do *software* se encontram no apêndice A e apêndice B.

5 CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi estimar o potencial de produção de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico flutuante implantado, em parte, na área alagada do reservatório da Usina Hidrelétrica Governador José Richa, utilizando arranjos com potência de inversores instalados igual a 24 MW e 1242 MW.

Notou-se que, ao utilizar o *software PVsyst*®, os valores de produção de energia elétrica diferem bastante dos valores considerados através dos cálculos teóricos, utilizando as informações de irradiação média anual, obtidos por meio dos programas *SunData 3.0* e *SWERA*.

Para o sistema de 24 MW, ocupando 0,0012% da área total do reservatório, ao invés dos 58.535,403 MWh/ano obtidos através dos valores do *SWERA*, e dos 53.848,211 MWh/ano obtidos por meio dos valores do *SunData 3.0*, a geração prevista pelo *software PVsyst*® foi de 47.758 MWh/ano.

O arranjo de inversores com 1242 MW de potência instalada, cobrindo 0,064% da área total alagada do reservatório, teve como previsão de geração de energia elétrica 2.521.179 MWh/ano através do *PVsyst*®, valor consideravelmente afastado dos 2.845.286,607 MWh/ano obtidos com as informações solarimétricas do programa *SunData 3.0*, e dos 3.092.953,255 MWh/ano com informações do *SWERA*.

Como ressaltado no item 2.3.2.5, a área máxima para a utilização dos sistemas fotovoltaicos flutuantes é de 80% da área alagada dos reservatórios, para preservação da fauna e da flora, além da livre locomoção para manutenções na usina. Com isso, foi perceptível a área disponível para a ocupação de um sistema fotovoltaico flutuante no reservatório da Usina Hidrelétrica Governador José Richa, visto que, para igualar a potência do arranjo fotovoltaico com a potência hidráulica instalada da usina, foi preciso utilizar menos de 1% do total da área alagada pelo reservatório.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma vez que o foco deste trabalho foi calcular o potencial de geração de energia elétrica anual através de dois sistemas pré-selecionados, 24 MW e 1242 MW, outros aspectos importantes não foram considerados e deverão ser objeto de estudos futuros, como:

- Análise aprofundada dos impactos ambientais que este tipo de sistema causa a fauna e flora que rodeiam esse tipo de instalação;
- Análise das adequações que devem ser feitas nas subestações da hidrelétrica para suportar completamente o acréscimo deste sistema de geração;
- Estudo orçamentário para todos os elementos que compõem este tipo de instalação, envolvendo quantidade de módulos fotovoltaicos, inversores, eletrocentros, estruturas flutuantes, cabeamento, etc.

REFERÊNCIAS

AHLERT. Aplicação de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidrelétricas – Estudo de Caso em uma Hidrelétrica Brasileira. 2017. Disponível em: http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023006.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2018.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil:** 1ª ed. 2002. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 02 set. 2017.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil:** 3ª ed. 2008. Disponível em: http://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasul_3a-ed.pdf>. Acesso em: 02 set. 2017.

ANEEL. **Balanço Energético Nacional.** 2017.a. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 06 set. 2017.

ANEEL. **Banco de Informações de Geração.** 2017.b. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm. Acesso em: 04 set. 2017.

BEIGELMAN. **A Energia Solar Fotovoltaica e a Aplicação na Usina Solar de Tauá.** 2013. Disponível em: http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007228.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2018.

BRASIL. **Resenha Energética Brasileira.** 2017. Disponível em:

 $<\!\!http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-$

+Resenha+Energética+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+(PDF)/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0>. Acesso em: 05 set. 2017.

CÂMARA. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** 2011. Disponível em: http://www.solenerg.com.br/files/monografia-Carlos-Fernando-Camara.pdf>. Acesso em 06 mai. 2018.

CIEL ET TERRE. **Our Floating Solar Power Plants References.** 2017. Disponível em: https://www.ciel-et-terre.net/our-floating-solar-power-plants-references/>. Acesso em: 16 mai. 2018.

CRESESB. Energia Solar Princípios e Aplicações. 2006. Disponível em:

http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 05 set. 2017.

G1 GLOBO. Conheça a Maior Usina de Energia Solar da América Latina, em Pirapora. 2017. Disponível em: https://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/usina-de-energia-solar-de-pirapora-inicia-producao-conheca.ghtml. Acesso em: 08 mai. 2018.

GALDINO, Marco A *et al.* **O Contexto das Energias Renováveis no Brasil.** 2000. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>. Acesso em: 09 set. 2017.

GOLDEMBERG. **Energias Renováveis: Um Futuro Sustentável.** 2007. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13564/15382. Acesso em: 06 mai. 2018.

GOZÁLVEZ. Covering Reservoirs With a System of Floating Solar Panels: Technical an Financial Analysis. 2012. Disponível em:

http://www.aeipro.com/files/selected_proceedings/2012/SP12_0177_0187.3928.pdf. Acesso em: 15 mai. 2018.

GRANZIERA. Energia e Meio Ambiente: Contribuições Para o Necessário Diálogo. 2015. Disponível em: http://www.unisantos.br/wp-content/uploads/2016/03/ENERGIA-E-MEIO-AMBIENTE.pdf. Acesso em: 05 mai. 2018.

GROTH. Usina de Geração Fotovoltaica. 2013. Disponível em:

https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96209/000915411.pdf?sequence=1. Acesso em: 10 mai. 2018.

LS IS. **Floating Photovoltaic System.** 2016. Disponível em:

http://www.lsis.com/edm/2016/1128/1611_electric_Floating Photovoltaic System.pdf>. Acesso em: 20 out. 2017.

MINAMINO. **Floating Solar Plants: Niche Rising to the Surface?** 2016. Disponível em: https://www.solarplaza.com/channels/top-10s/11634/floating-solar-plants-niche-rising-surface/>. Acesso em: 16 mai. 2018.

O TEMPO. Usina Gigante de Energia Solar Começa a Operar em Pirapoca. 2017. Disponível em: https://www.otempo.com.br/capa/economia/usina-gigante-de-energia-solar-come%C3%A7a-a-operar-em-pirapora-1.1543063>. Acesso em: 08 mai. 2018.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2006. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 16 set. 2017.

PEREIRA. Energias Renováveis: Políticas Públicas e Planejamento Energético. 2014. Disponível em:

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/942/1/Energias%20Renov%C3%A1veis_Pereira%2C%20Thulio%20C%C3%ADcero%20Guimar%C3%A3es_2014.pdf. Acesso em: 05 mai. 2018.

PINHO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** 2014. Disponível em: https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2018.

PORTAL SOLAR. **Conheça a usina solar flutuante do Brasil.** 2017. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/conheca-a-usina-solar-flutuante-do-brasil.html>. Acesso em: 20 set. 2017.

PORTAL SOLAR. O que é energia solar? 2017. Disponível em:

https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar-.html>. Acesso em: 15 set. 2017.

PORTAL SOLAR. Usina Solar. 2018. Disponível em:

https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html. Acesso em: 08 mai. 2018.

QUEIROZ. Geração de Energia Elétrica Através de Energia Hidráulica e Seus Impactos Ambientais. 2013. Disponível em:

https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/9124/pdf>. Acesso em: 04 mai. 2018.

REAL SOLAR. **Energia Fotovoltaica:** Como funciona. 2017. Disponível em: http://real-solar.com/como-funciona.php>. Acessoem: 20 set. 2017.

STRANGUETO. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidrelétricas. 2016. Disponível em:

<repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/304920/1/Strangueto_KarinaMaretti_D.pdf>.
Acesso em: 15 mai. 2018.

SUJAY S, Patil (desai); M, Wagh M; N, Shine N. **A Review on Floating Solar Photovoltaic Power Plants.** 2017. Disponível em: https://www.ijser.org/researchpaper/A-Review-on-Floating-Solar-Photovoltaic-Power-Plants.pdf>. Acesso em: 10 out. 2017.

TIEPOLO, Gerson Máximo *et al.* **Comparação entre o Potencial de Geração Fotovoltaica no Estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha.** 2014. Disponível em: . Acesso em: 21 set. 2017.

WHITE PAPER. **O Mundo Sustentável das Energias Renováveis.** 2011. Disponível em: http://www.instalacoeseletricas.com/download/energias%20_renovaveis.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2018.

ANEXO A - TABELA SOLARPLAZA 70 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS **FLUTUANTES (2016)**



2018 EDITION RESOURCES

SPONSORS & PARTNERS

ABOUT

RECEIVE UPDATES

TOP 70 FLOATING SOLAR PV PLANTS

Top 70 Floating Solar PV Plants

Ran	k Size (kw)	Name of reservior (lake) / Name of Plant	Country	City/Province	Operating from
1	20000	Coal mining subsidence area of Huainan City	China	Anhui Province	April, 2016
2	7500	Kawashima Taiyou to shizen no megumi Solarpark	Japan	Saitama	October, 2015
3	6338	Queen Elizabeth II reservoir	UK	London	March, 2016
4	3000	Otae Province	Sounth Korea	Sangju City Gyeongsang Bukdo	October, 2015
5	3000	Jipyeong Province	Sounth Korea	Sangju City Gyeongsang Bukdo	October, 2015
6	2991	Godley Reservoir Floating Solar PV	'UK	Godley	January, 2016
7	2449	Tsuga Ike	Japan	Mie	August, 2016
8	2398	Sohara Ike	Japan	Mie	March, 2016
9	2313	Sakasama Ike	Japan	Hyogo	April, 2015
10	2000	Reservior in Kumagaya city	Japan	Saitama	December, 2014
11	2000	Kinuura Lumberyard	Japan	Aichi	February, 2016
12	2000	Yado Ooike (Sun Lakes Yado)	Japan	Hyogo	January, 2016
13	1751	Hirono Shinike	Japan	Hyogo	September, 2016

17	1500	Kakogawa City	Japan	Hyogo	September, 2015
18	1485	Funatsu Ooike	Japan	Hyogo	September, 2015
19	1430	Kawahara Yama Solar Plant	Japan	Hyogo	December, 2015
20	1330	Mito City	Japan	Ibaraki	August, 2015
21	1260	Hira Ike	Japan	Hyogo	July, 2016
22	1212	Koube Ooike	Japan	Hyogo	May, 2016
23	1203	Ainoike	Japan	Hyogo	May, 2016
24	1200	Higashi Hiraike	Japan	Hyogo	April, 2015
25	1180	Solar on the water Okegawa	Japan	Saitama	July, 2013
26	1176	Kasai City	Japan	Hyogo	February, 2015
27	1153	Arashiyama floating solar plant	Japan	Saitama	September, 2015
28	1125	Hirai Ike	Japan	Nara	July, 2015
29	1098	Shimane Solar Power Yasugi	Japan	Shimane	November, 2014
30	1078	Nagaike Nishi Ike	Japan	Hyogo	March, 2016
31	1076	Fukuike	Japan	Hyogo	June, 2015
32	1008	Tokorozawa Ike	Japan	Hyogo	March, 2015
33	1000	DREAM Solar Float Kounoyama	Japan	Osaka	October, 2016
34	990	Kasai City	Japan	Hyogo	October, 2016
35	973	Kasaoka Jyubancho Reservior	Japan	Okayama	May, 2016
36	850	Maeno Ike	Japan	Hyogo	September, 2014
37	808	Sakurashita Ike	Japan	Hyogo	February, 2016
38	696	Kawagoe City Resource Convention Centre	Japan	Saitama	June, 2014
39	631	Isawa Ike	Japan	Tokushima	October, 2016
40	630	Torigaike Floating Solar Plant	Japan	Hyogo	February, 2016
41	528	Fukuchi machi	Japan	Fukuoka	August, 2015
42	504	Imandou Ike	Japan	Osaka	September, 2015
43	495	Ochang	South Korea	Chungcheonbuk	February, 2015
44	490	Jyuman Ike	Japan	Hyogo	March, 2016
45	477	Napa Country Far NienteWinary	USA	California	2007
46	471	Polybell	UK	South Yorkshire	December, 2015
47	460	Aisai City	Japan	Aichi	December, 2015
48	400	Towa Arcs Yoshimi Floating Solar Plant	Japan	Saitama	April, 2016
49	343	Pontecorvo	Italy	Italy	March, 2016
50	300	Rengeji Ike	Japan	Fukuoka	July, 2016

54	96	Swimsol Lagoon	Maldives	Baa Atoll	February, 2016
55	59	Yoshioka Kaatsukijyou	Japan	Chiba	April, 2016
56	50	Reeders	UK	-	December, 2015
57	50	Eshkol reservoir	Israel	Jerusalem	October, 2014
58	48	Inogayaike Solar Plant	Japan	Hyogo	August, 2014
59	40	Yanagiike Solar Plant	Japan	Hyogo	January, 2014
60	33	The Slufter	Netherlands	Rotterdam	October, 2015
61	25	Westpoort industrial estate	Netherlands	Groningen	March, 2016
62	22	Nofar	Israel	Yavne	November, 2015
63	1 5	Piolenc	France	Piolenc City	February, 2011
64	13	Bör	Sweden	Bor	December, 2015
65	10	Kunde Winery	USA	Sonoma	June, 2016
66	10	Rajarhat	India	West Bengal	January, 2015
67	6	Yoshiwaraike	Japan	Kagawa	November, 2014
68	5	Pond Gardens of Bishan Park	Singapore	Bishan	May,2013
69	5	Yothathikan	Thailand	Samut Songkhram	October, 2014
70	5	UFC Orlando	USA	Orlando	March, 2016

ANEXO B – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO CS6U-340M(1500V) – CANADIAN







MAXPOWER (1500 V) CS6U-325|330|335|340M

Canadian Solar's new 1500 V module is a product for high voltage systems, which can increase the string length of solar systems by up to 50%, saving BOS costs.

KEY FEATURES



Designed for high voltage systems of up to 1500 $V_{\rm DC}$, saving on BoS costs



Cell efficiency of up to 20.0 %



Outstanding low irradiance performance: 96.5 %



High PTC rating of up to 91.7 %



IP67 junction box for longterm weather endurance



Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa



linear power output warranty



product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / Take-e-way









* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

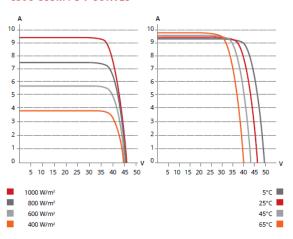
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)

Rear View Frame Cross Section A-A 4-10x7 Mounting Hole Mounting Hole 8-14x9 Houte Hole 4-10x7 Mounting Hole 1 2-R3.5 2-R4.5 Grounding Hole 941 950 992

CS6U-335M / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	325M	330M	335M	340M
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W	340 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.4 V	37.5 V	37.8 V	37.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.69 A	8.80 A	8.87 A	8.97 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.8 V	45.9 V	46.1 V	46.2 V
Short Circuit Current (Isc)	9.21 A	9.31 A	9.41 A	9.48 A
Module Efficiency	16.72 %	16.97%	17.23 %	17.49%
Operating Temperature	-40°C ~	+85°C		
Max. System Voltage	1500 V (IEC) or 15	500 V (UL))
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703)	or	
	CLASS C	(IEC 617	730)	
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 \	N		

^{*} Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.2 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	PV1500DC-F1 4 mm2 (IEC) & 12 AWG
	2000 V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per container (40' HQ)	624 pieces
Frame Material J-Box Cable Connector Per Pallet	Anodized aluminium alloy IP67, 3 diodes PV1500DC-F1 4 mm2 (IEC) & 12 AW 2000 V (UL), 1160 mm (45.7 in) T4 series or PV2 series 26 pieces, 635 kg (1400 lbs)

ELECTRICAL DATA | NOCT*

CS6U	325M	330M	335M	340M
Nominal Max. Power (Pmax)	235 W	238 W	242 W	245 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.1 V	34.2 V	34.5 V	34.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.88 A	6.96 A	7.01 A	7.10 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.0 V	42.1 V	42.3 V	42.4 V
Short Circuit Current (Isc)	7.46 A	7.54 A	7.62 A	7.67 A

 ^{*} Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

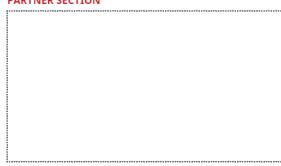
PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m 2 to 200 W/m 2 (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

PARTNER SECTION



ANEXO C – CERTIFICADO INMETRO MÓDULO FOTOVOLTAICO CS6U- 340M(1500V) - CANADIAN

Registro 004003/2017 Data Concessão 04/07/2017 Validade 12/06/2021					
Razão Social CANADIAN SOLAR BRASIL COMERCIALIZAÇÃO, IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE PAINEIS SOLARES LTDA 17.302.990/0001-15	Número de certificado Não aplicável				
Endereço AV. DAS NAÇÕES UNIDAS, 11857 14° ANDAR Cep:04578908 BROOKLIN - SÃO PAULO - SP	Telefone (11) 3957.0336				
E-mail toni.viladot@canadiansolar.com					
Objeto/Produto					
Programa de Avaliação da Conformidade: Sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica (módulo, controlador de carga, inversor e bateria)					
Portaria: 4 de 04/01/2011					
Nome de Família: CS6U-P_M (1000V_1500V)					

Data	Alteração	Marca	Modelo	Descrição	Código de barras
05/06/2018	Excluido	Canadian Solar	CS6U-335P (1500V)	Módulo de 72 células policristalino de 1500V	
05/06/2018	Excluido	Canadian Solar	CS6U-340M	Módulo de 72 células monocristalino de 1000V	
05/06/2018	Incluido	Canadian Solar	CS6U-340M (1500V)	MÓDULO FOTOVOLTAICO DE 72 CELULAS MONOCRISTALINAS, 340W DE POTÊNCIA PICO, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE 17'49% (CLASSE A) E ISOLAMENTO ELÉTRICO DE 1500V; 1960X992MM E 22.4KG DE PESO.	
05/06/2018	Incluido	Canadian Solar	CS6U-340M	MÓDULO FOTOVOLTAICO DE 72 CELULAS MONOCRISTALINAS, 340W DE POTÊNCIA PICO, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE 17'49% (CLASSE A) E ISOLAMENTO	

ANEXO D – DATASHEET INVERSOR SIW1500 – 1500V – 3MW - WEG

Motores | Automação | Energia | Transmissão & Distribuição | Tintas

Automação

Inversores Fotovoltaicos SIW



Inversores Centrais

A WEG conta com décadas de experiência no desenvolvimento de inversores de frequência industriais para diversas aplicações. E para atender o mercado de usinas solares, apresentamos as linhas de inversores fotovoltaicos SIW700 e SIW1500, que possuem uma extensa gama de potências, desenvolvidas para atender as condições climáticas nacionais.



Principais Características

- Inversor de fabricação nacional
- Produto cadastrado no Finame BNDES
- Assistência técnica especializada em todo território nacional
- Conceito modular: manutenção simples e rápida
- Tropicalizado
- 10% a mais de potência em ambiente com temperatura de até 40 °C
- Tensões máximas CC disponíveis: 1.000 V e 1.500 V







www.weg. net SIW700 -1.000 V

1.000 V	004/700	004/700	004/700	004/700		
Modelo	SIW700	SIW700	SIW700	SIW700		
	T-0.7-36	T-1.0-36	T-1.4-36	T-1.8-36		
			Entrada (CC)			
Máxima corrente recomendada	1.300 A	1.950 A	2.600 A	3.25		
Tensão máxima		1.00	00 V			
Faixa do MPPT		590	800 V			
Eficiência estática/dinâmica do		99,9 /	99,7%			
МРРТ						
			Saída (CA)			
Potência nominal (40 °C / 45 °C)	730 / 655 kVA	1.095 / 985 kVA	1.460 / 1.310 kVA	1.825 / 1.635 kVA		
Corrente nominal	1.050 A	1.575 A	2.099 A	2.624 A		
Máxima corrente	1.166 A	1.749 A	2.332 A	2.915 A		
Tensão de saída 3⊕	360 V					
Frequência nominal		60	Hz			
Fator de potência		0,9i1	10,9c			
Distorção harm. total da corrente		<3	3%			
de saída¹)						
Máxima eficiência ²⁾		98,6	65%			
Eficiência europeia ²⁾	98,47%	98,52%	98,55%	98,		
	Informações gerais					
Comunicação		PS/85 Mo	dbus e USB			
Monitoramento remoto		SCADA	A WEG			
Temperatura ambiente ³⁾		-10	+50 °C			
Grau de proteção	IP55					
Máximo consumo auxiliar	1.600 W	2.400 W	3.200 W	4.00		
Consumo em stand-by	200 W					
Consumo noturno						
Normas	EN 61000 (partes 4-2, 4-3, 4	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	5011, EN 50178, IEC 62116, N	NBR IEC 62116, IEC 62109-		
SIW4500 4 500 V		1, IEC 62109-2, NBR	16149 e NBR 16150			

SIW1500 - 1 500 V

Modelo	SIW1500	SIW1500	SIW1500
	T-2.0-55	T-2.5-55	T-3.0-55
		Entrada (C	C)
Máxima corrente recomendada	2.900 A	3.650 A	4.400 A
Tensão máxima		1.500 V	"
Faixa do MPPT		8501.350 V	
Eficiência estática/dinâmica do MPPT		99,8 / 99,7%	
_		Saída (CA)
Potência nominal (40 °C / 45 °C)	2.000 kVA	2.500 kVA	3.000 kVA
Corrente nominal	2.100 A	2.625 A	3.150 A
Máxima corrente	-	-	-
Tensão de saída 3⊕		550 V	
Frequência nominal		60 Hz	
Fator de potência		0,9i10,9c	
Distorção harm. total da		<5%	
corrente de saída¹)			

-							
Máxima eficiência ²⁾	98,50%						
Eficiência europeia ²⁾	98,20%						
	Informações gerais						
Comunicação		RS485, Modbus e USB					
Monitoramento remoto	SCADA WEG						
Temperatura ambiente ³⁾	-10+50 °C						
Grau de proteção	IP55						
Máximo consumo auxiliar	3.185 W	3.900 W	4.700 W				
Consumo em stand-by	500 W						
Consumo noturno	<200 W						
Normas	EN 61000 (partes 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 4-6), CISPR 11, EN 55011, EN 50178, IEC 62116, NBR IEC 62116, IEC 62109-1,						
	IEC 62109-2, NBR 16149 e NBR 16150						

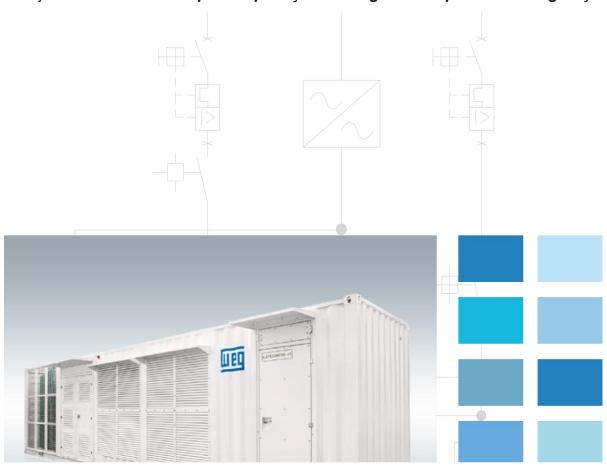
Notas: 1) Medição com DHT da tensão da rede menor que 2%.
2) Eficiência dos componentes do painel elétrico. 3) Com limitação de potência acima de 45 °C

ANEXO E - DATASHEET ELETROCENTRO ESW 1500V

Eletrocentro Solar

Otimização de espaço para geração de energia com alta performance e praticidade.

Solução modular ideal para aplicação em grandes plantas de geração





fotovoltaica ou até mesmo para sistemas de menor potência para geração distribuída, a linha de eletrocentros solares

WEG oferece alta eficiência em seu conjunto de equipamentos, otimizando os ganhos de geração, minimizando custos de operação e manutenção. Com conceito padrão, tem sua produção otimizada e possibilita agilidade na instalação em campo, proporcionando dinamismo na construção da planta de geração.



Projeto modular e compacto Produto pré-comissionado

Fornecimento integrado em fábrica

2

- Chave seccionadora fusível
- △ Máxima eficiência 98,6% △ Disjuntor isolado a gás
- Sistema de





Transformadores

A óleo ou seco

- △ Secundário simples △ Secundário duplo
- △ Instalação interna ou △ Instalação extern

Pad Mounted

- Secundário duplo
- △ Instalação interna, na mesma
- △ Proteção e manobra inclusos no transformador
- ≟ Elimina o painel de



Proteção MT

Tensão de Operação

- 8, 1 🆴
- 2
- ≟ 345 kV

Dimensões padrões para

Proteção/Manobra do Transformadoresenho compacto

controle de temperatura

por exaustão forçada

- Equipamentos Opcionais

 Ar condicionado para sala de controle e operação
- △ Sistema de detecção e alarme de incêndio

Sistema de monitoramento SCADA





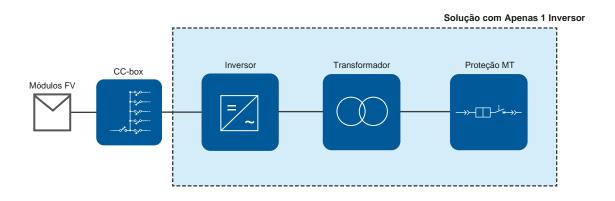


Dados Técnicos

Eletrocentros - ESW 1.000										
V										
Modelo	ESW-T1.0	ESW-T1.4	ESW-T1.8	ESW-T2.0	ESW-T2.5	ESW-T3.0				
Potência (kVA) (40 °C/45 °C)	1.095/985	1.460/1.310	1.825/1.635	2 x 1.095/985	2 x 1.460/1.310	2 x 1.825/1.635				
Frequência (Hz)	60									
Estrutura	Container high cube 20' Container high cube 40'									
Grau de proteção	IP55									
Controle de temperatura	Exaustão forçada									
Monitoramento			sc	CADA WEG						
Transformador										
Potência (kVA)	1.300	1.700	2.100	2 x 1.100	2 x 1.400	2 x 1.700				
Número de secundários		1	l		2	l				
Tensão primária (kV)			13	3,8 / 34,5						
Tensão secundária (kV)		0,36			2 x 0,36					
Inversor	SIW700 T1.0-36	SIW700 T1.4-36	SIW700 T1.8-36	2 x SIW700 T1.0-	2 x SIW700 T1.4-	2 x SIW700 T1.8-				
Entrada CC										
Máxima corrente CC (A)	1.950	2.600	3.250	2 x 1.950	2 x 2.600	2 x 3.250				
Tensão máxima (V)	1.000									
Faixa do MPPT (V)	590800									
Máxima eficiência	98,65									
Número de entradas	Conforme projeto da planta									
Saída CA										
Fator de potência			0,9	i10,9c						
Distorção harmônica total de corrente	<3%									
Cubículo de proteção MT										
Tensão nominal (kV)	17,5 / 24 / 36									
Dispositivo de	Chave seccionadora Disjuntor									
manobra/proteção Eletrocentros - ESW 1.500										
V										
Modelo	ESW	'-T40	ESW	/-T50	ESW-T60					
Potência (kVA) (40 °C/45	2 x 2	.000	2 x 2.500 2 x			.000				
°C) Frequência (Hz)	60									

Estrutura	Container high cube 40'							
Grau de proteção		IP55						
Controle de temperatura		Exaustão forçada						
Monitoramento	SCADA WEG							
Transformador								
Potência (kVA)	2 x 2.200	2 x 2.800	2 x 3.300					
Número de secundários		2						
Tensão primária (kV)		13,8 / 34,5						
Tensão secundária (kV)		2 x 0,55						
Inversor	2 x SIW1500 T2.0-55	2 x SIW1500 T2.5-55	2 x SIW1500 T3.0-55					
Entrada CC								
Máxima potência CC (kW)	2 x 2.150	2 x 2.150	2 x 2.150					
Máxima corrente CC (A)	2 x 2.900	2 x 3.650	2 x 4.400					
Tensão máxima (V)		1.500						
Faixa do MPPT (V)		8501.350						
Máxima eficiência	98,5							
Número de entradas	Conforme projeto da planta							
Saída CA								
Fator de potência		0,9i10,9c						
Distorção harmônica total		<5%						
de corrente								
Cubículo de proteção MT								
Tensão nominal (kV)		17,5 / 24 / 36						
Dispositivo de		Disjuntor						
manobra/proteção								

Diagrama Unifilar Simplificado



Solução com 2 Inversores Inversor CC-box Módulos FV Transformador Proteção MT **→**-Ш-¼ Módulos FV CC-box Inversor Solução com Apenas 1 Inversor Transformador padmounted Inversor CC-box Módulos FV Proteção MT Solução com 2 Inversores Inversor CC-box Módulos FV Transformador padmounted Proteção MT Módulos FV CC-box Inversor

Presença Global

APÊNDICE A – RELATÓRIO PVSYST® - SISTEMA 24MW

PVSYST V6.72 09/06/18 Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project: Usina Hidrelétrica Gov. José Richa

Geographical Site Usina Hidrelétrica Gov. José Richa

Situation
Time defined as

Latitude
Legal Time
Legal Tim

Albedo 0.20

Meteo data: Usina Hidrelétrica Gov. José Richa Meteonorm 7.1 (2006-2012), Sat=100% - Synthetic

Simulation variant : New simulation variant

Simulation date 09/06/18 18h50

Simulation parameters System type No 3D scene defined

Collector Plane Orientation Tilt 30° Azimuth 0°

Models used Transposition Perez Diffuse Perez, Meteonorm

Horizon Free Horizon
Near Shadings No Shadings

PV Array Characteristics

PV module Si-mono Model C\$6U-340M1500V
Original PVsyst database Manufacturer Canadian Solar Inc.

Number of PV modules In series 28 modules In parallel 3137 strings Total number of PV modules Nb. modules 87836 Unit Nom. Power 340 Wp

Array global power Nominal (STC) 29864 kWp At operating cond. 26790 kWp (50°C)

Array operating characteristics (50°C) U mpp 950 V I mpp 28206 A
Total area Module area 170781 m² Cell area 154500 m²

Inverter Model SIW1500-T1665-33-v1
Custom parameters definition Manufacturer WEG Equip. Eletricos

Characteristics Operating Voltage 850-1350 V Unit Nom. Power 3000 kWac Inverter pack Nb. of inverters 8 units Total Power 24000 kWac

Pnom ratio 1.24

PV Array loss factors

Thermal Loss factor Uc (const) 20.0 W/m²K Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss Global array res. 0.57 mOhm Loss Fraction 1.5 % at STC
Loss Fraction -0.4 %
Module Mismatch Losses Loss Fraction 1.0 % at MPP

Strings Mismatch loss Loss Fraction 0.10 %

Incidence effect (IAM): User defined IAM profile

10° 20° 30° 50° 60° 70° 80° 90° 0.998 0.998 0.995 0.992 0.986 0.970 0.917 0.763 0.000

User's needs : Unlimited load (grid)

PVSYST V6.72 09/06/18 Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project: Usina Hidrelétrica Gov. José Richa

Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters System type No 3D scene defined

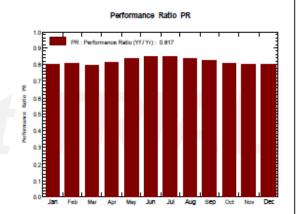
PV Field Orientation tilt 30° azimuth PV modules CS6U-340M1500V 340 Wp Model Pnom PV Array 87836 29864 kWp Nb. of modules Pnom total 3000 kW ac Inverter Model SIW1500-T1665-33-v1 Pnom Inverter pack Nb. of units 8.0 24000 kW ac Pnom total User's needs Unlimited load (grid)

Main simulation results

System Production Produced Energy 47758 MWh/year Specific prod. 1599 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 81.68 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 29864 kWp 6.5 Le: Collection Loss (invertex, ...) Yf: Production Loss (invertex output) 0.79 kWh/kWp/day 4.38 kWh/kWp/day 4.38 kWh/kWp/day 4.38 kWh/kWp/day



New simulation variant Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T Amb	Globine kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	199.1	93.40	25.66	176.3	171.7	4414	4222	0.802
February	160.5	83.57	25.25	153.5	149.5	3857	3693	0.806
March	173.5	65.74	25.13	187.3	183.5	4646	4452	0.796
April	134.7	54.29	22.09	162.5	159.5	4132	3959	0.816
May	111.1	40.41	17.58	148.3	146.0	3868	3698	0.835
June	93.4	37.63	16.80	130.0	127.8	3440	3297	0.849
July	101.9	40.34	16.01	139.2	136.9	3684	3527	0.849
August	128.6	52.66	18.40	162.6	159.7	4233	4061	0.836
September	150.2	61.21	19.03	168.6	165.3	4348	4169	0.828
October	175.2	66.27	22.72	175.0	171.3	4390	4198	0.803
November	202.1	74.32	23.42	181.5	177.0	4540	4343	0.801
December	202.0	80.66	25.13	173.1	168.5	4333	4138	0.800
Year	1832.2	750.48	21.41	1957.9	1916.7	49886	47758	0.817

Legends: GlobHor DiffHor

T Amb

Globino

Horizontal global irradiation Horizontal diffuse irradiation GlobEff EArray E_Grid PR Effective Global, corr. for IAM and shadings Effective energy at the output of the array

Energy injected into grid Performance Ratio

Ambient Temperature Global incident in coll. plane PVSYST V6.72 09/06/18 Page 3/3

Grid-Connected System: Loss diagram

Project: Usina Hidrelétrica Gov. José Richa

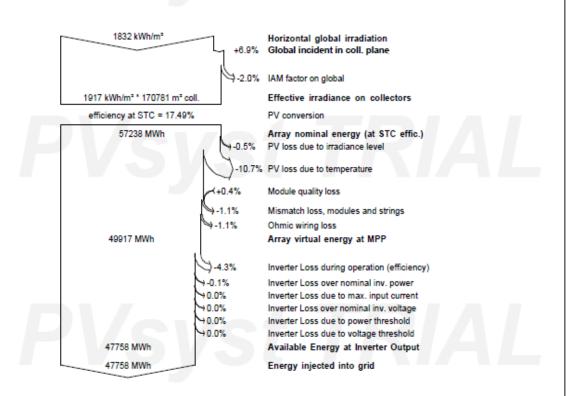
Simulation variant: New simulation variant

User's needs

Main system parameters System type No 3D scene defined PV Field Orientation tilt 30° azimuth CS6U-340M1500V 340 Wp PV modules Model Pnom PV Array 29864 kWp Nb. of modules 87836 Pnom total Inverter Model SIW1500-T1665-33-v1 Pnom 3000 kW ac Inverter pack Nb. of units 8.0 24000 kW ac Pnom total

Unlimited load (grid)

Loss diagram over the whole year



PVsyst TRIAL

APÊNDICE B – RELATÓRIO PVSYST® - SISTEMA 1242MW

PVSYST V6.72 09/06/18 Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project: Usina Hidrelétrica Gov. José Richa

Geographical Site Usina Hidrelétrica Gov. José Richa

Situation
Time defined as

Latitude
Legal Time
Legal Time zone UT-3

Country
Brazil

Longitude
-53.50° W
Altitude
279 m

Albedo 0.20

Meteo data: Usina Hidrelétrica Gov. José Richa Meteonorm 7.1 (2006-2012), Sat=100% - Synthetic

Simulation variant: New simulation variant

Simulation date 09/06/18 21h51

Simulation parameters System type No 3D scene defined

Collector Plane Orientation Tilt 30° Azimuth 0°

Models used Transposition Perez Diffuse Perez, Meteonorm

Horizon Free Horizon
Near Shadings No Shadings

PV Array Characteristics

PV module Si-mono Model CS6U-340M1500V Original PVsyst database Manufacturer Canadian Solar Inc.

Number of PV modules In series 28 modules In parallel 165756 strings Total number of PV modules Nb. modules 4641168 Unit Nom. Power 340 Wp

Array global power Nominal (STC) 1577997 kWp At operating cond. 1415553 kWp (50°C)

Array operating characteristics (50°C) U mpp 950 V I mpp 1490397 A

Total area Module area 9023916 m² Cell area 8163629 m²

Inverter Model SIW1500-T1665-33-v1

Custom parameters definition
Characteristics

Manufacturer WEG Equip. Eletricos
Operating Voltage 850-1350 V Unit Nom. Power 3000 kWac
Inverter pack

Nb. of inverters 414 units

Total Power 1242000 kWac

Pnom ratio 1.27

Priori ratio 1.27

PV Array loss factors

Thermal Loss factor Uc (const) 20.0 W/m²K Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss Global array res. 0.011 mOhm Loss Fraction 1.5 % at STC
Loss Fraction -0.4 %
Module Mismatch Losses
Strings Mismatch loss
Loss Fraction 0.10 % at MPP

Incidence effect (IAM): User defined IAM profile

10° 30° 50° 60° 70° 80° 90° 0.998 0.998 0.995 0.992 0.986 0.970 0.917 0.763 0.000

User's needs: Unlimited load (grid)

PVsyst Evaluation mode

PVSYST V6.72 09/06/18 Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project: Usina Hidrelétrica Gov. José Richa

Simulation variant: New simulation variant

Main system parameters System type No 3D scene defined

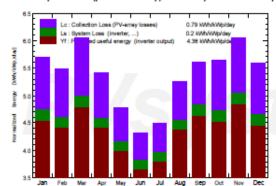
PV Field Orientation tilt 30° azimuth Pnom 340 Wp PV modules Model CS6U-340M1500V PV Array Nb. of modules 4641168 Pnom total 1577997 kWp Inverter Model SIW1500-T1665-33-v1 Pnom 3000 kW ac Inverter pack Nb. of units 414.0 Pnom total 1242000 kW ac User's needs Unlimited load (grid)

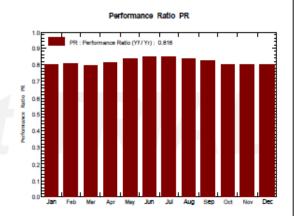
Main simulation results

System Production Produced Energy 2521179 MWh/year Specific prod. 1598 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 81.60 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1577997 kWp





New simulation variant Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T Amb	Globino kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	199.1	93.40	25.66	176.3	171.7	233116	223033	0.802
February	160.5	83.57	25.25	153.5	149.5	203737	195083	0.806
March	173.5	65.74	25.13	187.3	183.5	245099	234856	0.795
April	134.7	54.29	22.09	162.5	159.5	217981	208887	0.814
May	111.1	40.41	17.58	148.3	146.0	204124	195133	0.834
June	93.4	37.63	16.80	130.0	127.8	181724	174185	0.849
July	101.9	40.34	16.01	139.2	136.9	194581	186261	0.848
August	128.6	52.66	18.40	162.6	159.7	223613	214460	0.836
September	150.2	61.21	19.03	168.6	165.3	229374	219902	0.826
October	175.2	66.27	22.72	175.0	171.3	231843	221667	0.803
November	202.1	74.32	23.42	181.5	177.0	239537	229121	0.800
December	202.0	80.66	25.13	173.1	168.5	228890	218591	0.800
Year	1832.2	750.48	21.41	1957.9	1916.7	2633618	2521179	0.816

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation
DiffHor Horizontal diffuse irradiatio

DiffHor Horizontal diffuse irradiation T Amb Ambient Temperature GlobInc Global incident in coll. plane GlobEff EArray E_Grid

PR

Effective Global, corr. for IAM and shadings Effective energy at the output of the array Energy injected into grid

Energy injected into grid Performance Ratio PVSYST V6.72 09/06/18 Page 3/3 Grid-Connected System: Loss diagram Project: Usina Hidrelétrica Gov. José Richa Simulation variant: New simulation variant Main system parameters System type No 3D scene defined PV Field Orientation tilt 30° azimuth PV modules Model CS6U-340M1500V 340 Wp Pnom PV Array Nb. of modules 4641168 Pnom total 1577997 kWp Model SIW1500-T1665-33-v1 3000 kW ac Inverter Pnom Inverter pack Nb. of units 414.0 1242000 kW ac Pnom total User's needs Unlimited load (grid) Loss diagram over the whole year 1832 kWh/m2 Horizontal global irradiation +6.9% Global incident in coll. plane 3-2.0% IAM factor on global 1917 kWh/m² * 9023916 m² coll. Effective irradiance on collectors efficiency at STC = 17.49% PV conversion 3024409 MWh Array nominal energy (at STC effic.) 4-0.5% PV loss due to irradiance level 10.7% PV loss due to temperature √+0.4% Module quality loss

9-1.1%

÷-1.1%

3-4.3%

9-0.2%

÷0.0%

+0.0%

+0.0%

90.0%

2837540 MWh

2521179 MWh

2521179 MWh

Mismatch loss, modules and strings

Inverter Loss during operation (efficiency)

Inverter Loss over nominal inv. power

Inverter Loss due to max, input current

Inverter Loss over nominal inv. voltage

Inverter Loss due to power threshold

Inverter Loss due to voltage threshold

Available Energy at Inverter Output

Energy injected into grid

Array virtual energy at MPP

Ohmic wiring loss

