



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/05.18.18.28-TDI

POSSIBILIDADE DE GERAÇÃO HÍBRIDA HIDRO-SOLAR NA BACIA DO SÃO FRANCISCO

Maria Francisca Azeredo Velloso

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Enio Bueno Pereira, e Fernando Ramos Martins, aprovada em 22 de maio de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3NTCP58>>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/05.18.18.28-TDI

POSSIBILIDADE DE GERAÇÃO HÍBRIDA HIDRO-SOLAR NA BACIA DO SÃO FRANCISCO

Maria Francisca Azeredo Velloso

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Enio Bueno Pereira, e Fernando Ramos Martins, aprovada em 22 de maio de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3NTCP58>>

INPE
São José dos Campos
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Velloso, Maria Francisca Azeredo.

V546p Possibilidade de geração híbrida hidro-solar na bacia do São Francisco / Maria Francisca Azeredo Velloso. – São José dos Campos : INPE, 2017.

xxviii + 145 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/05.18.18.28-TDI)

Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

Orientadores : Drs. Enio Bueno Pereira, e Fernando Ramos Martins.

1. Energia solar. 2. Geração de energia elétrica. 3. Usos múltiplos da água. I.Título.

CDU 551.521.37(282.281.5)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

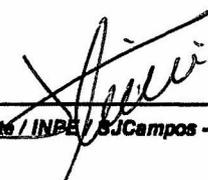
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Maria Francisca Azeredo Velloso**

Título: "POSSIBILIDADE DE GERAÇÃO HÍBRIDA HIDRO-SOLAR NA BACIA DO SÃO FRANCISCO".

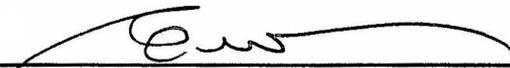
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de *Doutor(a)* em
Ciência do Sistema Terrestre

Dr. Plínio Carlos Alvalá



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Enio Bueno Pereira



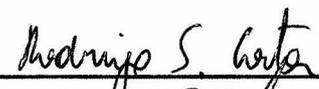
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Fernando Ramos Martins



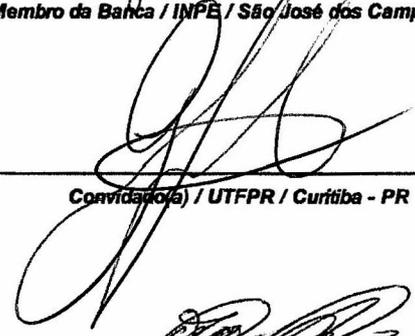
Orientador(a) / UNIFESP / Santos - SP

Dr. Rodrigo Santos Costa



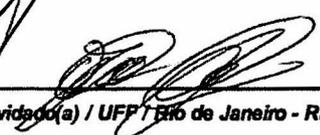
Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Gerson Máximo Tiepolo



Convidado(a) / UTFPR / Curitiba - PR

Dr. Marcio Cataldi



Convidado(a) / UFP / Rio de Janeiro - RJ

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 22 de maio de 2017

*“O tempo passa e todo dia,
se precisa de mais energia.
Energia para coisa boa
e energia para porcaria.
Energia que traz desgraça
e energia que traz alegria.
Energia que cresce as cidades,
mas também destrói suas crias.
Energia que desenvolve
e energia que contraria.*

*Dos vários tipos de energia
há uns que são muito bons
e outros que são bem pior,
então temos que conhecer melhor.
Tem a tal da Energia Eólica,
que está contida no vento
e dá para usar todo o tempo,
em qualquer situação comum,
com garantia e segurança,
sem causar perigo algum.*

*Também tem a Energia Solar,
essa é mesmo boa de amargar,
pois parece que nunca vai acabar,
enquanto o rei sol brilhar.
O sol, a nossa estrela imensa,
é mesmo uma dádiva de Deus.
O calor que ele manda ao planeta,
desde o começo dos tempos
é que mantém a vida na Terra
e gera todo nosso alimento.”*

Luiz Eduardo Corrêa Lima

(Trecho de: O Cordel da Energia)

A meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, ao mestre Jesus e todo plano espiritual, meus guias, mentores, anjo da guarda, pela proteção, força e apoio.

A minha mãe, Rosy, por todo e qualquer tipo de apoio que sempre precisei, pela sua generosidade, amor incondicional, cia, por tudo, te amo! Meu pai, Carlos, que me deu a tarefa mais difícil dessa vida que foi aprender a viver sem ter você, fisicamente do meu lado, por um dia ter dito que quando se aposentasse iria fazer seu doutorado junto comigo e agora, na reta final, eu não tenho a menor dúvida que você esteve aqui, o tempo todo! Meus irmãos, João, Tuco, Rita e Ana, meus sobrinhos amados, cunhados, tios, minhas queridas avós Lourdes de Alayde, e minha madrinha amada, Tia Kika! Amora, cia peluda de quatro patas! Gratidão!

Aos meus orientadores Fernando e Enio que sempre apoiaram minhas decisões e me deram liberdade em todas as mudanças que fiz ao longo dessa trajetória, por todo aprendizado, longas conversas, MUITO OBRIGADA! A toda equipe do LABREN, Silvia, André, Eduardo, Francisco, Sérgio, Marcelo, Jefferson, Lucía, Venize e em especial ao Rodrigo pelo suporte, dedicação, por indicar os caminhos e os momentos corretos, MUITO OBRIGADA!

A todos do GMSF, lugar de paz, aprendizado e oração, onde me foi dada a oportunidade reencontrar grandes amigos! Eu sei que foi um reencontro!

Às Ângela e Mariana pelo suporte na PGCST, carinho e compreensão. A toda equipe do CCST.

À CAPES pelo financiamento do estudo.

Meus amigos queridos, aqui não darei nomes, vocês se reconhecerão! Aos que moram longe mas estão sempre por perto e, aos que moram perto, mas que nem sempre

conseguimos nos ver. Àquele que me dá abrigo quando preciso, ao que me ensinou a acreditar mais na minha própria força. Aos dos longos almoços, das mesas de bares (:P), dos momentos tristes mas principalmente dos felizes, com muitos sorrisos, abraços, gargalhadas... Tem aquela da vida de glamour, “clap clap”, a que lê minha mão, a que me situa no mundo, aos das viagens fantásticas. Aos que dividiram apartamento comigo. Àquele que aprendemos a ter a relação mais madura e respeitosa, que tenho tanto orgulho e felicidade por termos encontrado esse lugar pra guardar o carinho que é reciproco. Ninguém, tatuadas, amigas de infância. Os churrascos relâmpagos, papos intermináveis ou cia pra uma noite sem fim. Aquela que é irmã, é amiga. E as noites sem fim no INPE, quebrando a cabeça com o trabalho? rs Meus amigos são assim, incríveis!!! Fazem meus dias serem muito melhores, minha vida ser sensacional!

Minha Turmis querida!!!! Realmente conseguimos nos manter de pé e unidos. Vocês foram as melhores companhias nesses anos de dor e amor! Muitas festas, estudos, fotos, viagens, convivência.... Valeu!!!!

*“Uma doce família
que tem a mania
de achar alegria
motivo e razão
onde dizem que não!
Aí que está a graça, meu irmão.”*

Minha gratidão, a todos que junto comigo participaram desse processo. Não foi a primeira tentativa, não é mesmo?! Tem um pouquinho de cada um de vocês nessas páginas!

E agora é torcer pra que esse mundo novo chegue com ar mais limpo, com processos sustentáveis, mais verde e ainda mais lindo!

RESUMO

A energia elétrica e o recurso hídrico são essenciais para o atendimento dos serviços fundamentais que dão suporte e possibilitam o avanço da qualidade de vida. Os temas energia e água, historicamente, são analisados e planejados de forma individual. Diante da interferência do homem no meio ambiente e dos impactos causados, a interconexão entre água e energia passou a ser estudada, com o objetivo de demonstrar a forte relação entre os temas e a pressão de um sobre o outro. Este trabalho busca contribuir com a questão energética do país e seus conflitos relacionados com a geração de energia e os diversos usos da água. O foco do trabalho reside na avaliação da contribuição que o aproveitamento da energia solar, através da tecnologia fotovoltaica, para a geração de eletricidade pode trazer para as questões ligadas à gestão de usos múltiplos da água na região do semiárido nordestino. O reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Sobradinho tem sua água demandada para diferentes finalidades, não somente a geração de energia elétrica. Ao redor da região do reservatório existem grandes áreas de cultivos irrigados que utilizam a água do lago, além do abastecimento público, industrial e etc. A região do estudo é conhecida pelas prolongadas estiagens que sofre ao longo dos anos e, em época de déficit hídrico, como ocorrido recentemente, o volume do lago sofre reduções consideráveis prejudicando quem se prevalece da disponibilidade de água da região. Nesse contexto, o trabalho mostra que a energia solar é capaz de trazer benefícios, uma vez que, com a implantação de uma Usina Fotovoltaica (UFV), uma vez que Sobradinho está localizada na região do Brasil com maior incidência de energia solar, fazendo com que o volume de água armazenado no seu reservatório seja maior, disponibilizando água em períodos de eventos extremos de seca como o ocorrido entre 2013 e 2015. Foram dimensionadas quatro UFV's e, foi estimado o quanto de energia elétrica essas usinas teriam sido capazes de gerar entre os anos de 2006 e 2015 e, quanto de água seria possível acumular no reservatório se a UHE Sobradinho reduzisse sua produção. Foi dada uma maior ênfase nos anos de 2013 a 2015, quando ocorreu uma forte crise hídrica em todo o país e, principalmente no Nordeste, em dezembro de 2015 o volume útil do reservatório chegou a registrar a marca de 1,7%. Durante o período da crise hídrica, a existência da UFV teria sido capaz de suprir a demanda do reservatório, com isso possibilitando uma maior segurança tanto energética quanto de suprimento de água para os diversos setores. A geração de energia fotovoltaica se mostra capaz de contribuir para que os conflitos pelos usos múltiplos da água sejam amenizados.

Palavras-chave: Energia solar. Geração de energia elétrica. Usos múltiplos da água.

POSSIBILITY OF HYDRO-SOLAR HYBRID GENERATION IN THE SÃO FRANCISCO BASIN

ABSTRACT

Electricity and water resources are essential for the provision of the fundamental services that support and enable the advancement of life quality. Energy and water resources are historically analyzed and planned individually. The interconnection between water and energy began to be studied because of human impact on the environment. With the aim to demonstrate the strong relation between the themes and the pressure of one over the other, this thesis seeks to contribute to the energy issues and the conflicts related to the energy generation and water usage. The object is to evaluate the solar energy contribution, through photovoltaic technology, for the generation of electricity and the benefits it can bring to water management in the semi-arid region of the Northeast. Water of the Sobradinho Hydroelectric Plant (UHE) reservoir, is used for different purposes, not restricted only to the generation of electric energy. In the region around the reservoir there are large areas of irrigated crops that uses the water of the lake of Sobradinho. Water is also used for public and industrial needs. The region subject to this research is known for the prolonged droughts it has suffered over the years. In times of water deficit, as it happened recently, the volume of the lake suffers considerable reductions impacting the availability of water in the region. In this context, this study shows that solar energy can bring benefits with the implementation of a Photovoltaic Plant (UFV). Sobradinho is in a region of Brazil with a high incidence of solar energy, resulting that the volume of water stored in its reservoir is greater, making water available in periods of extreme drought, such as the events that occurred between 2013 and 2015. This research evaluated four UFV's. It was estimated how much electricity these plants could have generated between the years of 2006 and 2015, and how much water it would be possible to accumulate in the reservoir if the Sobradinho HPP reduced its production. Greater emphasis was given to the years 2013-2015, when a major water crisis occurred throughout the country and specially in the Northeast. In December 2015, the volume of the reservoir reached a mark of 1.7%. During the water crisis period, the existence of the UFV could supply the demand of the reservoir, enabling a higher energy generation and water supply for the various sectors. The generation of photovoltaic energy can mitigate the conflicts generated by the multiple uses of the water.

Keywords: Solar energy. Eletricity generation. Multiple uses of water.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Primeiros 79 países em ordem de consumo <i>per capita</i> (dados de 2013)	8
2.2 Países da América do Sul, com dados de consumo <i>per capita</i> disponíveis (dados de 2013)	9
2.3 Consumo de energia versus Produto Interno Bruto Brasileiro entre 2006 – 2015	9
2.4 Consumo de energia mundial, por fonte (ano base 2014)	11
2.5 Taxas anuais de crescimento da capacidade de geração de energia elétrica por fontes renováveis	11
2.6 Geração elétrica por fonte no Brasil (ano base 2015)	12
2.7 O Sistema Interligado Nacional	15
2.8 Bacias hidrográficas brasileiras e a localização das principais hidrelétricas	16
2.9 Geração hidráulica e térmica, de 2000 até 2015	18
2.10 Participação por fonte na geração termelétrica (2015)	18
2.11 Recursos energéticos mundiais	22
2.12 Média anual de irradiação solar diária nas regiões do Brasil	22
2.13 Faixa da média anual de irradiação solar diária no Brasil em comparação com outros países	24
2.14 Usina Solar Cidade Azul, Tubarão, SC	29

2.15	Variabilidade em 15 minutos da produção PV em função do número de indivíduos (sistemas). O número de estações está indicado nas figuras	31
2.16	Localização dos municípios que tem usinas fotovoltaicas vencedoras dos LER 2014 e 2015	32
2.17	Delimitação da região semiárida em destaque amarelo no mapa do Nordeste Brasileiro	33
2.18	Localização das Usinas Hidrelétricas do Rio São Francisco	34
2.19	Obra de captação de água no reservatório de Sobradinho	37
3.1	Estrutura da metodologia desenvolvida e empregada	40
3.2	Estações da rede SONDA	42
3.3	Base de dados da rede SONDA	43
3.4	Fluxograma de validação Rede SONDA	44
3.5	Critérios de qualidade para a radiação global horizontal feito pela Rede SONDA	45
3.6	Fluxograma dos procedimentos no modelo Brasil SR	46
4.1	Bacia hidrográfica do São Francisco	53
4.2	Precipitação anual na Bacia do São Francisco (1961 – 1990)	55
4.3	Distribuição quanto ao regime de precipitação da região Nordeste do Brasil	57
4.4	Média anual da irradiação (kWh/m ² .dia)	58

4.5	Média sazonal da irradiação no verão (DJF)	59
4.6	Média sazonal da irradiação no outono (MAM)	59
4.7	Média sazonal da irradiação no inverno (JJA)	60
4.8	Média sazonal da irradiação na primavera (SON)	60
4.9	Localização da UHE Sobradinho e seu reservatório	62
4.10	Geração anual da UHE Sobradinho (1990 – 2015)	66
4.11	Geração mensal de 26 anos da UHE Sobradinho (1990 – 2015), média mensal de geração e energia assegurada	67
4.12	Fator de capacidade de cada ano, entre 1990 e 2015 da UHE Sobradinho	68
4.13	Histórico de vazões médias diárias de Sobradinho (1990 – 2015)	72
4.14	Série histórica da evolução temporal da fração do volume de água armazenada no reservatório em relação ao volume útil do reservatório e da geração mensal na UHE Sobradinho, entre 1990 e 2015	74
4.15	Localização do Perímetro Senados Nilo Coelho	76
4.16	Evolução do volume bombeado (Mil m ³)	76
5.1	Irradiação global horizontal mensal utilizada no estudo, nos anos 2006 a 2015	77
5.2	Média da irradiação global horizontal (kWh/m ² .mês) da estação no período 2006-2015	80
5.3	Normal climatológica de precipitação acumulada de Petrolina (1961 – 1990)	81

5.4	Geração da usina A, percentagem em relação a geração da UHE Sobradinho e, em destaque, o valor mensal de 10% da energia assegurada da UHE Sobradinho	84
5.5	Geração da usina B, percentagem em relação a geração da UHE Sobradinho e, em destaque, o valor mensal de 25% da energia assegurada da UHE Sobradinho	85
5.6	Geração da usina C, percentagem em relação a geração da UHE Sobradinho e, em destaque, o valor mensal de 50% da energia assegurada da UHE Sobradinho	86
5.7	Geração da planta D, percentagem em relação a geração da UHE Sobradinho e, em destaque, o valor da média mensal da geração UHE Sobradinho	87
5.8	Geração UHE Sobradinho em comparação com a geração das plantas PV somadas à geração da usina hidrelétrica de 2006 a 2015	91
5.9	Geração da Usina A, geração sugerida para UHE Sobradinho e volume de água acumulado	95
5.10	Geração da Usina B, geração sugerida para UHE Sobradinho e volume de água acumulado	96
5.11	Geração da Usina C, geração sugerida para UHE Sobradinho e volume de água acumulado	97
5.12	Geração da Usina D, geração sugerida para UHE Sobradinho e volume de água acumulado	98
5.13	Volume de água poupado pelas UFV's e volume da demanda média mensal da água do reservatório da UHE Sobradinho	100
B.1	Ficha técnica de painel solar policristalino de eficiencia de 13%, GermanSolar	135

B.2	Ficha técnica de painel solar policristalino de eficiencia de 16,5%, Canadian Solar	136
B.3	Ficha técnica de painel solar policristalino de eficiencia de 18%, Canadian Solar	137

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Classificação das fontes energéticas	10
2.2 As 20 maiores usinas hidrelétricas do Brasil (até 2014)	17
2.3 Geração Elétrica por Fonte no Brasil	19
2.4 Contribuição das regiões brasileiras, em geração hidráulica para o SIN	20
2.5 Eficiência típica, de laboratório, de módulos comerciais de primeira e segunda geração	26
2.6 Unidade consumidoras com geração distribuída	29
3.1 Fator de emissão de gases de efeito estufa em centrais termelétricas e eficiência na geração de eletricidade	52
4.1 Contribuição da UHE Sobradinho para o SIN e para o NE, por ano (2002 – 2015)	64
4.2 Níveis e volumes característicos do reservatório da UHE Sobradinho .	69
4.3 Histórico do volume útil do Sobradinho (1990 – 2015)	70

4.4	Fator de Capacidade em períodos de crise hídrica	73
4.5	Demandas do Lago de Sobradinho	75
5.1	Irradiação global horizontal mensal utilizada no estudo, nos anos 2006 a 2015	78
5.2	Porcentagem de dados complementados por dados simulados	79
5.3	Áreas da UFV e respectivas potências instaladas	82
5.4	Fator de capacidade da UHE Sobradinho com a inserção das UFV's dimensionadas	88
5.5	Porcentagem da geração UFVs em relação a geração UHE Sobradinho, no período de 2006 a 2015, e no período de déficit hídrico, 2013 – 2015	89
5.6	Geração total em dez anos e em três anos pelas UFV's e, volume de água necessário para tal geração pela UHE Sobradinho	92
5.7	Geração de energia elétrica das UFV's simuladas e, volume de água utilizada pela UHE Sobradinho para gerar, o que cada UFV gerou de eletricidade	94
5.8	Emissões evitadas em substituição as termelétricas	102
A.1	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2006	125

A.2	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2007	126
A.3	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2008	127
A.4	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2009	128
A.5	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2010	129
A.6	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2011	130
A.7	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2012	131
A.8	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2013	132
A.9	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2014	133
A.10	Dados de irradiação solar direta diários do ano 2015	134
C.1	Geração da usina A	139
C.2	Geração da usina B	140
C.3	Geração da usina C	141
C.4	Geração da usina D	142

C.5	Valores mensais de geração das Usinas A e B, o volume de água que a UHE Sobradinho supostamente não precisaria utilizar, porcentagem em relação ao volume total do reservatório e geração sugerida para UHE Sobradinho	143
C.6	Valores mensais de geração das Usinas C e D e o volume de água que a UHE Sobradinho supostamente não precisaria utilizar, porcentagem em relação ao volume total do reservatório e geração sugerida para UHE Sobradinho	144
C.7	Volume sobressalente mensal de cada UFV	145

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	3
1.2 Questão Científica	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivos Específicos	5
1.4 Estrutura da Tese	6
2. CONTEXTUALIZAÇÃO	7
2.1 Consumo <i>Per Capita</i>	7
2.2 Matriz Elétrica	10
2.3 Sistema Elétrico Brasileiro – Características e Desafios para Expansão	13
2.4 Brasil e o Recurso Solar	21
2.5 Energia Solar Fotovoltaica	25
2.5.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados ao SIN	27
2.5.2 Desafios Ligados a Intermitência das Fontes Alternativas	30
2.6 Semiárido Nordeste e suas Usinas Hidrelétricas	33
2.6.1 Usos Múltiplos da Água	35
2.6.2 Crise Hídrica	36

3. MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1 Base de Dados	40
3.1.1 Dados de Geração	40
3.1.2 Dados de Irradiação	41
3.1.2.1 Dados Observacionais	41
3.1.2.2 Modelo Brasil SR	46
3.2 Etapas	48
3.2.1 Dimensionamento de UFV	48
3.2.2 Simulação de Geração das UFV's	50
3.2.3 Água Acumulada no Reservatório	51
3.2.4 Quantificação das Emissões de CO ₂	51
4. BACIA DO SÃO FRANCISCO	53
4.1 Precipitação	54
4.2 Irradiação	57
4.3 A Usina Hidrelétrica de Sobradinho	61
4.3.1 Geração	63
4.3.2 O Reservatório da UHE Sobradinho	69
4.3.2.1 Uso Múltiplo da Água do Reservatório de Sobradinho	75
5. CONTRIBUIÇÃO FOTOVOLTAICA NA REGIÃO DO ESTUDO	77
5.1 Irradiação Solar na Região do Estudo	77

5.2	Geração PV	82
5.3	Aproveitamento da Geração através das UFV's	88
5.3.1	Geração UHE Sobradinho somada a Geração UFV	88
5.3.2	Geração PV reduzida da Geração da UHE Sobradinho	92
5.3.2.1	Crise Hídrica de 2013 a 2015	93
5.4	Emissão de CO ₂	101
6.	DISCUSSÃO	103
7.	CONCLUSÃO	107
7.1	Recomendações para Trabalhos Futuros	108
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
	ANEXO A	123
	ANEXO B	133
	ANEXO C	136

1. INTRODUÇÃO

O mundo tem passado por um intenso crescimento populacional e desenvolvimento tecnológico. Hoje, o número de habitantes já supera os sete bilhões e a tecnologia tornou-se essencial para o atendimento dos serviços fundamentais para suporte e avanço da qualidade de vida de uma população, como educação, saúde, entretenimento, transporte, alimentação, etc. Estes aspectos estão acarretando um crescimento na demanda de energia, principalmente nos países em desenvolvimento (GOLDEMBERG; LUCON, 2012).

A energia, para uma nação, é condição básica para seu desenvolvimento socioeconômico. Qualquer país que busque alcançar indicadores de desenvolvimento humano mais elevados, necessita da construção de uma matriz elétrica segura, sustentável e equânime. Segundo Velloso e Vetterle, (1976), a economia mundial se desenvolveu baseada na energia obtida de diferentes fontes. Em relatório, a Agência Internacional de Energia (IEA) afirma que a demanda mundial de energia crescerá mais de um terço até 2035. Afirma ainda que, apesar de todo o desenvolvimento tecnológico recente e das novas políticas, o mundo não tem conseguido colocar o sistema global de energia numa trajetória mais sustentável (IEA, 2014).

Na busca de desenvolvimento sustentável, é necessário planejamento para um adequado fornecimento dos recursos (FERREIRA NETO; CORREA; PEROBELLI, 2016). Em países emergentes, tal planejamento é estratégico e indispensável, uma vez que para a expansão da produtividade é requerido aumento do consumo de energia. O Brasil, no cenário global, figura como um país em crescimento econômico e tecnológico e, como consequência, tem necessitado cada vez mais de uma ampla disponibilidade de energia elétrica. Segundo Mariani et al (2016), os países do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), terão maior aumento na demanda da água, devido a geração de eletricidade e ao setor industrial, uma vez que terão destaque no crescimento econômico em relação aos outros países até 2050.

A matriz elétrica nacional tem sua base centralizada na hidroeletricidade e, para garantia de sua segurança faz-se necessário uma diversificação das fontes para geração. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), em 2015, ano de déficit hídrico, 62% da energia elétrica gerada teve como fonte o recurso hidroelétrico. Em papel de complementariedade de geração elétrica hoje no Brasil, estão principalmente as usinas termelétricas (MARTITS; GARCIA; JÚNIOR, 2012). Quando as usinas termelétricas, alimentadas por combustíveis fósseis são demandadas a operar, há um aumento das emissões dos gases de efeito estufa.

A disponibilidade e a confiabilidade das hidrelétricas dependem diretamente da variabilidade das condições climáticas, uma vez que o insumo da produção de eletricidade é a água. Períodos de seca prolongados podem causar uma redução da segurança do sistema elétrico brasileiro, uma vez que a variação temporal da vazão é regularizada pelo efeito da bacia hidrográfica (regularização natural da água subterrânea) e por reservatórios construídos. O planejamento do setor energético brasileiro é de grande importância, quanto mais diante da possibilidade de crises hídricas como ocorridas recentemente (OSCAR et al., 2016). O impacto do período de seca prolongado sobre a geração energia elétrica no País pode ser minimizado com maiores investimentos em fontes alternativas atuando de forma híbrida com a energia hidroelétrica, entre elas a energia solar.

Fontes de energias renováveis alternativas, em sua maioria, apresentam potenciais que superam a demanda mundial e, em destaque, se encontra a energia solar. IPCC (2012) afirma que apesar da capacidade que as fontes têm, aproveitá-las de forma que se apresentem economicamente competitivas e sustentáveis se tornou um grande desafio mundial.

O território brasileiro possui grande potencial de recurso solar enquanto fonte energética, uma vez que ao longo do ano tem alta incidência de irradiação solar. Portanto, esta fonte se mostra como uma importante alternativa para a diversificação da matriz elétrica (PEREIRA et al., 2006), além de minimizar conflitos por usos múltiplos da água e atingir um desenvolvimento mais sustentável.

A região do semiárido nordestino é a região do Brasil que apresenta um dos maiores potenciais solar do país. É ainda, uma importante região, em relação a geração de eletricidade, por nela estarem localizadas oito usinas hidrelétricas (UHE), porém, devido a climatologia local, ocorrem períodos prolongados de estiagem com influência na geração de eletricidade e ainda, acarretando conflitos nos usos múltiplos da água.

Os temas energia e água, historicamente, são analisados e planejados de forma individual. Diante da interferência do homem no meio ambiente e dos impactos causados, a interconexão entre água e energia passou a ser estudado, com o objetivo de demonstrar a forte relação entre os temas e a pressão de um sobre o outro (HUSSEY; PITTOCK, 2012; HOWELLS; ROGNER, 2014; MARIANI et al., 2016). Um pouco além, a sinergia entre energia, utilização da água e produção de alimento (conhecido como “*stress nexus*”), tem sido muito estudado no mundo (LAWFORD et al., 2013; FAO, 2014; LECK et al., 2015; SPIEGELBERG et al., 2015; GIATTI et al., 2016), uma vez que a água é utilizada na irrigação de culturas, porém pode reduzir a vazão dos rios ou volume útil de reservatórios, prejudicando a capacidade hidrelétrica. As tecnologias de irrigação podem aumentar o consumo de energia ou, em decorrência de culturas energéticas, pode acarretar um aumento significativo no consumo de água e assim diminuir a disponibilidade de alimentos. Se considerarmos ainda o crescimento populacional, urbanização e mudanças climáticas, percebe-se a complexidade da busca através de inovações e soluções sustentáveis que devem incluir as políticas públicas e sociedade (HOFF, 2011).

1.1 Motivação

A crise hídrica ocorrida entre os anos de 2013 e 2015 afetou profundamente a geração elétrica na região do semiárido. Durante este período, foram registrados níveis críticos de volume útil nos reservatórios das usinas hidroelétricas em operação no Nordeste brasileiro e a distribuição de água necessitou de obras emergenciais. Diante desse

cenário, usinas termelétricas foram acionadas afim de garantir a geração de energia ocasionando maiores emissões de gases de efeito estufa.

Uma alternativa para aumentar o fator de capacidade e instrumentalizar a gestão da água armazenada para os diversos usos seria um sistema híbrido de geração por meio do aproveitamento do recurso solar com geração fotovoltaica. Mesmo considerando que a intermitência da geração fotovoltaica pode impactar o desempenho do sistema elétrico convencional, a intensidade do impacto é extremamente dependente do nível participação da energia solar na matriz e da distribuição espacial das unidades de geração, principalmente em um país de extensão territorial e tropical como o Brasil.

Considerando que a UHE Sobradinho está localizada na região com maior potencial disponível para geração de energia solar do território nacional, pode-se supor que a operação de uma planta de geração híbrida operando com o recurso hídrico armazenado no lago de Sobradinho em conjunto com uma planta solar poderá ampliar o fator de capacidade de Sobradinho e contribuir para armazenamento de água que possibilite atender as demandas deste recurso para finalidades outras que não a geração elétrica.

Dessa forma, esta tese busca contribuir com a questão energética do país e seus conflitos relacionados com a geração de energia e os outros usos diversificados da água.

1.2 Questão científica

Com base no que foi colocado, formulou-se a seguinte questão a ser respondida nessa pesquisa: **“A geração de energia elétrica, através da tecnologia fotovoltaica, é capaz contribuir para a gestão do uso da água no semiárido nordestino?”**

1.3 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é avaliar a contribuição que um sistema fotovoltaico pode trazer ao sistema elétrico nacional operando em conjunto com a UHE Sobradinho visando incentivar o gerenciamento de um sistema de geração de energia baseado em fontes renováveis com baixa emissão de gases de efeito estufa. Ainda, quantificar a contribuição que a geração fotovoltaica pode proporcionar durante um período de seca para manter a segurança energética do sistema elétrico nacional e a disponibilidade da água para seus usos múltiplos na bacia do São Francisco.

1.3.1 Objetivos Específicos

- i) dimensionamento de sistemas fotovoltaicos com base em 10%, 25% e 50% da energia assegurada da UHE Sobradinho;
- ii) estimar o fator de capacidade do sistema híbrido hidro-solar na região da UHE Sobradinho;
- iii) analisar os conflitos existentes nos usos múltiplos da água em situação de crise hídrica, no reservatório de Sobradinho;
- iv) quantificar a disponibilidade de água para outros usos que não a geração de energia;
- v) quantificar a emissão de CO₂ evitada devido a presença de uma planta fotovoltaica.

1.4 Estrutura da Tese

Esta tese foi estruturada em seis capítulos, desenvolvidos ao redor do objeto de pesquisa proposto – geração híbrida hidro-solar na região semiárida do Brasil, mais especificamente na Usina Hidrelétrica Sobradinho.

O capítulo 2 faz uma contextualização de tópicos importantes dentro do tema da tese.

O capítulo 3 mostra os materiais necessários para desenvolvimento do trabalho e os métodos adotados.

O capítulo 4 trata da Bacia do São Francisco, Usina de Sobradinho, suas características.

O capítulo 5 apresenta a contribuição fotovoltaica, através da geração híbrida hidro-solar.

O capítulo 6 apresenta uma discussão dos assuntos abordados.

E o por último o capítulo 7, com as conclusões.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

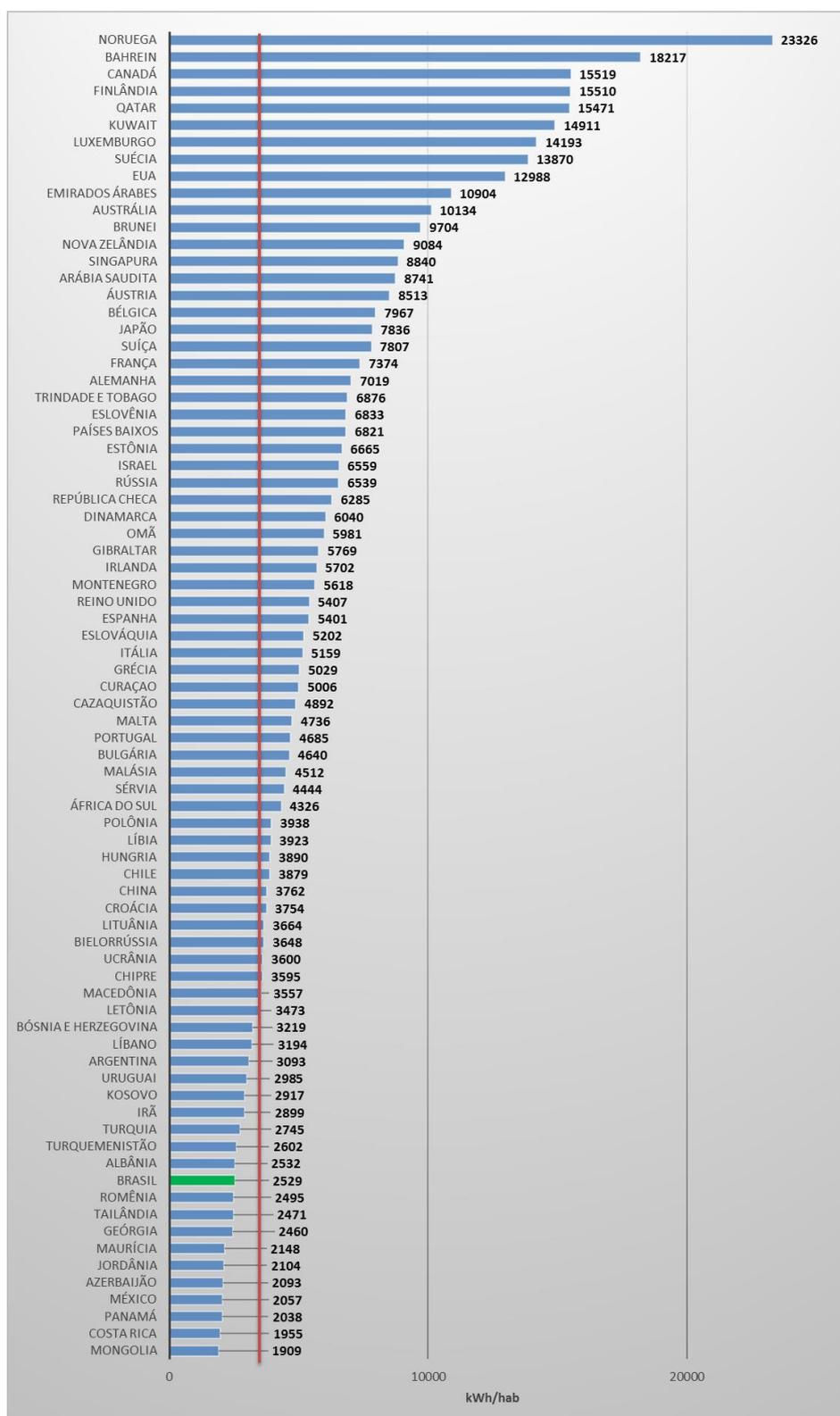
Este capítulo tem como foco apresentar um conjunto de informações que contextualizam o cenário brasileiro no momento em que este documento foi elaborado.

2.1 Consumo *Per Capita*

Goldemberg (1998), afirmou ser a energia um dos ingredientes mais importantes para o desenvolvimento e, que seu consumo *per capita* é também indicativo do desenvolvimento. A média mundial do consumo de energia *per capita*, segundo o World Bank (2017), foi 3104 kWh/hab em 2013. O Brasil apresentou consumo inferior nesse mesmo ano, 2529 kWh/hab. Se comparado aos países divulgados pelo World Bank (2017), entre 134 países, o Brasil fica na posição 68. No gráfico apresentado na Figura 2.1, são apresentados 78 países, em ordem de consumo *per capita*, o Brasil foi destacado com a cor verde e, a linha vertical vermelha, indica a média mundial. Três países sul americanos apresentaram consumo superior ao nacional, o Chile consumiu 3879 kWh/habitantes, a Argentina 3093 kWh/habitante, e o Uruguai 2985 kWh/hab. Os valores de consumo *per capita*, relativo à 2013 disponíveis pelo World Bank (2017), para os países da América do Sul, são apresentados na Figura 2.2. O Brasil tem executado programas e ações que visam promover o acesso a eletricidade em todo o seu território e, portanto, estão levando ao aumento do consumo *per capita* de eletricidade. Segundo EPE (2016), o consumo foi de 2547 kWh/habitante em 2015.

O consumo de eletricidade também é influenciado pelo Produto Interno Bruto (PIB) conforme pode ser observado na Figura 2.3. O PIB é um índice utilizado, em conjunto com os valores de série histórica de consumo, para estudar e prever valores da demanda futura de energia. A previsão mais recente, realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), indica um consumo *per capita* de eletricidade de 4230 kWh/habitante para 2020 conforme apresentada no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2020).

Figura 2.1 – Primeiros 79 países em ordem de consumo *per capita* (dados de 2013).



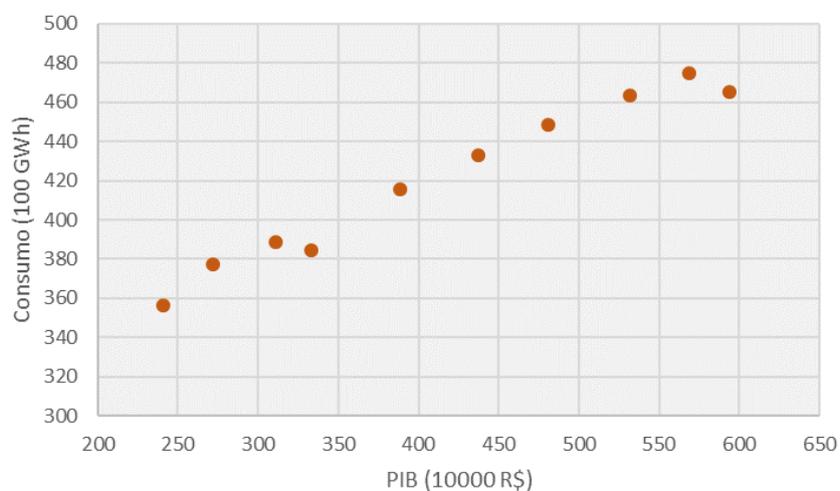
Fonte: Elaborado a partir dos dados do World Bank (2017).

Figura 2.2 –Dados de consumo *per capita* disponíveis na América do Sul. (dados de 2013 em kWh/habitante).



Fonte: Elaborado a partir dos dados do World Bank (2017).

Figura 2.3 - Consumo de energia versus Produto Interno Bruto Brasileiro entre 2006 - 2015.



Fonte: Elaborado a partir de dados do EPE (2016a) e IBGE (2017).

2.2 Matriz Elétrica

A energia elétrica pode ser produzida a partir de diferentes fontes de energia, renováveis e não renováveis, podendo ser primárias ou secundárias. Uma fonte de energia é classificada como renovável quando taxa de consumo é inferior a taxa de recomposição do recurso energético considerando a escala de tempo do consumo. Assim, as fontes não renováveis são as que não tem condições de serem recompostas pela natureza, no tempo compatível ao seu consumo (GOLDEMBERG; LUCON, 2012). Uma maneira de classificar as fontes energéticas está apresentada na Tabela 2.1.

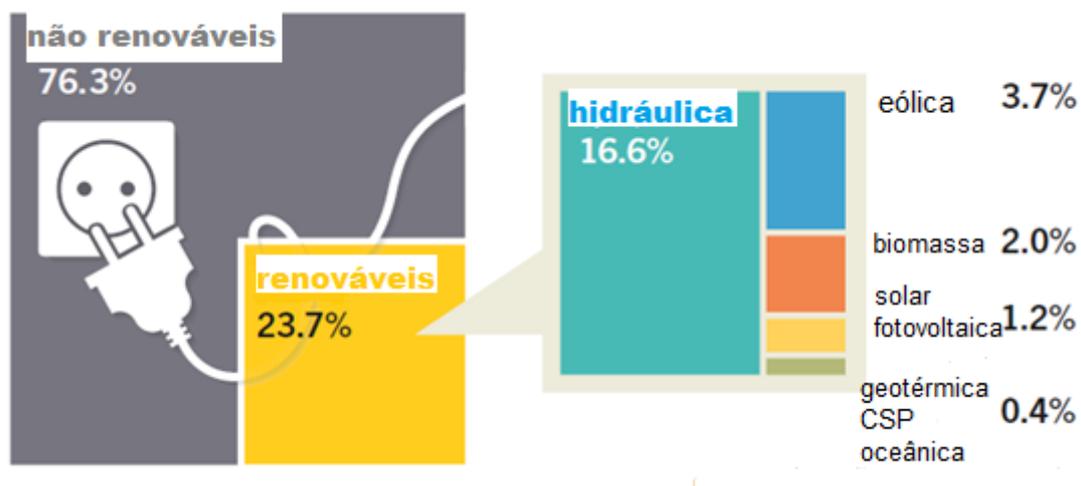
Tabela 2.1 – Classificação das fontes energéticas.

Fontes		Energia primária	Energia secundária	
Não -Renováveis	Fósseis	carvão mineral	termoeletricidade, calor, combustível para transporte	
		petróleo e derivados		
		gás natural		
	Nuclear	materiais físeis	termoeletricidade, calor	
Renováveis	"Tradicionais"	biomassa primitiva: lenha de desmatamento	calor	
	"Convencionais"	potenciais hidráulicos de médio e grande porte	hidreletricidade	
		potenciais hidráulicos de pequeno porte	hidreletricidade	
	"Modernas" (ou "novas")	biomassa "moderna": lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)	biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor	
		outros	energia solar	calor, eletricidade, fotovoltaica
		geotermal	calor e eletricidade	
eólica		eletricidade		
	maremotriz e das ondas	eletricidade		

Fonte: Goldemberg e Lucon (2012)

No mundo, a geração elétrica ainda provém em sua maioria de fontes não renováveis, como pode ser visto na Figura 2.4. Estima-se que 76,3 % foi proveniente de fontes que não se renovam. Dos 23,7 % oriundos de fontes renováveis, a hidroeletricidade contribui com 16,6 %, enquanto que 3,7% provem do recurso eólico, 2,0% da bioenergia, 1,2 da fotovoltaica e 0,4% de geotérmicas, energia solar concentrada (CSP, do inglês *Concentrating Solar Power*) e do oceano (REN21, 2016). Entretanto, as taxas de crescimento da capacidade de energia renovável são maiores a cada ano (REN21, 2016), como demonstra a Figura 2.5.

Figura 2.4 – Consumo de energia mundial, por fonte (ano base 2014).



Fonte: Adaptada de REN21 (2016).

Figura 2.5 - Taxas anuais de crescimento da capacidade de geração de energia elétrica por fontes renováveis.

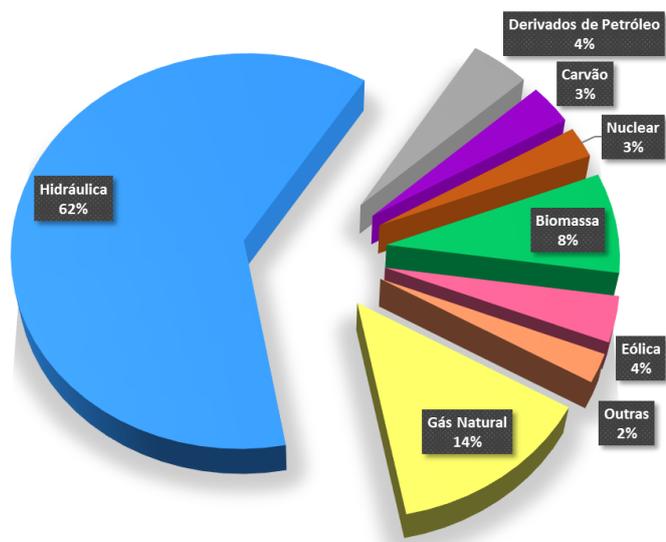


Fonte: Adaptada de REN21 (2016).

No Brasil, a matriz elétrica é na sua maioria, renovável. A demanda de energia elétrica é suprida principalmente pela hidroeletricidade, por meio de usinas com grandes reservatórios de acumulação de água. Em 2015, cerca de 62% da energia elétrica do país foi provida de tal fonte, como pode ser observado na Figura 2.6. A concentração da matriz de um país em apenas uma fonte energética torna vulnerável a segurança energética do seu sistema elétrico.

Nos últimos anos ocorreu um crescimento da participação de geração térmica em razão da crise hídrica, causada pelo evento de seca extrema no período 2013-2015 (EPE, 2016a). O banco de informações de geração também registrou um crescimento rápido da participação da geração eólica, como consequência das ações e programas de governo para incentivo às fontes renováveis como o PROINFRA (ANEEL, 2017a) e os leilões de energia específicos para fontes de energia alternativa como eólica, biomassa e solar (EPE, 2015a; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016).

Figura 2.6 - Geração elétrica por fonte no Brasil (ano base 2015).



Fonte: EPE (2016).

Segundo IEA (2016), houve um pequeno crescimento da contribuição da hidroeletricidade no mundo entre 1973 e 2014, de 1,8% para 2,4%. Por outro lado, tal contribuição apresentou uma redução significativa no Brasil, passando de 83,1% de participação em 2006 para 61,9% em 2015, adotando como referência a capacidade total instalada no Sistema Elétrico Brasileiro (EPE, 2011, 2016a). Essa redução se deveu em parte por falta de investimento na construção e implementação de novas plantas e a ocorrência de crises hídricas intensas que levaram a diversificação da matriz elétrica brasileira com o uso de plantas térmicas alimentadas por combustíveis fósseis e biomassa (SANTOS et al., 2006; SOITO; FREITAS, 2011; JONG et al., 2013).

A produção de energia elétrica a partir de usinas hidroelétricas foi considerada por muito tempo uma forma de produção limpa. A partir da década de 1990, começaram a surgir evidências, indicando que os reservatórios de usinas hidrelétricas poderiam ser potenciais emissores de gases de efeito estufa (RUDD , J.M.W. , HARRIS , R., KELLY, 1993), produto da decomposição do material orgânico em sua bacia de acumulação. Neste caso, os gases produzidos são principalmente o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), que comprovadamente interagem com a radiação infravermelha na atmosfera causando a intensificação do efeito estufa natural (ROSA et al., 2004; DOS SANTOS et al., 2008).

2.3 Sistema Elétrico Brasileiro – Características e Desafios para Expansão

O sistema elétrico brasileiro, é composto pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), que engloba todas as geradoras de energia, as linhas de transmissão e os ativos de distribuição. Existem também os sistemas de menor porte, não conectados ao SIN (conhecidos como sistemas isolados), hoje concentrados em sua maior parte na região Amazônica (ANEEL, 2012).

Segundo a ANEEL (2017a), são 4681 empreendimentos de geração em operação, entre Centrais Geradoras Hidrelétricas, Centrais Geradoras Undi-elétricas, Centrais Geradoras

Eólicas, Pequenas Centrais Hidrelétricas, Centrais Geradoras Solares Fotovoltaicas, Usinas Hidrelétricas, Usinas Termelétricas e Usinas Termonucleares, totalizando 151.596.237 kW de potência instalada. Existem 232 empreendimentos em construção e 583 com construção não inicializada, o que irá adicionar 24.563.383 kW na capacidade de geração do Brasil (ANEEL, 2017b).

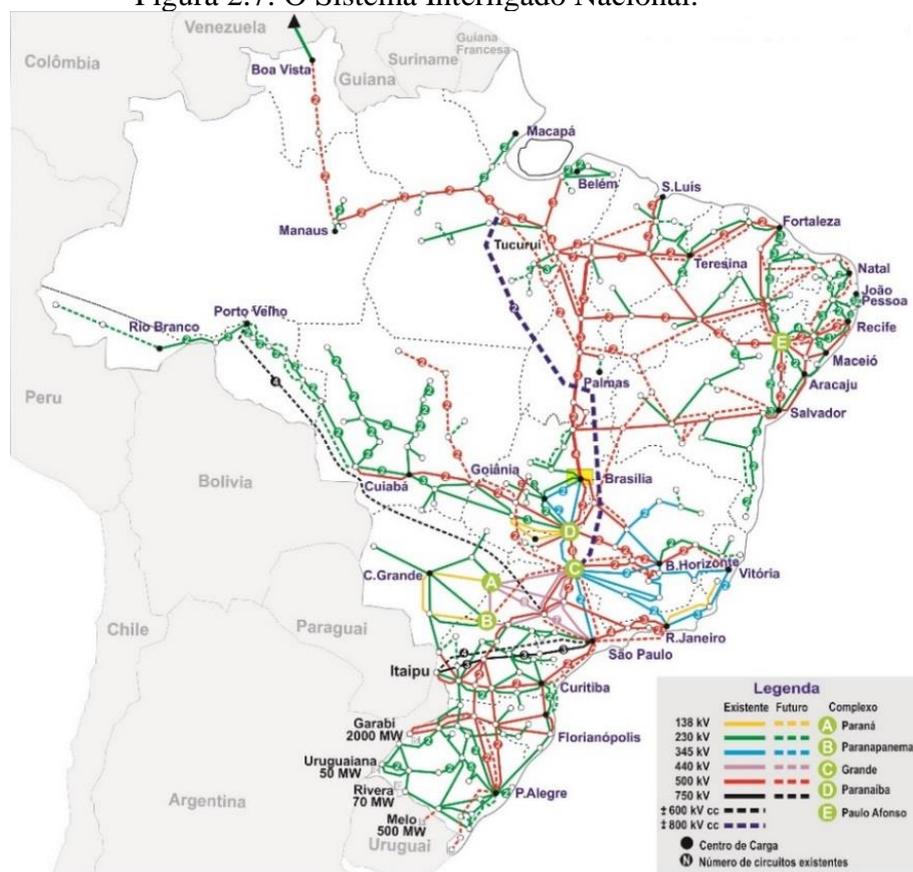
São 219 usinas hidrelétricas em operação, 6 em fase de construção e 8 com construção não inicializada (ANEEL, 2017b). Segundo Santos et al. (2013), as principais bacias hidrográficas das regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil já foram exploradas quase integralmente para a composição da base do SIN. Cerca de 45% do potencial remanescente, encontra-se na Região Amazônica, onde a topografia, uso do solo e outras características ambientais tornam desfavorável formação de reservatórios de acumulação em razão da necessidade de inundações de grandes áreas.

Atualmente, o SIN atende praticamente todo o território brasileiro por meio de um sistema de linhas de distribuição de eletricidade, interconectando todas as grandes usinas de geração de eletricidade (ONS, 2015a), conforme indicado na Figura 2.7. Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região Amazônica (ONS, 2016c).

É através do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que o SIN é operado. Segundo ONS (2015b):

“O Operador Nacional do Sistema Elétrico desenvolve as atividades de planejamento e programação da operação, de elaboração de estudos, normas e procedimentos técnico-operacionais, de coordenação, supervisão e controle da Rede de Operação do sistema eletroenergético, bem como realiza atividades voltadas para a administração dos serviços de transmissão e do uso do sistema de transmissão (ONS, 2015b).”

Figura 2.7: O Sistema Interligado Nacional.

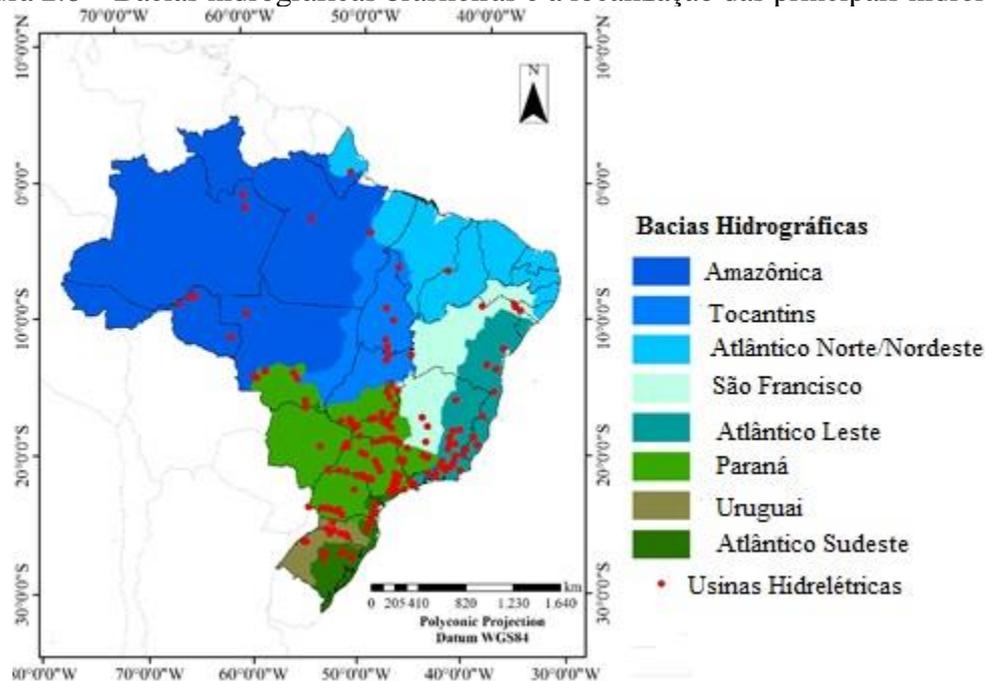


Fonte: ONS (2017).

O SIN conta com os aproveitamentos hidráulicos dispostos em cascatas, com reservatórios diversos num mesmo rio para regularização plurianual de sua vazão. As UHE's estão distribuídas em todas as bacias hidrográficas do Brasil, conforme pode ser observado na Figura 2.8. Em função da extensão do território brasileiro, as bacias hidrográficas apresentam regimes hidrológicos e pluviométricos variados, fortemente relacionados às climatologias típicas de cada região, que acabam por limitar o fator de capacidade das UHE's em operação. A Tabela 2.2 apresenta o fator de capacidade das 20 maiores UHE's brasileiras até o ano de 2014, e analisando os dados apresentados, pode-se constatar que as UHE's instaladas no rio São Francisco apresentam os menores fatores de capacidade entre as 20 plantas listadas.

As usinas termelétricas têm desempenhado um papel de complementariedade na geração elétrica. Silva (2015) afirma que, por razões meteorológicas como secas prolongadas, o Brasil responde não somente às necessidades quanto ao aumento da demanda suprindo o SIN com energia proveniente das termelétricas e que tal solução emergencial e temporária se torna muitas vezes duradoura e dispendiosa.

Figura 2.8 – Bacias hidrográficas brasileiras e a localização das principais hidrelétricas.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de ANA (2017) e ANEEL (2017).

É possível notar, na Figura 2.9, o crescimento acentuado da geração termelétrica a partir de 2012. A mesma figura também permite observar a redução da geração hidroelétrica entre os anos 2000 a 2003 e entre 2012 e 2015, associadas às duas crises hídricas causadas por período prolongado de seca extrema, que afetaram a quantidade de água armazenada nos reservatórios das principais UHE brasileiras.

É para suprir a demanda de energia que as termelétricas são ativadas. Porém, em anos de crise hídrica, as usinas termelétricas acabam por ficarem sobrecarregadas. Foi o que

aconteceu em 2015, segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2017); quando as usinas termelétricas permanecem em funcionamento durante um longo período e necessitam de maior manutenção. A Associação Brasileira de Geradoras Termelétricas (ABRAGET, 2017) afirma que o padrão mundial tolerável é de 5% das usinas termelétricas paradas por manutenção, e em 2015 essa parcela teve variação de 4% a 11%.

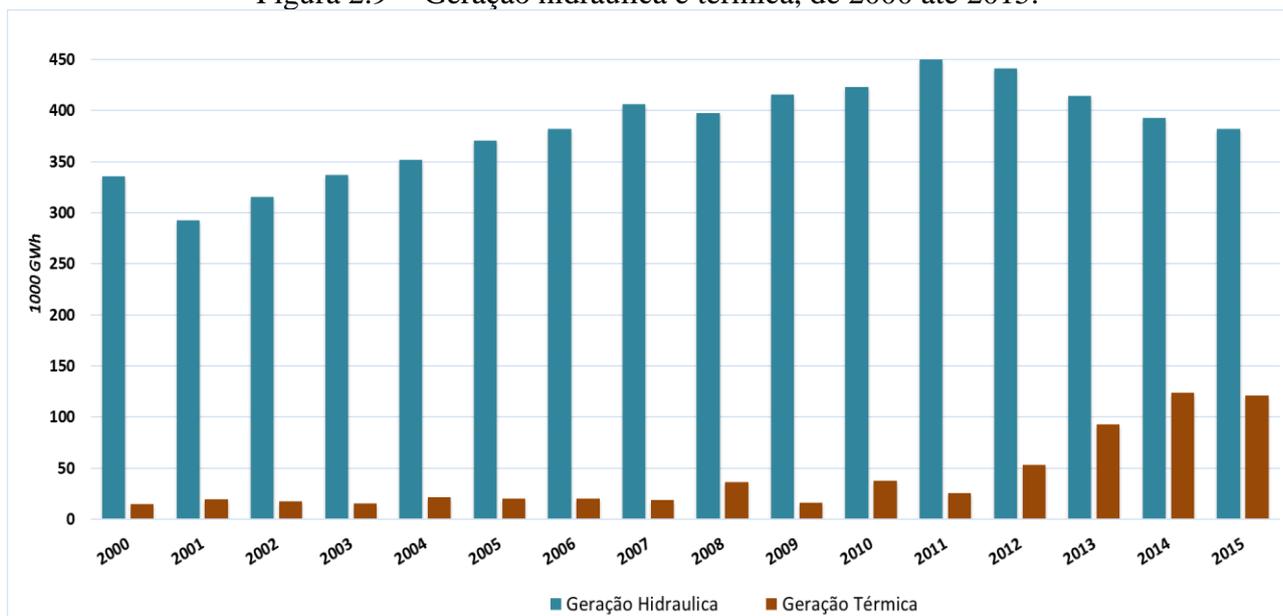
Tabela 2.2 - As 20 maiores usinas hidrelétricas do Brasil (até 2014).

	<i>Nome</i>	<i>Capacidade (GW)</i>	<i>UF</i>	<i>Operação inicial e plena</i>	<i>Fator de capacidade (2014)</i>	<i>Rio</i>
1	<i>Tucuruí I and II</i>	8.54	PA	1984/07	0.53	Tocantins
2	<i>Itaipu (Brazilian party)</i>	7.00	PR	1989/91	0.65	Paraná
3	<i>Ilha Solteira</i>	3.44	SP	1973/78	0.40	Paraná
4	<i>Xingó</i>	3.16	SE	1994/97	0.40	São Francisco
5	<i>Paulo Afonso IV</i>	2.46	AL	1979/83	0.45	São Francisco
6	<i>Santo Antônio</i>	2.29	RO	2012	0.48	Madeira
7	<i>Itubiera</i>	2.08	MG	1980/81	0.33	Paranaíba
8	<i>São Simão</i>	1.71	MG	1978	0.66	Paranaíba
9	<i>Gov. Bento Munhoz R.N.</i>	1.68	PR	1980/82	0.46	Iguaçu
10	<i>Eng^o Souza Dias (Jupia)</i>	1.55	SP	1969/74	0.53	Paraná
11	<i>Eng^o Sérgio Motta</i>	1.54	MS	1999/03	0.63	Paraná
12	<i>Jirau</i>	1.50	RO	2013	0.56	Madeira
13	<i>Luiz Gonzaga (Itaparica)</i>	1.48	BA	1988/90	0.32	São Francisco
14	<i>Itá</i>	1.45	RS/SC	2000/01	0.71	Uruguai
15	<i>Marimbondo</i>	1.44	MG	1975/77	0.23	Grande
16	<i>Salto Santiago</i>	1.42	PR	1980/82	0.65	Iguaçu
17	<i>José Ermírio de Moraes</i>	1.40	SP	1978/79	0.34	Grande
18	<i>Serra da Mesa</i>	1.28	GO	1998/99	0.41	Tocantins
19	<i>Gov. Ney Aminthas B. B.</i>	1.26	PR	1992/93	0.69	Iguaçu
20	<i>Governador José Richa</i>	1.24	PR	1999	0.70	Iguaçu

Fonte: NEEE (2015).

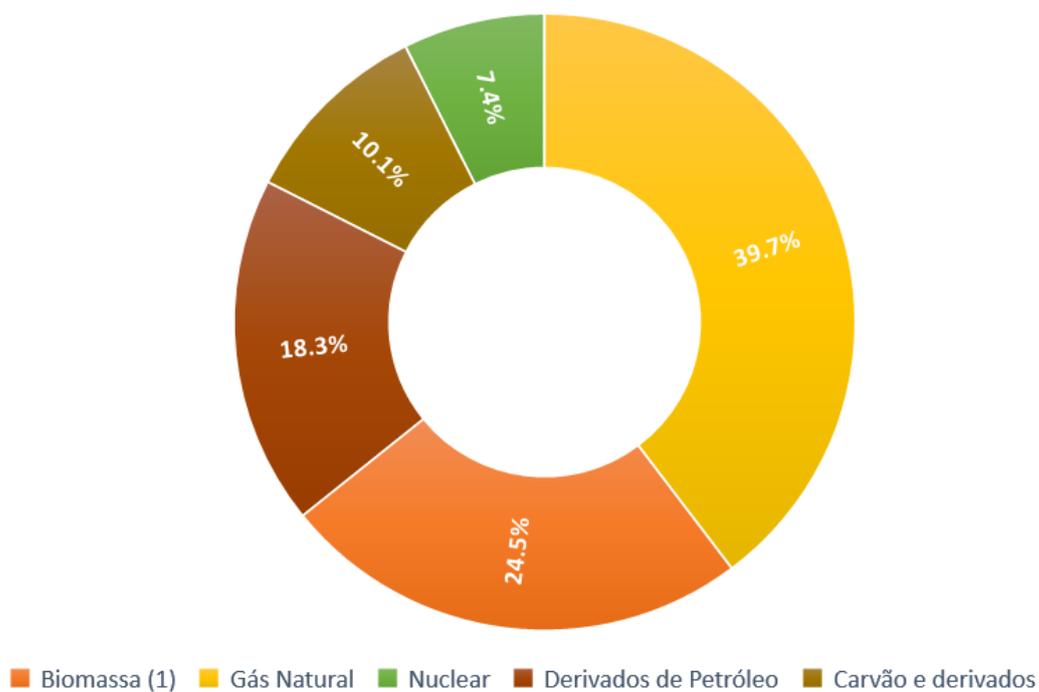
As usinas termelétricas geram energia a partir de diferentes combustíveis. As fontes e a participação de cada uma delas na geração termelétrica, de 2015, estão expostas na Figura 2.10

Figura 2.9 - Geração hidráulica e térmica, de 2000 até 2015.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de ONS (2016).

Figura 2.10 – Participação por fonte na geração termelétrica (2015).



(1) inclui bagaço de cana-de-açúcar, lixívia, lenha e outras fonte primárias

Fonte: EPE (2016b)

Entre os anos 2001 e 2002 houve uma redução na produção de energia através da fonte hídrica, causada por um déficit registrado em grandes reservatórios nacionais. Segundo Marreco (2007), tal crise é também consequência da falta de atratividade de investimentos em expansão no final dos anos 90, diferente do esperado na época. A partir daí, em 24 de fevereiro de 2000, foi elaborado o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT) através do Decreto nº 3371. Assim, a geração térmica recebe atenção de políticas energéticas brasileiras com o intuito de garantir a segurança do SIN em períodos prolongados de seca.

Programas de incentivo às energias alternativas e renováveis como o PROINFA também foram adotados a partir de 2001. A energia eólica apresentou um crescimento de 1719% entre 2006 até 2015 atingindo participação de 3,7% na matriz elétrica nacional (EPE, 2016a). A Tabela 2.3 apresenta a geração elétrica, em percentual, por fonte no Brasil desde o ano de 2006 até 2015.

Tabela 2.3 - Geração Elétrica por Fonte no Brasil.

<i>Geração Elétrica por Fonte no Brasil - %</i>										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gás Natural	4.4	3.5	6.2	2.9	7.1	4.7	8.5	12.1	13.7	13.7
Hidráulica (i)	83.2	84.0	79.8	83.9	78.2	80.6	75.2	68.5	63.2	61.9
Derivados de Petróleo (ii)	2.6	2.7	3.4	2.7	2.8	2.3	2.9	3.9	5.3	4.4
Carvão	1.4	1.4	1.5	1.2	1.4	1.2	1.5	2.6	3.1	3.3
Nuclear	3.3	0.3	3.0	2.8	2.8	2.9	2.9	2.7	2.6	2.5
Biomassa (iii)	3.4	3.9	4.1	4.7	6.1	5.9	6.3	7.0	7.6	8.2
Eólica	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.9	1.2	2.1	3.7
Outras (iv)	1.3	1.6	1.7	1.6	1.3	1.8	1.8	2.1	2.3	2.4

- (i) Inclui autoprodução;
- (ii) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível;
- (iii) Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixo;
- (iv) Outras: gás de coqueria, outras secundárias, outras não renováveis, outras renováveis (inclusive solar).

Fonte: Adaptado a partir de (EPE, 2011, 2016).

A produção hidroelétrica no Sistema Interligado Nacional é dividida nas regiões Norte, Nordeste, Sul, Sudeste/Centro Oeste e Itaipu (onde é considerada apenas a energia utilizada pelo Brasil) e a contribuição de cada região na geração hidroelétrica, de 2002 até 2015 é apresentada na Tabela 2.4. Os valores mostram que contribuição em geração hidráulica da região Nordeste sofreu uma redução significativa ao longo do período indicado, sendo que a queda é mais acentuada em anos de seca intensa, como 2008 e secas prolongadas, como no período 2013 a 2015.

Tabela 2.4 - Contribuição das regiões brasileiras, em geração hidráulica para o SIN.

Contribuição de cada região ao SIN (geração hidráulica) %														
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
NE	13.1	12.1	12.9	13.9	14.8	14.6	10.6	12.5	10.8	11.2	11.7	8.2	7.6	6.9
N	8.3	8.2	8.6	8.1	9.4	7.4	9.2	10.0	9.0	9.5	9.8	10.8	12.0	11.4
SE/CO	38.0	42.4	41.5	43.1	45.6	43.0	43.1	43.2	43.7	41.4	46.0	40.6	38.4	37.5
S	16.2	12.7	13.3	12.8	7.7	14.5	15.1	14.0	17.9	19.2	12.2	18.9	22.4	23.8
Itaipu	24.4	24.6	23.8	22.1	22.4	20.5	21.9	20.4	18.6	18.7	20.2	21.4	19.6	20.4

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de ONS (2016).

Além destas características, as restrições socioambientais e o enfrentamento da opinião pública, em conjunto com questões relativas ao impacto ambiental decorrente da alteração do uso do solo para formação de reservatórios de acumulação em usinas de hidroeletricidade na região amazônica tem acarretado uma redução da taxa de crescimento da capacidade instalada de geração hidrelétrica (PINTO JR et al., 2007; WINEMILLER et al., 2016). Segundo Tiepolo et al. (2014), são cada vez mais raros novos aproveitamentos hidrelétricos devido ao esgotamento do potencial hídrico e aos impactos ambientais.

Diante de tais perspectivas, a expansão do Sistema Elétrico Brasileiro deve ser analisada de forma integrada utilizando não somente conhecimento sobre a disponibilidade de recursos e fontes de energia, mas também com base em critérios relativos às diversas

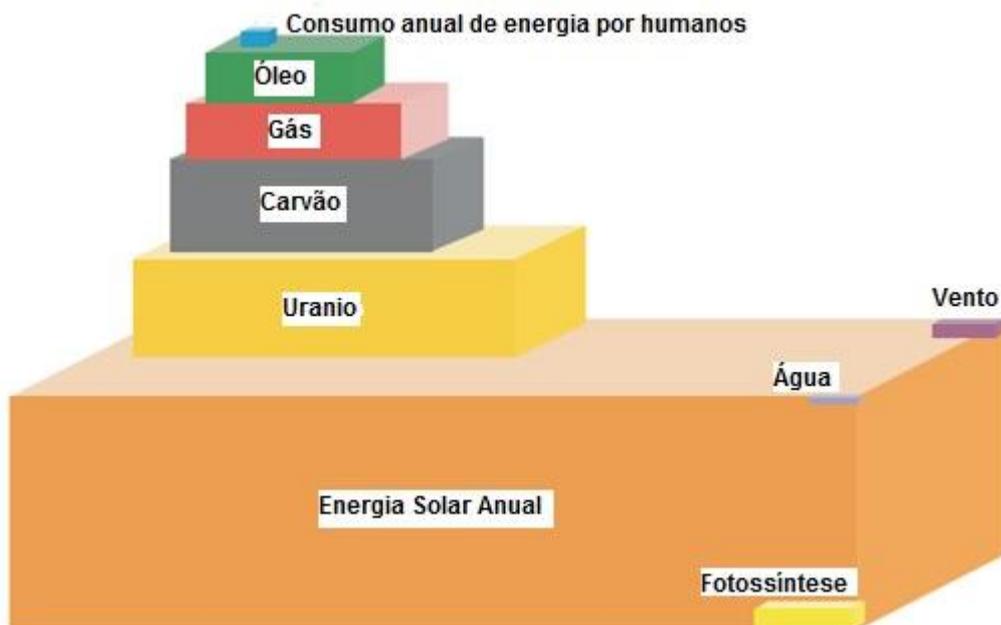
dimensões – social, ambiental, técnica-econômica – afetadas pelo barramento de um recurso hídrico na bacia amazônica (TUNDISI, 2007). O planejamento pode indicar as mudanças necessárias na matriz elétrica brasileira, com o intuito de promover a diversificação de fontes de energia, reduzindo a vulnerabilidade do sistema elétrico à variabilidade climática e contribuindo para o aumento da sua segurança energética do sistema elétrico nacional sem comprometer os compromissos assumidos nos acordos internacionais para controle das emissões de gases do efeito estufa.

2.4 Brasil e o Recurso Solar

A energia solar, segundo IEA (2008), é o recurso energético mais abundante da Terra, como é ilustrado pela Figura 2.11. Exemplifica-se quantitativamente que, a energia solar que incide na superfície terrestre em uma hora é aproximadamente a mesma quantidade de energia consumida por todas as atividades humanas em um ano. Entretanto, somente uma pequena percentagem deste recurso é tecnicamente possível de ser aproveitado, diante da baixa densidade energética e sua intermitência temporal. Para tal aproveitamento, é necessária a aplicação de algumas tecnologias que podem ser empregadas para aquecimento e geração de energia elétrica.

O Brasil, em razão de sua localização tropical e características climáticas e ambientais, possui grande potencial do recurso de energia solar. A Figura 2.12 mostra as médias anuais de irradiação solar anual para cada uma das cinco regiões geopolíticas brasileiras. A média anual de irradiação solar global no Brasil. A região do Nordeste Brasileiro (NEB) é a região de maior potencial de energia solar do país (MARTINS et al., 2008b).

Figura 2.11 – Recursos energéticos mundiais.



Fonte: Adaptado de IEA (2008).

Figura 2.12 - Média anual de irradiação solar diária nas regiões do Brasil.



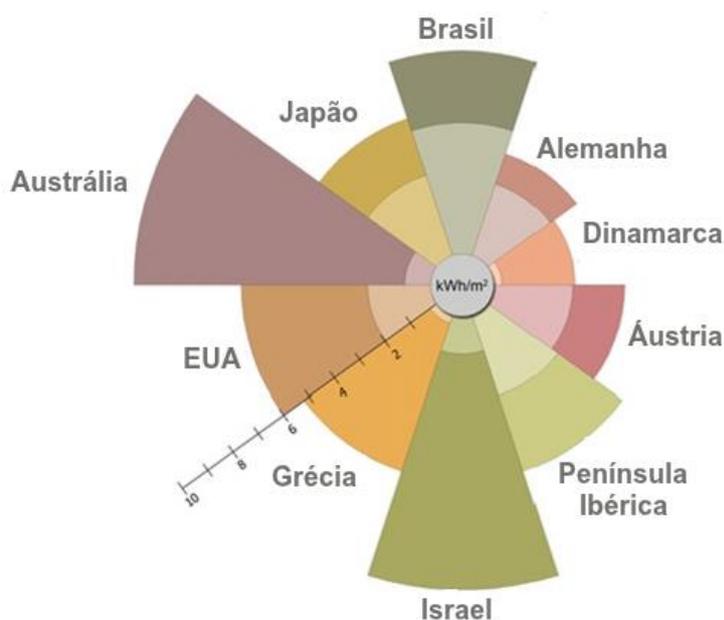
Fonte: Pereira et al (2017).

O Governo Brasileiro também tem feito estudos a respeito da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), concluiu em Nota Técnica (EPE, 2012) que:

“A energia solar fotovoltaica tornou-se, nos últimos anos, uma realidade em alguns países, ainda que o desenvolvimento na totalidade dos casos tenha sido feito via incentivos dos mais diversos. No entanto, a curva de aprendizado da indústria no mundo está em evolução e os custos associados tem apresentado decréscimos significativos. De uma maneira geral, considera-se que esta tendência será mantida nos próximos anos o que pode significar que a fonte se torne competitiva no futuro próximo. E justamente a incerteza de quando esta competitividade se daria que justifica, no presente momento, o início de um conjunto de medidas e estudos sobre formas de inserção desta fonte de geração, de modo a organizar as instituições a tratarem do assunto, tanto pelo lado do Governo como pelo lado dos agentes do mercado (EPE,2012).”

Os níveis de irradiação solar incidente em praticamente todo território nacional são superiores aos valores observados em vários países que já exploram comercialmente a energia solar, tanto para aplicações térmicas quanto fotovoltaicas (MARTINS et al., 2008a; MARTINS; ABREU; PEREIRA, 2012). As médias anuais de irradiação solar global incidente em países onde o mercado de energia solar já está consolidado, como a Alemanha (900-1250 kWh/m²), a França (900-1650kWh/m²) e a Espanha (1200-1850 kWh/m²), são inferiores que em qualquer região do território brasileiro (4200-6700 kWh/m²). A Figura 2.13 apresenta essa comparação (PEREIRA et al., 2006; MARTINS; PEREIRA, 2011).

Figura 2.13 - Faixa da média anual de irradiação solar diária no Brasil em comparação com outros países.



Fonte: Martins e Pereira (2011).

A energia solar vem se mostrando a principal alternativa energética para micro e mini geração conectadas em um sistema elétrico com geração distribuída em termos mundiais, e não deve ser diferente no Brasil (JONG; KIPERSTOK; TORRES, 2015). O governo brasileiro realizou em 2015/2016 leilões específicos para a compra de eletricidade gerada em plantas solares e em paralelo, publicou regulamentações específicas para orientar a geração distribuída no país. Atualmente, a micro e mini geração de energia elétrica são regulamentadas pela Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. Nelas são definidos os termos micro e mini geração distribuída (ANEEL, 2015).

“I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na

rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2105).⁶

2.5 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a conversão direta da luz do Sol em eletricidade. Tal conversão é realizada essencialmente pelos painéis fotovoltaicos, que são módulos compostos por materiais semicondutores, para que na medida em que é estimulado pela radiação solar, permita o fluxo de elétrons pelo material e assim produza uma corrente elétrica (EPE, 2007).

A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. (GREEN, M. A. et al., 2001). De acordo com EPE (2012), as tecnologias fotovoltaicas podem ser classificadas como de primeira geração (silício mono e policristalino), segunda geração (silício amorfo e filme fino) ou terceira geração (concentrador fotovoltaico). A Tabela 2.5, apresenta a eficiência típica, de laboratório, dos módulos comerciais, de primeira e segunda geração.

Tabela 2.5 – Eficiência típica, de laboratório, de módulos comerciais de primeira e segunda geração.

Tecnologia	Eficiência
Silício Cristalino	
<i>Monocristalino</i>	24,7%
<i>Policristalino</i>	22,5%
Filme Fino	
<i>Silício amófo</i>	13%
<i>Telureto de Cadmio</i>	18%
<i>Disseleneto de cobre-indio-galio</i>	16,4%

Fonte: Conecte Solar (2017).

Nos últimos anos, entre as energias renováveis, a conversão da radiação solar em energia solar fotovoltaica destacou-se, com o maior aumento de capacidade instalada total mundial. Foram aplicados incentivos para desenvolvimento da fonte através de tarifas de compensação, em consequência dos compromissos assumidos para mitigação dos gases de efeito estufa (TIEPOLO, 2015). Porém, a redução significativa do valor dos módulos, foi determinante para tal crescimento. A queda do custo se deu com a entrada massiva de indústrias importantes, como as chinesas, na produção de painéis fotovoltaicos, em especial os painéis policristalinos. Hoje, a geração fotovoltaica é capaz de ter competitividade econômica diante de outras tecnologias, como a eólica e a termoelétrica. Em 2009 o valor de um módulo fotovoltaico, no varejo, de 10W, custava U\$700,00, hoje um módulo de 250W (eficiência de 15,5%), custa em média R\$890,00.

No Brasil, as primeiras aplicações da tecnologia fotovoltaica foram relativas à telecomunicação, à eletrificação rural, aos serviços públicos e ao bombeamento de água (SANTOS et al., 2013). Atualmente, vivemos um momento de crescimento da geração de eletricidade através da tecnologia fotovoltaica com contratações desta forma de geração por meio dos leilões federais e estaduais realizados especificamente para esta

tecnologia (ALENCAR; JUNIO, 2016), e de incentivos governamentais através de regulamentações para a geração distribuída.

No primeiro Leilão de Energia de Reserva (LER), com produto específico para energia solar ocorreu em 2014 e foram contratados 31 projetos com potência de 1048,2 MWp (EPE, 2014). Em agosto de 2015, ocorreu outro LER com a seleção de 382 projetos cadastrados dos quais 30 foram contratados com potência total de 1043,7MWp (EPE, 2015a).

2.5.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados ao SIN

Atualmente no Brasil, centrais de gerações fotovoltaicas em funcionamento, e ligadas a rede, são as de micro e mini geração. Através da Resolução Normativa 687 de 24 de novembro de 2015, já citada anteriormente, foi definido o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (ANEEL, 2015).

“III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. (ANEEL, 2015)”

Nesse sistema de compensação de créditos, um consumidor comum de energia elétrica que instale painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica, em sua edificação, a energia gerada será usada para abater o consumo do mesmo. Quando a geração for maior que o consumo, será gerado um saldo positivo que, poderá ser utilizado de forma a abater o consumo de outro posto tarifário ou na fatura do mês subsequente (tal crédito de energia fica válido por 60 meses).

Ainda na mesma Resolução Normativa, definem-se os termos ‘Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras’, Geração Compartilhada e, ‘Autoconsumo Remoto’:

“VI - o excedente de energia que não tenha sido compensado na própria unidade consumidora pode ser utilizado para compensar o consumo de outras unidades consumidoras, observando o enquadramento como empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada ou autoconsumo remoto;

VII – para o caso de unidade consumidora em local diferente da geração, o faturamento deve considerar a energia consumida, deduzidos o percentual de energia excedente alocado a essa unidade consumidora e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir todas as componentes da tarifa em R\$/MWh;

VIII - o titular da unidade consumidora onde se encontra instalada a microgeração ou minigeração distribuída deve definir o percentual da energia excedente que será destinado a cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, podendo solicitar a alteração junto à distribuidora, desde que efetuada por escrito, com antecedência mínima de 60 (sessenta) dias de sua aplicação e, para o caso de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras ou geração compartilhada, acompanhada da cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (ANEEL, 2015).”

Segundo a ANEEL (2017a), hoje são 10044 unidades consumidoras com geração distribuída, tipo UFV no Brasil, sendo 11100 as unidades consumidoras que recebem os créditos, a potência instalada é de 77833,00 kW. Em relação a geração distribuída, as

UFV's têm quantidade muito maior de unidades consumidoras, que as outras tecnologias de geração elétrica, como pode ser confirmado pela Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Unidade consumidoras com geração distribuída.

UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA			
Tipo	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
CGH	11	34	7.115,00
EOL	49	50	10.170,50
UFV	10.044	11.100	77.833,60
UTE	42	146	16.421,50

Fonte: ANEEL (2017a).

Atualmente, no Brasil a maior usina fotovoltaica em funcionamento está localizada em Santa Catarina, na cidade de Tubarão. A usina Cidade Azul, com capacidade instalada de 3 MW, em funcionamento desde 2014, ocupa uma área de 0,1 Km² (ENGIE, 2017), a foto ilustrada na Figura 2.14, mostra a usina Cidade Azul.

Mundialmente, a maior usina fotovoltaica em funcionamento na atualidade, está localizada na Califórnia nos Estados Unidos da América, ocupa uma área de 13 km², com capacidade produtiva de 586 MW (BHESOLAR, 2017).

Figura 2.14 – Usina Solar Cidade Azul, Tubarão, SC.



Fonte: ENGIE (2017).

2.5.2 Desafios Ligados a Intermitência das Fontes Alternativas

Através dos incentivos governamentais, a capacidade instalada de energia fotovoltaica vem apresentando um crescimento mundial nas matrizes elétricas e, no Brasil não é diferente. Em 2015, somente 0,01% da matriz elétrica brasileira correspondia a fonte solar (EPE, 2016b), porém, a (EPE, 2015b) estima que a mesma fonte estará representando 3,3% da matriz em 2024.

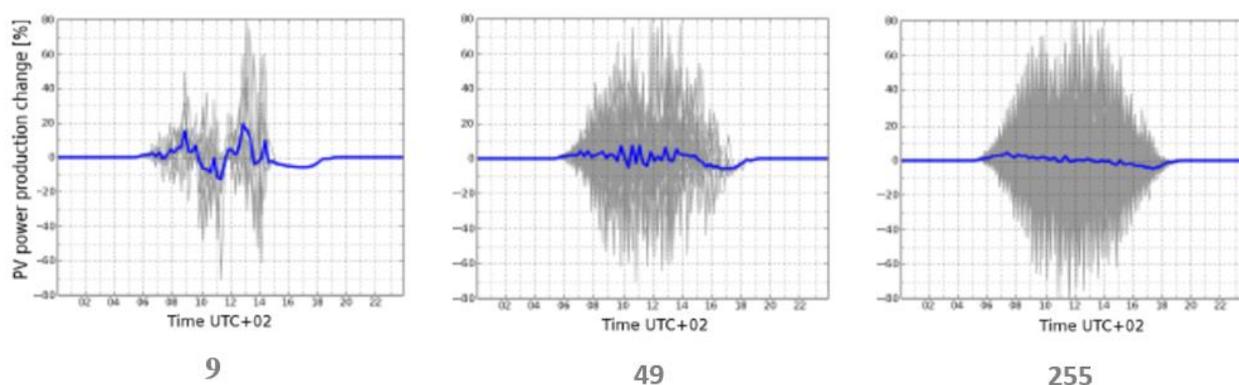
Atualmente o Governo Brasileiro ainda está distante de ter que resolver os desafios tecnológicos que a inserção da geração da geração fotovoltaica em grande escala traz para o sistema elétrico. Porém, em se tratando de um mecanismo tão complexo, faz-se necessário uma busca prévia de soluções que mantenham estável e seguro o despacho de energia pelo SIN.

A não possibilidade de geração contínua (energia despachável), por fatores relacionados à sua intermitência, tornam a geração fotovoltaica mais complexa que a geração por fonte hídrica ou geração termoeletrica. As flutuações de irradiância solar podem ser observadas em escala de tempos diferentes, com médio e curto prazo diante de passagem de nuvens dependendo de tamanho e velocidade de deslocamento e, longo prazo, devido ao movimento entre a Terra e o Sol.

A variabilidade temporal do recurso solar faz com que quando sistemas fotovoltaicos passam a ser incluídos à rede, as flutuações também passam a fazer parte do sistema de geração ao qual foi feita a inclusão (ALMEIDA, 2017). Contudo, esse problema pode ser minimizado, seja de forma passiva pelo número de sistemas fotovoltaicos e pela dispersão geográfica dos sistemas fotovoltaicos, ou de forma ativa com uso de baterias eletroquímicas, a produção de hidrogênio associado à célula a combustível, os volantes de inércia, as bobinas supercondutoras, os supercapacitores, o ar comprimido, o bombeamento de água em hidrelétricas reversíveis e o armazenamento térmico na forma de calor (IBRAHIM; ILINCA; PERRON, 2008; LOPES et al., 2015; ALMEIDA, 2017). A Figura 2.15 ilustra a variabilidade da produção fotovoltaica em função do

número de sistemas. A energia armazenada durante os períodos de excesso de geração fotovoltaica pode ser utilizada posteriormente em estratégias relacionada à gestão de energia (JARDIM; SALAMONI; RÜTHER, 2004; RÜTHER et al., 2008; UECKERDT; BRECHA; LUDERER, 2015).

Figura 2.15 - Variabilidade em 15 minutos da produção PV em função do número de indivíduos (sistemas). O número de estações está indicado nas figuras.



Fonte: Adaptado de Suri et al (2014).

A Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA, 2014*), afirma em estudo que, no geral, uma participação energética da geração intermitente de 25% é suportada em todos os casos, com destaque para o Brasil que, devido a sua matriz elétrica baseada em hidrelétricas, possui grande flexibilidade.

Soluções através de incentivos governamentais também apresentam bons resultados, como no caso na Alemanha, onde a maior parte de seus sistemas fotovoltaicos está localizado no sul do país, o que durante as horas de luz, muita energia era transportada para o norte, deixando o sistema trabalhando próximo do limite. Observando isso, o governo deu incentivos para instalação de baterias nos sistemas domésticos e reduziu o transporte aliviando o sistema.

Almeida (2017), afirma que medidas descentralizadoras possam vir a ser necessárias no Brasil, pois no NEB estão concentradas a maioria das usinas listadas nos leilões de Energia de Reserva, realizados, como está demonstrado na Figura 2.16. O autor afirma:

“Se a tendência de instalar usinas fotovoltaicas de grande porte na Região Nordeste permanecer, as redes de transmissão que interligam o subsistema nordestino aos demais subsistemas que compõem o SIN deverão ser adaptadas a uma nova realidade (ALMEIDA, 2017)”

Figura 2.16 – Localização dos municípios que tem usinas fotovoltaicas vencedoras dos LER 2014 e 2015.



Fonte: Almeida (2017).

2.6 Semiárido Nordestino e suas Usinas Hidrelétricas

A região do Nordeste do Brasil (NEB) é aquela com o maior potencial de energia solar do país, com média anual estimada em 5.5 kWh/m² de irradiação solar global diária (PEREIRA et al., 2017). A região do semiárido, no interior do NEB, apresenta períodos prolongados de estiagens e, assim, recebe a maior incidência de energia solar do país. A Figura 2.17 mostra a localização e delimitação do semiárido nordestino.

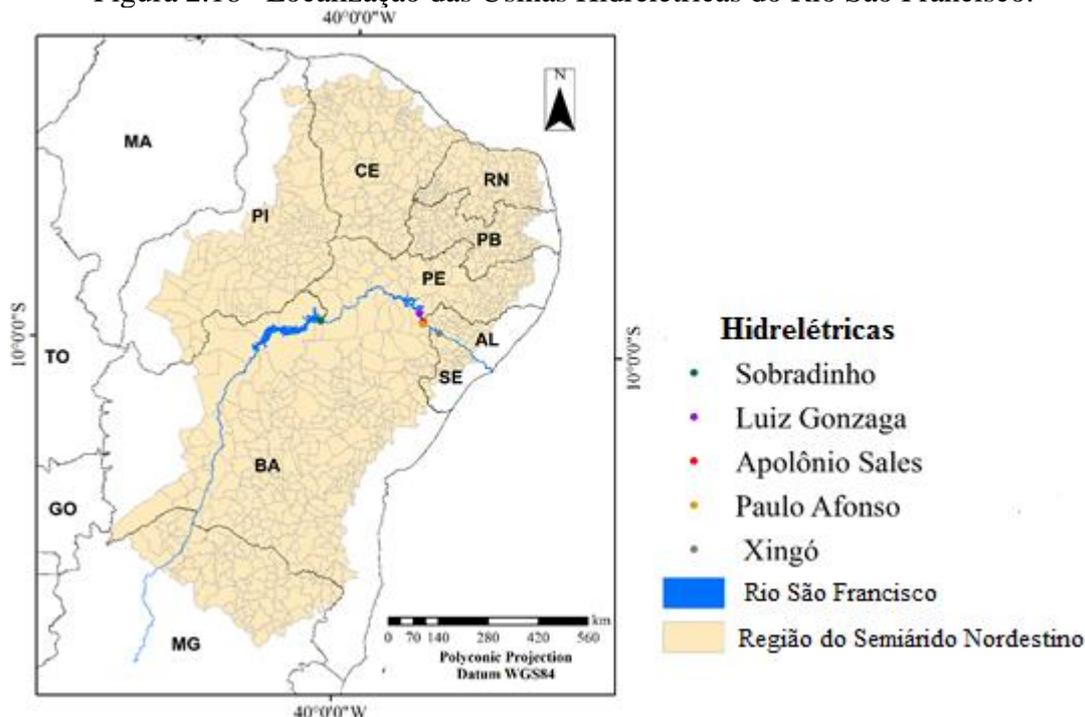
Figura 2.17 – Delimitação da região semiárida em destaque amarelo no mapa do Nordeste Brasileiro.



Fonte: MIN (2005).

É exatamente na região do semiárido nordestino que ficam localizadas a maioria das usinas hidrelétricas da Bacia do São Francisco, como a Usina Hidrelétrica de Sobradinho. O Rio São Francisco tem sua nascente no Parque Nacional da Serra da Canastra, em Minas Gerais e chega a sua foz, no Oceano Atlântico, entre Alagoas e Sergipe, percorrendo cerca de 2.800 km de extensão. Corta três biomas, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, abrange os Estados de Minas Gerais (MG), Distrito Federal (DF), Bahia (BA), Pernambuco (PE), Alagoas (AL) e Sergipe (SE). As usinas hidrelétricas instaladas no Rio São Francisco na região do NEB são UHE Xingó, UHE's Paulo Afonso I, II, III e IV, UHE Apolônio Sales, UHE Luiz Gonzaga e UHE Sobradinho, totalizando 9.971.501 kW de potência instalada, o que representa 9,9% do total do país (ANA, 2017; ANEEL, 2017b; CHESF, 2017). O mapa na Figura 2.18 destaca a trajetória do Rio São Francisco e mostra a localização das Usinas Hidrelétricas nele instaladas.

Figura 2.18 –Localização das Usinas Hidrelétricas do Rio São Francisco.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de ANA (2017) e ANEEL (2017).

2.6.1 Usos Múltiplos da Água

Galvão e Bermann (2015) afirmam o Brasil, em relação à gestão da água, vive um conflito que já é histórico, relacionada à geração de energia em reservatórios de usinas hidrelétricas e os outros usos múltiplos da água. Segundo Brandão (2004), existem conflitos pelo uso da água na região do semiárido do NEB. Torres et al. (2015), afirma que esses conflitos têm dimensões tanto ambiental, como social, cultural e de políticas públicas e, são gerados por diferentes fatores associados aos impactos consequentes de operações dos reservatórios. Tratar dos conflitos na Bacia do São Francisco é um grande desafio, principalmente nos cenários de escassez hídrica (MEDEIROS et al., 2010).

Os autores ressaltam que o uso múltiplo já se encontra presente a partir do “Código das Águas”, Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934, sendo inclusive definido, no Livro III: Forças hidráulicas – Regulamentação da indústria hidrelétrica; Título I: Capítulo I: Energia Hidráulica e seu Aproveitamento, no Artigo 143 (BRASIL, 1934):

- “Art. 143. Em todos os aproveitamentos de energia hidráulica serão satisfeitas exigências acauteladoras dos interesses gerais:
- a) da alimentação e das necessidades das populações ribeirinhas;
 - b) da salubridade pública;
 - c) da navegação;
 - d) da irrigação;
 - e) da proteção contra as inundações;
 - f) da conservação e livre circulação do peixe;
 - g) do escoamento e rejeição das águas (BRASIL, 1934).”

A Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece, no Título: “Da Política Nacional de Recursos Hídricos, Capítulo I: Dos Fundamentos”, Artigo 1º, “A Política Nacional

de Recursos Hídricos” que se baseia nos seguintes fundamentos, e o inciso III afirma (BRASIL, 1997):

“III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).”

É sabido que a água do Rio São Francisco é utilizada para diferentes fins, não somente para geração elétrica, também há retirada para irrigação de culturas e pecuária, demanda urbana e demanda industrial, de acordo com o Comitê de Bacias do Rio São Francisco (CBHSF, 2013).

Pereira (2004), afirma que na Bacia do São Francisco os projetos de irrigação não apresentam um planejamento adequado e, não recebem manejo correto após implementação. Com isso, ocorre desperdício de água, uma vez que a irrigação pode se dar de forma inadequada tornando-se muitas vezes ineficiente.

2.6.2 Crise Hídrica

A crise hídrica que se deu nos anos de 2013 a 2015 foi a maior já registrada na região do reservatório de Sobradinho, como mostrado na Tabela 5.3. O volume útil em dezembro de 2015 foi de 1,7% de sua capacidade.

Durante esse período a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf), precisou instalar dez bombas flutuantes para captação de água no ponto mais profundo do Lago de Sobradinho (Figura 2.19). Tal atitude foi uma ação emergencial e se deu pela necessidade de evitar o desabastecimento do PISNC (CODEVASF, 2015; AGÊNCIA BRASIL, 2016). Segundo Agência Brasil (2016), produtores de fora do PISNC, também se reuniram e fizeram obras para bombeamento de água.

Figura 2.19 – Obra de captação de água no reservatório de Sobradinho.



Fonte: Agência Brasil (2016).

As prefeituras das cidades que captam água do reservatório de Sobradinho tiveram que adaptar as estruturas de captação de água para abastecimento.

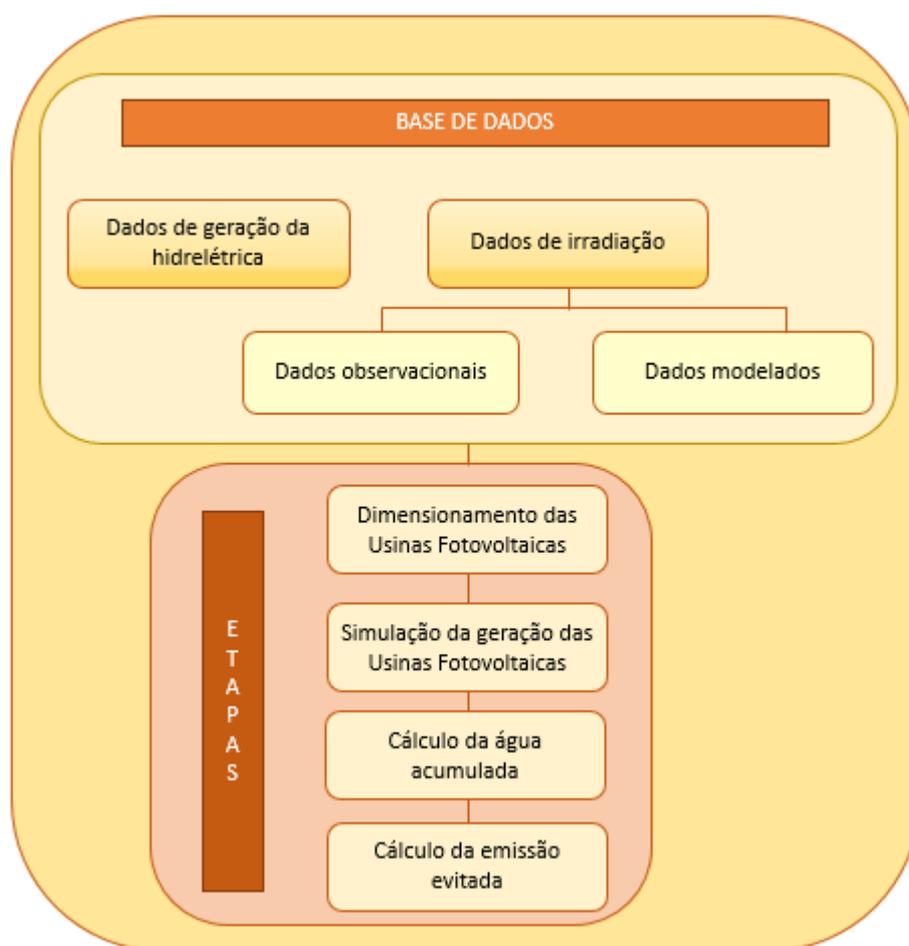
A vazão regularizada de Sobradinho que é 2060 m³/s chegou a ser reduzida para 800 m³/s, decisão tomada pela demanda do ONS, com a intensão de controlar o volume útil do reservatório (ANA, 2016).

Para o desenvolvimento desse trabalho foi necessário uma base de dados, com dados da geração de energia da Usina Hidrelétrica de Sobradinho, e dados de irradiação, esses foram obtidos através dos dados observados, da estação de Petrolina da rede SONDA e, dados resultantes de simulações do modelo de transferência radiativa Brasil SR. Nos momentos em que os dados observados apresentaram falhas ou foram descartados por apresentarem alguma inconsistência, os mesmos foram substituídos pelos dados de simulação. Dessa forma, os resultados do modelo serviram como complemento para que a base de dados utilizados nesse trabalho, apresentasse um menor número de falhas.

A partir do estabelecimento da base de dados, o trabalho se deu em quatro etapas. Num primeiro momento, foi feito dimensionamento das plantas fotovoltaicas, calculado a partir da média dos meses de setembro, outubro e novembro da base de dados de irradiação obtida. A partir da área estabelecida para cada planta fotovoltaica, foi calculado a geração de energia para cada cenário estabelecido. O passo seguinte foi calcular a água que poderia ter sido acumulada, para cada cenário e, por último, a emissão de CO₂ evitada, com a redução da necessidade de operação de plantas térmicas.

A Figura 3.1 ilustra a estrutura da metodologia desenvolvida e empregada no presente trabalho.

Figura 3.1 – Estrutura da metodologia desenvolvida e empregada.



3.1 Base de Dados

3.1.1 Dados de Geração

A base de dados da geração de energia da UHE Sobradinho foi cedida pela CHESF. Os dados fornecidos foram dados mensais do ano de 2006 até o ano de 2015, completando 26 anos de dados de geração.

3.1.2 Dados de Irradiação

A base de dados de irradiação utilizada foi uma complementação entre dados observados da estação de Petrolina da Rede SONDA e dados de simulação de modelo de transferência radiativa BRASIL-SR.

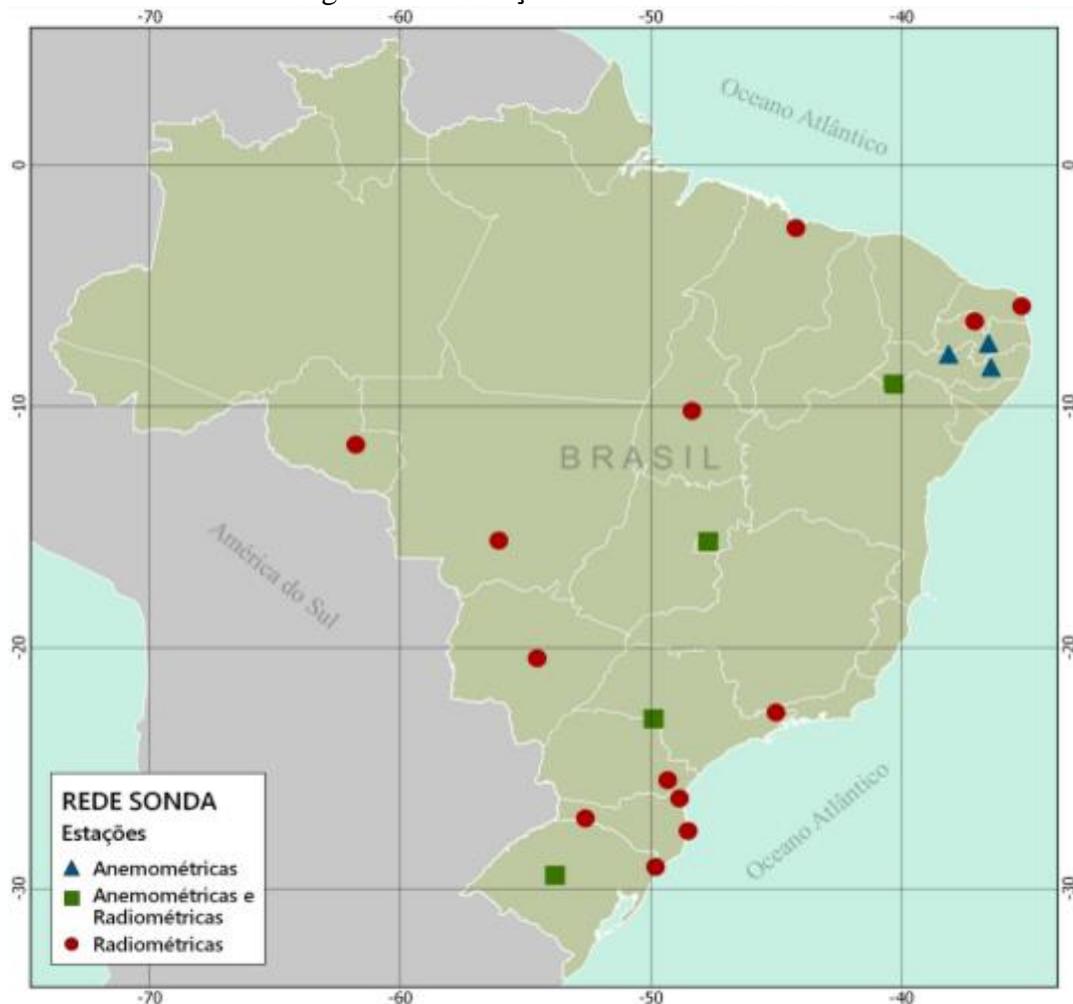
Os dados observados quando apresentaram falhas ou inconsistência, foram substituídos pelos dados simulados. O modelo BRASIL-SR foi integrado para o período de estudo do trabalho.

A série de dados de irradiação solar direta diários, dos anos de 2006 a 2015 utilizados, são apresentados pelas Tabela A.1 à A.10, no ANEXO A

3.1.2.1 Dados Observacionais

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados dados meteorológicos e radiométricos observados na rede SONDA, operado pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE). O Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA), surgiu de um projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), visando implementar a infraestrutura física e de recursos humanos, através coleta e disponibilização uma base de dados de superfície para o levantamento e planejamento do uso dos recursos de energia solar e eólica no Brasil. Na Figura 3.2 é possível observar as localizações das estações da rede SONDA.

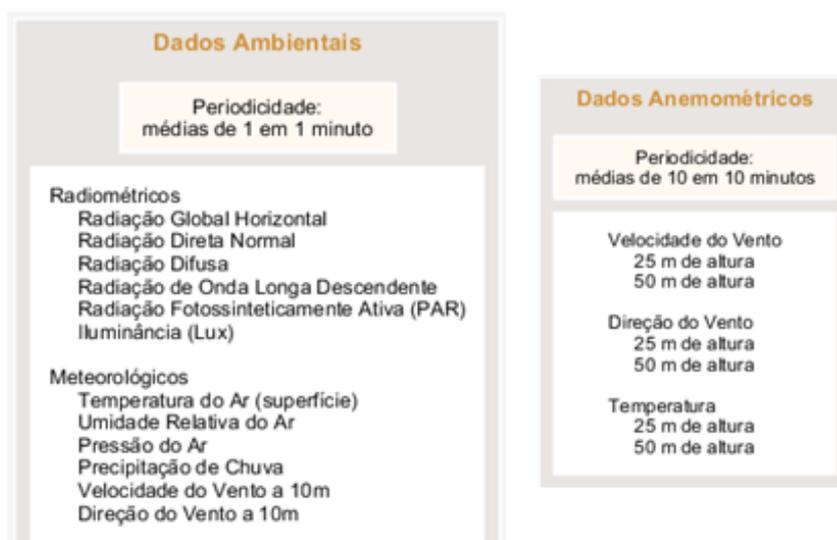
Figura 3.2 – Estações da rede SONDA.



Fonte: SONDA (2016).

A Rede SONDA tem a base de dados ambientais, e a base de dados anemométricos, a periodicidade e os dados medidos estão apresentados na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Base de dados da rede SONDA.



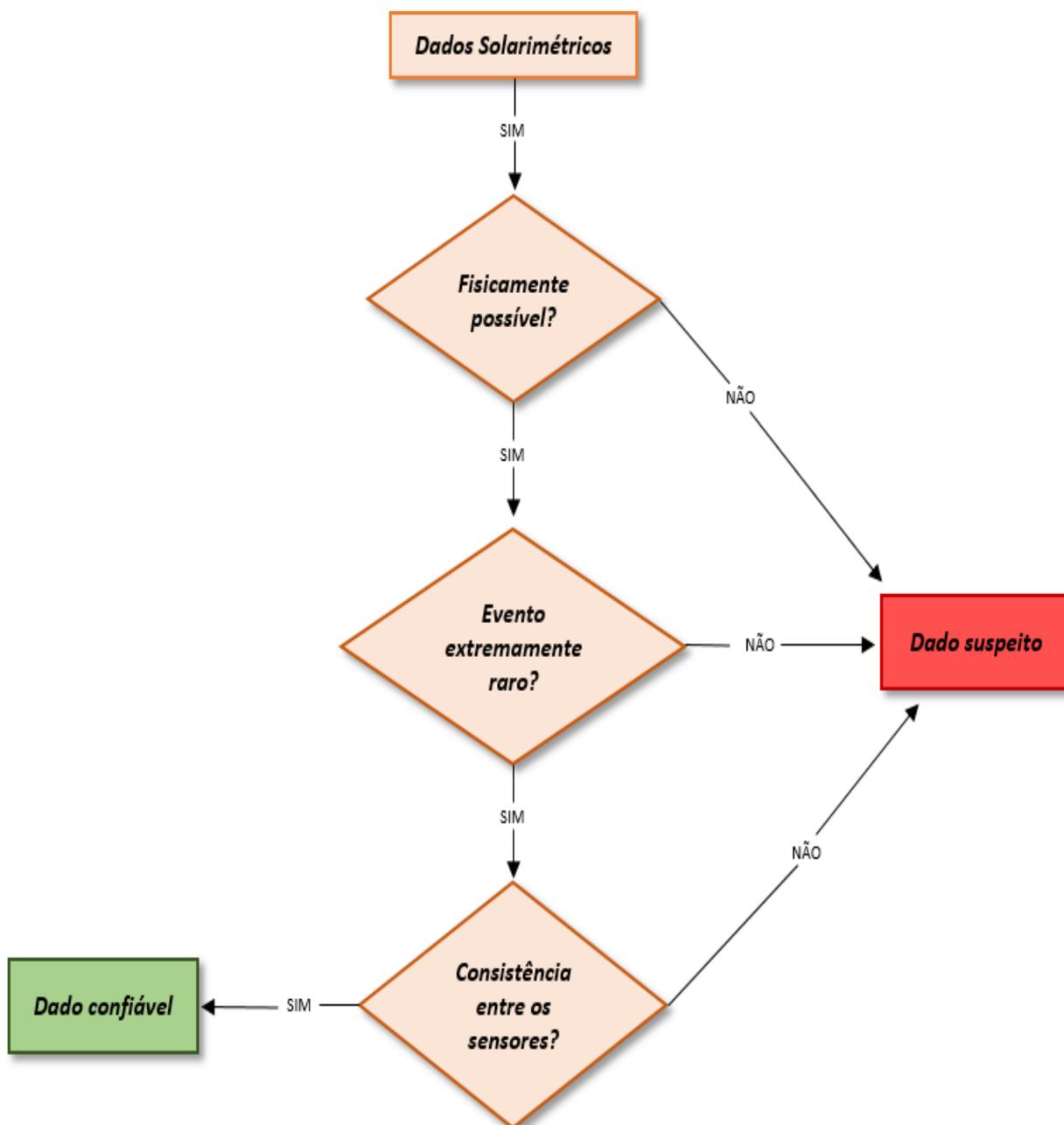
Fonte: SONDA (2016).

A base de dados da rede SONDA, passa por um controle de qualidade dos dados observados a fim de minimizar a possibilidade de disponibilização dados suspeitos de baixa confiabilidade devido a fatores, como mau funcionamento dos equipamentos de medição, ocorrência de descargas elétricas, acidentes com animais e etc. (SONDA, 2016). O controle de qualidade empregado é similar ao adotado para estações de aquisição de dados de campo participantes da *Baseline Surface Radiation Network* (BRSN) sob coordenação da *World Meteorological Organization* (WMO) (MARTINS; ABREU; PEREIRA, 2012; DIAS DA SILVA et al., 2014). Os dados são analisados e sinalizados como suspeitos através da validação aplicada.

O procedimento para controle de qualidade da base de dados é constituído de três passos que vai de filtros mais grosseiros até mais refinados. A Figura 3.4, apresenta o fluxograma da validação. Diante da aprovação de cada passo é que o dado segue para a próxima etapa se inicializar. No momento que o dado é sinalizado como suspeito, o procedimento é interrompido e o dado recebe um código de identificação., e, quando

aprovado nas três etapas, recebe um código de aprovação. Os critérios de qualidade, para o dado radiação global horizontal (W/m^2), são apresentados na Figura 3.5.

Figura 3.4 – Fluxograma de validação Rede SONDA.



Fonte: Adaptado de Dias da Silva (2014).

Figura 3.5 – Critérios de qualidade para a radiação global horizontal feito pela Rede SONDA.

<i>Fisicamente Possível (algoritmo 1)</i>	<i>Extremamente Raro (algoritmo 2)</i>	<i>Comparação entre Sensores (algoritmo 3)</i>
Global Horizontal (Wm^{-2})		variável: glo_avg
1. desvio padrão \neq 0 (zero)	min.: -2	(Global) / (Sum) deve estar entre $\pm 10\%$ de 1,0 para $AZS < 75^\circ$, Sum > 50
2. min.: -4 max.: $S_a \times 1,5 \times \mu_0^{1,2} + 100$	max.: $S_a \times 1,2 \times \mu_0^{1,2} + 50$	(Global) / (Sum) deve estar entre $\pm 15\%$ de 1,0 para $93^\circ > AZS > 75^\circ$, Sum > 50 Obs.: este teste não é possível para Sum < 50

AZS = ângulo zênite solar;

$\mu_0 = \cos(AZS)$;

S_a = constante solar a distância média Terra – Sol;

Sum = [Difusa + (Direta Normal) x μ_0];

Global = radiação solar medida por um piranômetro sem sombreador.

Fonte: SONDA (2016).

Os dados de média de radiação global horizontal (W/m^2), são disponibilizados a cada minuto e, num primeiro momento, foram integrados no tempo com objetivo de obtê-los na forma de totais diários.

Nesse trabalho foram empregados os dados de radiação global horizontal, da estação de Petrolina (latitude: $09^\circ 04' 08''$ S e longitude $40^\circ 19' 11''$ O) observados entre os anos de 2006 a 2015. A estação de Petrolina está localizada a 40 km da usina Hidrelétrica de Sobradinho e foi selecionada pela qualidade, disponibilidade dos dados e pela pouca distância.

3.1.2.2 Modelo Brasil SR

O modelo de transferência radiativa BRASIL-SR é um modelo físico, utilizado na obtenção de estimativas da irradiação solar incidente na superfície (MARTINS; PEREIRA; ECHER, 2004), desenvolvido pelo INPE e pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no âmbito do projeto SWERA.

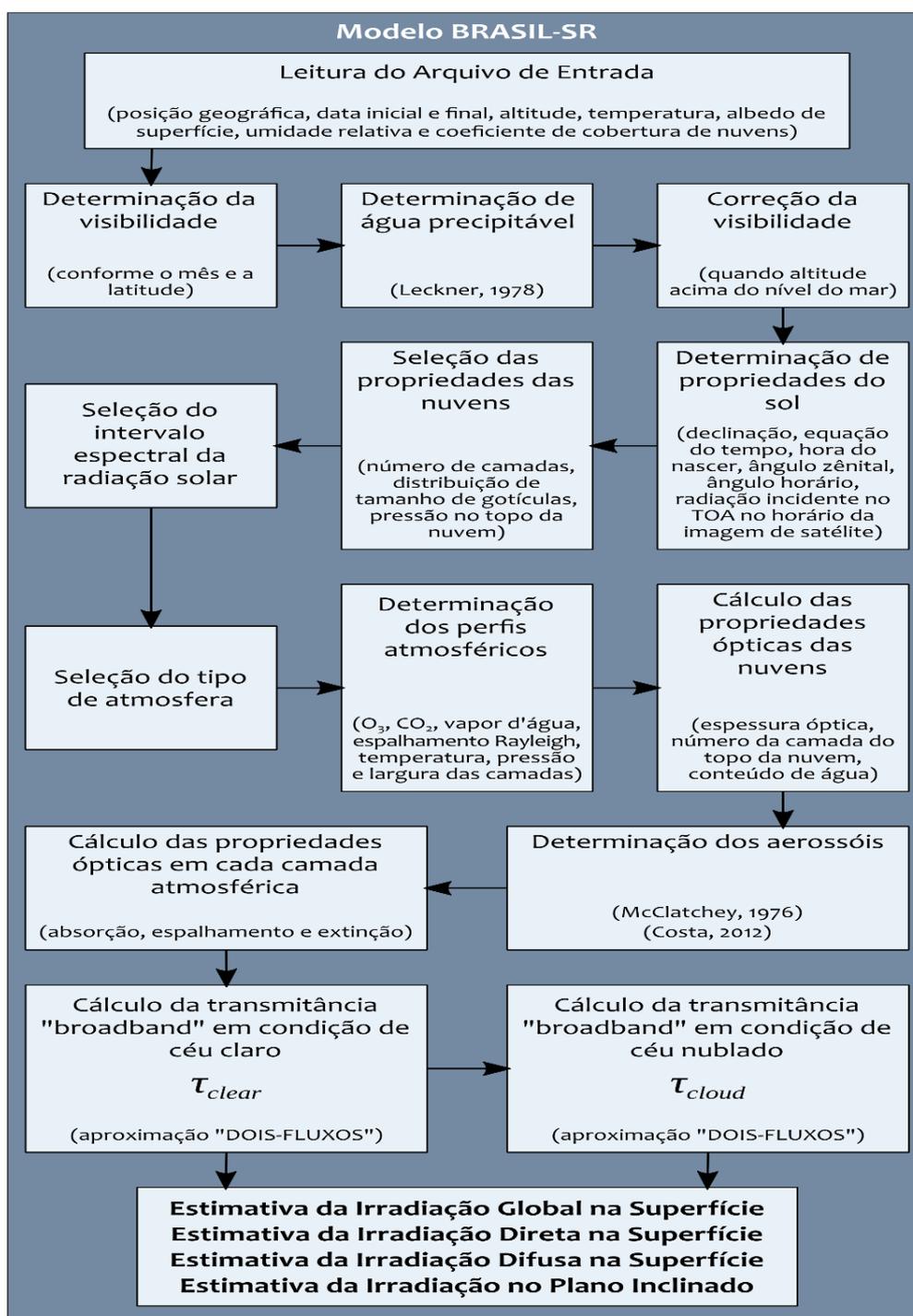
Utilizando a aproximação de “Dois-fluxos” para solucionar a equação de transferência radiativa, faz uso de dados climatológicos (temperatura do ar, albedo de superfície, umidade relativa, visibilidade atmosférica), dados de cobertura de nuvens obtidos através de imagens de satélite geoestacionário e de elevação da superfície (MARTINS; PEREIRA; ECHER, 2004; VIANA et al., 2010).

Para obtenção da radiação solar pelo modelo, são necessárias três etapas: coleta de dados, resolução da equação de transferência radiativa e o cálculo das componentes de radiação solar (VIANA et al., 2011).

Os dados de entrada do modelo se dão pela base de dados climatológicos e pela base de dados do processamento das imagens de satélite, tudo para o período de execução, assim, é obtida a cobertura efetiva de nuvens.

Após o tratamento dos dados de entrada, o modelo resolve a equação de transferência radiativa utilizando a aproximação de “Dois-Fluxos” para o cálculo das componentes do fluxo de radiação solar (MARTINS et al, 2004, PEREIRA et al, 2006, MARTINS et al 2007). O fluxograma de execução do modelo é observado na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Fluxograma dos procedimentos no modelo Brasil SR.



Fonte: Pereira et al (2017).

3.2 Etapas

3.2.1 Dimensionamento de UFV

Afim de se obter dimensionamento das UFV's, foram estabelecidos critérios para criação de quatro cenários que contemplam diferentes participação da geração fotovoltaica na geração total da UHE Sobradinho. Os cenários foram criados a partir da análise da base de dados de geração da UHE e foram definidos da seguinte forma:

- Cenário 1: Usina A – participação em 10% da energia assegurada da UHE Sobradinho, equivalente a 38,7 GWh/mês;
- Cenário 2: Usina B – geração de 25% da energia assegurada da UHE Sobradinho equivalente a 96,9 GWh/mês;
- Cenário 3: Usina C – geração de 50% da energia assegurada da UHE Sobradinho equivalente a 193,8 GWh/mês;
- Cenário 4: Usina D – geração de 100% da média mensal de eletricidade gerada pela UHE Sobradinho ao longo dos seus 26 anos de operação (1990-2015) equivalente a 309,6 GWh/mês.

A partir da base de dados de irradiação solar, foi estabelecida a média dos meses de setembro, outubro e novembro (SON) como a média mensal da irradiação solar global incidente para efeitos de dimensionar as UFV's simuladas.

Foram definidos valores de potência PV instalada por metro quadrado com base em valores típicos observados na atualidade para painéis fotovoltaicos baseados em silício policristalino. Foram realizadas verificações com três valores diferentes de potência, uma vez que a tecnologia tem avançado e os painéis se tornam mais potentes; porém, os custos de aquisição também aumentam.

Para, enfim, estabelecer dimensionamento das UFV's, foi utilizada uma adaptação da equação descrita por Lorenzo (2002), demonstrada pela Equação 3.1.

$$E_{ac} = P^* \cdot \frac{G_{daeff}}{G^*} \cdot P_R \cdot F_S \quad (3.1).$$

Onde:

E_{ac} representa a energia mensal gerada pelo sistema fotovoltaico por unidade de área (Wh/m²);

G_{daeff} representa a média mensal da irradiação solar global incidente na superfície horizontal (kWh/ m²);

G^* representa a irradiância solar global de referência para potência nominal do sistema fotovoltaico (em kW/ m²), normatizado em 1 kW/ m²;

P^* representa a potência PV instalada por metro quadrado (Wp/m²);

P_R é o fator adimensional que representa a eficiência de desempenho do sistema, sendo o valor 0,75 utilizado na literatura de forma conservativa;

F_S representa o fator adimensional que caracteriza a perda por sombreamento para o qual foi adotado o valor 1 (hum) assumindo a hipótese de que não haverá perdas por sombreamento.

O cálculo se deu a partir da Equação 3.1, utilizando no valor da média mensal da irradiação solar global incidente (G_{daeff}), a média dos meses de SON; e para a potência PV instalada por metro quadrado (P^*), foram utilizados os valores previamente definidos (130 Wp/m², 165 Wp/m² e 180 Wp/m²).

Dessa forma o valor da energia mensal gerada pelo sistema fotovoltaico por unidade de área (E_{ac}) foi obtido. A partir desse valor, calculou-se a área necessária para geração da participação de energia estabelecida para cada cenário.

3.2.2 Simulação de Geração das UFV

Obtido o dimensionamento da área necessária para cada um dos cenários foi possível simular a geração de cada UFV.

Através da aplicação da Equação 3.1, calculou-se a energia mensal gerada pelo sistema fotovoltaico por unidade de área (E_{ac}), utilizando a base de dados mensais de irradiação dos dez anos (2006 a 2015), aplicados ao termo que representa a média mensal da irradiação solar global incidente na superfície horizontal (G_{daeff}) e, os valores estabelecidos da potência PV instalada por metro quadrado (P^*).

A partir daí foi utilizada a Equação 3.2, para

$$G_{UFV} = E_{ac} \cdot \text{Área}_{UFV} \quad (3.2)$$

Onde:

G_{UFV} representa a geração mensal de energia da UFV (GWh/mês);

E_{ac} representa a energia mensal gerada pelo sistema fotovoltaico por unidade de área (Wh/m^2);

Área_{UFV} representa a área da UFV (m^2).

Os valores das áreas obtidos para cada UFV na etapa anterior foram aplicados ao termo que representa a área ($Área_{UFV}$) e foi obtido o que cada uma geraria de energia mensalmente.

3.2.3 Água Acumulada no Reservatório

Nos anos de 2013 a 2015 foi registrado o maior déficit hídrico na região do reservatório de Sobradinho, com isso, entender se o reservatório de Sobradinho seria capaz de apresentar volume de água diferenciado com a presença das UFV's torna-se uma informação relevante.

Para se obter o volume de água acumulado, foi necessário obter o volume de água necessário que a UHE Sobradinho necessita para gerar 1MWh de potência, tal valor foi cedido pela CHESF.

Através dos valores de geração mensal de energia de cada cenário, foi possível obter o volume de água que poderia não ter sido utilizado para geração através da hidrelétrica e assim, ter mantido o reservatório com um volume maior para os outros usos necessários da água.

3.2.4 Quantificação das Emissões de CO₂

No presente estudo, os cenários de emissão de gases de efeito estufa evitados foram realizados considerando que o incremento de geração devido a presença da planta fotovoltaica operando em Sobradinho em conjunto com a usina hidrelétrica foi abatido na contribuição da energia gerada por usinas térmicas alimentadas por quatro combustíveis diferentes, carvão, óleo, diesel e gás natural.

Os cálculos foram desenvolvidos com base em fatores de emissão e eficiência apresentados em Santos et al. (2006), expostos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Fator de emissão de gases de efeito estufa em centrais termelétricas e eficiência na geração de eletricidade

<i>Combustível</i>	<i>Fator de emissão (tC/MWh)</i>	<i>Eficiência (%)</i>
<i>Carvão</i>	0,9288	37
<i>Diesel</i>	0,7596	30
<i>Óleo</i>	0,7272	30
<i>Gás natural</i>	0,5508	30

Fonte: Santos et al. (2006)

O cálculo para quantificar a emissão de carbono evitada, foi adaptado de Santos et al. (2006), e é apresentado através da Equação 3.2.

$$E_{CO_2} = \frac{PV.F}{e} \quad (3.2).$$

Onde:

E_{CO_2} representa a emissão de CO₂ evitada (tCO₂/ano)

PV representa a geração anual fotovoltaica de energia (MWh).

F representa fator de emissão de carbono associado a cada combustível (tCO₂/MWh)

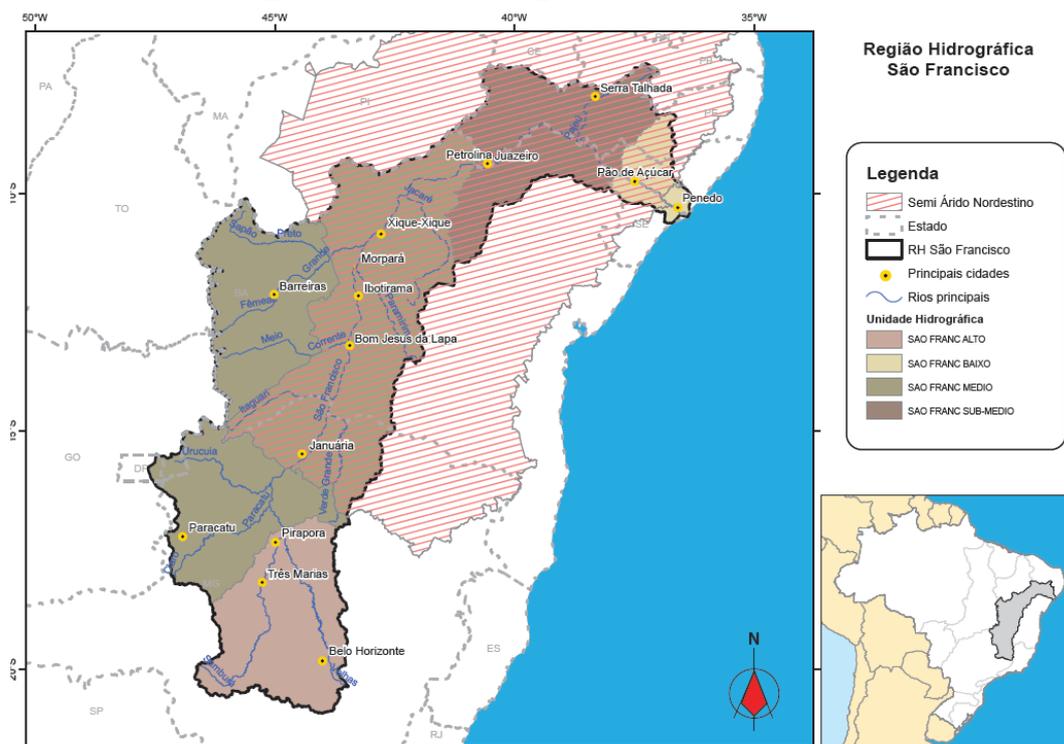
e é o fator de eficiência da tecnologia associado a cada combustível.

4. BACIA DO SÃO FRANCISCO

A bacia do São Francisco possui 638.466 km² de área que corresponde a 7,5% do território brasileiro. A área possui 503 municípios (GODINHO; GODINHO, 2003; ANA, 2017), englobando parte do Semi-Árido Nordestino. Como é mostrado na Figura 5.1, a Bacia do São Francisco abrange sete das vinte e sete unidades da federação: Bahia (48,1% da área da bacia), Minas Gerais (36,9%), Pernambuco (10,9%), Alagoas (2,3%), Sergipe (1,1%), Distrito Federal (0,2%) e Goiás (0,5%) (ANA, 2004).

Ela é ainda dividida em quatro unidades hidrográficas - São Francisco Alto (16% da bacia), São Francisco Médio (63% da bacia), São Francisco Sub-Médio (17% da bacia) e São Francisco Baixo (4% da bacia) – sendo esta divisão baseada nas características físicas dos ambientes percorridos e para fins de planejamento (ANA, 2004).

Figura 4.1: Bacia hidrográfica do São Francisco.



Fonte: ANA (2015).

A região da Bacia do São Francisco tem em seu histórico registros de extremos de seca e também de cheias. Aproximadamente 57% do semiárido estão compreendido nesta bacia (ANA, 2015), e está sujeito a períodos críticos de seca devido às prolongadas estiagens. Já a porção que compreende a região metropolitana de Belo Horizonte, no São Francisco Alto, é caracterizada por enchentes frequentes (ANA, 2017). ANA (2017) também afirma que o potencial hidrelétrico da Bacia do São Francisco é de 10.473MW e são os reservatórios das usinas de Três Marias e Sobradinho fundamentais para a regularização das vazões do São Francisco.

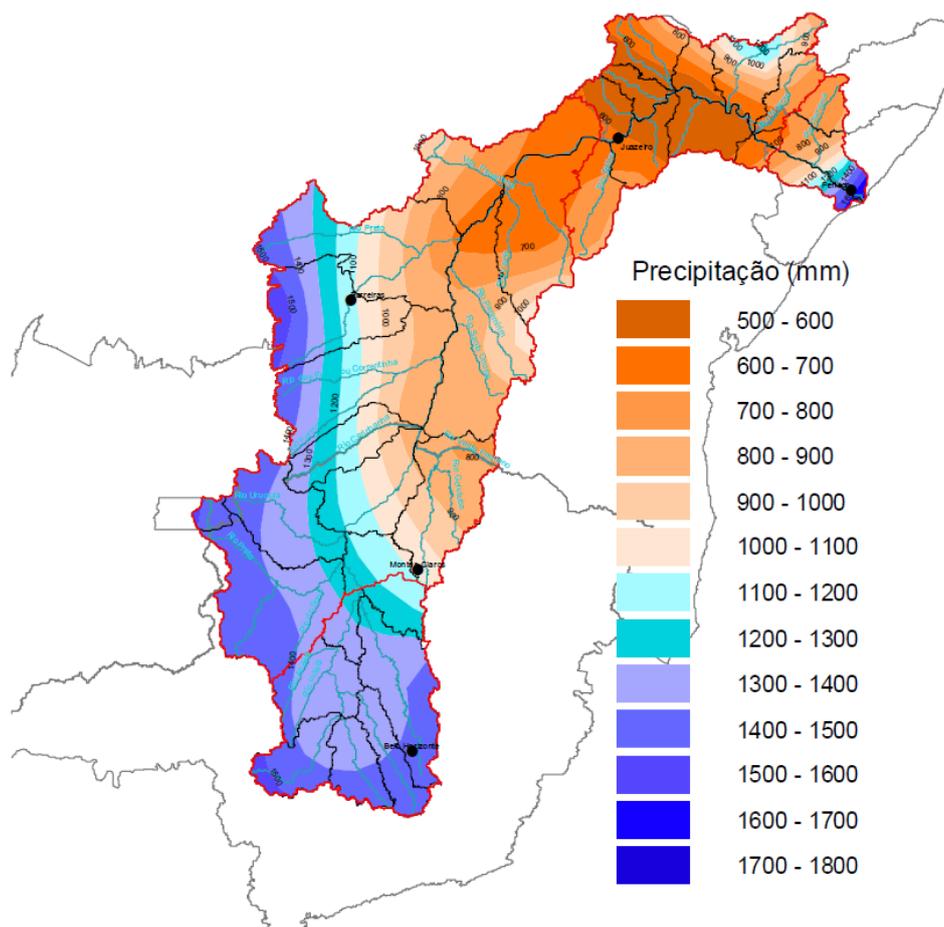
O uso da água se faz de diferentes maneiras na região. Além do consumo humano, animal e da geração de energia elétrica, a irrigação, a pesca e aquicultura, o saneamento, a navegação, as atividades turísticas e o lazer fazem parte dos usos múltiplos da água, sendo o seu adequado planejamento de gestão um dos maiores desafios da atualidade (ANA, 2004, 2015, 2017). Temas como a baixa oferta hídrica; os eventos extremos de seca e o abastecimento urbano; a alta demanda de irrigação e o potencial energético, além da navegação, vêm sendo discutidos constantemente, tanto pela comunidade científica como nas esferas das políticas públicas.

4.1 Precipitação

Segundo ANA (2004), a normal climatológica da precipitação média anual na Bacia do São Francisco é de 1036mm. Entretanto, possui uma alta variabilidade espacial, desde valores menores que 500mm no Semiárido - mais especificamente no São Francisco Sub-Médio, entre Sobradinho (BA) e Xingó (BA) - até valores maiores que 1800mm na região do São Francisco Alto, onde verificam-se as nascentes do rio e também no São Francisco Baixo. A Figura 4.2 mostra os valores das normais climatológicas, de 1961 a 1990, na bacia.

De acordo com ANA e CGEE (2012), o resultado do balanço entre precipitação e evapotranspiração e, a irregularidade da distribuição temporal das chuvas, resultam no elevado déficit hídrico na região do semiárido nordestino.

Figura 4.2 – Precipitação média anual na Bacia do São Francisco (1961 – 1990).



Fonte: ANA (2004).

O posicionamento da Bacia do São Francisco a submete à influência de diversos fenômenos meteorológicos. Segundo Costa (2006), a região é bastante afetada por mudanças nas configurações da circulação atmosférica de grande escala, MOLION E BERNARDO (2002), afirmam que fenômenos de grande escala são responsáveis por 60% a 80% da precipitação observada na região.

As anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Atlântico (MOURA; SHUKLA, 1981), estão associadas a secas quando positivas ao norte do Equador e anos chuvosos quando negativas ao norte do Equador e positivas ao sul (HASTENRATH, HELLER, 1977).

El Niño e Oscilação Sul (KOUSKY; CAVALCANTE, 1984), alteram o regime de precipitações na região no São Francisco Alto com altas precipitações, porém no São Francisco Baixo há o registro de baixas precipitações, o comportamento contrário ocorre em anos com ocorrência de La Niña (GALVINCIO et al, 2006).

As possíveis penetrações da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (KOUSKY, 1988; NOBRE, 1988), fenômeno de escala intrasazonal, ocorrem durante o verão, na primavera esporadicamente (SEABRA, 2004), atuam no São Francisco Alto e São Francisco Médio, permanece estacionário por vários dias causando precipitação contínua ou intensa.

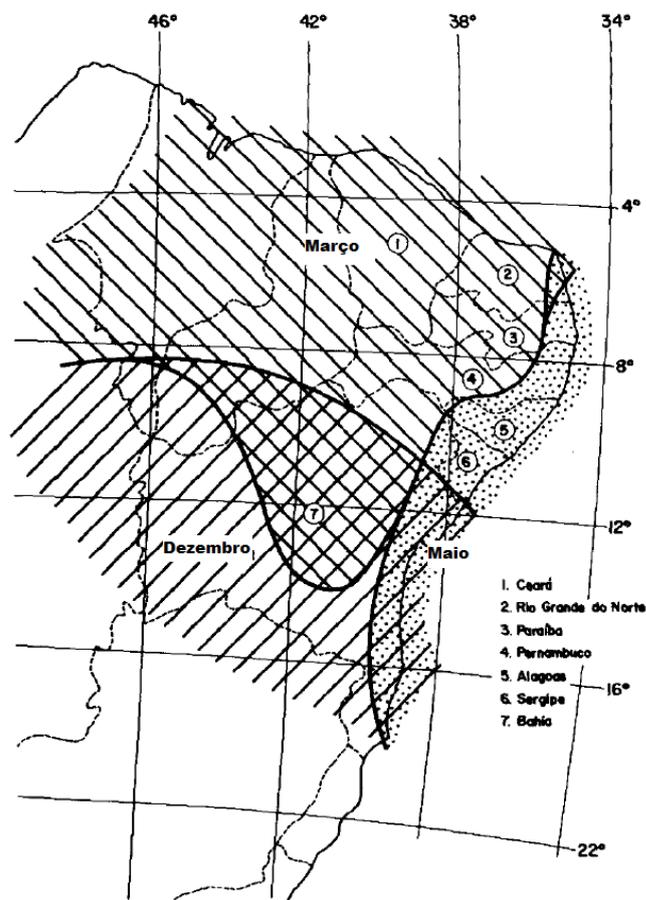
Ainda com relação a variabilidade intrasazonal, a precipitação na região tem relação com as frentes frias (KOUSKY, 1979), vórtices ciclônicos nos altos níveis (VCAN) (KOUSKY; GAN, 1981), brisas marítimas e terrestres (KOUSKY; ELIAS, 1982) e distúrbios de leste (YAMAZAKI; RAO, 1977).

Na região do São Francisco Alto e parte do São Francisco Médio, entre Minas Gerais, parte da Bahia e extremo sudoeste de Pernambuco, tem os sistemas frontais semi-estacionários, sistemas pré-frontais e convecção local como principais mecanismos atuando (COSTA, 2006).

No São Francisco Baixo, na faixa costeira, foz do rio, as brisas marítimas e terrestres e distúrbios de leste, estão associados com os índices pluviométricos apresentados na região, de 1600 mm a 1800 mm.

A Figura 4.3, apresenta a distribuição quanto ao regime de precipitação do NEB, onde está inserida boa porção da Bacia do São Francisco.

Figura 4.3 - Distribuição quanto ao regime de precipitação da região Nordeste do Brasil.



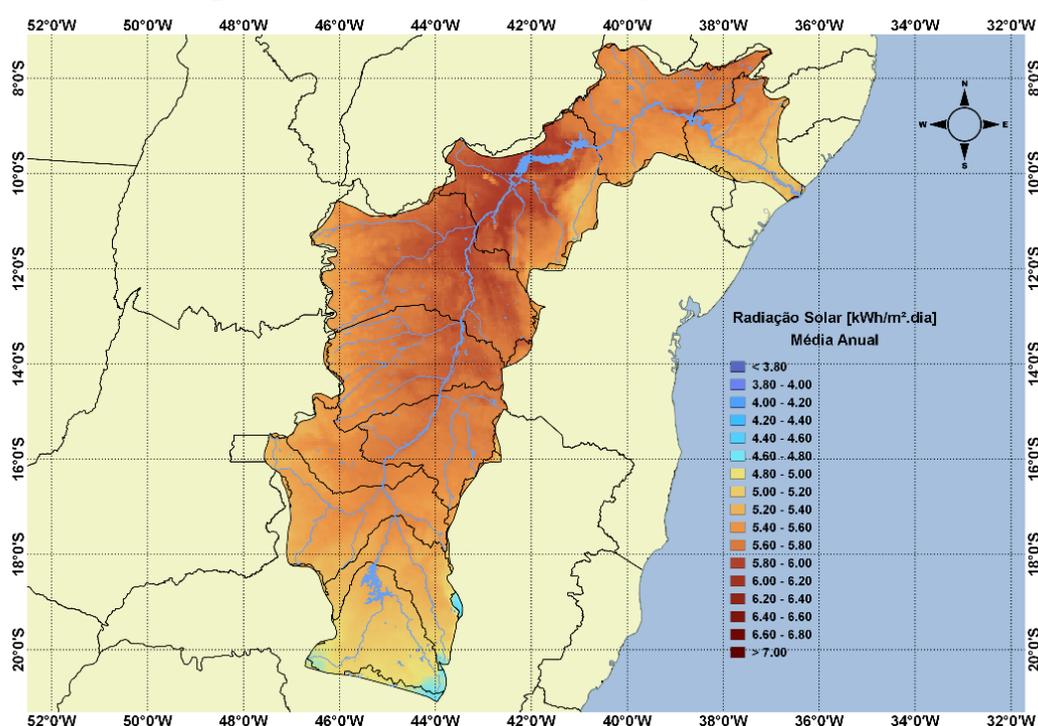
Fonte: Adaptado de Kousky (1979).

4.2 Irradiação

A Bacia do Francisco possui grande parte de sua área localizada no semiárido nordestino, região que apresenta elevados índices de irradiação solar. A Figura 4.4 apresenta a média anual da do total diário de irradiação solar na região da Bacia do São Francisco, gerada pelo modelo de transferência radiativa BRASIL-SR com base em dados de satélite coletados entre 1999 e 2015 (PEREIRA et al, 2017). Em especial no São Francisco Alto e Médio, a irradiação solar apresenta variabilidade de 4,6 kWh/m².dia à 7,00 kWh/m².dia, consequência da topografia local e de sistemas

atmosféricos atuantes na região já mencionados no tópico anterior. Nota-se que a região com maiores índices de radiação solar está localizada entre o São Francisco Médio e Submédio, tendo uma grande região do entorno do Lago de Sobradinho e registra índices maiores de 7,00 kWh/m².dia.

Figura 4.4 – Média anual da irradiação (kWh/m².dia).



Para o aproveitamento da radiação solar enquanto fonte energética, conhecer a variabilidade do recurso em uma escala sazonal é tão importante quanto quantificar o potencial de uma determinada região. A flutuação da irradiação solar pode ocorrer em diversas escalas, a presença da nebulosidade associada à estação chuvosa - em função da atuação de fenômenos meteorológicos - é de fundamental importância para estas análises, uma vez que a média anual não evidenciaria tais diferenças.

Nas Figuras de 4.5 a 4.8, verificam-se a variação da irradiação média para os trimestres dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), março, abril e maio (MAM), junho, julho e agosto (JJA) e setembro, outubro e novembro (SON), que compreendem respectivamente, ao verão, outono, inverno e primavera do Hemisfério Sul.

Figura 4.5 – Média sazonal da irradiação no verão (DJF).

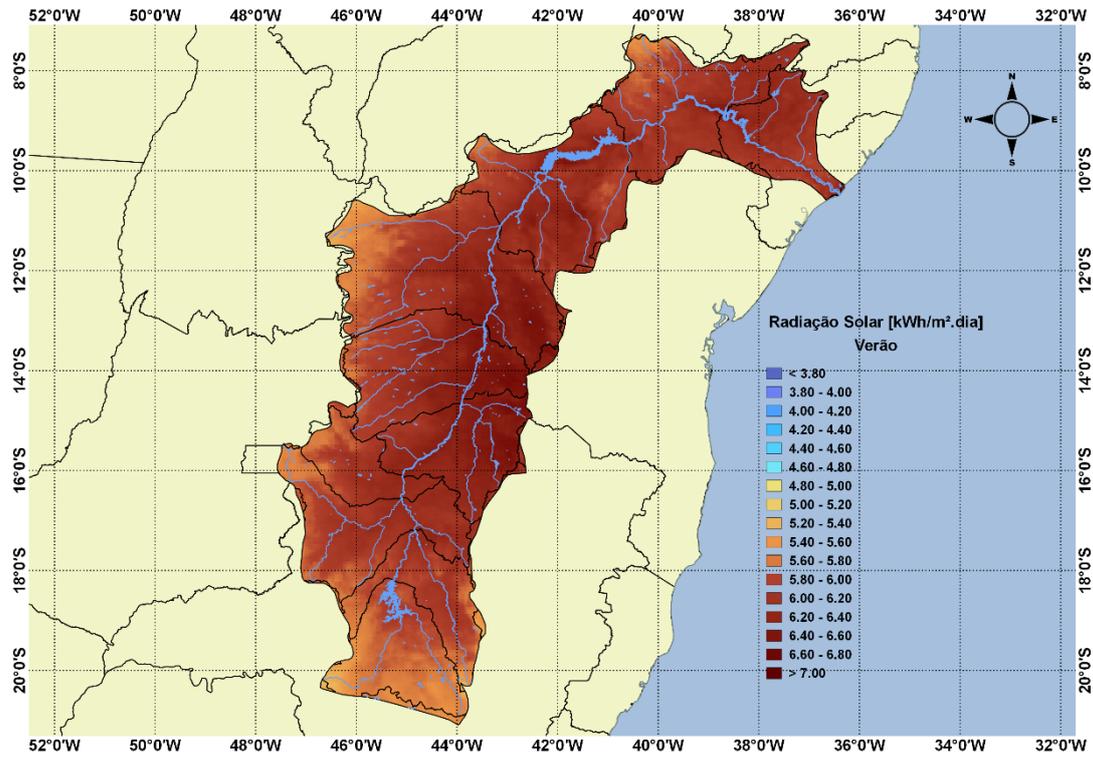


Figura 4.6 – Média sazonal da irradiação no outono (MAM).

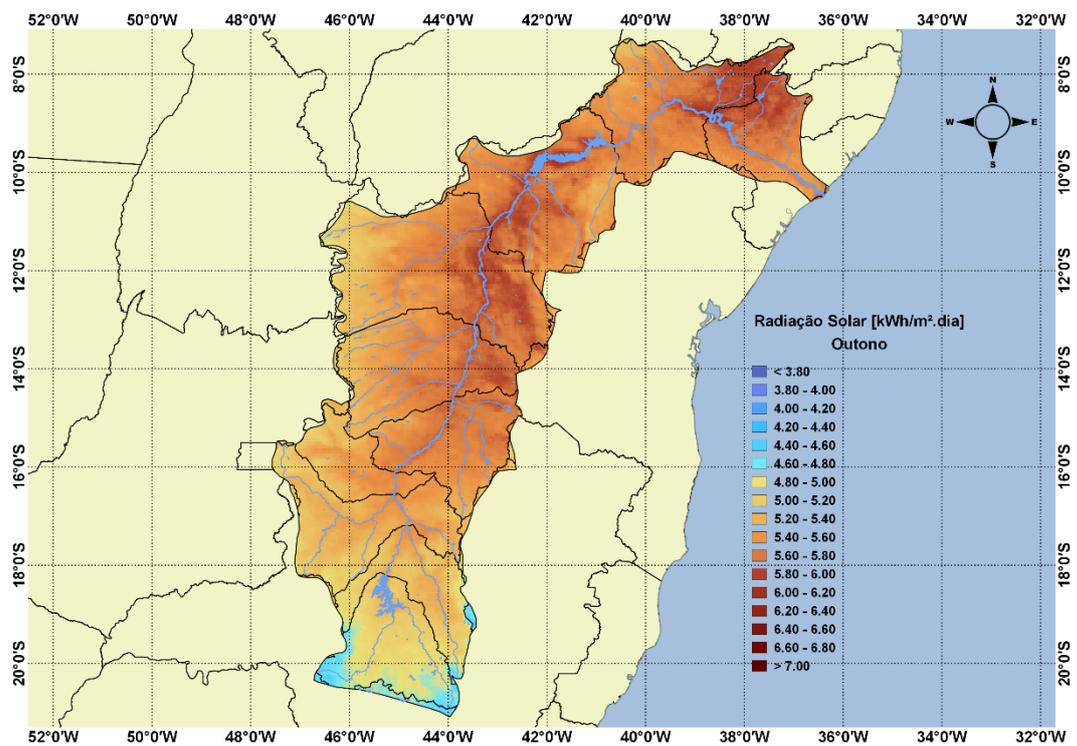


Figura 4.7 – Média sazonal da irradiação no inverno (JJA).

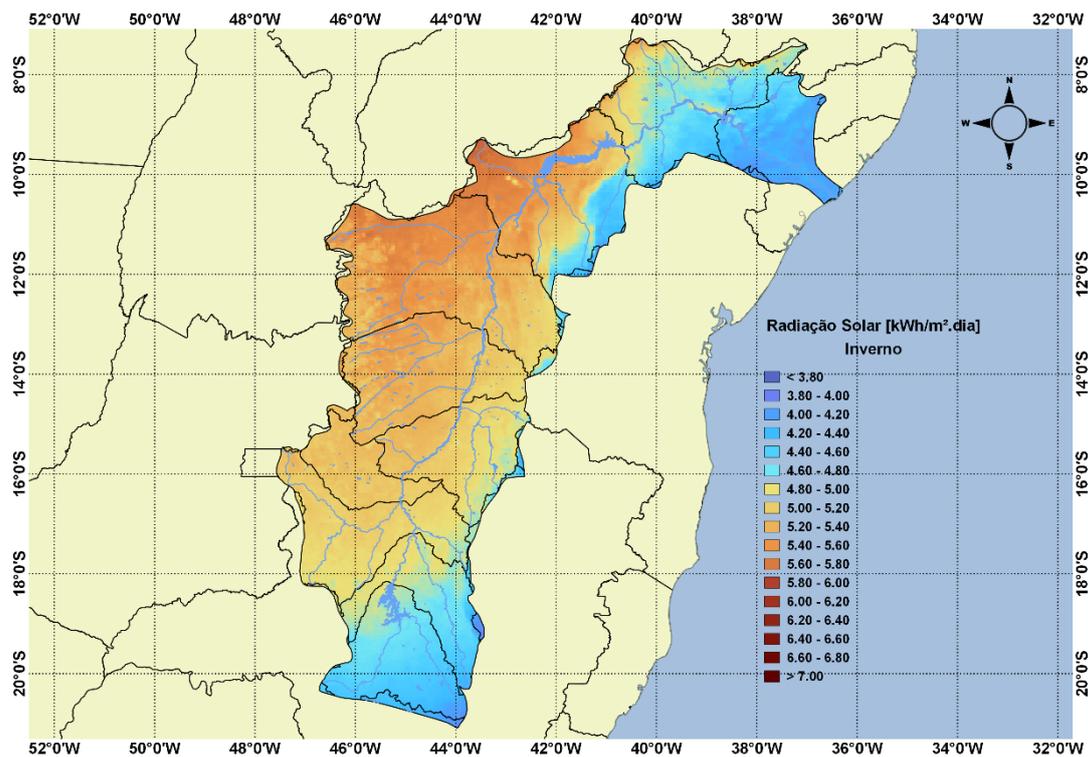
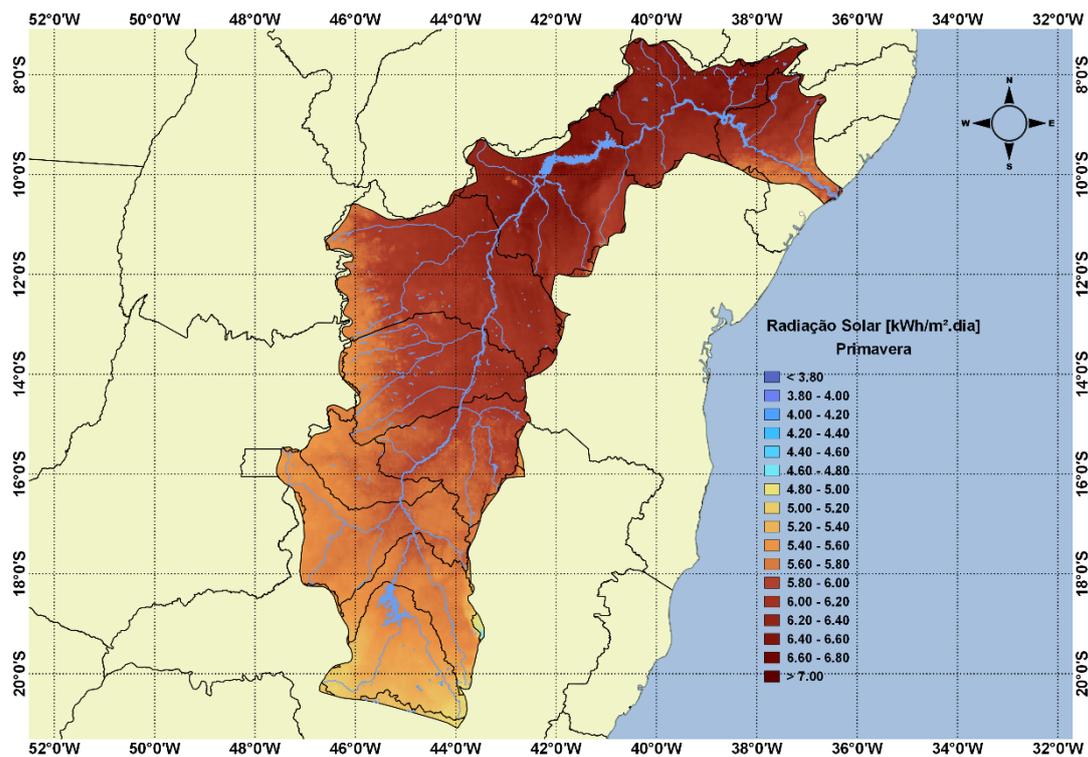


Figura 4.8 – Média sazonal da irradiação na primavera (SON).



Quando analisada sazonalmente, a região apresenta homogeneidade diante da análise anual, principalmente nos meses SON e DJF. Nas Figuras 4.5 a 4.8, observa-se também que os trimestres de primavera e verão apresentam os maiores valores médios sazonais de irradiação, com índices mínimos de 5,0 kWh/m².dia, numa pequena região do São Francisco Alto, na grande porção da Bacia, os menores valores de radiação solar são entre 5,8 e 6,0 kWh/m².dia - o que caracteriza o período seco. Como comparação, a Alemanha, observando a Figura 2.13, tem seu índice máximo ente 4,0 e 5,0 kWh/m².dia, o que denota a forte capacidade solar da região da Bacia do São Francisco. Os períodos de outono e inverno, apresentam os menores valores de irradiação solar e, mesmo mais baixo, são registrados 3,8 kWh/m².dia, numa pequena área, a região onde se localiza a UHE Sobradinho, o menor índice fica entre 5,0 e 5,2 kWh/m².dia, no período do inverno, JJA.

A radiação solar na região do estudo, diante do paradigma de combate e enfrentamento da seca, é encarada muitas vezes como um problema, já que castiga a produção e aumenta a evaporação o (NOBRE, 2017 – a ser publicado pelo IPEA). Um olhar diferenciado para tais características, inerentes à região, pode vir como uma solução de complementariedade do recurso hídrico, inclusive através da utilização do recurso solar enquanto fonte energética.

4.3 A Usina Hidrelétrica de Sobradinho

Entre os anos de 1973 e 1979 ocorreu a crise mundial do petróleo, que afetou o ritmo econômico do país; naquele momento, o Brasil registrou valores elevados de taxa de crescimento. Assim, a garantia de suprimento de energia passou a tomar destaque, visando garantir a independência energética nacional dos riscos associados ao consumo de derivados de petróleo. A crise forçou a diversificação da matriz energética do país, que passou a investir recursos financeiros em duas fontes de energia renováveis – hidroeletricidade e etanol (PIMENTEL, 2011). O II Plano Nacional de

Desenvolvimento, lançado em 1974, estabeleceu prioritariamente o investimento em grandes empreendimentos. Assim investiu-se na implementação de hidrelétricas como Sobradinho (MORETTO et al., 2012).

A Usina Hidrelétrica de Sobradinho está instalada no Rio São Francisco, principal rio da Região Nordeste, a 748km da sua foz, nos municípios de Sobradinho e Casa Nova (latitude $9^{\circ} 35' S$ e longitude $40^{\circ} 50' O$), na Bahia. A Figura 4.9 apresenta a localização, uma foto ilustrativa e visão do lago de Sobradinho e seu entorno.

Figura 4.9 – Localização da UHE Sobradinho e seu reservatório.



Fonte CHESF (2017) e GOOGLE (2017).

Segundo a CHESF (2017), a navegação na região tem continuidade a partir de uma eclusa, com uma câmara de 120m de comprimento e 17m de largura, propriedade da Companhia Docas do Estado da Bahia (CODEBA). Através da eclusa, é possível vencer o desnível de 32,5m criado pela existência da barragem.

4.3.1 Geração

A UHE Sobradinho totaliza uma potência instalada de 1.050.000 kW, com a energia assegurada é de 531 MWmédio. (ANEEL, 2005) define energia assegurada como:

“A energia assegurada do sistema elétrico brasileiro é a máxima produção de energia que pode ser mantida quase que continuamente pelas usinas hidrelétricas ao longo dos anos, simulando a ocorrência de cada uma das milhares de possibilidades de sequências de vazões criadas estatisticamente, admitindo certo risco de não atendimento à carga, ou seja, em determinado percentual dos anos simulados, permite-se que haja racionamento dentro de um limite considerado aceitável pelo sistema. Na regulamentação atual, esse risco é de 5%.

Desse modo, a determinação da energia assegurada independe da geração real e está associada às condições, a longo prazo, que cada usina pode fornecer ao sistema, assumindo um critério específico de risco do não atendimento do mercado (déficit), considerando principalmente a variabilidade hidrológica à qual a usina está submetida. Nos cálculos das energias asseguradas, são desconsiderados os períodos em que a usina permanece sem produzir energia por motivo de manutenções programadas e paradas de emergência.

Considera-se energia assegurada de cada usina hidrelétrica, a fração, a ela alocada, da energia assegurada do sistema (ANEEL, 2005).”

A Usina Hidrelétrica de Sobradinho contribuiu com cerca de 7% de toda geração da Região Nordeste e 1% da geração do SIN, entre os anos de 2002 e 2015, como pode ser visto na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Contribuição da UHE Sobradinho para o SIN e para o NE, por ano (2002 – 2015).

Contribuição de Sobradinho (ao SIN e NE) %														
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
SIN	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.3	0.8	1.0	0.9	0.9	0.9	0.6	0.6	0.4
NE	7.2	7.4	8.3	8.7	8.5	8.7	7.4	8.2	8.2	8.0	8.0	7.6	7.5	6.4

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da CHESF e ONS (2016).

A geração média de 26 anos (2006 – 2015) da UHE Sobradinho foi de 3715,23 GWh. O gráfico apresentado na Figura 4.10 apresenta a geração total anual entre os anos de 1990 e 2015, destacando este valor médio anual como referência. A maior geração total anual se deu em 2007, quando foi gerado 5141,2 GWh e, a mínima foi no ano de 2015, com um total de 1683,9 GWh, o que representa uma diferença de 67%.

Em 10 anos, a geração esteve abaixo da sua média anual. Entretanto, afirmar que estes valores estão relacionados com situações de déficit hídrico, só é possível diante da análise de características específicas do reservatório.

Na Figura 4.11 é apresentado o gráfico com a geração mensal da UHE Sobradinho, dos anos de 1990 até 2015, a média mensal da geração e a energia assegurada da usina. Tomando como referência o valor médio anual de geração de 3715,23 GWh, verifica-se um valor médio mensal de 309,6 GWh. Sendo assim, em 52,9% dos meses a geração foi acima do valor médio mensal de referência em 82,7% a geração ficou abaixo da energia assegurada da usina.

Já o fator de capacidade¹ da UHE Sobradinho para o período entre 1990 e 2015 é apresentado na Figura 4.12. O fator de capacidade médio de 26 anos foi 40,4% e em toda a série, a UHE Sobradinho não houve fator de capacidade maior que 56%.

¹ “Fator de Capacidade representa a proporção de energia efetivamente gerada em função da capacidade instalada.” (MELO, 2013).

Figura 4.10 – Geração anual da UHE Sobradinho (1990 – 2015).

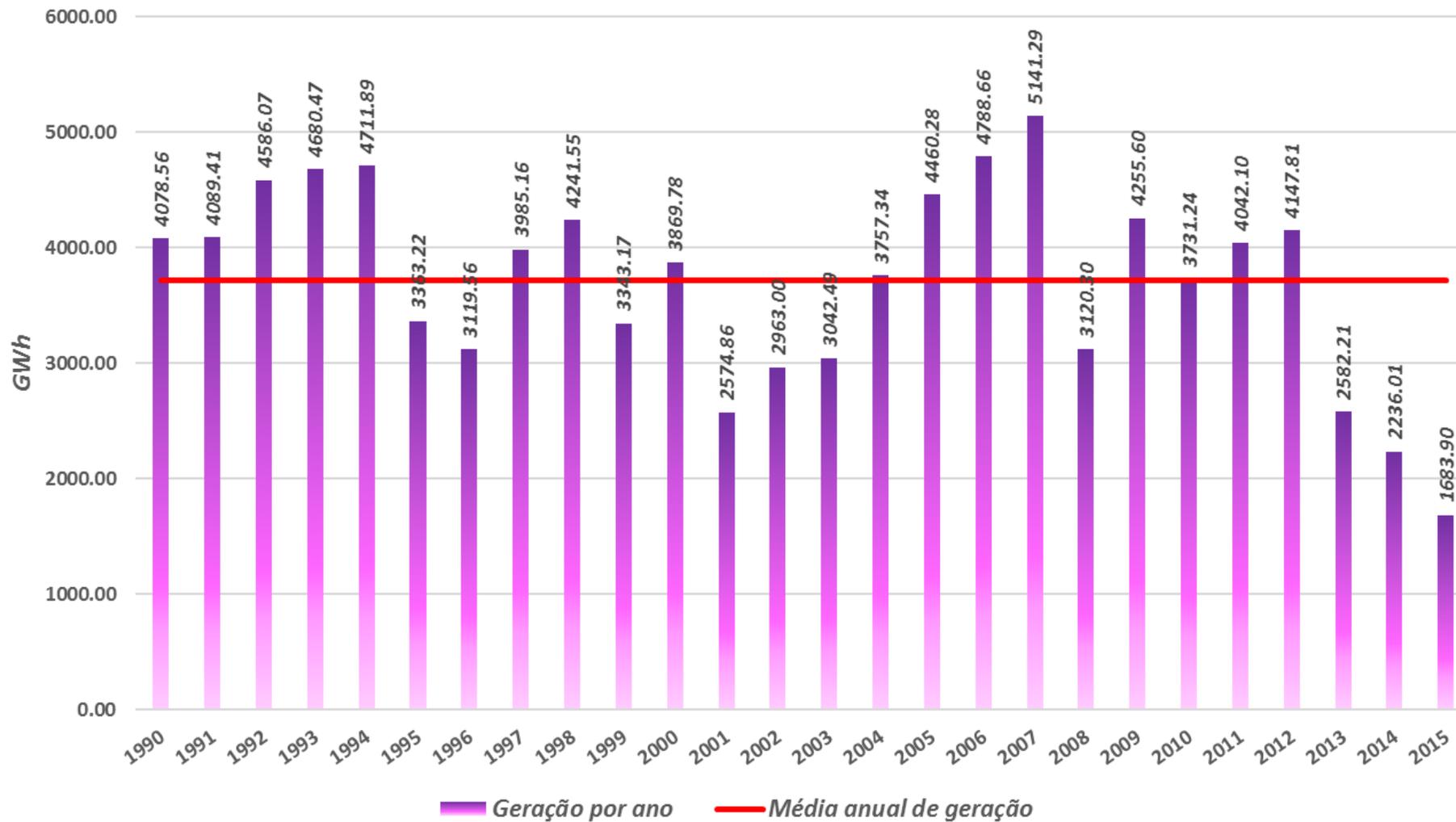


Figura 4.11 – Geração mensal de 26 anos da UHE Sobradinho (1990 – 2015), média mensal de geração e energia assegurada.

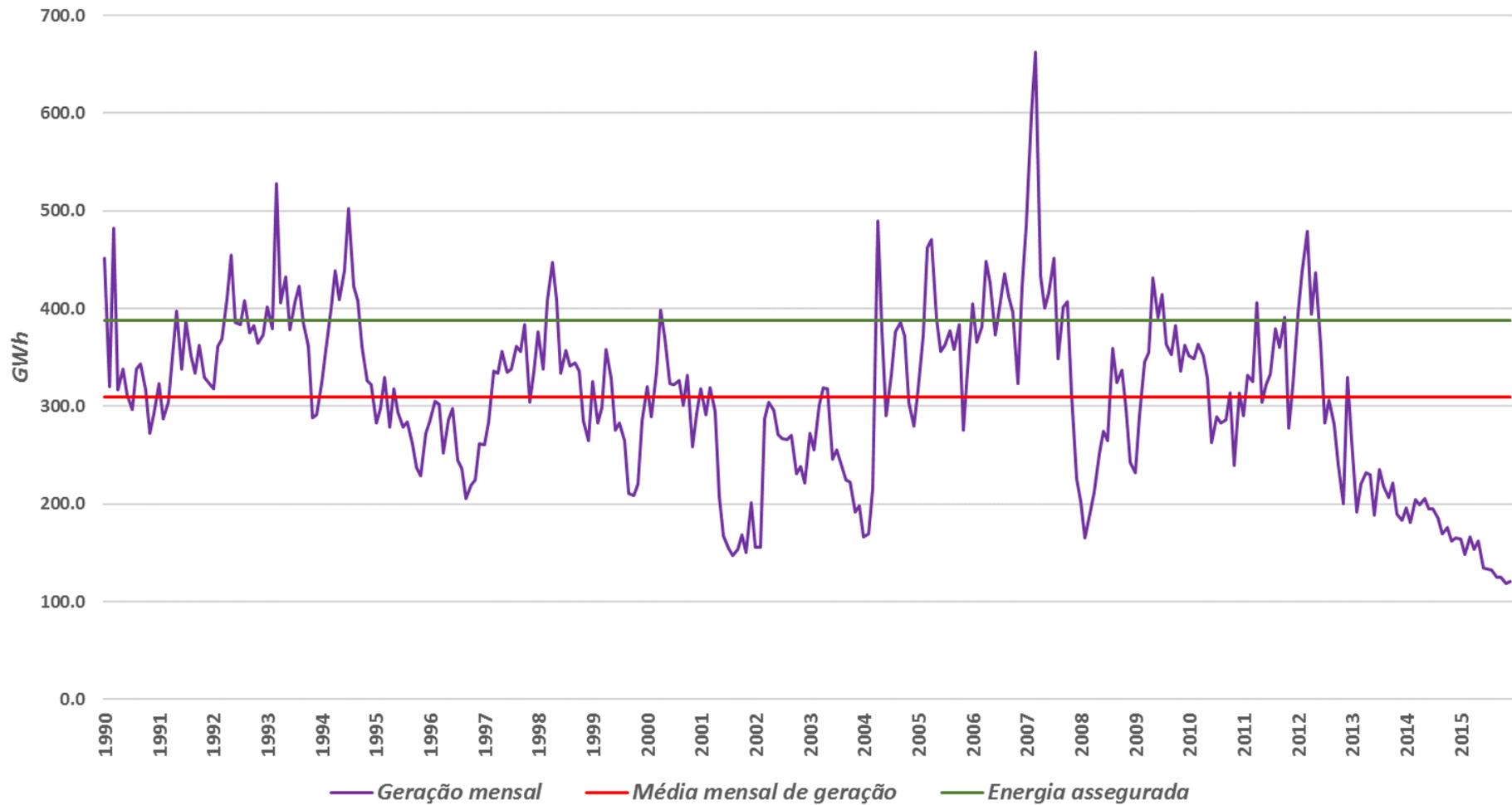
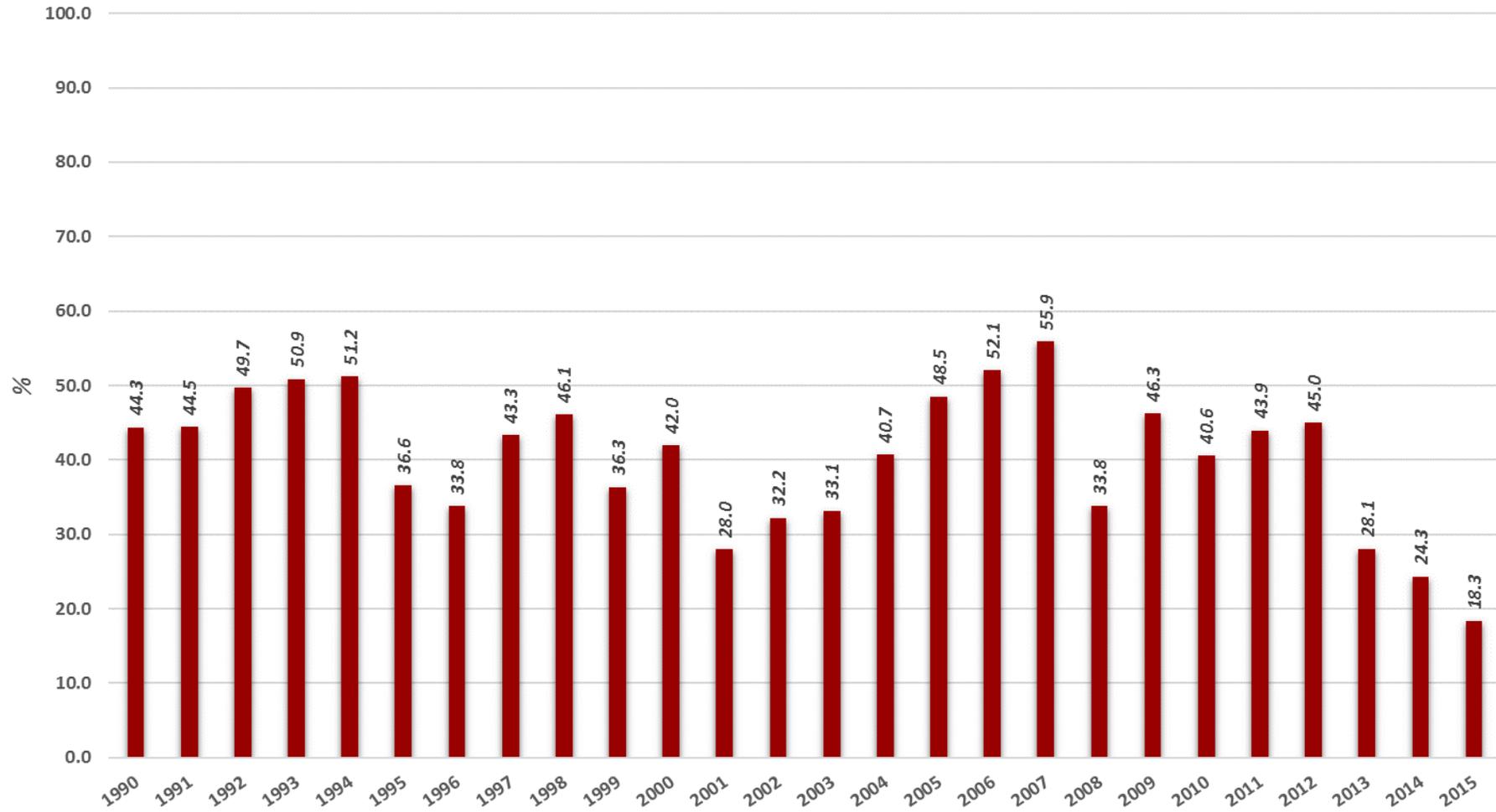


Figura 4.12 – Fator de capacidade de cada ano, entre 1990 e 2015 da UHE Sobradinho.



4.3.2 O Reservatório da UHE Sobradinho.

O reservatório da UHE Sobradinho tem cerca de 320km de extensão. Sua superfície de espelho d'água é de 4214 km², com capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de metros cúbicos em sua cota nominal de 392,5m. Ele ainda funciona como regularizador de vazão para as UHE's a jusante, portanto tem um importante papel para geração elétrica na região.

Porém, o reservatório não somente tem a função de gerar energia, mas também acabou por tornar-se a principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região (CHESF, 2017). A Tabela 5.2 apresenta os seus níveis e volumes característicos.

Tabela 4.2 – Níveis e volumes característicos do reservatório da UHE Sobradinho.

Reservatório de Sobradinho	
Nível mínimo operacional⁽ⁱ⁾	380,50 m
Nível máximo operacional⁽ⁱⁱ⁾	392,50 m
Nível máximo maximorum⁽ⁱⁱⁱ⁾	393,50 m
Volume total do reservatório^(iv)	34.116 Hm ³
Volume útil do reservatório^(v)	28.669 Hm ³

Fonte: CHESF (2016).

- (i) “Nível de água mínimo do reservatório para fins de operação normal da usina, definido através dos estudos energéticos, correspondendo ao nível que limita a parte inferior do volume útil.” (ANEEL, 2017).
- (ii) “Nível de água máximo no reservatório para fins de operação normal da usina, definido através dos estudos energéticos, correspondendo ao nível que limita a parte superior do volume útil.” (ANEEL, 2017).
- (iii) Nível admitido durante eventos de cheia, por um curto período de tempo. É a sobrelevação máxima

do nível de água. (LOPES; SANTOS, 2002; ANEEL, 2017a).

- (iv) Equivale a todo o volume do reservatório.
- (v) Parcela do volume do reservatório, que pode ser utilizada à operação do reservatório. Volume compreendido entre o nível mínimo operacional e o nível máximo operacional. (LOPES; SANTOS, 2002; ANEEL, 2017a).

O histórico do volume útil do reservatório de Sobradinho, de 1990 até 2015 é apresentado pela Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Histórico do volume útil do Sobradinho (1990 – 2015).

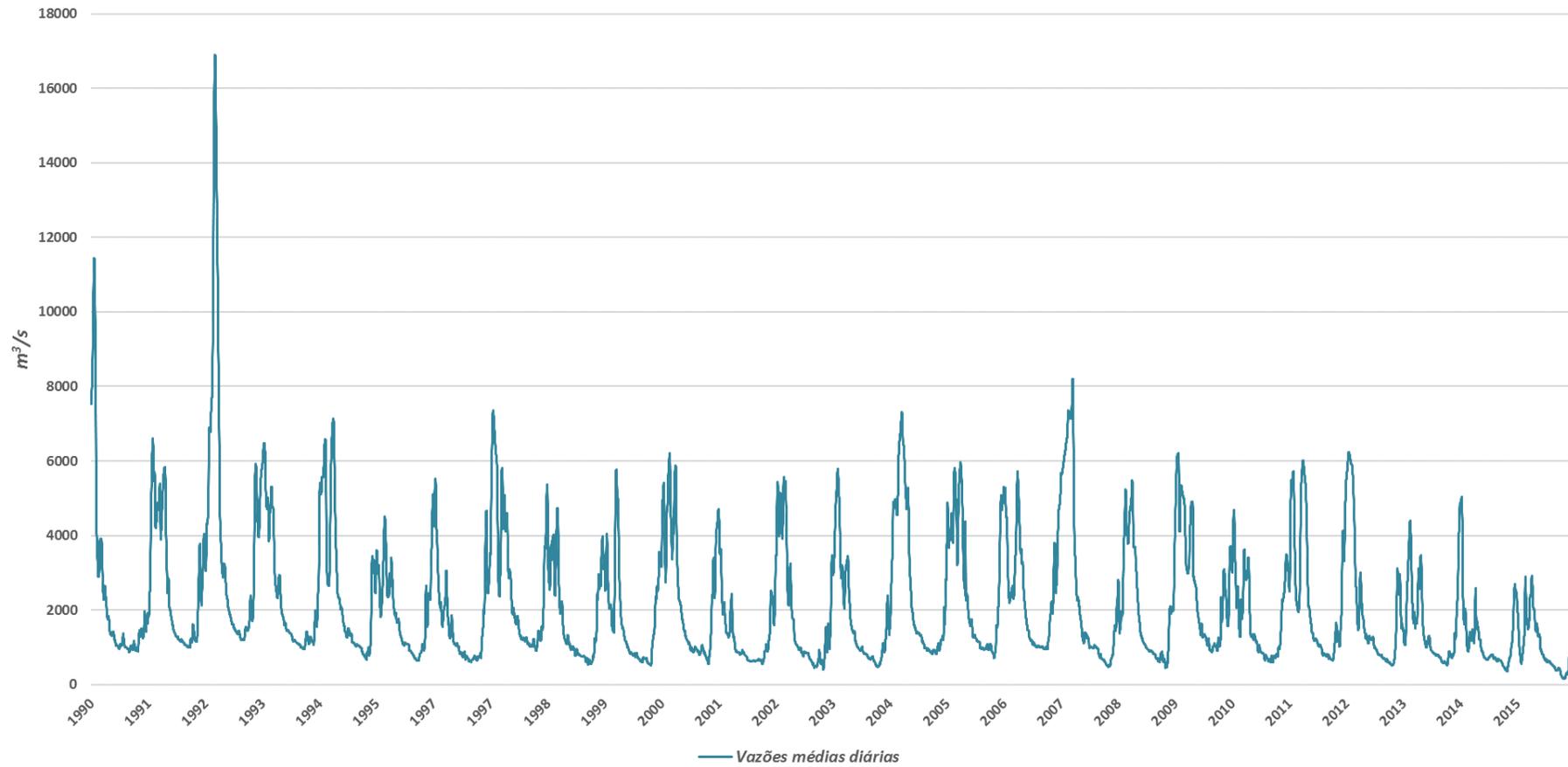
	<i>Janeiro</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Março</i>	<i>Abril</i>	<i>Mai</i>	<i>Junho</i>	<i>Julho</i>	<i>Agosto</i>	<i>Setembro</i>	<i>Outubro</i>	<i>Novembro</i>	<i>Dezembro</i>
1990	68.8	97.1	100.6	100.4	97.5	91.9	86.6	80.9	71.7	63.2	57.1	55.0
1991	54.6	69.3	82.3	95.9	99.6	97.5	89.7	81.4	73.5	65.6	59.5	66.8
1992	77.7	77.1	97.4	100.5	100.2	97.0	92.5	85.5	78.0	71.6	72.5	82.1
1993	80.9	94.8	99.0	98.7	94.3	87.5	79.0	67.7	55.6	44.1	36.0	33.4
1994	47.3	73.6	86.2	99.9	98.5	93.1	81.0	68.7	54.9	41.9	30.6	29.0
1995	38.6	41.9	46.8	51.3	51.6	47.5	42.7	36.6	28.9	22.4	19.1	23.7
1996	39.8	45.7	44.1	45.2	44.9	37.8	31.8	26.7	22.4	18.0	15.1	21.2
1997	34.4	58.6	69.3	89.2	99.5	99.5	96.7	92.2	85.8	78.2	73.4	74.2
1998	82.8	89.7	96.9	94.7	83.8	76.3	68.7	58.4	46.9	34.4	27.2	34.5
1999	44.6	45.3	48.4	57.6	49.6	43.4	36.1	28.6	21.5	16.6	12.2	14.3
2000	26.7	40.6	55.2	65.7	62.9	57.3	50.4	43.6	35.6	26.3	20.2	27.5
2001	41.7	40.4	36.4	31.3	25.9	22.6	20.0	16.8	13.0	8.1	5.8	8.9
2002	21.9	43.9	59.7	61.3	56.1	49.3	42.5	34.5	25.4	18.5	13.9	11.8
2003	19.7	37.9	43.6	49.5	47.1	42.2	37.6	31.1	24.9	17.9	12.8	11.2
2004	16.6	39.8	71.5	96.6	99.6	97.9	93.7	86.8	76.7	66.6	57.0	54.7
2005	63.8	78.5	89.1	99.4	99.0	95.0	87.4	79.0	68.8	56.1	47.5	55.9
2006	77.8	82.1	83.6	98.0	98.8	93.6	85.0	74.1	60.9	46.9	44.1	48.9
2007	66.8	81.0	90.4	98.7	94.4	85.5	73.6	62.5	49.5	34.2	18.7	13.9
2008	19.7	30.2	46.2	66.3	73.3	71.2	66.1	57.2	45.2	34.5	22.3	22.8
2009	38.8	62.0	78.2	91.4	99.6	95.6	86.9	78.2	70.7	62.9	62.5	64.1
2010	71.9	73.7	72.0	77.0	74.7	71.0	66.4	58.0	48.7	38.0	32.5	34.9
2011	44.1	54.4	57.9	78.0	86.1	83.4	78.1	69.1	58.0	46.7	38.2	41.3
2012	57.2	80.7	83.8	79.4	69.4	58.7	51.3	43.3	34.0	26.2	24.5	28.5
2013	24.9	32.9	37.9	42.7	47.9	46.9	44.6	39.0	33.5	27.1	22.3	24.7
2014	44.8	52.1	53.6	56.1	56.0	51.5	46.0	39.7	32.9	24.9	17.8	17.5
2015	20.4	17.1	18.0	20.9	21.4	20.4	18.0	14.5	10.4	6.2	2.5	1.7

Fonte: ANA (2016)

Durante os anos de 2013, 2014 e 2015, somente em quatro meses (fevereiro, março, abril e maio de 2014), o volume útil atingiu valores maiores que 50%. Durante os 26

anos analisados, não houve registros tão baixos quanto os de 2015. Naquele ano o volume útil não atingiu 21%. Em dezembro de 2015, o volume registrado foi de 487,37 Hm³, o que equivale a 1,2% do volume total do reservatório. O histórico de 1990 até 2015 das vazões médias diárias de Sobradinho é mostrado na Figura 4.13

Figura 4.13 – Histórico de vazões médias diárias de Sobradinho (1990 – 2015).



Fonte: ONS (2016).

Diante dos dados apresentados, pode-se perceber que houve déficit hídrico em diversos períodos, como entre os anos 1995 e 1996, entre 2001 e 2003 e o mais intenso se deu entre os anos de 2013 e 2015. O déficit hídrico se dá quando a vazão dos rios é inferior à necessária para atender aos seus usos.

A vazão regularizada em Sobradinho é de 2060 m³/s (CHESF, 2016). Segundo ANA, (2017), o patamar mínimo em situação de normalidade é de 1300 m³/s, porém em 2015, por solicitação do ONS de autorização para flexibilidade da regra de descarga mínima da região, a vazão chegou a 800 m³/s.

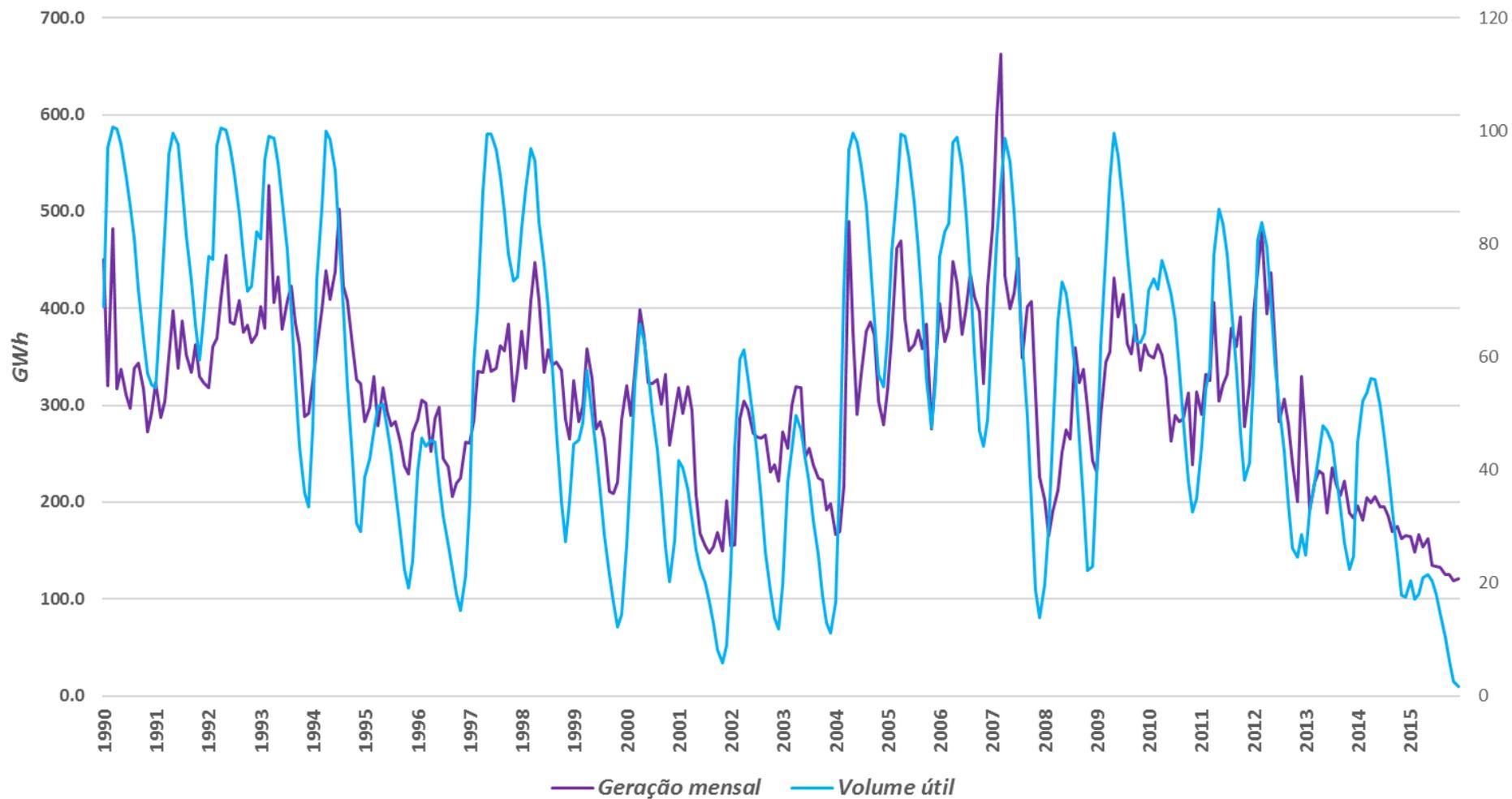
A Figura 4.14 apresenta a série temporal da geração de eletricidade e o volume útil, no período de 1990 a 2015. Fazendo uma análise entre os dados de geração e do volume útil da UHE Sobradinho, pode-se observar uma forte correlação entre as duas variáveis, de 0,76. Ou seja, a geração da UHE Sobradinho foi diretamente afetada nos períodos de déficit hídrico, tendo conseqüentemente seu fator de capacidade reduzido.

A Tabela 4.4 mostra o fator de capacidade dos períodos de crise hídrica. Pode-se verificar, mais uma vez, a magnitude do último evento de crise hídrica, com considerável diferença nos fatores de capacidade de cada período. Importante mencionar o fator de capacidade do ano de 2015, apresentado na Figura 4.11, de 18,3%. Neste mesmo ano, o mês de dezembro teve um volume útil registrado de 1,7% e a vazão média do mesmo mês foi de 1078 m³/s, que são valores preocupantes para a região.

Tabela 4.4 – Fator de Capacidade em períodos de crise hídrica.

<i>Período</i>	<i>Fator de capacidade</i>
<i>1995-1996</i>	35,2%
<i>2001-2003</i>	31,1%
<i>2013-2015</i>	23,6%

Figura 4.14: Série histórica da evolução temporal da fração do volume de água armazenada no reservatório em relação ao volume útil do reservatório e da geração mensal na UHE Sobradinho, entre 1990 e 2015.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de CHESF (2016) e ANA (2016).

4.3.2.1 Uso Múltiplo da Água do Reservatório de Sobradinho

Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF, 2013), os conflitos pelos usos múltiplos da água estão ligados às atividades de atendimento ao abastecimento humano, agricultura irrigada, geração de energia, navegação, diluição de efluentes urbanos, industriais e da mineração e ainda a manutenção dos ecossistemas.

A quantificação das demandas do reservatório de Sobradinho, são as apresentadas na Tabela 4.5, diante dos dados apresentados por Medeiros et al. (2016).

Tabela 4.5 – Demandas do Lago de Sobradinho.

<i>Demandas Sobradinho (m³/s)</i>							
<i>Indústria</i>	<i>Abastecimento público</i>	<i>Termelétrica</i>	<i>Irrigação</i>	<i>Aquicultura</i>	<i>Outro</i>	<i>Criação de animal</i>	<i>Mineração</i>
1,278	2,153	0,144	96,013	0,004	0,057	0,008	1,606

Fonte: Medeiros et al. (2016).

Percebe-se que a irrigação é, com grande diferença, a atividade que apresenta maior demanda dentre aquelas mencionadas, quase 95% da vazão de consumo é devido a irrigação. No caso da mineração, o uso se dá para abastecimento de mina de cobre, da Mineração Caraíba, localizada a aproximadamente 80 km do Lago de Sobradinho, no município de Caraíba (BA). A água do reservatório é ainda utilizada para abastecer a Usina Termelétrica Petrolina, da Companhia Energética de Petrolina (CEP).

Na região do Lago de Sobradinho, mais precisamente a margem esquerda do Rio São Francisco, estendendo-se do município de Casa Nova (BA) até o município de Petrolina (PE), localiza-se o Perímetro de Irrigação Senador Nilo Coelho (PISNC), apresentado na Figura 4.15, que tem a gestão do fornecimento de água feita pelo Distrito Irrigado Nilo Coelho (DINC).

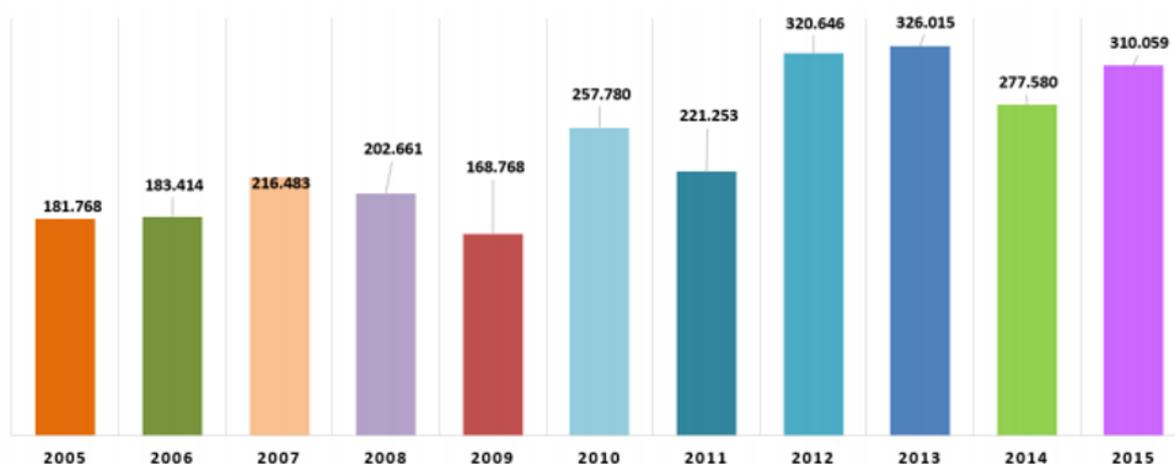
Figura 4.15 – Localização do Perímetro Senador Nilo Coelho



Fonte: DINC (2017).

A área irrigável do Distrito é de aproximadamente 23000 hectares e as culturas mais produzidas são manga, uva e coco. Somadas, ocupam aproximadamente 72% da área, que já possui a maioria da produção de ordem frutífera (DINC, 2017). A Figura 4.16 mostra a evolução do volume bombeado anual, de 2005 a 2015, em mil m³; a fonte hídrica do PISNC é o reservatório da UHE Sobradinho.

Figura 4.16 – Evolução do volume bombeado (Mil m³).



Fonte: DINC (2016).

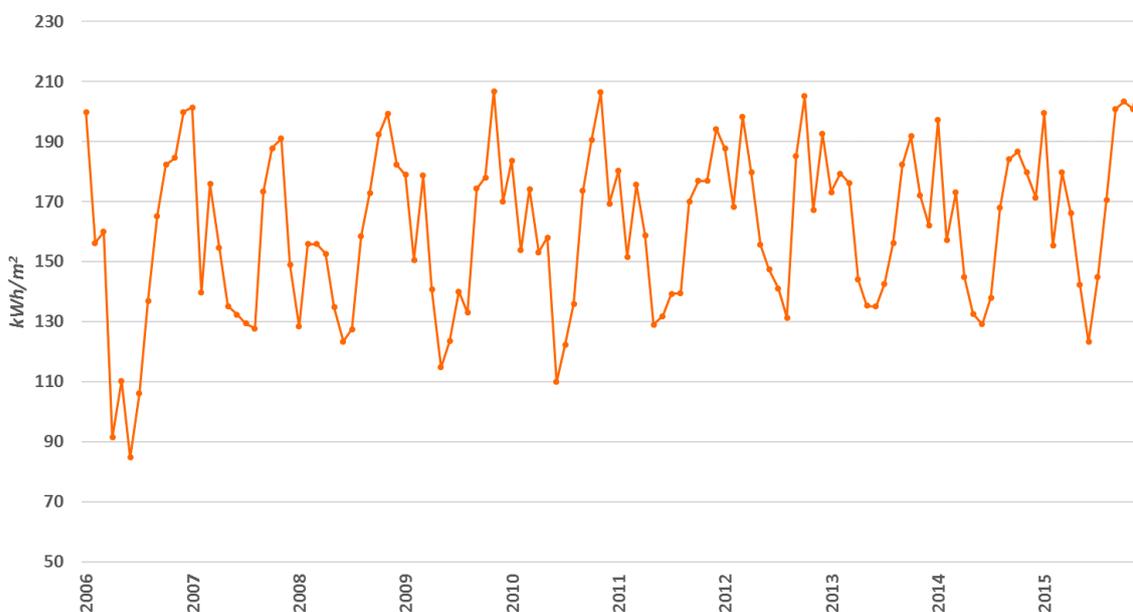
5. GERAÇÃO HÍBRIDA HIDRO-SOLAR

Considerando o contexto apresentado neste documento, a geração fotovoltaica poderá contribuir de forma complementar com plantas convencionais em operação no sistema elétrico nacional e assim garantir o suprimento de energia elétrica. Desta forma, em situações de crise hídrica podem ter um impacto minimizado na segurança energética do Brasil e, maior volume de água pode ser acumulado nos reservatórios e/ou destinada para outras finalidades para garantir atendimento adequado das demandas regionais.

5.1 Irradiação Solar na Região do Estado.

O gráfico na Figura 5.1 apresenta a distribuição da irradiação global horizontal mensal, entre os anos de 2006 e 2015, observados na estação solarimétrica SONDA de Petrolina complementado com os dados do modelo Brasil SR, utilizada no estudo.

Figura 5.1 - Irradiação global horizontal mensal utilizada no estudo, nos anos 2006 a 2015.



Os valores detalhados estão apresentados na Tabela 5.1. Optou-se por uma base de 10 anos de dados, iniciada em 2006, em função de uma menor interrupção das medições e, portanto, um histórico mais completo

Tabela 5.1: Irradiação global horizontal mensal utilizada no estudo, nos anos 2006 a 2015.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	<i>(kWh/m².mês)</i>									
Janeiro	199.8	201.4	128.4	178.9	183.6	180.4	187.6	173.2	197.2	199.5
Fevereiro	156.2	139.7	155.8	150.5	153.8	151.6	168.3	179.3	157.1	155.3
Março	159.9	175.9	155.9	178.7	174.2	175.6	198.4	176.3	173.0	179.8
Abril	91.4	154.7	152.6	140.7	153.2	158.8	179.7	144.0	144.8	166.3
Mai	110.3	135.2	134.8	114.7	158.0	129.0	155.7	135.3	132.6	142.3
Junho	84.7	132.3	123.3	123.6	109.9	131.9	147.4	135.1	129.1	123.3
Julho	106.0	129.4	127.5	140.0	122.4	139.3	141.0	142.6	138.0	144.8
Agosto	136.9	127.7	158.5	133.0	136.0	139.4	131.3	156.3	168.0	170.5
Setembro	165.2	173.5	173.0	174.4	173.6	170.1	185.3	182.2	184.0	200.8
Outubro	182.3	187.8	192.4	178.1	190.5	176.9	205.1	191.7	186.7	203.3
Novembro	184.6	191.0	199.4	206.8	206.5	176.9	167.1	172.0	179.8	200.9
Dezembro	199.9	149.1	182.3	170.1	169.3	194.2	192.5	162.1	171.4	214.9

A porcentagem de dados observados faltosos ou que apresentavam alguma inconsistência e assim foram complementados pelos dados simulados pelo modelo BRASIL-SR é apresentada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Porcentagem de dados complementados por dados simulados.

ANO	%
2006	46,6
2007	11,5
2008	25,7
2009	4,7
2010	0,8
2011	0,8
2012	7,7
2013	0,5
2014	0
2015	1,6

A partir dos dados de irradiação solar apresentados na Tabela 5.1, a Figura 5.2, apresenta o gráfico com a média mensal dos 10 anos analisados. Nota-se, que o trimestre SON apresenta a maior incidência de radiação na região do estudo, apresentando um valor médio de 185,4 kW/m², corroborando com o que foi apresentado nas Figuras 4.5 a 4.8.

Na Figura 5.3 são apresentados os valores da normal climatológica de precipitação acumulada, da estação de Petrolina (PE), de 1961 a 1990 (INMET, 2015). É possível perceber que o trimestre que se refere a primavera (SON), é um período de baixa precipitação acumulada, denotando como um período seco. O mês de novembro é o mês de transição, como pode ser confirmado pela Figura 4.3, apresenta uma elevação na precipitação mensal acumulada, diante do aumento dos índices pluviométricos que são registrados nos últimos 20 dias do mês, de acordo com os valores da normal climatológica de precipitação acumulada decendial (INMET, 2015).

Com base nestes dados, pode-se afirmar que as UHE's desta região podem sofrer restrições quanto a geração de energia elétrica, consequência da climatologia local. Estas restrições podem ser agravadas diante de eventos meteorológicos extremos e a UHE Sobradinho tem sofrido tais consequências, como já mostrado anteriormente. Os

dados também demonstram a complementaridade entre a disponibilidade do recurso solar e do recurso hídrico.

A Equação 3.1 foi utilizada para dimensionar as UFV's deste estudo. O valor da média da irradiação global do trimestre SON, 185,4 kWh/m².mês, foi utilizado para o termo G_{daeff} . Tomando este pressuposto como ponto de partida, a planta terá seu tamanho calculado a partir de um trimestre de alta incidência de radiação e com precipitação baixa. Assim, a UFV terá a menor dimensão necessária para atender a geração de eletricidade em cada um dos cenários estabelecidos anteriormente para o estudo. Além disso, a geração fotovoltaica maior no período seco proporciona melhor condição para gestão do recurso hídrico considerando os seus fins diversos requeridos regionalmente.

Figura 5.2 – Média da irradiação global horizontal (kWh/m².mês) da estação no período 2006-2015.

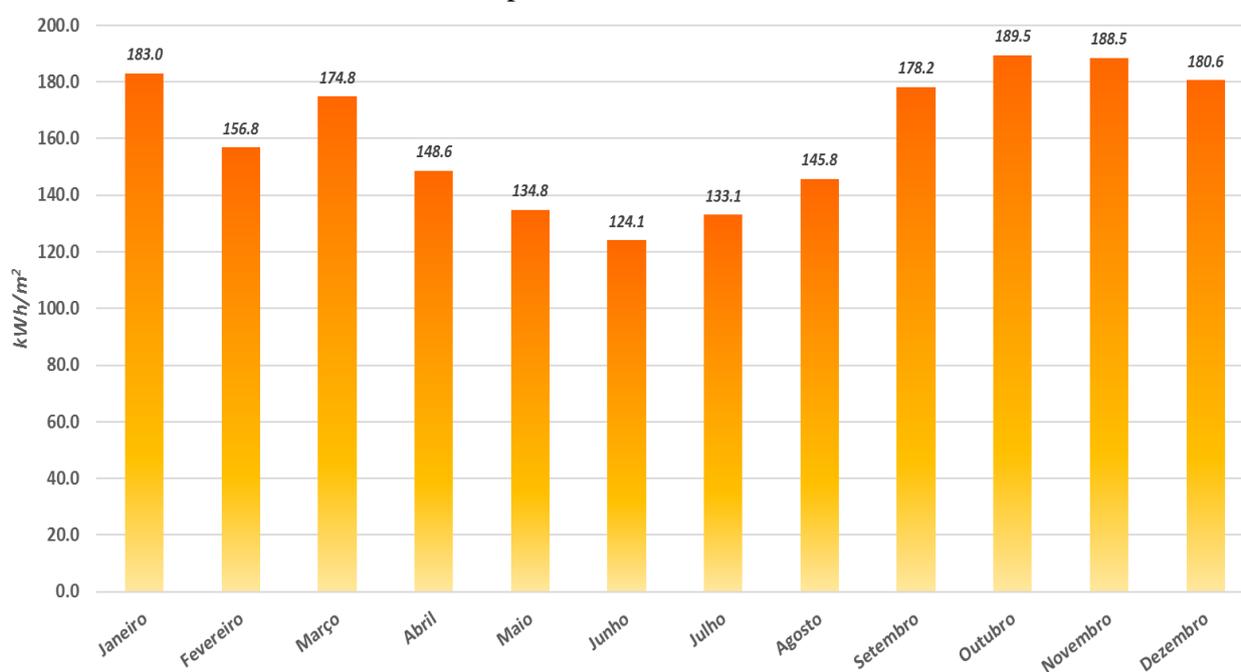
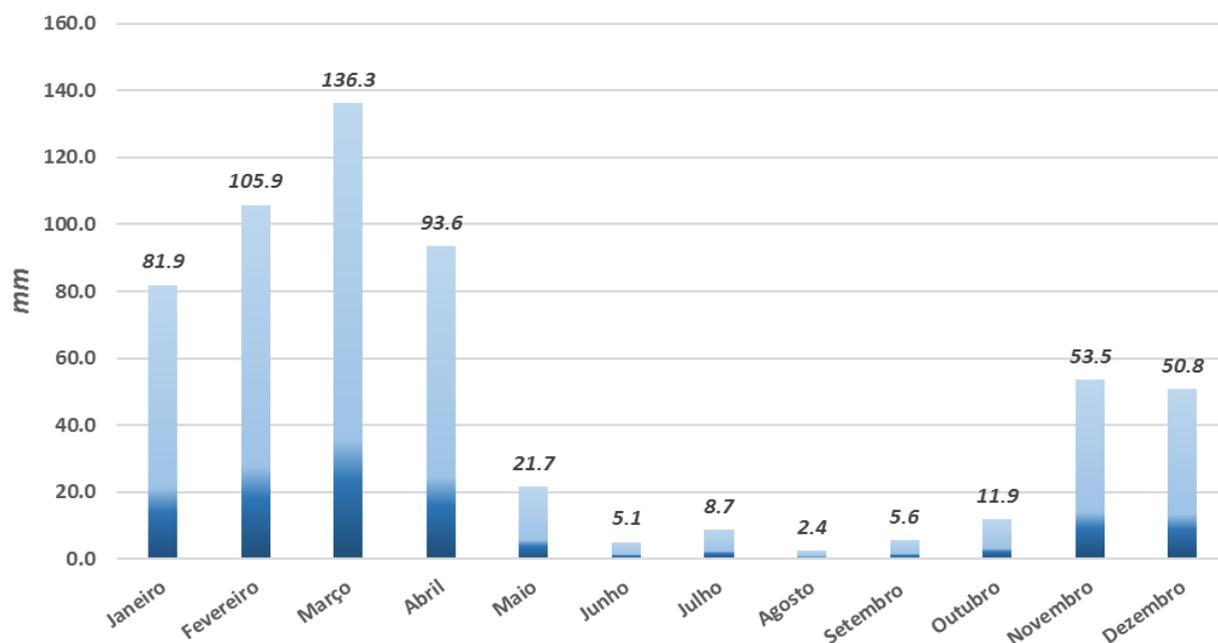


Figura 5.3 – Normal climatológica de precipitação acumulada de Petrolina (1961 – 1990)



Fonte: INMET (2015).

A Tabela 5.3 apresenta as dimensões das áreas ocupadas por painéis PV, para garantia dos quatro cenários propostos no estudo, para os três valores diferentes de potência de painel fotovoltaico comercializado, ($130 \text{ W}_p/\text{m}^2$; $165 \text{ W}_p/\text{m}^2$ e $180 \text{ W}_p/\text{m}^2$), encontrados com maior facilidade atualmente no mercado, diferenciando-se pelo preço de aquisição, também são apresentados as potências instaladas das UFV's.

Afim de se fazer uma breve comparação em relação ao espelho d'água do Lago de Sobradinho (4214 km^2), a maior planta apresentada, planta D, com painéis de potência de $130 \text{ W}_p/\text{m}^2$, de 17 km^2 , representa 0,4% da área do lago.

Tabela 5.3 – Áreas da UFV e respectivas potências instaladas.

<i>Usina</i>	<i>Potência (Wp/m²)</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Potência Instalada (GW)</i>
A	130	2,14	0,28
	165	1,69	
	180	1,55	
B	130	5,36	0,70
	165	4,22	
	180	3,87	
C	130	10,72	1,39
	165	8,45	
	180	7,74	
D	130	17,13	2,23
	165	13,49	
	180	12,37	

A potência dos painéis a serem adotados na constituição de uma usina tem um papel importante em se tratando da área a ser ocupada; numa planta com a mesma potência instalada pode haver diferença de aproximadamente 38% de área coberta por placas. Assim como os valores dos painéis, o preço do terreno também é relevante e se faz necessário uma análise econômica, com as diferentes possibilidades. Essa análise não faz parte dos interesses desse trabalho, por isso foram somente pontuados.

No ANEXO B, podem ser encontradas fichas técnicas de módulos solares encontrados atualmente no mercado.

5.2 Geração PV

A geração mensal de energia elétrica que cada UFV produziria entre os anos de 2006 e 2015 são apresentadas nos gráficos das Figuras 5.4 a 5.7. As linhas indicam a produção

em termos dos valores absolutos, enquanto que as barras mostram o valor percentual em relação ao que a UHE Sobradinho gerou nos respectivos meses, a linha em vermelho é a energia assegurada utilizada para geração em cada cenário, descrito anteriormente.

Diante das Figuras apresentadas a seguir, destaca-se o ano de 2015 como o de maior geração fotovoltaica. A Usina D chega a gerar 298% da geração da UHE Sobradinho mas, em média ela se mantém em 106%. A Usina C registra sua maior geração com 187% da geração da UHE Sobradinho e tem a média de 66%. As Usinas B e A, por ocuparem uma menor área, chegam a gerar 93% e 37% respectivamente da geração da UHE Sobradinho e se mantem na média de 33% e 13%.

Em relação a taxa da energia assegurada e média mensal de geração da UHE Sobradinho utilizadas como base para geração das UFV's, em 18,3% dos meses a geração PV superaria tais valores .

Figura 5.4 – Geração da usina A, porcentagem em relação a geração da UHE Sobradinho e, em destaque, o valor mensal de 10% da energia assegurada da UHE Sobradinho.

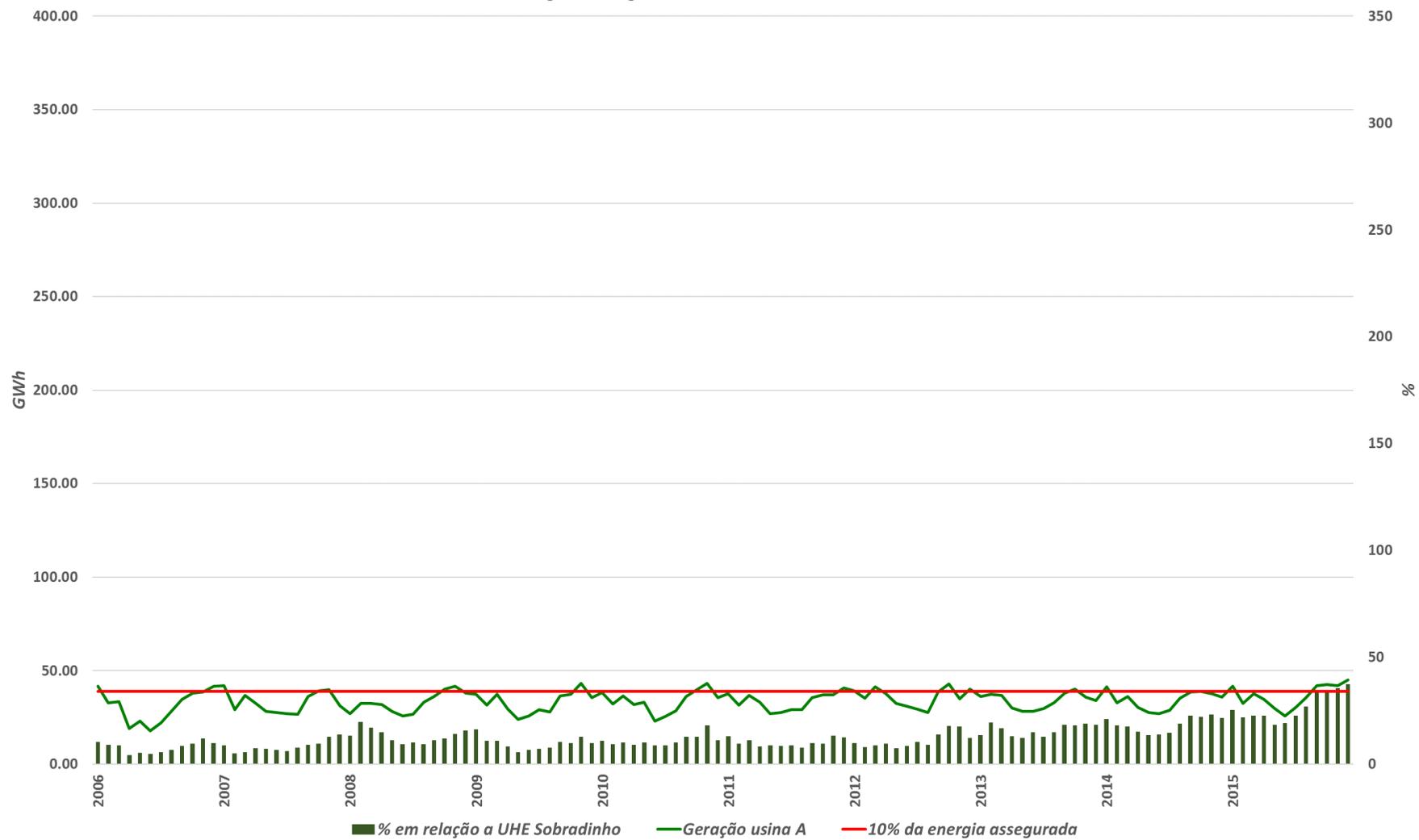


Figura 5.5 - Geração da usina B, porcentagem em relação a geração da UHE Sobradinho e, em destaque, o valor mensal de 25% da energia assegurada da UHE Sobradinho..

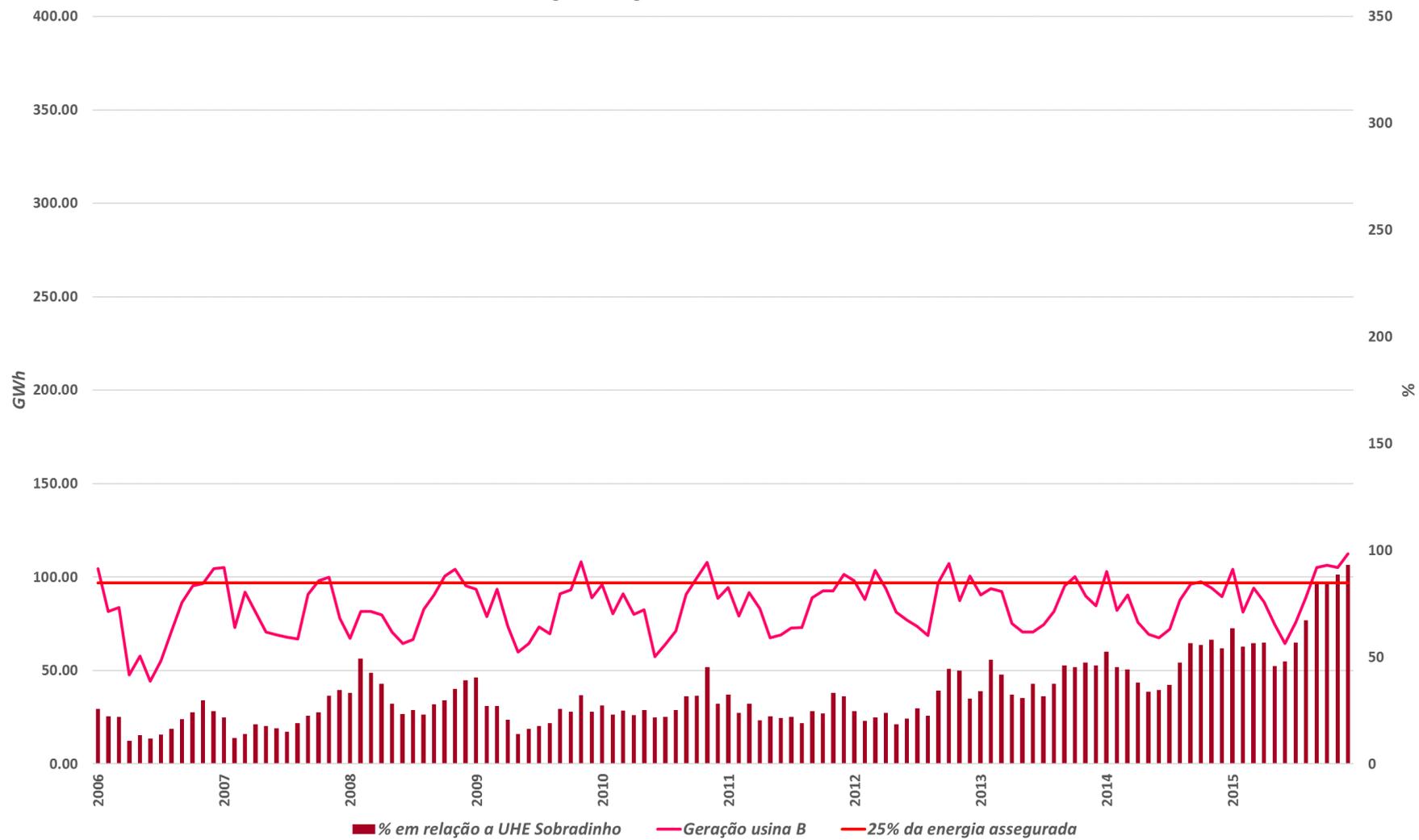


Figura 5.6 - Geração da usina C, porcentagem em relação a geração da UHE Sobradinho e, em destaque, o valor mensal de 50% da energia assegurada da UHE Sobradinho..

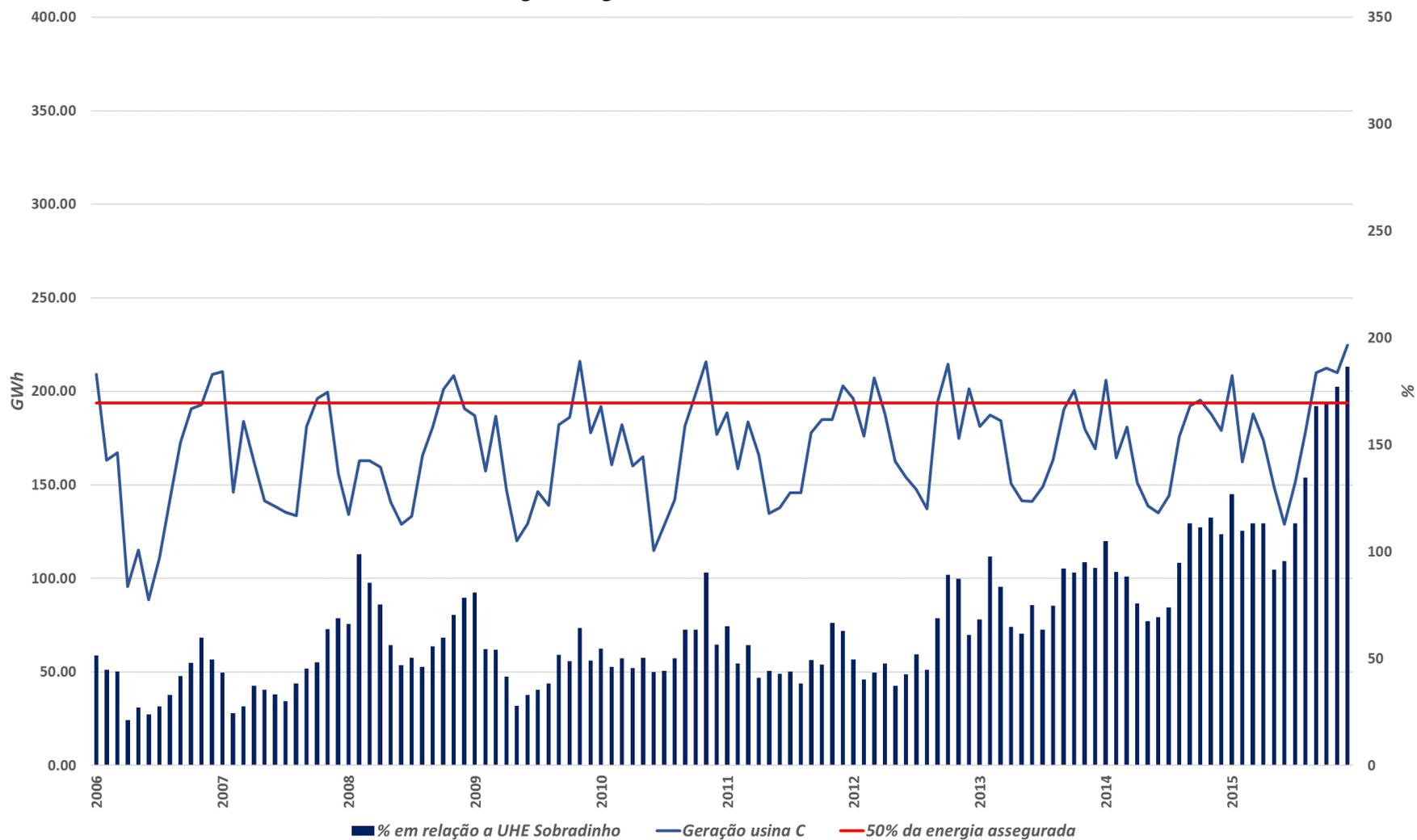
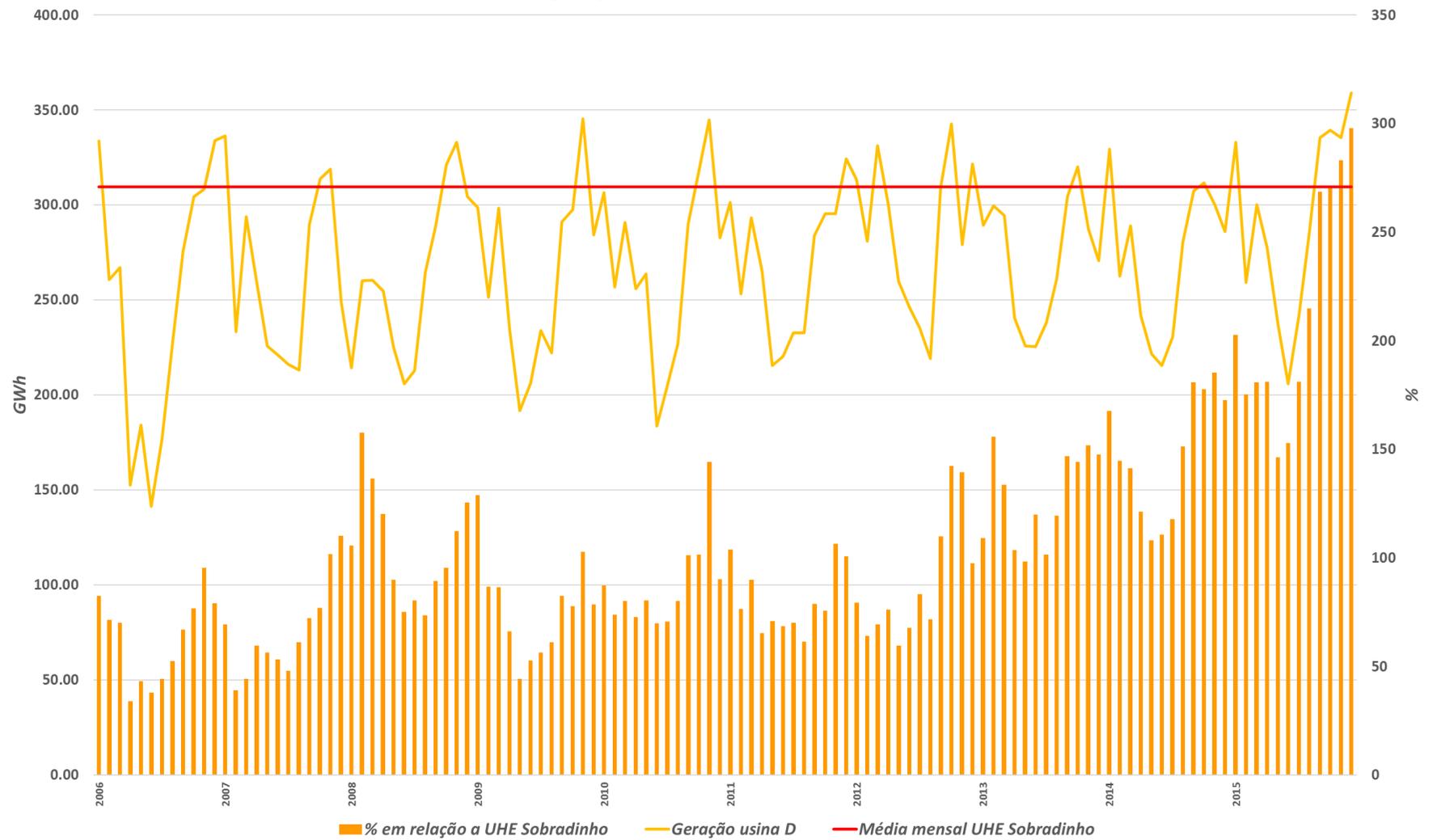


Figura 5.7 - Geração da planta D, porcentagem em relação a geração da UHE Sobradinho e, em destaque, o valor da média mensal da geração UHE Sobradinho.



O aumento do fator de capacidade da UHE Sobradinho, considerando a implementação de cada uma das UFV's é mostrado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Fator de capacidade da UHE Sobradinho com a inserção das UFV's dimensionadas.

<i>Usina</i>	<i>Fator de Capacidade (%)</i>
A	43
B	50
C	61
D	74

Como apresentado anteriormente, o fator de capacidade da UHE Sobradinho em 26 anos (1990 – 2015) foi de 40,4%. Considerando as UFV' dimensionadas para o mesmo período, os novos fatores de capacidade estariam entre 43% e 74%, esses calculados considerando a soma das potências instaladas.

5.3 Aproveitamento da Geração através das UFVs.

Para analisar algumas diferentes maneiras de aproveitamento da geração PV simulada neste trabalho, foram avaliar possibilidades para aproveitamento da geração elétrica através das UFV's sugeridas.

5.3.1 Geração UHE Sobradinho somada a Geração UFV

Num primeiro momento será considerada a soma de toda geração das UFV's com a geração UHE Sobradinho, sem realizar nenhuma redução da geração da UHE Sobradinho, portanto, assumindo que o reservatório se manteria da mesma maneira que se manteve durante esses 10 anos da análise.

Com base nos dados apresentados nas Tabelas C.1 a C.4, no ANEXO C, foram feitos os cálculos para se conhecer o percentual que cada UFV acrescenta, em relação a que foi gerado pela UHE Sobradinho no mesmo período. A mesma análise, feita somente para os anos em que ocorreu forte déficit hídrico - entre os anos de 2013 e 2015 - altera esses valores de modo significativo, sendo mostrados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Porcentagem da geração UFVs em relação a geração UHE Sobradinho, no período de 2006 a 2015, e no período de déficit hídrico, 2013 – 2015.

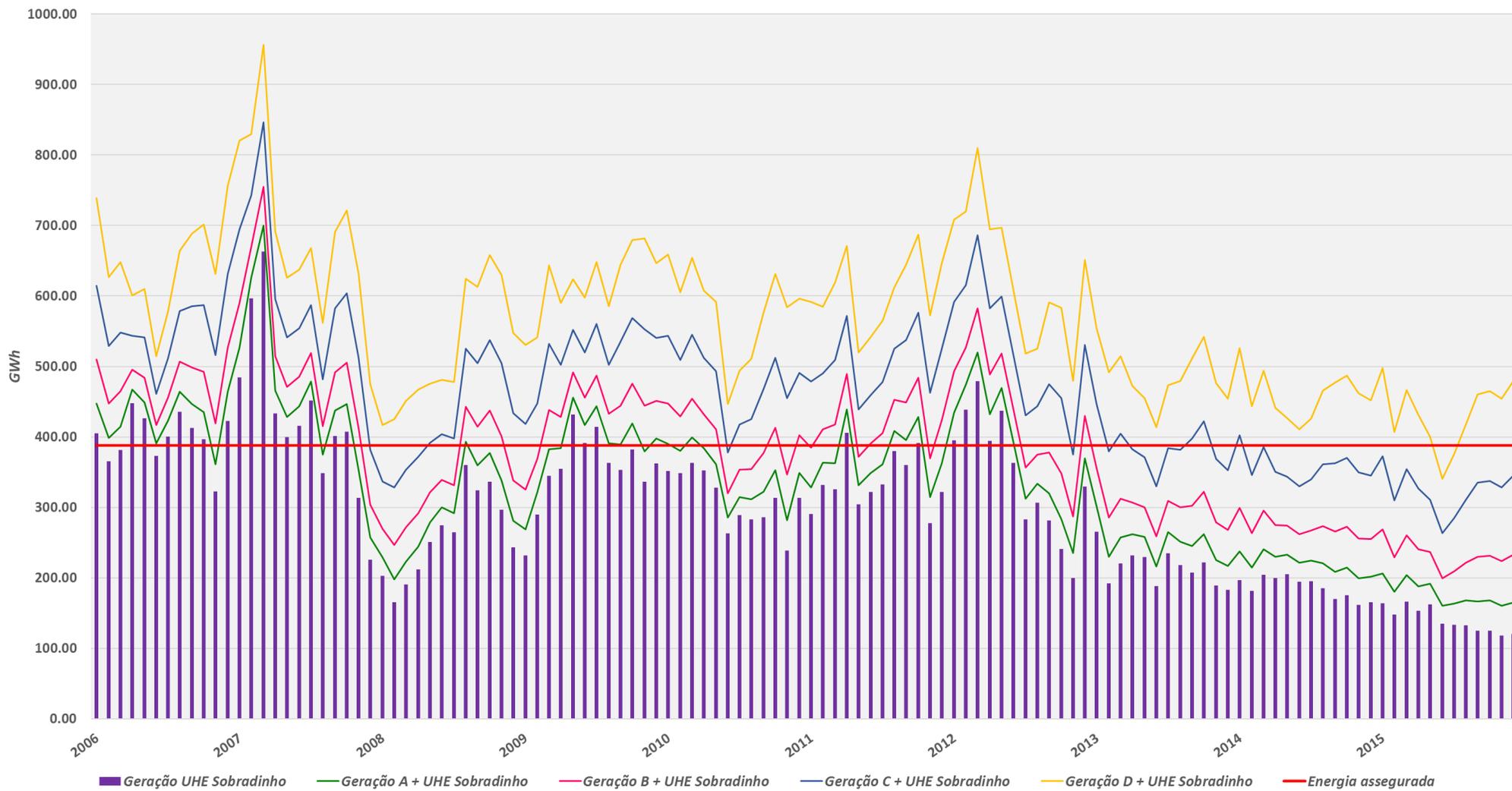
<i>Usina</i>	<i>2006 - 2015</i>	<i>2013 - 2015</i>
A	11,3%	19,3%
B	28,3%	48,3%
C	56,7%	96,7%
D	90,6%	154,5%

A Figura 5.8, apresenta a geração da UHE Sobradinho (em barras) e as gerações a partir dos quatro cenários somados a geração UHE Sobradinho (linhas), no período de 2006 a 2015. Como demonstrado pela Tabela 5.4, nos anos em que ocorreu o déficit hídrico ou crise hídrica, a geração PV faria uma significativa contribuição para geração elétrica da região.

Em relação a energia assegurada da UHE Sobradinho, a planta A, dimensionada entre 1,55 km² e 2,14 km² (dependendo da potência das placas solares instaladas), somada a geração da UHE em questão, garante a energia assegurada, em sua totalidade, em 33,3% dos meses analisados. Já as plantas B e C, dimensionadas entre 3,87 km² e 5,36 km²; 7,74 km² e 10,72 km² respectivamente, somadas a geração da UHE Sobradinho, garantem a energia assegurada, em sua totalidade, em 60% e 68,3% dos meses analisados, entre 2006 e 2015. E por último, a maior planta D, dimensionada entre 15,49 km² e 21,44 km², em 98,3% dos meses analisados. Neste caso, ainda haveria a geração

de um excedente em relação a energia assegurada que somaria 21571,4 GWh, ao longo dos 10 anos.

Figura 5.8 – Geração UHE Sobradinho em comparação com a geração das plantas PV somadas à geração da usina hidrelétrica de 2006 a 2015.



5.3.2 Geração PV reduzida da Geração da UHE Sobradinho

Nesta hipótese, considerou-se que a energia total gerada pelas plantas PV seria subtraída da geração da UHE Sobradinho. Portanto, a produção total de energia não sofre alteração, uma vez que a Hidroelétrica teria uma redução da sua geração, em consequência da energia gerada pelas plantas PV. Diante desta consideração, um volume considerável de água estaria disponibilizado para diferentes fins. O principal objetivo desta hipótese é avaliar a quantidade de água que pode ser destinada para outros usos, em especial durante períodos de crise hídrica.

Dados enviados pela CHESF indicam que na UHE Sobradinho, 4923 l/s de água são utilizados na geração de 1MW de potência. A Tabela 5.6 indica a geração total das quatro usinas PV sugeridas em dez anos (2006 – 2015) e em três anos (focando no período da crise hídrica de 2013 – 2015) e o consequente volume de água referente a essa produção pela UHE Sobradinho.

Tabela 5.6 – Geração total em dez anos e em três anos pelas UFV's e, volume de água necessário para tal geração pela UHE Sobradinho.

<i>Usina</i>	<i>2006 - 2015</i>		<i>2013 - 2015</i>	
	<i>GWh</i>	<i>Hm³</i>	<i>GWh</i>	<i>Hm³</i>
<i>A</i>	4051.28	63400	1257.36	19677
<i>B</i>	10128.21	158501	3143.39	49192
<i>C</i>	20256.41	317002	6286.78	98385
<i>D</i>	32357.83	506382	10042.58	157161

Nestes dez anos, o volume de água necessário para gerar através da UHE Sobradinho o que a menor usina PV gera é 186% do volume total do reservatório de Sobradinho. Já no caso das usinas *B*, *C* e *D*, o volume de água equivalente à geração do que foi produzido por cada UFV corresponde a 465%, 929% e 1484%, do volume total do reservatório, respectivamente. São volumes de valores significativos que poderiam interferir na gestão da água da região.

Faz-se necessário salientar que não estão sendo consideradas perdas por evaporação. As estimativas de evaporação em sua maioria são feitas para o reservatório em sua cota máxima, o que tornaria a estimativa grosseira já que na crise hídrica, sua cota ficou bastante reduzida.

5.3.2.1 Crise Hídrica de 2013 a 2015.

No período da crise hídrica que se deu entre os anos de 2013 e 2015, faz-se necessário uma análise mensal dos dados, para entender com maior precisão quando o reservatório de Sobradinho teria possibilidade de apresentar volume de água diferenciado com a presença de uma UFV.

Na Tabela 5.7, são apresentados os valores mensais e as médias mensais, do período dos três anos, a geração mensal de cada uma das UFV's simuladas e do volume de água que o total da geração através das UFV's teria de acumulo, caso a UHE Sobradinho tivesse tal demanda de geração e deixasse a cargo da UFV.

As Figuras 5.9 e 5.10 apresentam a geração das UFV's A e B, a geração da UHE Sobradinho sugerida - que é a geração da UHE Sobradinho reduzida da geração pela fotovoltaica - e o volume de água poupado diante dessa diferença na geração hidrelétrica. Os valores de geração das Usinas A e B, a geração sugerida para UHE Sobradinho, o volume de água acumulado no reservatório de Sobradinho e ainda a porcentagem desse valor em relação ao volume total do reservatório, são apresentados na Tabela C.5, no ANEXO C.

Observando os valores apresentados pela Tabela 5.7, é possível notar que a usina D, somente no mês de maio de 2013, durante os 3 anos analisados, teve uma geração menor que a UHE Sobradinho. E a usina C, em 21, dos 36 meses, apresentaria geração maior que a UHE Sobradinho. Portanto, diante da existência das usinas C e D, durante todo o período da crise hídrica, serão feitas as análises com a UHE Sobradinho gerando

metade da energia que de fato gerou, pois, a operação da UHE Sobradinho é necessária para adequação dos impactos decorrentes da intermitência da geração fotovoltaica das plantas UFV indicadas no estudo. O volume de água acumulada uma vez que a UHE Sobradinho foi reduzida, a geração da UHE Sobradinho sugerida (50% de sua geração) e a geração da Usina C esta demonstrada na Figura 5.11. Na Figura 5.12 os mesmos dados são apresentados para a Usina D. Os valores de geração das UFV's C e D, a geração sugerida para UHE Sobradinho, o volume de água acumulado no reservatório de Sobradinho e ainda a porcentagem desse valor em relação ao volume total do reservatório, são apresentados na Tabela C.6, no ANEXO C.

Tabela 5.7 – Geração de energia elétrica das UFV's simuladas e, volume de água utilizada pela UHE Sobradinho para gerar, o que cada UFV gerou de eletricidade.

Período	A		B		C		D	
	Geração (GWh)	Hm ³						
Janeiro_2013	36.22	567	90.54	1417	181.09	2834	289.27	4527
Fevereiro_2013	37.49	587	93.73	1467	187.46	2934	299.46	4686
Março_2013	36.86	577	92.16	1442	184.32	2884	294.43	4608
Abril_2013	30.11	471	75.27	1178	150.55	2356	240.48	3763
Maió_2013	28.28	443	70.70	1106	141.40	2213	225.87	3535
Junho_2013	28.25	442	70.62	1105	141.23	2210	225.61	3531
Julho_2013	29.82	467	74.56	1167	149.12	2334	238.21	3728
Agosto_2013	32.67	511	81.68	1278	163.37	2557	260.97	4084
Setembro_2013	38.10	596	95.25	1491	190.50	2981	304.30	4762
Outubro_2013	40.09	627	100.21	1568	200.43	3137	320.16	5010
Novembro_2013	35.97	563	89.92	1407	179.84	2814	287.28	4496
Dezembro_2013	33.89	530	84.72	1326	169.45	2652	270.68	4236
Janeiro_2014	41.23	645	103.08	1613	206.15	3226	329.31	5154
Fevereiro_2014	32.86	514	82.14	1285	164.28	2571	262.43	4107
Março_2014	36.18	566	90.45	1415	180.90	2831	288.97	4522
Abril_2014	30.27	474	75.68	1184	151.37	2369	241.79	3784
Maió_2014	27.73	434	69.32	1085	138.65	2170	221.48	3466
Junho_2014	27.00	423	67.50	1056	135.01	2113	215.66	3375
Julho_2014	28.86	452	72.15	1129	144.31	2258	230.52	3607
Agosto_2014	35.13	550	87.82	1374	175.65	2749	280.58	4391
Setembro_2014	38.48	602	96.20	1505	192.40	3011	307.33	4810
Outubro_2014	39.03	611	97.58	1527	195.15	3054	311.74	4879
Novembro_2014	37.58	588	93.96	1470	187.92	2941	300.18	4698
Dezembro_2014	35.83	561	89.57	1402	179.15	2804	286.17	4478
Janeiro_2015	41.71	653	104.27	1632	208.54	3263	333.12	5213
Fevereiro_2015	32.46	508	81.16	1270	162.32	2540	259.29	4058
Março_2015	37.59	588	93.96	1470	187.93	2941	300.20	4698
Abril_2015	34.76	544	86.90	1360	173.81	2720	277.64	4345
Maió_2015	29.75	466	74.38	1164	148.76	2328	237.63	3719
Junho_2015	25.77	403	64.43	1008	128.86	2017	205.85	3221
Julho_2015	30.28	474	75.69	1185	151.38	2369	241.82	3784
Agosto_2015	35.66	558	89.14	1395	178.28	2790	284.79	4457
Setembro_2015	41.99	657	104.97	1643	209.95	3286	335.37	5248
Outubro_2015	42.51	665	106.27	1663	212.53	3326	339.51	5313
Novembro_2015	42.01	657	105.02	1644	210.04	3287	335.52	5251
Dezembro_2015	44.94	703	112.35	1758	224.70	3517	358.95	5617
Média mensal	34.93	546.58	87.32	1366.45	174.63	2732.91	278.96	4365.58

Figura 5.9 – Geração da Usina A, geração sugerida para UHE Sobradinho e volume de água acumulado.

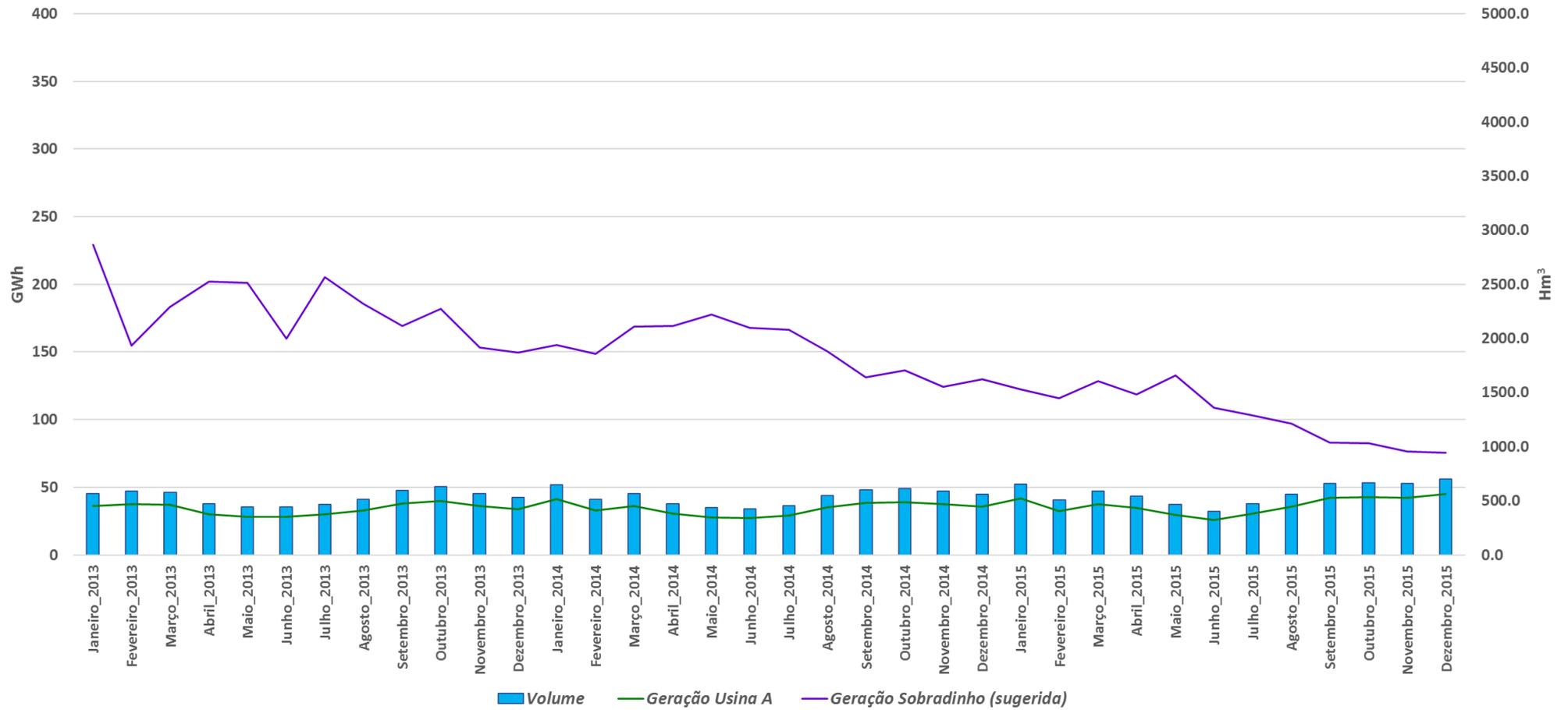


Figura 5.10 – Geração da Usina B, geração sugerida para UHE Sobradinho e volume de água acumulado.

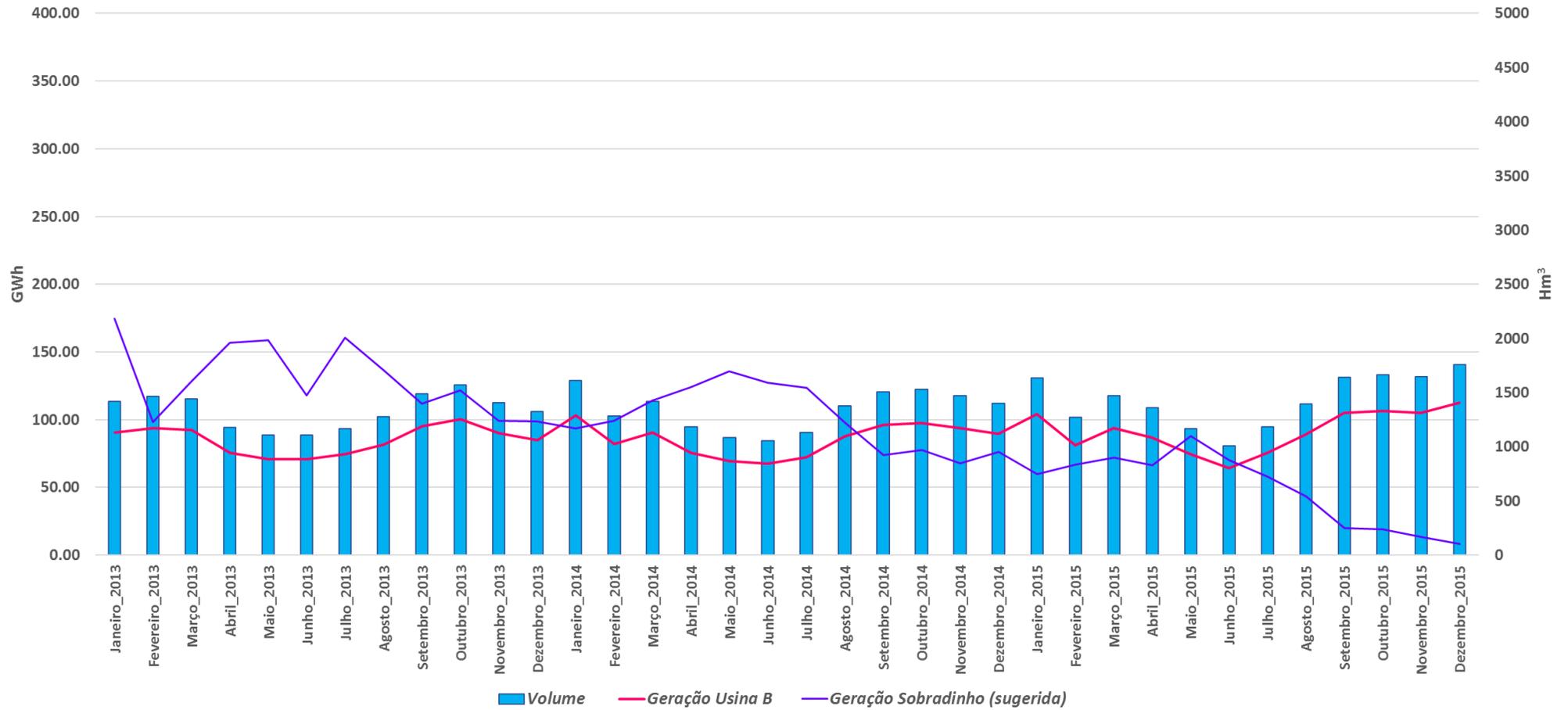


Figura 5.11 – Geração da Usina C, geração sugerida para UHE Sobradinho e volume de água acumulado.

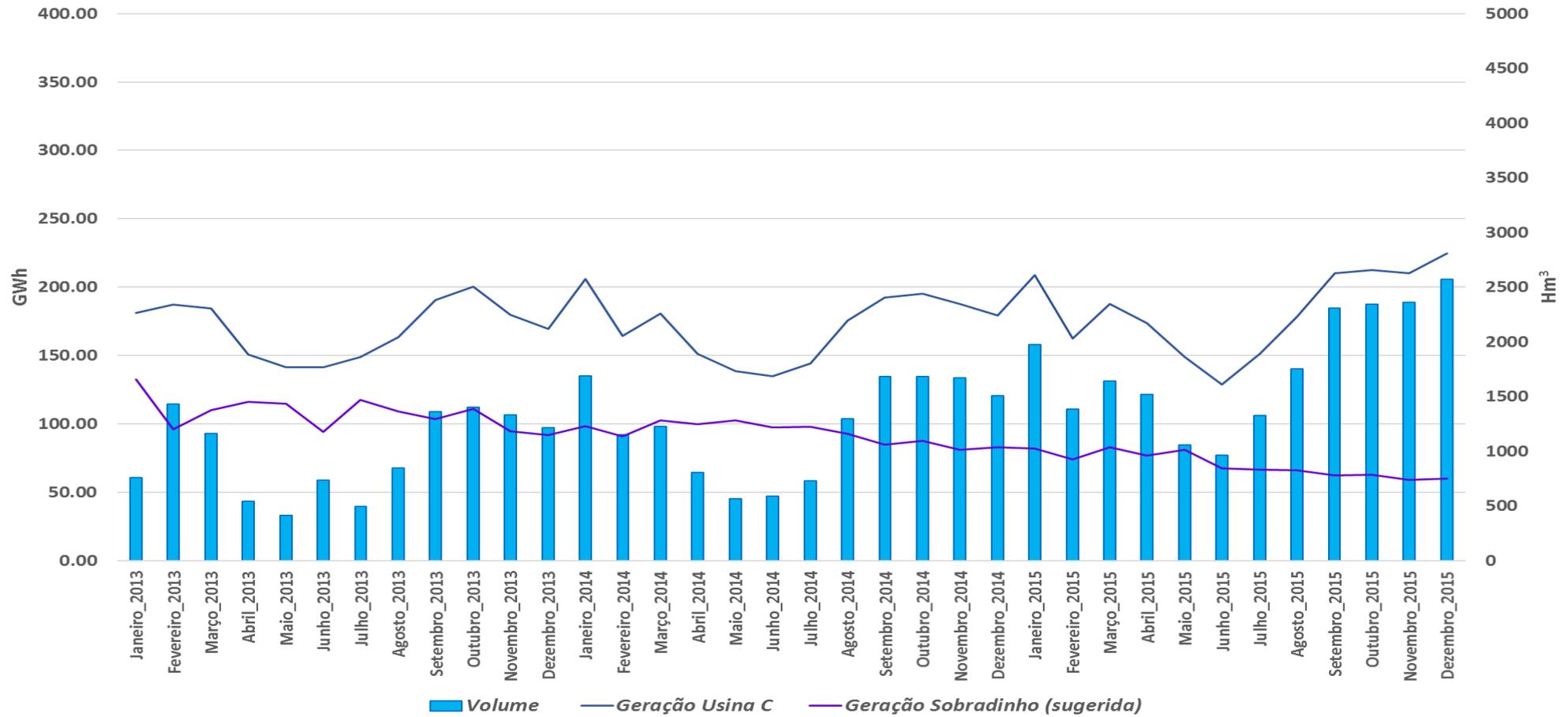
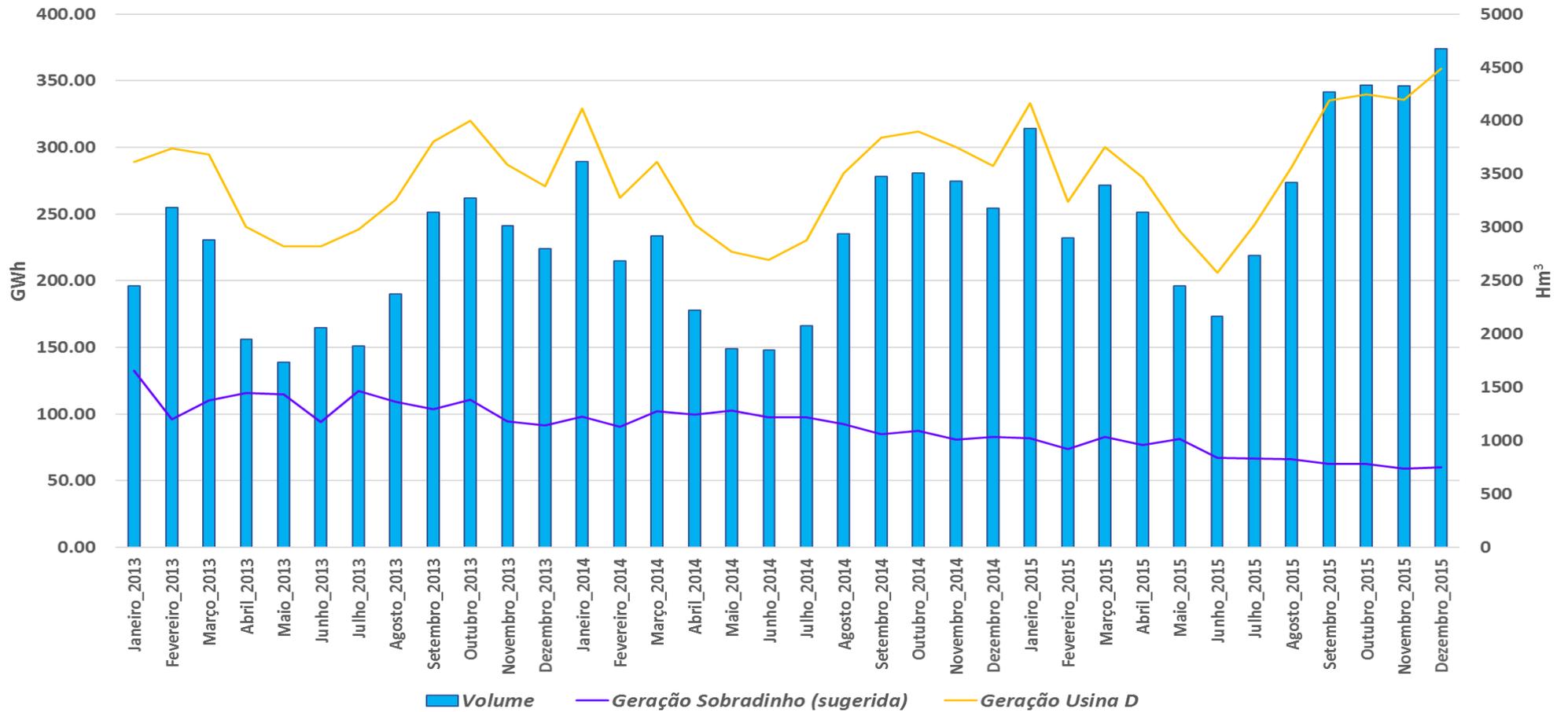


Figura 5.12 - Geração da Usina D, geração sugerida para UHE Sobradinho e volume de água acumulado.



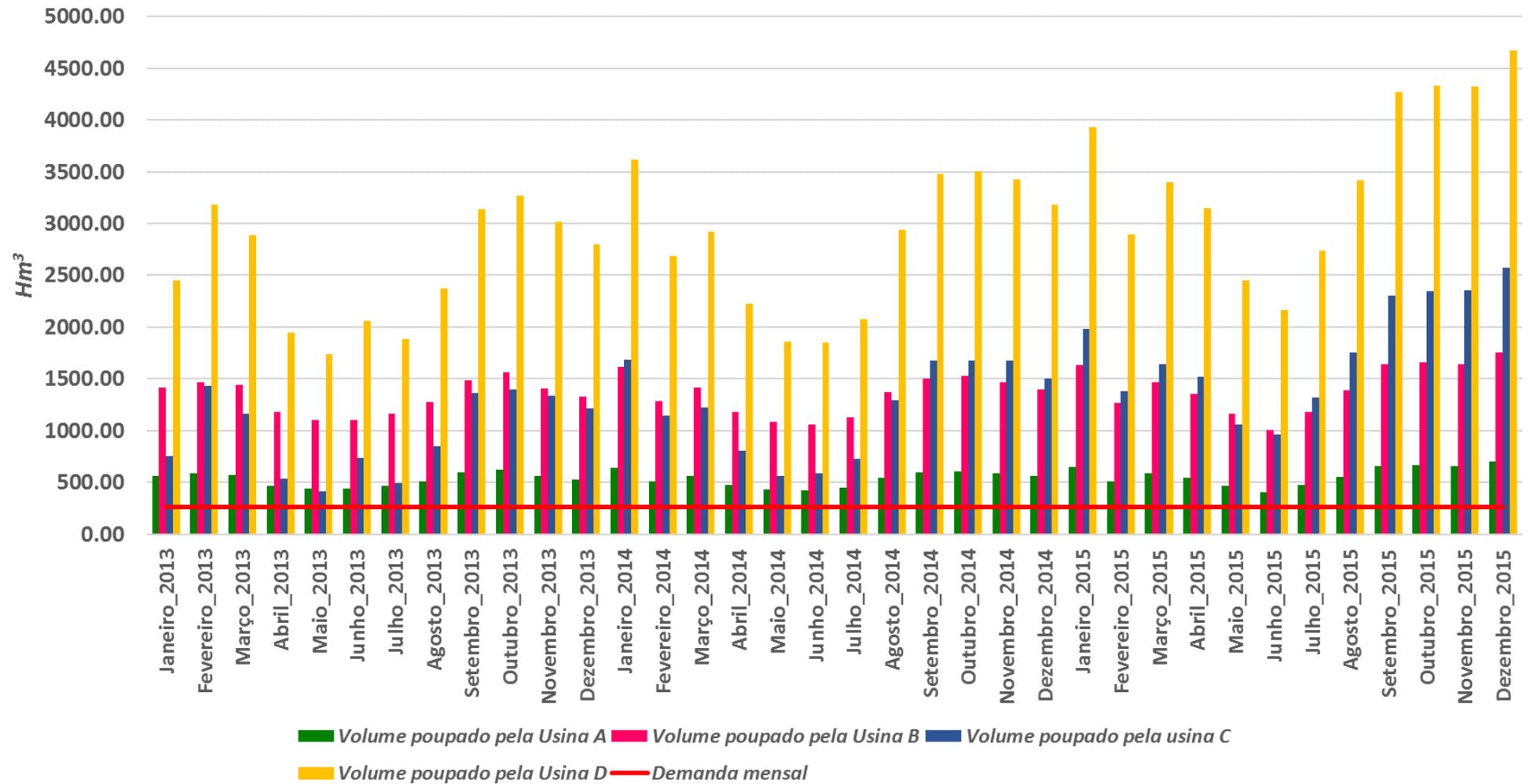
Através das Figuras 5.9 a 5.12, analisa-se a diferença entre a geração sugerida para UHE Sobradinho e as gerações das UFV's simuladas. O volume total do reservatório seria em média 1,6% maior no caso da Usina A, 6,7% para a Usina B, 4% para a Usina C e 9% para a Usina D, o que deixaria a região menos vulnerável, com disponibilidade de água maior.

Nas Figuras 5.9 e 5.10, percebe-se a diferença entre as gerações e, no primeiro cenário, a geração da hidrelétrica é maior que a fotovoltaica em todo período. Porém, as gerações alcançam valores próximos a partir de setembro de 2015, no segundo cenário a Usina B, em diferentes momentos gera mais energia que a hidrelétrica, depois de agosto de 2014, somente durante dois meses a hidrelétrica gera mais que a UFV. Nas Figuras 5.11 e 5.12 a geração da UHE Sobradinho foi fixada em 50% do que realmente gerou e, nesses cenários as gerações pelas Usinas C e D são mais elevadas que a geração pela hidrelétrica.

Foi apresentada na Tabela 4.5, a vazão das demandas da água do reservatório da UHE Sobradinho, em volume anual tal valor seria de 3196 Hm³. Se desconsiderarmos a sazonalidade das demandas de uso do recurso hídrico temos que, a demanda média mensal seria de 266 Hm³. Na Figura 5.14, são apresentados os volumes de água poupados por cada UFV simulada e é apresentada em destaque, a demanda mensal do reservatório da UHE Sobradinho. Através dessa figura, percebemos que a menor UFV simulada, a Usina A já é capaz de suprir mensalmente a demanda de água do reservatório de Sobradinho, e ainda tem o acúmulo de um volume sobressalente. Mesmo as Usinas C e D que não tiveram sua geração totalmente descontada da geração de UHE Sobradinho, tiveram acúmulo de volume de água considerável. O volume sobressalente mensal, de cada UFV é apresentado na Tabela C.7, no ANEXO C.

Todo o volume de água apresentado na Figura 5.13, ficaria disponível no reservatório de Sobradinho, o que representaria uma maior segurança energética, hídrica e alimentar, já que considera os outros usos da água. De um modo geral, a população estaria mais segura com uma garantia maior de disponibilidade de água, tanto no reservatório quanto a jusante dele. Nos cálculos apresentados não foi considerado a perda por evaporação.

Figura 5.13 – Volume de água poupado pelas UFV's e volume da demanda média mensal da água do reservatório da UHE Sobradinho.



5.4 Emissão de CO₂

A ANEEL (2017), afirma que em comparação a países da União Europeia, EUA e China, o Brasil emite pouco CO₂, para produção de energia elétrica, em 2015 emitiu, em média, 139,6 kg de CO₂ para produção 1 MWh. Esse valor pode ainda ser reduzido com a geração de energia através de fontes alternativas que não emitem CO₂ no processo de geração de energia, como através da tecnologia fotovoltaica.

Com as UFV sugeridas, reduziria a necessidade de operação de plantas térmicas para atender o SIN, evitando a emissão de gases de efeito estufa. A Tabela 5.8, apresenta a emissão de CO₂ para a atmosfera anualmente, entre 2006 e 2015, e o total nesses 10 anos, que poderia ter sido evitada, assim como as emissões ocorridas no Brasil para a geração de energia.

As emissões evitadas, em substituição às termelétricas, foram calculadas com base nas médias anuais de geração calculadas para cada cenário sugerido. Foram feitas análises, para quatro combustíveis diferentes. Os valores apresentados são estimados, uma vez que não temos os valores reais de emissão por termelétricas.

Portanto, através da Tabela 5.8, percebe-se que temos capacidade de emitir ainda menos gases do efeito estufa, no setor elétrico, com a implantação de UFVs. Portanto além de modificar a questão dos usos múltiplos da água, a UFV ainda contribui com a redução de gases do efeito estufa.

Tabela 5.8 – Emissões evitadas em substituição às termelétricas e emissão do Brasil.

Ano	Combustível	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Emissão Brasil 10 ³ tCO ₂ /ano
		10 ³ tCO ₂ /ano				
2006	carvão	933	2332	4664	7451	58539
	óleo	941	2352	4705	7515	
	diesel	901	2252	4504	7195	
	gás natural	682	1706	3411	5449	
2007	carvão	996	2490	4980	7955	62128
	óleo	1005	2512	5023	8024	
	diesel	962	2404	4809	7682	
	gás natural	728	1821	3642	5818	
2008	carvão	989	2472	4944	7897	64652
	óleo	997	2493	4987	7966	
	diesel	955	2387	4774	7626	
	gás natural	723	1808	3616	5776	
2009	carvão	992	2479	4958	7921	65076
	óleo	1000	2501	5001	7989	
	diesel	958	2394	4788	7648	
	gás natural	725	1813	3627	5793	
2010	carvão	1013	2533	5067	8094	72005
	óleo	1022	2555	5111	8164	
	diesel	979	2446	4893	7816	
	gás natural	741	1853	3706	5920	
2011	carvão	1010	2525	5050	8066	74233
	óleo	1019	2547	5093	8136	
	diesel	975	2438	4876	7789	
	gás natural	739	1847	3693	5900	
2012	carvão	1081	2702	5405	8633	77129
	óleo	1090	2726	5451	8708	
	diesel	1044	2609	5219	8337	
	gás natural	791	1976	3953	6314	
2013	carvão	1024	2559	5118	8175	79689
	óleo	1032	2581	5162	8246	
	diesel	988	2471	4942	7894	
	gás natural	749	1872	3743	5979	
2014	carvão	1030	2574	5148	8224	82440
	óleo	1039	2596	5193	8295	
	diesel	994	2486	4971	7941	
	gás natural	753	1883	3765	6015	
2015	carvão	1103	2758	5515	8810	81175
	óleo	1113	2782	5563	8887	
	diesel	1065	2663	5326	8507	
	gás natural	807	2017	4034	6444	
		10 ³ tCO ₂ /10anos				
Total	carvão	10170	25425	50849	81227	717066
	óleo	10258	25645	51289	81930	
	diesel	9820	24551	49102	78435	
	gás natural	7438	18595	37191	59409	

6. DISCUSSÃO

Em 1992, acontecia a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento ocorrida no Rio de Janeiro, popularmente conhecida como Eco-92, na ocasião, foram tratadas questões ambientais e mudança do clima. Em decorrência desse evento, criou-se a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (CQNUAC), onde o Brasil, dentre outros países, assinou o tratado de estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que se evite uma interferência, pelo homem, que cause risco ao sistema climático. Em Decreto Legislativo nº 144, de 2002, o Brasil aprova o texto do protocolo de Kyoto, onde metas de redução de emissão foram definidas.

Diante do compromisso assumido de reduzir as emissões de gases do efeito estufa em 37%, em relação a 2005, no ano de 2025 e, de 43% em 2030 (MMA, 2016), foi apontada na iNDC do Brasil, a necessidade de uma transição para sistemas de geração de energia baseados em fontes renováveis, para o alcance das metas assumidas (BRASIL, 2015).

Todavia o Brasil entende a necessidade da redução da utilização de geração de energia elétrica através das termelétricas. Porém, com os períodos de seca e os níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas baixos, acionar as termelétricas tornou-se uma saída necessária afim garantir a geração de eletricidade.

Fica clara então a necessidade do Brasil de diversificação da matriz elétrica, através de produção limpa e menos invasiva ao meio ambiente, com isso, o aproveitamento da energia solar vem se mostrando uma boa alternativa. Isso porque a geração de energia fotovoltaica em complementariedade com a hidrelétrica reduz a necessidade de ativação de termoelétricas e conseqüentemente reduz a emissão dos gases de efeito estufa liberados nesse tipo de geração, além de elevar a segurança da matriz.

Com o crescimento da população mundial, a demanda por energia cresce cada vez mais. Perante esse quadro, sofrem os recursos hídricos destinados à geração hidrelétrica diante

dos esforços em se aumentar a produção. Não somente a água e a energia são setores interdependentes, o alimento também participa desse ciclo de interdependência. Nesse sentido, a fonte de energia fotovoltaica se destaca uma vez que pelo aproveitamento solar, torna-se possível maiores índices de geração de energia elétrica, com baixa demanda de água, gerando maior acúmulo hídrico em reservatórios, permitindo assim que esta água seja destinada para a irrigação.

A fonte solar devido sua intermitência, não é capaz de manter uma geração contínua, ou seja, não é capaz de gerar energia durante a noite e, tem queda da produção em dias nublados e chuvosos. Assim, é fundamental que sirva como fonte complementar em sistemas elétricos.

No Brasil, o recurso solar para aproveitamento elétrico começa a ser explorado, atualmente a geração distribuída tem se mostrado bastante atrativa. Entretanto, diante dos Leilões de Energia de Reserva, a geração centralizada através de UFV's tende a ser desenvolvida, uma vez que diversos países com valores de irradiância solar na superfície significativamente inferiores aos valores encontrados no Brasil, já tem um mercado de energia solar consolidado.

A região semiárida do NEB se destaca por ser, no território nacional, a área com maior incidência de radiação solar. É uma região que apresenta reservas insuficientes de água em seus mananciais, as taxas de balanço hídrico muitas vezes se mantêm negativas, uma vez que a região sofre com forte estiagem, devido ao seu regime de precipitação e altos índices de radiação. O Rio São Francisco é o principal recurso hídrico para o atendimento da demanda de água para diversos usos regionais, inclusive para a geração de eletricidade. Oito grandes UHE's estão instaladas no Rio São Francisco, na região do Nordeste, e são responsáveis por 9.8% da potência instalada de geração elétrica do Brasil. Faz-se necessário na região, uma distribuição mais adequada da água, para garantir os usos múltiplos, inclusive com a atuação dos órgãos de fiscalização e mediação dos conflitos.

Em períodos prolongados de estiagem intensa como ocorridos entre os anos de 2013-2015, na região da UHE Sobradinho, houve uma redução significativa da geração de

eletricidade. Foram necessários sistemas de bombeamento que alcançassem o ponto mais profundo do reservatório para retirada da água para suprir a demanda de consumo e irrigação da região.

Recentemente Veldkamp et al (2017) comprovaram que as mudanças de uso do solo, reservatórios artificiais, uso da água pelo homem, no período de 1971 até 2010, levaram a dimensão da escassez a dimensões críticas.

O uso indiscriminado dos recursos naturais pelo homem vem causando cada vez mais danos ao planeta e fazendo com que o tempo entre causa e efeito se torne cada vez menores, o que faz com que busquemos soluções mais sustentáveis.

Enfim, faz-se necessário que questões como de água e energia sejam planejados e geridos de forma conjunta. Órgãos fiscalizadores e reguladores dos setores necessitam dialogar e tomar suas decisões cientes da interconexão existente.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs a operação de quatro UFV's na área da UHE de Sobradinho com o intuito de aproveitar o recurso solar disponível e a infraestrutura do SIN já disponível no local. A maior UFV simulada, com área de 17,13 km², representa 0,4% em relação à área do espelho d'água de Sobradinho.

O estudo mostrou que uma UFV contribuiria para o aumento do fator de capacidade da geração na UHE Sobradinho, evitaria a emissão de gases de efeito estufa em plantas térmicas em períodos prolongados de seca extrema, geraria segurança elétrica e, ainda tonaria possível o acúmulo de água no reservatório de Sobradinho.

As simulações realizadas para o período de 2006-2015 mostraram que o aproveitamento solar através da geração fotovoltaica na região, produziria de 11% a 91% em relação ao que foi gerado pela UHE Sobradinho, dependendo da usina PV a ser adotada. Diante da demanda de água do reservatório da UHE Sobradinho, as UFV's simuladas foram capazes de suprir a totalidade da demanda de água do reservatório da UHE Sobradinho.

A energia gerada pelas UFV's simuladas representaria, em emissão, que poderia ser evitada, de 74.10⁵ t CO₂ a 81.10⁶ t CO₂, lançados para a atmosfera no período dos 10 anos analisados.

No período em que foi registrado forte déficit hídrico, entre os anos de 2013 e 2015, as UFV's simuladas chegariam a gerar de 19,3% a 154,5%, em relação ao que a UHE Sobradinho produziu no mesmo período. Teria sido possível um acúmulo de volume de água no reservatório de até 13,7% do seu volume total, o que se refere a 4675 Hm³ de água.

O aproveitamento solar para geração de energia elétrica fotovoltaica, representa um fator de resiliência aos extremos climáticos da região do semiárido nordestino pois, é capaz de aumentar a segurança energética, e gerar um acúmulo maior de água numa região que já sofre estiagem. Em relação a extremos climáticos chega a situações de grande vulnerabilidade.

Quanto a questão formulada para ser respondida, a geração de energia elétrica, através da tecnologia fotovoltaica combinada com a geração hidroelétrica já em operação é capaz de contribuir efetivamente para a gestão do uso da água no semiárido nordestino.

7.1 Recomendações para Trabalhos Futuros

Entre recomendações para trabalhos futuros na direção seguida nesta pesquisa de doutorado, pode-se enumerar:

- Cálculo da diferença entre o módulo horizontal e inclinado, uma vez que a inclinação dos módulos fotovoltaicos para usinas conectadas a rede deve ser de pelo menos 10^0 visando à limpeza de manutenção, além da inclinação para melhor aproveitamento da radiação solar incidente;
- Estudo do impacto da existência de uma ou mais UFV na região considerando as UHE's a jusante da UHE Sobradinho;
- Previsão da irradiação na região do estudo e seus impactos na geração híbrida hidro-solar de energia elétrica pelos cenários indicados na tese.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASIL. **Sobradinho de volta ao Sertão**. Disponível em:

<<http://www.ebc.com.br/sobradinho>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Brasília, 2017. Disponível em:

<<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/saladesituacao/v2/saofrancisco.aspx>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **SAR – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios**. Disponível em: <<http://sar.ana.gov.br/MedicaoSin>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: regiões hidrográficas brasileiras. Brasília. 2015. Disponível em:

<<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/regioeshidrograficas.pdf>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**: subprojeto 4.5C: Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - PBHSF (2004 - 2013). Brasília, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (ANA/CGEE). **A questão da água no Nordeste**. Brasília, 2012. 436 p. ISBN (9788560755455).

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **BIG - Banco de Informações de Geração**. Brasília, 2017b. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa 687 de 24 de novembro de 2015**. Brasília, 2015. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, 2012. Disponível em:
<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Cadernos Temáticos ANEEL - energia assegurada**. Brasília, 2005. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/caderno_tematico_3_2005.pdf/4d6dac3d-efa4-4d69-b927-d630431ad1fc>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Informações Técnicas – geração distribuída**. Brasília, 2017a. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao/656827?inheritRedirect=false>

ALENCAR, C. A.; JUNIO, J. U. Usinas solares fotovoltaicas no Brasil: Panorama atual e perspectivas futuras. In: IEEE/IAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY APPLICATIONS, 12., 2016, Curitiba. **Anais...** Curitiba: IEEE/IA, 2016.

ALMEIDA, M. P. **Implicações técnicas da inserção em grande escala da geração solar fotovoltaica na matriz elétrica**. 2017. 193 p. USP, 2017 – a ser publicado.

BHESOLAR. **Solar Star Projects**. 2017. Disponível em:
<https://www.bherenewables.com/solarstar_solar.aspx>.

BRANDÃO, J. L. B. **Modelo para operação de sistemas de reservatórios com usos múltiplos**. 2004. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2004.

BRASIL. **Decreto no 24.643 de 10 de julho de 1934. Código das Águas**. Brasília, 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>

BRASIL. **Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Lei das Águas.** Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada PARA CONSECUÇÃO DO OBJETIVO DA CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA.** Brasília, 2015.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). 2017. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br>>.

CANADIAN SOLAR, 2017. **Solar Modules.** Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/solar-panels/dymond.html>>.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO – CBHSF AGB – PEIXE VIVO / OFICINAS PARTICIPATIVAS SOBRE USO MÚLTIPLOS DAS ÁGUAS DO SÃO FRANCISCO. **Usos Múltiplos Na Bacia Hidrográfica Do Rio São Francisco.** 2013.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF). **Codevasf emite ordens de serviço para instalação de motobombas flutuantes no lago de Sobradinho.** 2015. Disponível em: <www.codevasf.gov.br>.

COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF). **Descrição do Aproveitamento de Sobradinho.** 2017. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Sobradinho.aspx>>.

CONNECTE SOLAR. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede - Material Educacional.** 2017.

COSTA, R. S. **Avaliação do Desempenho do Modelo de Mesoescala MM5 na Simulação de Eventos de Precipitação Extrema no Estado de Alagoas.** 2006. 184 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-

Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2006.

DIAS DA SILVA, P. E.; PEREIRA, E.; MARTINS, F.; PEREIRA, S. Quality Control of Solar Radiation Data within Sonda Network in Brazil: Preliminary Results. In: EUROSUN 2014 CONFERENCE, 2014, Aix-les-Bains (France) **Proceedings...** 2014. Disponível em: <<http://proceedings.ises.org/citation?doi=eurosun.2014.08.04>>

DISTRITO DE IRRIGAÇÃO NILO COELHO (DINC). **Distrito Irrigável Nilo Coelho**. Disponível em: <<http://www.dinc.org.br>>.

DISTRITO DE IRRIGAÇÃO NILO COELHO (DINC). **Relatório Anual da Gerência Executiva Fechamento do exercício de 2015**. 2016. Disponível em: <http://www.dinc.org.br/anexo/Rel_Fech_Exercicio_2015.pdf>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira**. 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016** - ano base 2015. Rio de Janeiro, 2016a. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016.xls](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anuário%20Estatístico%20de%20Energia%20Elétrica%202016.xls)>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional** - ano base 2015. 2016b. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Expansão da geração**. 1 Leilão de Energia de Reserva de 2015. Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral. Rio de Janeiro. 2015a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2011**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:

<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20111213_1.pdf>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Rio de Janeiro, 2015b.

ENGIE. **Cidade Azul Solar**. 2017. Disponível em:

<<http://www.engieenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/usinas-complementares/solar-cidade-azul>>.

FERREIRA NETO, A. B.; CORREA, W. L. R.; PEROBELLI, F. S. Consumo de energia e crescimento econômico: uma análise do Brasil no período 1970-2009. **Análise Econômica**, v. 34, n. 65, p. 181–203, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The Water-Energy-Food Nexus** - a new approach in support of food security and sustainable agriculture. Rome, 2014.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 43–68, 2015.

GERMAN SOLAR ENERGY. 2017. **Produtos**. Disponível em:

<<http://www.germansolarenergy.com.br/produtos>>.

GIATTI, L. L.; JACOBI, P. R.; FAVARO, A. K. M. D. I.; EMPINOTTI, V. L. O nexo água, energia e alimentos no contexto da Metrópole Paulista. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 43–61, 2016.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. 1. ed. Belo Horizonte: [s.n.]. 468 p. ISBN(85-86480-14-2).

GOLDEMBERG, J. J. Energia e desenvolvimento. **Estudos Avançados**, v. 12, n. 33, p. 7–15, 1998.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012. 400 p. ISBN(978-85-314-1113-7).

GOOGLE. **Google Maps**. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>.

GREEN, M. A.; EMERY, K.; KING, D. L.; IGARI, S.; WARTA, W. Solar Cell Efficiency Tables: (Version 16). **Progress in photovoltaics: research and applications**, v. 8, p. 377–384, 2001.

HOFF, H. Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn. In: BONN 2011 CONFERENCE: THE WATER, ENERGY AND FOOD SECURITY NEXUS, 2011, Stockholm, Sweden. **Proceedings...** Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2011

HOWELLS, M.; ROGNER, H. Assessing integrated systems. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 4, p. 7–8, 2014.

HUSSEY, K.; PITTOCK, J. The energy-water nexus: Managing the links between energy and water for a sustainable future. **Ecology and Society**, v. 17, n. 1, 2012.

IBRAHIM, H.; ILINCA, A.; PERRON, J. Energy storage systems-Characteristics and comparisons. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 5, p. 1221–1250, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990**. Brasília, 2015. Disponível em: <www.inmet.gov.br>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Snapshot of global photovoltaic markets**. Paris, 2016. Disponível em: <<http://www.iea-pvps.org/index.php?id=266>>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2014**. Paris, 2014. Disponível em:
<<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2014ExecutiveSummaryPortugueseversion.pdf>>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy technology perspective. Scenario and strategies to 2050**. Paris, 2008. 646 p. ISBN(9789264041424).

IPCC; EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; SEYBOTH, K.; EICKEMEIER, P.; MATSCHOSS, P.; HANSEN, G.; KADNER, S.; SCHLÖMER, S.; ZWICKEL, T.; STECHOW, C. VON. **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Cambridge University Press, 2012. Disponível em:
<<http://srren.ipcc-wg3.de/report>>.

JARDIM, C. S.; SALAMONI, I.; RÜTHER, R. O Potencial Dos Sistemas Fotovoltaicos Interligados À Rede Elétrica Em Áreas Urbanas: Dois Estudos De Caso. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. **Anais Eletrônicos...** Campinas, 2004. Disponível em:
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200029&script=sci_arttext>

JONG, P.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E. A. Economic and environmental analysis of electricity generation technologies in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 725–739, 2015.

JONG, P.; SÁNCHEZ, A. S.; ESQUERRE, K.; KALID, R. A.; TORRES, E. A. Solar and wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 526–535, 2013.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p. 1140–1153, 1979.

- KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217–231, 1988.
- KOUSKY, V. E.; CAVALCANTE, I. F. A. Eventos Oscilação Sul - El Niño: características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v. 36, n. 11, p. 1888–1889, 1984.
- KOUSKY, V. E.; ELIAS, M. **Meteorologia sinótica**: parte I. São José dos Campos: INPE, 1982. Disponível em:
<[http://marte3.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.27.16.21/doc/INPE-2605-MD 021.pdf](http://marte3.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.27.16.21/doc/INPE-2605-MD%20021.pdf)>
- KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538–551, dez. 1981.
- LAWFORD, R.; BOGARDI, J.; MARX, S.; JAIN, S.; WOSTL, C. P.; KNÜPPE, K.; RINGLER, C.; LANSIGAN, F.; MEZA, F. Basin perspectives on the Water-Energy-Food Security Nexus. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 6, p. 607–616, 2013.
- LECK, H.; CONWAY, D.; BRADSHAW, M.; REES, J. Tracing the Water-Energy-Food Nexus: Description, Theory and Practice. **Geography Compass**, v. 9, n. 8, p. 445–460, 2015.
- LOPES, J. E. G.; SANTOS, R. C. P. **Capacidade de Reservatórios**. São Paulo: USP, 2002.
- LOPES, M. G.; FERREIRA, T. S. D.; TRINDADE, F. C. L.; FREITAS, W. Análise dos impactos técnicos resultantes da variabilidade de geração de curto prazo de sistemas fotovoltaicos. In: Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica, 11., 2015, Campina Grande. **Anais...** Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2015.

LORENZO, E. La energía que producen los sistemas fotovoltaicos conectados a la red : El mito del 1300 y “el cascabel del gato”. **Era Solar**, v. 107, p. 22–29, 2002. ISSN 0212-4157.

MARIANI, L.; MENDES GUARENGHI, M.; LIMA MITO, J. Y.; NAKAO CAVALIERO, C. K.; ALMEIDA GALVÃO, R. R. Análise de oportunidades e desafios para o Nexo Água-Energia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 37, p. 9–30, 2016.

MARRECO, J. D. M. **Planejamento de Longo Prazo da Expansão da Oferta de Energia Elétrica no Brasil sob uma Perspectiva da Teoria das Opções Reais**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. 150p.

MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. **Energy Policy**, v. 48, p. 640–649, 2012.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Estudo comparativo da confiabilidade de estimativas de irradiação solar para o sudeste brasileiro obtidas a partir de dados de satélite e por interpolação/extrapolação de dados de superfície. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 2, p. 265–276, 2011.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. D. S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário: o Projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 145–159, 2004.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; SILVA, S. A. B.; ABREU, S. L.; COLLE, S. Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment. **Energy Policy**, v. 36, n. 8, p. 2843–2854, 2008a.

MARTINS, F. R.; RÜTHER, R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L. Solar energy scenarios in Brazil. Part two: Photovoltaics applications. **Energy Policy**, v. 36, n. 8, p. 2855–2867, 2008b.

MARTITS, L. A.; GARCIA, F. G.; AMARAL JÚNIOR, J. B. C. Concessões de termoelétricas no Brasil: investir ou não? **Revista Brasileira de Casos de Ensino em Administração**, v. 2, n. 2, p. 1–11, 2012.

MEDEIROS, Y. D. P.; BRAMBILLA, M.; TORRES, C. J. F.; FONTES, A. S. **Análise de Cenários da Implementação do Hidrograma Ambiental no Baixo Trecho do São Francisco**. Salvador: UFBA/GRH, 2016.

MEDEIROS, Y.; PINTO, I. M.; STIFELMAN, G. M.; FARIA, A. DA S.; PELLI, J. C. S.; RODRIGUES, R. F.; SILVA, E. R.; COSTA, T.; BOCCACIO, M. X.; SILVA, E. B. **G. Participação Social no Processo de Alocação de Água, no Baixo Curso do Rio São Francisco**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2010.

MELO, E. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, p. 125–142, 2013.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MIN). **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Brasília. 2005. Disponível em:
<http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira**: exercício de 2015. Brasília, 2016. Disponível em:
<[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;jsessionid=B415252F7145EC1BD6596B2C8137D1B8.srv155?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;jsessionid=B415252F7145EC1BD6596B2C8137D1B8.srv155?version=1.0)>. Acesso em: 28 ago. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Acordo Paris**. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>.

MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDÃO, C. D. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a

antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 141–164, 2012.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory, and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653–2675, 1981.

NÚCLEO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE ENERGIA (NEEE). **Capacidade Instalada de Geração Elétrica – Brasil e Mundo** (2014). 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/0/Capacidade+Instalada+de+EE+2014.pdf/cb1d150d-0b52-4f65-a86b-b368ee715463>>

NOBRE, C. A. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: A importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, v. 3, n. 4, p. 30–33, 1988.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS). **Atuação do ONS – Sistemas Isolados**. Rio de Janeiro, 2015c. Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/sistemas_isolados.aspx>.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS). **Atuação do ONS**. Rio de Janeiro, 2015b. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/atuacao/index.aspx>>.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS). **Geração de Energia**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx>.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS). **Mapas do SIN**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx>.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS). **O que é o SIN – Sistema Interligado Nacional**. Rio de Janeiro, 2015a. Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx>.

OSCAR JUNIOR, A. C. S.; FERREIRA, V. J. R. P.; SILVA, W. L.; BARRETO, R. DA C. Vulnerabilidade do setor de energias renováveis no Brasil às mudanças climáticas. In: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (ed). **Modelagem Climática e**

Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil. 1. ed. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 590 p.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **ATLAS Brasileiro de energia Solar.** 2. ed. São José dos Campos, 2017 – a ser publicado.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L. **ATLAS Brasileiro de energia Solar.** 1. ed. São José dos Campos, 2006. 64 p. ISBN (9788517000300).

PEREIRA, S. B. **Evaporação no Lago de Sobradinho e Disponibilidade Hídrica no São Francisco.** 2004. 105 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, 2004.

PIMENTEL, F. **O Fim da Era do Petróleo e a Mudança do Paradigma Energético Mundial:** Perspectivas e Desafios para a Atuação Diplomática Brasileira. Brasília: Ministério das Relações Exteriores, 2011. 236 p. ISBN(9788576313083).

PINTO JR, H. Q.; ALMEIDA, E. L. F.; BOMTEMPO, J. V.; IOOTTY, M.; BICALHO, R. G. **Economia da Energia Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 441 p. ISBN(978-85-352-2408-5).

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY (REN21). **RENEWABLES 2016 GLOBAL STATUS REPORT.** Paris, 2016. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf>.

ROSA, L. P.; SANTOS, M. A.; MATVIENKO, B.; SANTOS, E. O.; SIKAR, E. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. **Climatic Change**, v. 66, n. 2, p. 9–21, 2004.

- RUDD , J.M.W. , HARRIS , R., KELLY, C. A. Are Hydroelectric Reservoirs Significant Sources of Greenhouse Gases? **Ambio**, v. 22, n. 4, p. 246–248, 1993.
- RÜTHER, R.; SALAMONI, I.; MONTENEGRO, A.; BRAUN, P.; DAVIENNE FILHO, R. PROGRAMA DE TELHADOS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA PÚBLICA NO BRASIL. In: Encontro nacional de Tecnologia do Ambiente Construido, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2008Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A1686.pdf>>
- SANTOS, M. A.; ROSA, L. P.; MATVIENKO, B.; SANTOS, E. O.; ROCHA, C. H. E. D.; SIKAR, E.; SILVA, M. B.; JUNIOR, A. M. P. B. Emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de hidrelétricas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 1, p. 116–129, 2008.
- SANTOS, M. A.; ROSA, L. P.; SIKAR, B.; SIKAR, E.; SANTOS, E. O. Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants. **Energy Policy**, v. 34, n. 4, p. 481–488, 2006.
- SANTOS, R. L. P.; ROSA, L. P.; AROUCA, M. C.; RIBEIRO, A. E. D. The importance of nuclear energy for the expansion of Brazil's electricity grid. **Energy Policy**, v. 60, p. 284–289, set. 2013.
- SILVA, A. R. **Energia eólica em alto mar: distribuição dos recursos e complementariedade hídrica**. 2015. 139 p. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.
- SISTEMA DE ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE DADOS AMBIENTAIS (SONDA). **Rede Sonda**. São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://sonda.ccst.inpe.br/index.html>>.
- SOITO, J. L. D. S.; FREITAS, M. A. V. Amazon and the expansion of hydropower in Brazil: Vulnerability, impacts and possibilities for adaptation to global climate change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 6, p. 3165–3177, 2011.

SPIEGELBERG, M.; BALTAZAR, D. E.; SARIGUMBA, M. P. E.; ORENCIO, P. M.; HOSHINO, S.; HASHIMOTO, S.; TANIGUCHI, M.; ENDO, A. Unfolding livelihood aspects of the Water-Energy-Food Nexus in the Dampalit Watershed, Philippines.

Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 3, Suppl. 1, p. 89-90, 2015.

SURI, M.; CEBECAUER, T.; SKOCZEK, A. Cloud Cover Impact on Photovoltaic Power Production in South Africa. In: Southern African Solar Energy Conference (SASEC 2014), 2., 2014, Port Elizabeth, South Africa. **Proceedings...** 2014. Disponível em: <http://geomodelsolar.eu/_docs/papers/2014/Suri-et-al--SASEC2014--Cloud-cover-impact-on-PV-power-production-in-South-Africa.pdf>

TIEPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. 228 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015.

TIEPOLO, G. M.; JR, O. C.; JR, J. U.; VIANA, T.; PEREIRA, E. B. Comparação Entre O Potencial De Geração Fotovoltaica No Estado Do Paraná Com Alemanha, Itália E Espanha. In: Congresso de Energia Solar, 5., 2014, Recife. **Anais...** Recife, ABENS, 2014

TORRES, C. J. F.; BRAMBILLA, M.; FONTES, A. S.; MEDEIROS, Y. D. P. Conflitos pelo uso da água para irrigação, geração de energia elétrica e manutenção do ecossistema aquático no baixo trecho do Rio São Francisco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 195–210, 2015.

TUNDISI, J. G. Exploração do potencial hidrelétrico da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 109–117, 2007.

UECKERDT, F.; BRECHA, R.; LUDERER, G. Analyzing major challenges of wind and solar variability in power systems. **Renewable Energy**, v. 81, p. 1–10, 2015.

VELDKAMP, T. I. E.; WADA, Y.; AERTS, J. C. J. H.; DÖLL, P.; GOSLING, S. N.; LIU, J.; MASAKI, Y.; OKI, T.; OSTBERG, S.; POKHREL, Y.; SATOH, Y.; KIM, H.;

WARD, P. J. Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century. **Nature Communications**, v. 8, p. 15697. 2017.

VELLOSO, C. A. L.; VETTERLE, J. F. **Determinação dos Rendimentos de Painéis de Alumínio para Aproveitamento da Energia Solar**. 1976. 77 p. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1976.

VIANA, T. S.; RÜTHER, R.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Assessing the potential of concentrating solar photovoltaic generation in Brazil with satellite-derived direct normal irradiation. **Solar Energy**, v. 85, n. 3, p. 486–495, 2011.

VIANA, T. S.; RÜTHER, R.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Potencial De Geração Fotovoltaica Com Concentração No Brasil. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 3., 2010, Belém. **Anais...** Belém: ABENS, 2010. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/eventos/CBENS2010_Trajano_etal.pdf>

WINEMILLER, K. O.; MCINTYRE, P. B.; CASTELLO, L.; FLUET-CHOUINARD, E.; GIARRIZZO, T.; NAM, S.; BAIRD, I. G.; DARWALL, W.; LUJAN, N. K.; HARRISON, I.; STIASSNY, M. L. J.; SILVANO, R. A. M.; FITZGERALD, D. B.; PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; ALBERT, J. S.; BARAN, E.; PETRERE, M.; ZARFL, C.; MULLIGAN, M.; SULLIVAN, J. P.; ARANTES, C. C.; SOUSA, L. M.; KONING, A. A.; HOEINGHAUS, D. J.; SABAJ, M.; LUNDBERG, J. G.; ARMBRUSTER, J.; THIEME, M. L.; PETRY, P.; ZUANON, J.; VILARA, G. T.; SNOEKS, J.; OU, C.; RAINBOTH, W.; PAVANELLI, C. S.; AKAMA, A.; VAN SOESBERGEN, A.; SAENZ, L. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. **Science**, v. 351, n. 6269, p. 128–129, 2016.

WORLD BANK. **Electric power consumption**. 2017. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2013&start=2013&view=map>>.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 5, n. 2, p. 205–217, 1977.

ANEXO A

Tabela A.1 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2006.

<i>Média Radiação Global Horizontal - total diário (2006)</i>																							
<i>Janeiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Março</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Abril</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Mai</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Junho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Julho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Agosto</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Setembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Outubro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Novembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Dezembro</i>	<i>Wh/m²</i>
1	5894.02	1	5338.74	1	6987.89	1	1918.00	1	2904.00	1	2619.00	1	2064.00	1	5901.47	1	6657.00	1	6739.00	1	7350.50	1	6836.48
2	6150.96	2	6550.08	2	5846.70	2	4691.00	2		2	3816.00	2	1272.00	2	4641.07	2	6760.00	2	7323.00	2	7205.73	2	6536.44
3	7160.91	3	3738.02	3	5061.85	3	3675.00	3		3	5291.00	3	3731.00	3	4724.84	3	6667.00	3	5288.23	3	6953.94	3	5326.89
4	6615.76	4	7189.57	4	3957.64	4		4		4	1876.00	4	3338.00	4	5875.51	4	6572.00	4	6989.09	4	7511.94	4	7557.80
5	7033.41	5	6752.37	5	1328.62	5		5	5804.00	5	3240.00	5	4458.00	5	5215.85	5	6620.00	5	5306.34	5	7292.14	5	7267.50
6	7169.11	6	5059.50	6	5242.00	6		6	5425.00	6	5059.00	6	2612.00	6	4864.53	6	5182.00	6	6919.96	6	5994.02	6	7301.46
7	7287.30	7	4713.97	7	6085.00	7		7	4019.00	7	3184.00	7	2498.00	7	4942.52	7	4464.00	7	6200.59	7	6161.33	7	6751.22
8	7457.29	8	5822.63	8	6254.28	8		8		8	3358.00	8	5552.00	8	4737.12	8	1688.00	8	5749.12	8	6424.53	8	5507.76
9	6804.10	9	6613.17	9	5657.08	9		9	4135.00	9	5177.00	9	4901.00	9	3869.00	9	5066.00	9	6104.96	9	6324.37	9	4448.42
10	5932.60	10	4422.79	10	5595.74	10		10	5465.00	10		10	5518.00	10	5675.00	10	2491.00	10	6757.94	10	2151.39	10	5161.27
11	6602.18	11	4955.99	11	4681.65	11		11	5572.00	11		11	5136.00	11	5944.00	11	3250.00	11	6074.19	11	3636.00	11	4980.58
12	6812.70	12	3997.22	12	5040.53	12		12	5893.00	12		12	3515.00	12	3724.00	12	5947.00	12	6750.70	12	3565.13	12	5829.07
13	5862.97	13	4596.17	13	5399.40	13	3638.00	13	3173.00	13		13	3333.00	13	5463.00	13	6288.00	13	7204.29	13	4696.74	13	5978.92
14	5262.30	14	5433.50	14	5545.13	14	6439.00	14	2917.00	14		14	3038.00	14	5335.00	14	6704.00	14	6845.37	14	7195.00	14	6610.07
15	7404.04	15	5857.06	15	4480.99	15	4590.00	15	3526.00	15	2599.00	15		15	3636.02	15	6457.00	15	6482.52	15	5180.00	15	7497.67
16	7624.19	16	5703.65	16	6022.36	16	5414.00	16	2073.00	16	4180.00	16		16	3949.92	16	5950.00	16	6469.88	16	5999.00	16	6708.73
17	7055.27	17	6945.41	17	4746.67	17	2837.00	17	3449.00	17	3788.00	17	4188.00	17	6172.82	17	4307.00	17	6858.74	17	3275.00	17	6585.73
18	5823.61	18	4524.99	18	5833.29	18	4070.00	18	2959.00	18	1586.00	18	3304.00	18	4954.32	18	6951.00	18	6847.73	18	6780.00	18	6379.78
19	5487.12	19	5328.82	19	5963.42	19	3446.00	19	4507.00	19	3142.00	19		19	6323.87	19	6846.00	19	6622.29	19	7289.00	19	5957.90
20	6511.96	20	6287.15	20	4722.16	20	2694.00	20	5849.00	20	2756.00	20		20	6297.60	20	5872.00	20	6013.39	20	6413.00	20	5526.15
21	4606.87	21	6837.54	21	6424.00	21	4575.94	21		21	3154.63	21		21	6012.86	21		21	5860.60	21	7232.00	21	6815.06
22	5124.01	22	6772.84	22	5881.00	22	5976.00	22	5925.00	22	3837.74	22	5777.00	22	6127.00	22	6368.00	22	2678.76	22	3499.00	22	7131.60
23	6569.62	23	5290.61	23	4759.00	23	4570.00	23	4775.00	23	5293.29	23	4606.00	23	4248.00	23	6131.31	23	4093.06	23	6982.00	23	7286.34
24	5204.61	24	5683.98	24	3049.93	24	5772.11	24	5200.00	24	3709.96	24	3818.00	24	6102.00	24	6858.28	24	3699.56	24	6592.69	24	6578.37
25	5592.02	25	6179.40	25	4454.49	25	3923.40	25	3328.00	25	3911.00	25	4277.00	25	4905.00	25	6471.34	25	4972.05	25	7398.96	25	7586.76
26	7263.66	26	5688.00	26	5730.34	26	5813.55	26	3139.00	26	4209.05	26	3051.00	26	4699.00	26	6866.00	26	7200.30	26	6992.00	26	7556.31
27	6854.00	27	3313.00	27	5488.84	27	5782.48	27	3584.00	27	5106.24	27	3999.00	27	6443.00	27	6588.00	27	7274.12	27	6909.90	27	6766.55
28	7034.46	28	6572.00	28	5202.12	28	3014.93	28	4211.00	28	3845.35	28	4929.00	28	6452.00	28	4955.00	28	6097.28	28	7217.77	28	6789.36
29	6788.15	29		29	3977.31	29	4438.00	29	3436.00	29		29	5934.00	29	6684.00	29	4499.00	29	2399.90	29	7038.30	29	7103.30
30	7121.88	30		30	4025.00	30	4123.00	30	3790.00	30		30	5781.00	30	5881.00	30	5761.00	30	1994.46	30	7363.42	30	5668.59
31	5738.72	31		31	6459.00	31		31	5237.00	31		31	5367.00	31	2298.00	31		31	6504.17	31		31	5898.33

Tabela A.2 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2007.

<i>Média Radiação Global Horizontal - total diário (2007)</i>																							
<i>Janeiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Março</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Abril</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Mai</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Junho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Julho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Agosto</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Setembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Outubro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Novembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Dezembro</i>	<i>Wh/m²</i>
1	7545.94	1	6292.93	1	4860.57	1	6340.62	1	5124.35	1	2293.51	1	5406.19	1	6104.80	1	4464.55	1	6042.19	1	7276.29	1	6718.00
2	5789.75	2	5506.71	2	6298.34	2	5431.18	2	4372.90	2	4684.98	2	5296.25	2	3009.49	2	4361.01	2	6900.22	2	7233.90	2	4347.00
3	5191.90	3	2976.76	3	6904.66	3	5987.96	3	3940.47	3	5742.64	3	4135.68	3	3038.24	3	5098.18	3	6083.22	3	7279.56	3	6174.00
4	7430.38	4	2217.38	4	4718.00	4	6258.13	4	4735.79	4	5691.89	4	4529.47	4	2282.79	4	3985.13	4	4543.05	4	7024.30	4	4187.50
5	5863.88	5	4972.36	5	6279.80	5	6772.50	5	4820.86	5	5492.84	5	3924.31	5	4541.97	5	4378.98	5	4511.14	5	7067.92	5	7014.50
6	7439.75	6	5145.29	6	6075.14	6	6789.06	6	2322.72	6	5639.86	6	3244.54	6	5627.43	6	4804.07	6	7134.73	6	4707.00	6	4707.00
7	7307.05	7	6209.61	7	5913.60	7	6762.80	7	5512.12	7	4777.10	7	4049.00	7	5241.43	7	3976.42	7	6199.00	7	7121.82	7	7080.00
8	6441.11	8	7123.32	8	4734.60	8	6683.14	8	6049.44	8	4284.38	8	4284.38	8	6310.73	8	5857.25	8	6869.00	8	6596.56	8	6706.00
9	6930.93	9	6674.78	9	5438.41	9	6605.96	9	5474.77	9	5653.34	9	5653.34	9	6040.44	9	6263.89	9	4253.00	9	7435.89	9	5020.00
10	7405.93	10	7321.61	10	6450.78	10	5502.65	10	5794.25	10	2836.97	10	2836.97	10	6236.88	10	5429.63	10	2926.19	10	7191.36	10	6353.00
11	7134.01	11	6284.33	11	4801.11	11	2576.77	11	2135.08	11	5097.05	11	1375.00	11	3767.73	11	5506.49	11	7054.65	11	7393.49	11	6353.00
12	2440.55	12	6425.10	12	6026.38	12	6073.48	12	2447.47	12	2877.01	12	5818.47	12	5136.96	12	4577.65	12	6860.70	12	6943.92	12	6353.00
13	3533.15	13	1733.66	13	6125.90	13	5096.61	13	3484.30	13	5204.48	13	3357.95	13	3806.92	13	6805.81	13	7222.40	13	5842.56	13	6913.00
14	4777.00	14	4128.00	14	5081.74	14	4556.95	14	3023.13	14	4889.31	14	4685.16	14	5772.49	14	5963.03	14	7221.19	14	7176.51	14	6655.57
15	6776.27	15	4942.98	15	5517.91	15	5435.50	15	3649.11	15	2966.15	15	5021.59	15	3238.43	15	4869.21	15	6710.03	15	7309.83	15	3209.57
16	6928.37	16	2418.88	16	5726.32	16	5434.35	16	3425.02	16	3314.65	16	5300.09	16	3891.08	16	6805.21	16	7326.95	16	6426.07	16	4199.00
17	5925.16	17	3662.59	17	5681.97	17	4317.70	17	3238.33	17	3927.62	17	4991.03	17	4305.40	17	6409.63	17	7323.78	17	5119.77	17	4545.00
18	6533.72	18	1278.79	18	5601.36	18	3740.63	18	4663.64	18	4885.31	18	5865.99	18	6402.66	18	6583.11	18	7289.01	18	7313.03	18	4261.00
19	7266.65	19	5947.12	19	5620.60	19	4472.16	19	3581.91	19	4967.68	19	5782.96	19	6399.63	19	6982.68	19	6790.36	19	7472.30	19	6843.00
20	6788.89	20	3717.64	20	5591.11	20	4083.67	20	5598.67	20	4524.43	20	5850.21	20	3746.41	20	6113.56	20	6832.07	20	7309.63	20	6934.00
21	7270.95	21	6119.06	21	5435.01	21	4835.69	21	4833.81	21	5451.57	21	4813.68	21	4780.79	21	6659.94	21	5433.87	21	7233.04	21	6934.00
22	7295.73	22	5934.51	22	4939.00	22	3726.68	22	5508.54	22	3329.31	22	3466.39	22	6199.48	22	6339.17	22	6044.77	22	5673.52	22	6553.00
23	7325.96	23	3038.43	23	5622.78	23	5582.90	23	5868.61	23	5699.47	23	5537.97	23	6485.21	23	6931.00	23	5118.73	23	5604.24	23	3702.00
24	6913.51	24	4589.63	24	5307.81	24	5172.87	24	5344.46	24	4500.17	24	5998.50	24	4411.22	24	6882.76	24	4288.51	24	5898.71	24	6917.00
25	7308.59	25	5213.07	25	4868.90	25	4366.47	25	5722.38	25	5536.90	25	4936.23	25	5380.83	25	6714.62	25	4973.14	25	6381.63	25	6919.00
26	6146.84	26	7136.88	26	4829.02	26	3971.56	26	4362.04	26	4557.28	26	5120.52	26	5602.03	26	6965.65	26	7169.64	26	5858.00	26	5372.00
27	7173.63	27	6614.30	27	6017.93	27	4124.11	27	2412.13	27	4163.99	27	3454.38	27	6182.36	27	4753.50	27	7245.48	27	6374.00	27	6374.00
28	7196.65	28	6059.82	28	5735.22	28	5809.41	28	3213.85	28	2922.24	28	5976.62	28	6196.84	28	6339.03	28	7215.70	28	3126.00	28	6374.00
29	6304.89	29	6460.06	29	6460.06	29	3728.00	29	4198.91	29	2440.58	29	4600.50	29	6213.57	29	5499.16	29	7250.53	29	5173.00	29	6387.00
30	6109.67	30	6523.65	30	6523.65	30	4447.00	30	5110.39	30	3994.25	30	3264.47	30	4410.57	30	7140.88	30	6794.27	30	6390.00	30	4963.00
31	6856.78	31	6710.64	31	6710.64	31	5268.48	31	5268.48	31	3632.66	31	3632.66	31	4549.09	31	7326.26	31	7326.26	31	7326.26	31	4963.00

Tabela A.3 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2008.

Média Radiação Global Horizontal - total diário (2008)																							
Janeiro	Wh/m²	Fevereiro	Wh/m²	Março	Wh/m²	Abril	Wh/m²	Mai	Wh/m²	Junho	Wh/m²	Julho	Wh/m²	Agosto	Wh/m²	Setembro	Wh/m²	Outubro	Wh/m²	Novembro	Wh/m²	Dezembro	Wh/m²
1	6279.42	1		1		1	2626.03	1	5304.06	1	4261.71	1	4207.16	1	5500.00	1	4511.44	1	6069.13	1	7500.71	1	4615.90
2	5455.92	2	7058.00	2	4512.00	2	2137.11	2	4880.28	2	3759.00	2	3831.05	2	5672.00	2	2749.00	2	6894.49	2	7361.80	2	2912.95
3		3	7509.00	3	5813.00	3	3588.83	3	5751.19	3	4592.00	3	5200.03	3	5718.00	3	5921.00	3	6591.58	3	6078.61	3	2156.87
4		4	7463.00	4	7334.00	4	4721.35	4	5812.05	4	3172.28	4	4787.81	4	5455.00	4	6153.00	4	5043.54	4	7200.19	4	5995.44
5		5		5	6971.00	5	5599.96	5	5952.43	5	4546.58	5	2816.27	5	3370.27	5	6443.00	5	6318.05	5	7404.27	5	5936.76
6		6	7608.00	6	6335.02	6	4063.45	6	3377.97	6	3640.49	6	3517.85	6	4495.23	6	6317.00	6	6654.33	6	7480.78	6	7240.67
7	7076.00	7	7293.00	7	5992.08	7	6384.11	7	5634.03	7	3974.53	7	2192.99	7	5047.59	7	6114.00	7	5964.79	7	7351.29	7	6265.53
8	7014.00	8	4411.08	8	6263.31	8	5570.80	8	5036.75	8	4674.09	8	4748.31	8	5562.05	8	6008.00	8	5338.33	8	6931.66	8	5672.34
9	6610.00	9	5012.46	9	6564.52	9	5646.39	9	3043.72	9	4777.45	9	2867.51	9	6181.90	9	5013.00	9	6928.63	9	6468.76	9	6487.04
10	7270.00	10	7207.42	10	6653.66	10	6075.84	10	3071.13	10	3402.88	10	3794.00	10	6344.90	10	3734.00	10	5307.15	10	6395.76	10	5218.83
11		11	7459.53	11	7216.18	11	4595.34	11	3694.81	11	5229.32	11	427.59	11	4599.15	11	3299.00	11	7255.89	11	6750.69	11	6590.52
12	7172.00	12	6848.47	12	7333.05	12	5345.00	12	2823.44	12	3366.18	12	2301.15	12	3842.88	12	5926.00	12	4833.30	12	6237.31	12	6009.56
13	7205.00	13	4335.23	13	5803.02	13	5837.00	13	3530.82	13	5233.71	13	5818.68	13	5881.13	13	5080.00	13	5324.27	13	6419.88	13	5815.21
14	7390.00	14	5440.12	14	5070.47	14	5726.00	14	4905.23	14	4833.79	14	4449.41	14	4402.51	14	6756.00	14	6598.61	14	6266.10	14	6179.66
15		15	5964.69	15	4500.00	15	5840.00	15	5022.35	15	4119.07	15	4320.04	15	5831.24	15	6647.00	15	6878.26	15	7372.57	15	6732.07
16	3921.00	16	4352.00	16	5913.00	16	6007.00	16	5420.95	16	4685.99	16	3569.62	16	4107.68	16	5357.59	16	6526.42	16	7401.77	16	5488.82
17	4017.00	17	5622.00	17	5457.00	17	5493.33	17	5186.33	17	3751.54	17	2758.95	17	3840.22	17	6413.92	17	4996.76	17	6819.47	17	6290.91
18		18	6131.00	18	5206.00	18	5959.96	18	2855.83	18	4047.57	18	3186.59	18	4610.90	18	6740.14	18	4020.00	18	6016.97	18	5699.34
19	6088.00	19	6526.00	19		19	4497.48	19	3227.34	19	5544.09	19	3673.55	19	5070.35	19	6327.94	19	6995.00	19	7130.46	19	7376.38
20		20	6875.00	20	3151.00	20	3952.30	20	3262.10	20	3729.21	20	5980.61	20	4960.62	20	6869.23	20	7256.00	20	6648.71	20	6395.74
21		21	5309.00	21	4926.00	21	4824.57	21	3123.58	21	5182.00	21	3701.59	21	3455.25	21	5926.01	21	4566.00	21	7165.00	21	3471.23
22		22	7224.15	22	5919.00	22	6205.49	22	4305.34	22	4640.00	22	2644.56	22	3947.47	22	6518.35	22	7093.04	22	7003.88	22	4823.58
23	7429.00	23	7559.61	23	6062.00	23	5353.42	23	4119.73	23	3446.00	23	5513.30	23	5964.02	23	6954.55	23	5540.01	23	6980.77	23	4650.36
24	5746.94	24	6383.66	24	2149.52	24	5622.70	24	3724.29	24	1959.00	24	5837.95	24	4019.85	24	6216.62	24	6513.92	24	5835.99	24	5870.40
25	5313.81	25	5394.24	25	5271.79	25	5472.96	25	4061.18	25	5257.00	25	5944.87	25	5076.69	25	5825.82	25	5959.22	25	5826.72	25	6887.99
26	6114.52	26	3286.74	26	3396.44	26	4080.46	26	5252.94	26	5025.00	26	4792.48	26	6477.34	26	6612.26	26	6679.50	26	6550.13	26	6168.02
27	6295.97	27	5095.98	27	3271.32	27	6352.64	27	5242.38	27	2346.00	27	5573.97	27	6118.65	27	4737.09	27	6785.97	27	6176.27	27	6848.00
28	5468.96	28	2436.51	28	5581.21	28	5714.00	28	5419.77	28	2369.00	28	4958.08	28	5691.99	28	6734.26	28	6950.15	28	7223.72	28	7086.98
29	7234.46	29	1157.42	29	5647.36	29	4107.78	29	3126.80	29	3664.00	29	3149.00	29	4485.07	29	6757.65	29	6725.24	29	4216.62	29	7334.00
30	6956.39			30	4235.12	30	5178.20	30	5612.09	30	4103.87	30	5206.00	30	6316.70	30	4310.90	30	6533.41	30	5162.14	30	7206.00
31	2326.18			31	3339.38			31	3022.10			31	5742.00	31	6498.73			31	7266.06			31	6892.00

Tabela A.4 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2009.

<i>Média Radiação Global Horizontal - total diário (2009)</i>																							
<i>Janeiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Março</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Abril</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Mai</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Junho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Julho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Agosto</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Setembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Outubro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Novembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Dezembro</i>	<i>Wh/m²</i>
1	7157.41	1	6832.84	1	5334.15	1	5435.63	1	2403.69	1	5481.31	1	5058.04	1	4861.69	1	6312.91	1	7023.65	1	6726.63	1	5405.42
2	6564.81	2	3611.96	2	5982.10	2	5800.52	2	4984.71	2	5312.36	2	3163.53	2	4107.47	2	6352.13	2	6390.07	2	7293.84	2	1683.83
3	5626.23	3	4934.19	3	5586.82	3	5040.49	3	2419.88	3	4546.41	3	3373.05	3	4941.68	3	4870.88	3	5413.74	3	7312.17	3	6545.85
4	5367.95	4	6532.88	4	5107.52	4	5187.73	4	3167.39	4	5463.70	4	5230.10	4	4107.98	4	6067.09	4	5499.94	4	6556.35	4	6598.91
5	4794.44	5	6853.14	5	6482.50	5	5924.46	5	3422.70	5	3356.44	5	3312.66	5	4000.19	5	6336.03	5	5226.56	5	6816.94	5	6880.95
6	6399.38	6	6001.71	6	3650.39	6	5528.09	6	4615.00	6	4961.65	6	4925.13	6	5335.17	6	6583.01	6	6141.86	6	6935.23	6	6572.63
7	4370.38	7	6130.27	7	6681.84	7	6041.30	7	4776.00	7	4163.09	7	3617.20	7	4154.86	7	5289.00	7	7014.83	7	6394.46	7	5177.42
8	4354.81	8	6320.88	8	5313.09	8	5170.86	8	4643.00	8	3150.65	8	4321.22	8	4611.30	8	3244.03	8	7109.05	8	7174.91	8	7299.83
9	6470.71	9	6446.54	9	7258.20	9	4410.82	9	3665.70	9	4009.70	9	5466.48	9	5274.19	9	5816.83	9	5545.31	9	7302.56	9	7318.77
10	4327.38	10	7299.89	10	6651.64	10	4629.17	10	3288.57	10	3102.21	10	4434.77	10	5726.93	10	5282.17	10	4399.87	10	6847.26	10	7060.60
11	5893.46	11	6530.85	11	7346.51	11	3253.38	11	3612.37	11	5661.86	11	5402.67	11	6249.88	11	6404.75	11	1533.96	11	6465.39	11	5039.65
12	6665.01	12	7003.80	12	7030.89	12	5200.86	12	3456.82	12	4558.87	12	5398.76	12	5013.30	12	4466.00	12	4281.61	12	7412.14	12	6174.04
13	6707.23	13	6261.18	13	7087.99	13	6021.80	13	4910.95	13	4629.00	13	4535.36	13	3677.75	13	5852.00	13	5761.19	13	7410.26	13	5215.82
14	6381.18	14	5033.55	14	6063.52	14	3893.32	14	4077.24	14	5417.98	14	4606.84	14	6055.74	14	3454.06	14	5668.37	14	6637.80	14	4979.50
15	7222.48	15	3962.70	15	6365.16	15	4927.93	15	4750.83	15	3702.75	15	5615.39	15	5361.49	15	5114.31	15	7038.06	15	6209.66	15	6835.45
16	6251.89	16	5144.40	16	4908.54	16	4828.66	16	4954.42	16	2751.27	16	3694.53	16	4226.16	16	3829.79	16	6967.99	16	7027.86	16	6889.57
17	5996.00	17	6406.89	17	4639.03	17	4266.09	17	3592.50	17	3511.69	17	2669.25	17	5911.47	17	5078.51	17	6395.51	17	5990.97	17	6614.87
18	6282.00	18	2575.91	18	6028.33	18	4919.36	18	3940.58	18	3532.40	18	5109.60	18	5281.48	18	6920.33	18	7343.85	18	5478.13	18	5703.99
19	3977.48	19	4064.15	19	5467.89	19	3843.50	19	1913.33	19	5646.61	19	5520.00	19	5423.42	19	6853.83	19	6713.44	19	5091.61	19	6490.52
20	7203.52	20	4376.21	20	6571.95	20	4058.50	20	1923.14	20	2881.06	20	5515.06	20	5882.57	20	6387.30	20	7328.95	20	7308.97	20	5325.09
21	4594.23	21	4620.49	21	6389.89	21	2901.05	21	1737.42	21	2917.58	21	4497.63	21	6299.99	21	6320.70	21	7010.84	21	7140.28	21	3341.72
22	3981.63	22	3771.66	22	6413.00	22	4023.40	22	3039.07	22	3602.63	22	3089.55	22	6349.39	22	4672.16	22	7136.86	22	7451.38	22	2786.04
23	2880.12	23	3993.29	23	5583.00	23	3567.42	23	3878.12	23	3209.02	23	3760.29	23	5159.29	23	6827.28	23	5433.82	23	7290.44	23	7077.06
24	6383.30	24	3295.97	24	5037.00	24	4755.79	24	5356.42	24	3354.55	24	4918.22	24	5968.19	24	6969.57	24	3883.63	24	7033.22	24	3516.24
25	4856.75	25	5114.13	25	5308.00	25	4704.87	25	3674.98	25	3577.45	25	4387.60	25	4528.05	25	6645.99	25	3864.04	25	6828.05	25	5415.37
26	6004.11	26	5672.40	26	3424.00	26	5109.19	26	4498.82	26	3523.35	26	4639.79	26	5644.93	26	6769.74	26	2690.00	26	7180.31	26	2661.36
27	6875.05	27	6391.85	27	4957.00	27	4155.49	27	4195.64	27	3915.67	27	4670.77	27	5510.39	27	5444.97	27	3487.89	27	7377.14	27	4684.37
28	6099.64	28	5337.77	28	6547.00	28	5077.89	28	3580.71	28	3913.69	28	5866.70	28	4591.69	28	6412.96	28	6670.44	28	7438.51	28	5399.22
29	7080.47			29	6401.00	29	4921.38	29	3895.25	29	5592.44	29	5407.13	29	3797.34	29	6795.89	29	7426.45	29	7584.90	29	5350.76
30	6145.88			30	6424.00	30	3069.80	30	3439.14	30	4110.53	30	4482.77	30	6341.33	30	6989.73	30	5662.88	30	7052.10	30	6385.40
31	5999.51			31	2643.28			31	2933.86			31	3339.35	31	4612.15			31	6049.16			31	3713.41

Tabela A.5 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2010.

<i>Média Radiação Global Horizontal - total diário (2010)</i>																							
<i>Janeiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Março</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Abril</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Mai</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Junho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Julho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Agosto</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Setembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Outubro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Novembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Dezembro</i>	<i>Wh/m²</i>
1	3028.10	1	4649.27	1	5861.46	1	6478.29	1	5952.57	1	3901.27	1	3718.27	1	4421.13	1	4645.31	1	7186.43	1	6880.82	1	7304.63
2	4696.90	2	4173.66	2	7143.31	2	6201.15	2	6099.51	2	3906.72	2	5102.95	2	5501.86	2	5931.22	2	5914.63	2	7492.88	2	5842.60
3	5960.68	3	3731.23	3	6521.12	3	6160.35	3	4299.98	3	2783.22	3	3137.34	3	6064.07	3	5954.96	3	6939.12	3	7209.97	3	6830.00
4	6685.44	4	6209.95	4	6011.97	4	5962.10	4	2749.57	4	2577.67	4	3867.89	4	3676.83	4	4926.17	4	6462.17	4	7356.32	4	6835.77
5	6775.51	5	6543.50	5	4512.30	5	6319.75	5	4359.11	5	2484.93	5	2860.47	5	3806.39	5	6761.46	5	6587.49	5	6151.28	5	6796.45
6	6452.55	6	6358.28	6	3407.99	6	6019.55	6	4421.50	6	5358.93	6	4227.77	6	6221.81	6	6906.40	6	7006.38	6	7008.80	6	4575.51
7	6174.79	7	5816.15	7	3411.71	7	3520.11	7	6093.43	7	5619.65	7	4206.31	7	5475.31	7	5299.59	7	7073.06	7	7210.33	7	5010.60
8	2533.01	8	4084.17	8	5581.24	8	2375.98	8	5474.56	8	3341.01	8	4514.05	8	5860.10	8	6970.94	8	7077.34	8	7278.47	8	5076.33
9	4654.16	9	5100.14	9	6081.57	9	1964.89	9	5358.15	9	2565.59	9	4855.42	9	5660.77	9	6042.22	9	6862.70	9	6581.62	9	3745.57
10	6245.07	10	4650.73	10	6762.89	10	3993.95	10	5778.89	10	1994.82	10	4653.52	10	6041.07	10	5497.31	10	6977.30	10	7592.99	10	2113.20
11	5960.21	11	6467.97	11	6900.75	11	3048.71	11	5738.32	11	2845.24	11	5341.33	11	3771.23	11	3742.85	11	5873.41	11	7296.54	11	4950.42
12	7269.56	12	6029.80	12	6852.49	12	4205.82	12	5781.03	12	5185.23	12	3557.51	12	4169.19	12	3389.24	12	6762.56	12	7144.31	12	2943.49
13	5272.16	13	4788.18	13	6999.44	13	2915.68	13	3814.70	13	2301.44	13	3425.76	13	3458.31	13	3766.43	13	5514.93	13	6827.51	13	3627.20
14	4428.58	14	6876.88	14	6783.28	14	4631.17	14	4409.05	14	3725.37	14	3796.56	14	3616.88	14	3819.88	14	7036.11	14	6594.28	14	5036.69
15	6410.12	15	6901.55	15	5583.87	15	5059.58	15	5327.26	15	3571.22	15	4908.22	15	6001.11	15	4994.53	15	6399.19	15	6650.15	15	2969.96
16	6739.09	16	5675.16	16	6474.54	16	5028.94	16	5570.40	16	3714.55	16	3226.00	16	6141.93	16	6843.21	16	6762.59	16	5660.49	16	6343.73
17	5345.68	17	6121.36	17	7002.92	17	5615.83	17	4800.06	17	4349.12	17	2947.11	17	3792.54	17	7061.54	17	7177.73	17	6689.27	17	2479.21
18	6369.04	18	4092.00	18	5596.34	18	4932.78	18	5421.70	18	2628.05	18	4349.29	18	4115.06	18	7063.78	18	6799.38	18	7420.71	18	4192.41
19	6440.25	19	7155.00	19	4608.16	19	4670.72	19	3878.21	19	2517.02	19	2677.90	19	6435.66	19	5181.29	19	5467.23	19	7134.33	19	6716.21
20	7510.87	20	5294.00	20	4674.09	20	5705.74	20	4598.11	20	3604.21	20	3751.15	20	6516.61	20	6270.47	20	2401.18	20	7358.97	20	6089.46
21	6963.64	21	6964.00	21	2038.91	21	5836.80	21	5869.72	21	5633.15	21	2751.27	21	6592.88	21	4793.26	21	5378.64	21	6979.33	21	6659.36
22	5387.87	22	3634.80	22	5504.77	22	6402.26	22	5759.53	22	4817.12	22	4856.64	22	4806.03	22	5931.99	22	5022.59	22	6986.54	22	7069.16
23	7147.63	23	4898.85	23	5827.38	23	6275.92	23	5502.06	23	2530.98	23	4320.98	23	6169.62	23	6517.86	23	7091.59	23	6969.19	23	7334.78
24	5969.89	24	3683.50	24	5841.88	24	5712.81	24	5103.63	24	4838.65	24	3466.74	24	5158.38	24	7239.02	24	6783.21	24	6865.08	24	7170.12
25	7062.23	25	6506.31	25	5408.36	25	4898.85	25	4742.86	25	3378.26	25	3569.87	25	6031.92	25	5672.83	25	6664.58	25	5949.43	25	6520.29
26	6236.48	26	6016.56	26	4810.60	26	5886.60	26	5201.57	26	3724.52	26	3939.30	26	6583.79	26	5027.05	26	6858.76	26	6177.33	26	7074.81
27	5831.44	27	5546.49	27	5148.38	27	5778.99	27	5464.21	27	2349.47	27	4407.47	27	5323.70	27	7049.54	27	5069.39	27	7179.00	27	6441.18
28	4942.47	28	5813.79	28	5142.20	28	5559.97	28	5213.99	28	4784.35	28	3655.95	28	5680.63	28	6955.45	28	2431.10	28	7135.70	28	7263.34
29	6269.29			29	4435.90	29	5912.26	29	4930.56	29	4603.27	29	2774.89	29	5522.07	29	6760.69	29	4300.88	29	6374.77	29	6127.76
30	6688.42			30	6290.73	30	6083.26	30	5463.73	30	4264.80	30	4056.06	30	6334.50	30	6568.98	30	5458.86	30	6321.74	30	4103.57
31	6153.48			31	6975.12	31		31	4790.11	31		31	5426.36	31	3845.89	31		31	7125.26	31		31	4069.05

Tabela A.6 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2011.

Média Radiação Global Horizontal - total diário (2011)																							
Janeiro	Wh/m²	Fevereiro	Wh/m²	Março	Wh/m²	Abril	Wh/m²	Mai	Wh/m²	Junho	Wh/m²	Julho	Wh/m²	Agosto	Wh/m²	Setembro	Wh/m²	Outubro	Wh/m²	Novembro	Wh/m²	Dezembro	Wh/m²
1	6739.08	1	5254.19	1	5781.79	1	5732.60	1	4320.55	1	3260.56	1	3992.44	1	4893.46	1	6399.26	1	5290.48	1	6862.86	1	6564.18
2	6925.83	2	5015.44	2	6711.67	2	5423.69	2	5308.37	2	3711.66	2	4754.54	2	5969.78	2	6373.70	2	4931.61	2	5599.80	2	6620.34
3		3	6465.72	3	4255.40	3	5340.79	3	4297.51	3	5281.04	3	5424.49	3	6031.12	3	4567.63	3	6351.90	3	4393.54	3	6006.69
4	6280.45	4	6140.67	4	6629.35	4	5740.83	4	3930.29	4	5606.19	4	4477.77	4	5964.21	4	3829.70	4	5840.86	4	3404.84	4	6357.90
5	6082.22	5	6559.19	5	5967.62	5	5787.50	5	3628.34	5	5445.88	5	5616.86	5	5837.10	5	4570.43	5	5011.01	5	3168.89	5	5875.21
6	6163.95	6	5947.40	6	5026.90	6	5058.06	6	3718.80	6	2603.63	6	5070.62	6	3944.97	6	6396.14	6	5450.58	6	3545.30	6	7345.47
7	7312.45	7	6875.04	7	4809.47	7	6426.14	7	5817.50	7	2975.17	7	5230.29	7	4015.43	7	5719.33	7	6953.07	7	6544.93	7	5618.78
8	5175.88	8	5968.65	8	5589.21	8	4652.17	8	4670.88	8	5546.12	8	4349.49	8	5491.63	8	5142.14	8	6816.54	8	5475.38	8	7013.47
9	6541.90	9	4922.13	9	6436.03	9	5764.03	9	5826.89	9	5731.26	9	5101.10	9	5412.01	9	6663.89	9	6933.15	9	3419.73	9	7147.73
10	5845.82	10	6732.37	10	6092.07	10	4499.75	10	4391.02	10	5620.23	10	2796.74	10	6151.28	10	6557.27	10	5504.05	10	3832.43	10	6751.55
11	4834.86	11	6008.77	11	5563.03	11	6146.90	11	2935.59	11	4345.79	11	2511.52	11	6240.34	11	4728.85	11	5572.35	11	4857.48	11	4565.45
12	3933.00	12	5514.20	12	5345.87	12	4696.72	12	4772.61	12	3668.78	12	2548.77	12	6309.74	12	6521.29	12	6496.96	12	6094.17	12	4875.22
13	4507.00	13	6221.77	13	5744.67	13	5198.92	13	4036.84	13	3393.41	13	3040.50	13	6062.93	13	6626.17	13	3871.60	13	6181.81	13	2517.83
14	6703.00	14	6006.52	14	5022.18	14	5874.04	14	5402.03	14	4598.24	14	3261.74	14	5619.63	14	6375.87	14	6190.15	14	5926.83	14	6695.05
15	7112.19	15	4817.86	15	5575.52	15	6114.33	15	3326.59	15	3606.64	15	5566.33	15	6097.68	15	3750.00	15	5277.15	15	7418.03	15	6818.59
16	7360.07	16	4324.49	16	7123.98	16	5552.95	16	5417.82	16	2299.46	16	5111.97	16	6107.61	16	5013.49	16	5170.82	16	7316.50	16	5681.49
17	7285.87	17	4848.65	17	6383.48	17	5710.47	17	4069.94	17	2673.77	17	5641.02	17	4496.36	17	5453.32	17	4407.98	17	6917.30	17	7246.28
18	7567.19	18	5378.20	18	5762.89	18	5200.57	18	2733.52	18	3209.89	18	5171.49	18	5404.59	18	5296.46	18	3467.73	18	5993.16	18	7247.97
19	7615.03	19	4849.83	19	6806.68	19	4665.52	19	3128.89	19	4890.01	19	4624.55	19	5453.61	19	6003.81	19	3912.94	19	6285.24	19	7387.14
20	6686.41	20	5058.06	20	6223.57	20	5234.07	20	2605.09	20	5474.56	20	5849.07	20	4614.48	20	5341.78	20	4184.91	20	6692.60	20	6512.63
21	3033.33	21	4463.01	21	5416.13	21	5763.11	21	3304.74	21	5323.80	21	5553.02	21	5457.80	21	6714.66	21	3486.69	21	6953.72	21	6297.51
22	4559.49	22	6182.71	22	5816.30	22	5136.93	22	4214.08	22	3827.90	22	4855.10	22	4302.34	22	6507.85	22	5548.43	22	7210.04	22	6749.66
23	4106.55	23	6539.58	23	5554.45	23	4605.28	23	3175.57	23	3069.47	23	4046.36	23	3809.59	23	5397.06	23	6838.94	23	6364.44	23	6640.77
24	6034.92	24	5210.80	24	5082.59	24	4988.13	24	3449.46	24	4932.18	24	5742.84	24	4735.34	24	6568.95	24	5843.30	24	6846.28	24	5290.83
25	5830.54	25	2008.94	25	5437.99	25	4887.28	25	3612.23	25	5278.28	25	4128.46	25	5661.75	25	6728.53	25	6200.09	25	7129.06	25	6044.84
26	6006.82	26	7023.50	26	4678.49	26	6234.47	26	3357.91	26	5515.09	26	4169.12	26	3475.69	26	6113.72	26	7347.84	26	7407.67	26	4517.97
27	5433.81	27	5012.31	27	4343.79	27	5420.54	27	5568.05	27	5353.80	27	3455.57	27	5811.97	27	6276.63	27	7299.19	27	6839.71	27	7384.95
28	3771.93	28	2293.72	28	4861.56	28	5021.17	28	4293.33	28	5152.56	28	4415.65	28	5258.50	28	4479.58	28	7208.77	28	4686.84	28	7509.87
29	7144.36			29	4896.09	29	4498.23	29	5237.04	29	5611.90	29	3758.66	29	6102.88	29	4357.40	29	5929.99	29	6749.35	29	5293.43
30	5874.74			30	6866.22	30	3472.80	30	4493.93	30	3881.47	30	5546.71	30	5558.88	30	5590.22	30	6548.34	30	6828.45	30	6556.86
31	4332.79			31	5762.36			31	3962.69			31	3484.45	31	6404.51			31	7030.23			31	7095.94

Tabela A.7 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2012.

<i>Média Radiação Global Horizontal - total diário (2012)</i>																							
<i>Janeiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Março</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Abril</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Mai</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Junho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Julho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Agosto</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Setembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Outubro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Novembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Dezembro</i>	<i>Wh/m²</i>
1	6378.10	1	6477.93	1	7510.31	1	6349.07	1	6056.39	1	5681.73	1	3866.55	1	4282.73	1	6612.35	1	5977.20	1	5898.84	1	5539.51
2	6036.33	2	4739.49	2	7238.24	2	5973.26	2	5799.42	2	5465.94	2	3949.79	2	3646.48	2	6525.78	2	5701.06	2	3364.49	2	6097.65
3	5143.16	3	4975.04	3	7416.89	3	5907.73	3	5470.23	3	5530.40	3	4716.71	3	5994.81	3	6146.04	3	5066.05	3	5390.05	3	4862.70
4	5102.44	4	4970.12	4	7232.74	4	5618.56	4	5625.21	4	4103.85	4	3816.01	4	4588.00	4	6621.23	4	7099.20	4	5523.37	4	4427.08
5	4331.49	5	7193.26	5	6258.70	5	5694.02	5	5388.05	5	4662.35	5	3936.85	5	6212.79	5	5464.42	5	7050.47	5	5429.07	5	4598.67
6	6793.62	6	4353.97	6	6249.99	6	6854.50	6	5645.89	6	5751.50	6	4001.68	6	6133.81	6	5510.94	6	6874.15	6	4740.21	6	6560.58
7	6442.59	7	7483.00	7	7175.48	7	6500.06	7	6219.31	7	5657.40	7	5054.91	7	5932.13	7	6845.62	7	7228.06	7	4683.96	7	6976.54
8	6819.96	8	7656.00	8	5627.90	8	6004.89	8	4709.01	8	5176.96	8	5654.20	8	6121.35	8	6056.37	8	7047.39	8	4925.08	8	6681.64
9	6899.27	9	5977.00	9	7207.08	9	6762.89	9	5536.95	9	5626.10	9	4106.21	9	5223.39	9	5993.69	9	7175.02	9	6578.86	9	4803.34
10	6405.88	10	3866.00	10	7110.45	10	5326.12	10	5086.18	10	5622.36	10	3164.72	10	5582.20	10	5915.27	10	6993.69	10	2653.12	10	3632.92
11	6703.68	11	4481.00	11	7456.78	11	6252.35	11	4832.93	11	4435.94	11	4081.79	11	5865.25	11	6518.26	11	6528.86	11	6802.56	11	6026.25
12	6366.69	12	4271.00	12	5240.17	12	6596.36	12	5834.37	12	3261.01	12	5422.23	12	5442.85	12	6681.43	12	5174.76	12	7139.24	12	5049.55
13	6229.67	13	6240.00	13	6499.16	13	6490.18	13	6046.07	13	4652.66	13	5226.98	13	6115.34	13	6726.62	13	3760.45	13	6912.54	13	6605.02
14	4609.51	14	5491.00	14	6896.35	14	5809.02	14	5996.07	14	5527.47	14	5210.79	14	4496.90	14	6786.40	14	7190.82	14	5652.32	14	7211.54
15	6739.11	15	6346.00	15	6353.55	15	4151.89	15	5980.14	15	4773.35	15	4740.31	15	6144.84	15	6369.17	15	6892.07	15	5329.59	15	6846.56
16	6547.62	16	5239.00	16	6457.94	16	6200.31	16	5656.58	16	4129.03	16	5324.80	16	4365.77	16	6774.62	16	5532.09	16	6458.92	16	7242.49
17	6859.39	17	6658.00	17	6650.73	17	5963.92	17	5046.57	17	5551.88	17	2757.68	17	4547.57	17	6358.51	17	6803.72	17	6718.64	17	6241.55
18	6953.09	18	6850.00	18	5954.06	18	6335.11	18	3473.46	18	5603.57	18	3045.00	18	4497.07	18	6110.40	18	7023.95	18	7012.22	18	7144.48
19	5983.62	19	2552.00	19	2319.51	19	5965.41	19	4001.44	19	5551.08	19	5670.00	19	4343.31	19	6240.96	19	6503.39	19	5510.03	19	7130.33
20	5278.52	20	6008.00	20	5662.88	20	5694.29	20	4319.36	20	5569.42	20	5141.00	20	4404.82	20	6613.14	20	6791.09	20	7362.59	20	5949.64
21	4866.78	21	5242.00	21	6743.20	21	4699.75	21	3570.77	21	5590.68	21	5009.00	21	3887.74	21	6449.37	21	6996.25	21	6655.67	21	6507.71
22	2967.38	22	5272.00	22	5667.57	22	6136.02	22	3219.40	22	5491.58	22	5609.00	22	5869.47	22	6689.84	22	6982.51	22	6849.56	22	7080.20
23	5566.71	23	6306.00	23	6527.22	23	6310.70	23	3993.17	23	5074.39	23	5491.00	23	4386.03	23	6589.60	23	7230.36	23	3362.38	23	6748.31
24	6432.37	24	7082.00	24	6081.08	24	5682.77	24	5229.72	24	2729.51	24	3976.91	24	3543.81	24	6044.73	24	7193.45	24	5545.91	24	6428.80
25	4719.98	25	6902.00	25	6253.34	25	5319.66	25	2524.56	25	4547.76	25	3276.55	25	3415.20	25	7019.50	25	7334.11	25	5166.60	25	6932.66
26	5682.48	26	6690.00	26	6159.71	26	6242.16	26	4397.79	26	5411.61	26	6062.62	26	4228.88	26	6882.56	26	6830.77	26	4402.32	26	6649.06
27	6469.74	27	6474.00	27	6359.70	27	6340.91	27	4429.44	27	4429.44	27	5646.09	27	3504.59	27	6263.38	27	6306.79	27	6047.42	27	4269.29
28	7149.77	28	6457.00	28	6547.87	28	6406.36	28	5750.85	28	3152.97	28	4656.77	28	4944.28	28	3278.04	28	6823.26	28	5176.34	28	5967.74
29	7334.26	29	6057.55	29	6532.69	29	6254.69	29	4621.99	29	4092.60	29	4644.88	29	6327.27	29	2906.58	29	6871.59	29	6024.60	29	7355.48
30	6945.38			30	6853.61	30	5889.33	30	5638.95	30	3328.18	30	4656.76	30	6567.91	30	6230.39	30	7341.16	30	5609.54	30	6394.65
31	6888.86			31	6127.77	31	5552.15	31	5552.15	31	5272.78	31	5272.78	31	6648.31	31	7060.66	31	7060.66	31	5639.23	31	5639.23

Tabela A.8 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2013.

Média Radiação Global Horizontal - total diário (2013)																							
Janeiro	Wh/m²	Fevereiro	Wh/m²	Março	Wh/m²	Abril	Wh/m²	Mai	Wh/m²	Junho	Wh/m²	Julho	Wh/m²	Agosto	Wh/m²	Setembro	Wh/m²	Outubro	Wh/m²	Novembro	Wh/m²	Dezembro	Wh/m²
1	6575.52	1	7248.22	1	7149.39	1	6735.66	1	3096.09	1	4848.83	1	5673.30	1	2325.35	1	4602.71	1	6642.95	1	6181.24	1	7080.79
2	4149.26	2	7297.99	2	5856.07	2	5978.37	2	3868.94	2	3700.79	2	5715.56	2	2994.17	2	6254.69	2	6803.22	2	6882.47	2	5277.18
3	2748.81	3	7234.07	3	5719.08	3	6124.46	3	3501.94	3	5550.11	3	3341.46	3	4015.05	3	6543.44	3	7234.45	3	6583.42	3	6947.21
4	5785.72	4	6877.82	4	6602.77	4	6676.52	4	5923.17	4	5200.80	4	2721.75	4	6091.40	4	4968.14	4	7243.43	4	4157.70	4	6911.05
5	5366.00	5	7346.29	5	5694.93	5	6316.66	5	5663.60	5	4015.86	5	4281.75	5	6225.59	5	5565.78	5	7180.98	5	6352.20	5	6905.59
6	5246.48	6	6708.28	6	7086.25	6	1452.01	6	6009.97	6	4696.12	6	4412.68	6	3052.79	6	5529.86	6	6898.03	6	5086.44	6	4900.16
7	6202.00	7	4883.34	7	6013.54	7	5359.44	7	3887.15	7	3969.25	7	5171.27	7	3202.76	7	4103.34	7	6064.49	7	5856.22	7	5125.80
8	7154.48	8	6549.05	8	6538.87	8	5902.77	8	5124.73	8	5013.58	8	4512.15	8	4954.11	8	4232.96	8	5983.90	8	6922.99	8	5354.00
9	7126.01	9	6821.70	9	6968.91	9	6334.20	9	2883.87	9	4080.62	9	4388.60	9	4613.57	9	5822.81	9	6609.69	9	7503.74	9	6939.67
10	6736.40	10	7043.41	10	7124.71	10	6704.77	10	3962.77	10	3044.04	10	3356.99	10	5001.67	10	5798.47	10	5994.53	10	6488.85	10	7319.09
11	7218.43	11	7114.32	11	6762.38	11	6093.76	11	3191.39	11	2846.16	11	5425.50	11	6234.55	11	5726.70	11	3722.33	11	5281.28	11	7413.49
12	5370.48	12	6954.63	12	6937.39	12	6490.45	12	3782.15	12	4769.47	12	4772.76	12	6356.22	12	4748.85	12	2723.89	12	6752.81	12	6554.23
13	3791.29	13	6793.22	13	6912.15	13	6704.15	13	4895.97	13	5276.67	13	3558.12	13	5645.41	13	6441.74	13	3216.04	13	6713.66	13	
14	5744.02	14	5092.16	14	6300.74	14	5434.13	14	4756.03	14	4374.13	14	3835.11	14	4602.86	14	4387.63	14	4723.22	14	6968.10	14	1784.86
15	4102.31	15	5076.25	15	4792.28	15	5603.27	15	5654.92	15	4640.24	15	4143.09	15	5321.71	15	5329.77	15	3731.52	15	5957.79	15	5042.85
16	5256.50	16	6471.57	16	4586.19	16	5515.85	16	2881.26	16	5427.08	16	5606.49	16	6283.13	16	6764.58	16	5905.69	16	6013.97	16	3272.95
17	5119.44	17	5454.30	17	2041.89	17	3622.37	17	3557.94	17	3868.75	17	5432.37	17	5695.20	17	7080.55	17	5761.35	17	7040.56	17	1456.05
18	5236.37	18	6523.72	18	6750.55	18	3602.38	18	4852.37	18	2542.75	18	5687.59	18	4658.79	18	6395.66	18	6908.73	18	6551.99	18	2564.81
19	3734.28	19	7277.16	19	4141.10	19	4852.25	19	4028.29	19	3401.76	19	3013.06	19	6292.13	19	6739.06	19	6401.44	19	6390.40	19	3307.00
20	3495.75	20	5114.33	20	5885.74	20	3909.06	20	3440.41	20	4056.51	20	5694.92	20	4810.13	20	6147.35	20	5557.27	20	5010.02	20	3085.00
21	4889.04	21	4261.64	21	4169.94	21	3935.75	21	4331.10	21	4522.07	21	5693.65	21	5233.57	21	6816.87	21	6889.14	21	5034.90	21	3423.25
22	5953.26	22	6757.64	22	5556.92	22	2236.37	22	5416.75	22	4948.44	22	4698.64	22	4099.81	22	6472.77	22	7153.30	22	5105.06	22	3136.53
23	4017.18	23	6921.43	23	3783.46	23	2879.42	23	3994.03	23	5641.94	23	5622.52	23	6285.65	23	6978.26	23	6576.40	23	4011.30	23	4128.55
24	4609.38	24	4950.64	24	2315.91	24	2732.21	24	5425.36	24	5750.69	24	5911.09	24	6556.33	24	7186.97	24	5739.14	24	3755.39	24	7405.69
25	6874.24	25	6005.51	25	2132.80	25	3922.99	25	3028.35	25	2238.88	25	5431.97	25	4699.16	25	6832.40	25	7482.22	25	3378.81	25	6247.16
26	5904.32	26	7005.91	26	6689.56	26	2984.11	26	4513.51	26	5415.65	26	3751.61	26	5844.43	26	6899.12	26	7441.54	26	5045.00	26	7325.17
27	5915.32	27	7139.40	27	6619.25	27	3251.14	27	3109.66	27	5571.84	27	3441.20	27	5088.23	27	6831.42	27	6957.36	27	5843.79	27	4987.85
28	7213.36	28	6399.49	28	6338.86	28	5159.68	28	3729.41	28	5342.47	28	4527.73	28	6171.10	28	6800.80	28	7022.39	28	2098.88	28	5295.52
29	7096.11			29	5287.46	29	4641.82	29	5700.41	29	5504.45	29	4098.52	29	4124.64	29	7246.32	29	6574.34	29	5808.03	29	5595.99
30	7232.71			30	6808.28	30	2854.18	30	5737.50	30	4842.60	30	3881.62	30	5969.37	30	6976.91	30	7254.92	30	7254.08	30	7112.66
31	7360.76			31	6747.53			31	5307.43			31	4846.81	31	3826.86			31	7326.73			31	6780.09

Tabela A.9 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2014.

Média Radiação Global Horizontal - total diário (2014)																							
Janeiro	Wh/m²	Fevereiro	Wh/m²	Março	Wh/m²	Abril	Wh/m²	Mai	Wh/m²	Junho	Wh/m²	Julho	Wh/m²	Agosto	Wh/m²	Setembro	Wh/m²	Outubro	Wh/m²	Novembro	Wh/m²	Dezembro	Wh/m²
1	6709.74	1	4161.27	1	3851.63	1	3901.32	1	2924.05	1	3706.60	1	5548.34	1	5148.46	1	6320.19	1	6655.54	1	5225.26	1	6710.30
2	7032.11	2	6684.08	2	5913.69	2	5761.65	2	3159.32	2	5601.72	2	4665.48	2	5158.70	2	6766.85	2	6808.85	2	6462.19	2	6245.32
3	6579.02	3	5310.53	3	3374.92	3	5831.65	3	2620.24	3	5639.98	3	3520.60	3	5054.35	3	6544.11	3	5110.88	3	7147.78	3	5984.10
4	7393.42	4	7136.74	4	5017.37	4	5083.05	4	3713.59	4	5643.08	4	5377.29	4	5868.25	4	6532.22	4	4269.20	4	6072.36	4	5376.12
5	6509.79	5	4498.07	5	4313.17	5	6359.35	5	4929.46	5	5294.36	5	4133.47	5	5950.37	5	4784.18	5	3822.37	5	6872.33	5	5769.11
6	7110.65	6	6620.89	6	7011.52	6	5721.42	6	4137.12	6	3755.24	6	4016.61	6	4613.31	6	3574.49	6	4295.03	6	7326.29	6	3554.14
7	7511.89	7	6985.12	7	6084.06	7	5668.76	7	4939.00	7	4310.51	7	4499.14	7	2825.15	7	6525.23	7	5640.88	7	6764.83	7	6474.24
8	7401.02	8	5989.58	8	5914.66	8	3725.67	8	5221.32	8	4836.29	8	4713.88	8	3051.57	8	5799.24	8	3660.53	8	7223.87	8	5127.60
9	7407.88	9	5523.49	9	4915.49	9	4356.10	9	6042.59	9	5246.67	9	4607.29	9	5958.70	9	5730.13	9	4429.16	9	6557.28	9	4701.71
10	4086.79	10	6975.82	10	4903.57	10	3891.57	10	5946.80	10	2751.32	10	5642.43	10	3845.78	10	6069.26	10	6757.01	10	6067.48	10	6942.74
11	6283.27	11	6224.12	11	4804.37	11	4976.43	11	3478.37	11	3703.55	11	5682.17	11	6242.56	11	5279.96	11	6192.57	11	5398.04	11	5182.39
12	4447.95	12	6977.17	12	5981.08	12	4247.56	12	2411.83	12	5484.79	12	5553.31	12	6330.29	12	3599.61	12	5498.72	12	5597.36	12	6656.61
13	5715.58	13	7427.68	13	4826.52	13	5033.84	13	4403.48	13	4945.09	13	2972.05	13	6476.73	13	4881.40	13	6270.08	13	4020.06	13	7156.28
14	3597.70	14	6663.62	14	6525.75	14	5419.73	14	4213.60	14	5013.09	14	3801.34	14	4268.37	14	5280.09	14	6248.29	14	6293.14	14	5981.73
15	5715.46	15	3921.44	15	4349.84	15	5413.90	15	3243.11	15	5072.21	15	3088.59	15	3837.25	15	7130.88	15	7004.43	15	5746.11	15	5748.30
16	6575.92	16	3572.70	16	4099.79	16	4834.13	16	3895.05	16	4558.90	16	2759.46	16	3632.58	16	6960.56	16	7233.57	16	3883.10	16	4559.88
17	7461.84	17	5101.29	17	3339.66	17	5812.00	17	3799.44	17	3458.76	17	3327.75	17	4525.41	17	6873.62	17	6287.68	17	2053.20	17	1669.32
18	6957.06	18	6559.97	18	4505.90	18	6504.73	18	4362.55	18	2426.65	18	3476.42	18	5831.08	18	6962.75	18	7088.00	18	5207.09	18	5023.68
19	6704.63	19	6029.54	19	6570.80	19	5232.60	19	3753.79	19	2614.47	19	3250.50	19	5661.78	19	5423.49	19	7155.89	19	4545.13	19	3432.67
20	6834.27	20	3664.89	20	6492.62	20	5545.91	20	3692.16	20	4761.44	20	5642.34	20	6449.93	20	6030.03	20	7132.67	20	3709.07	20	4678.40
21	6383.52	21	3252.17	21	6285.33	21	5345.31	21	4084.10	21	5504.09	21	4872.23	21	6292.67	21	7050.48	21	6833.62	21	5866.92	21	6676.86
22	6794.22	22	5395.25	22	6134.46	22	5102.49	22	2953.70	22	3149.19	22	5766.32	22	5730.29	22	6737.75	22	5440.19	22	6944.00	22	6310.54
23	7115.16	23	4983.04	23	6800.05	23	4897.49	23	3500.07	23	3601.49	23	5428.37	23	5820.88	23	5522.70	23	5520.34	23	6499.71	23	5547.10
24	6616.18	24	6953.35	24	6768.38	24	6028.73	24	5355.03	24	2301.44	24	4191.84	24	6445.28	24	6480.04	24	5126.45	24	7425.18	24	6024.71
25	6944.63	25	6274.45	25	6808.90	25	5393.73	25	5414.16	25	3767.35	25	4233.36	25	6230.25	25	6858.09	25	5632.46	25	5708.15	25	4485.45
26	6260.51	26	4999.39	26	6835.10	26	4034.44	26	5815.10	26	5294.98	26	5147.82	26	6494.49	26	6086.89	26	6949.30	26	6042.17	26	2906.19
27	6131.76	27	3400.41	27	6570.92	27	1962.15	27	5877.38	27	3276.57	27	5926.40	27	5880.44	27	7121.43	27	7415.20	27	7552.86	27	6383.68
28	6323.88	28	5862.90	28	6751.66	28	2813.29	28	5743.57	28	3412.19	28	2857.34	28	6274.96	28	7094.82	28	6587.56	28	6819.61	28	5064.48
29	3971.11			29	4757.73	29	3024.66	29	4774.61	29	4773.99	29	5699.26	29	5146.77	29	6956.50	29	7441.53	29	6936.94	29	7455.60
30	6065.99			30	5941.55	30	2869.92	30	4021.49	30	5239.42	30	3701.91	30	6601.27	30	7065.02	30	6733.19	30	7788.87	30	7309.40
31	6560.18			31	6594.82			31	4200.81			31	3938.41	31	6375.08			31	5439.95			31	6231.78

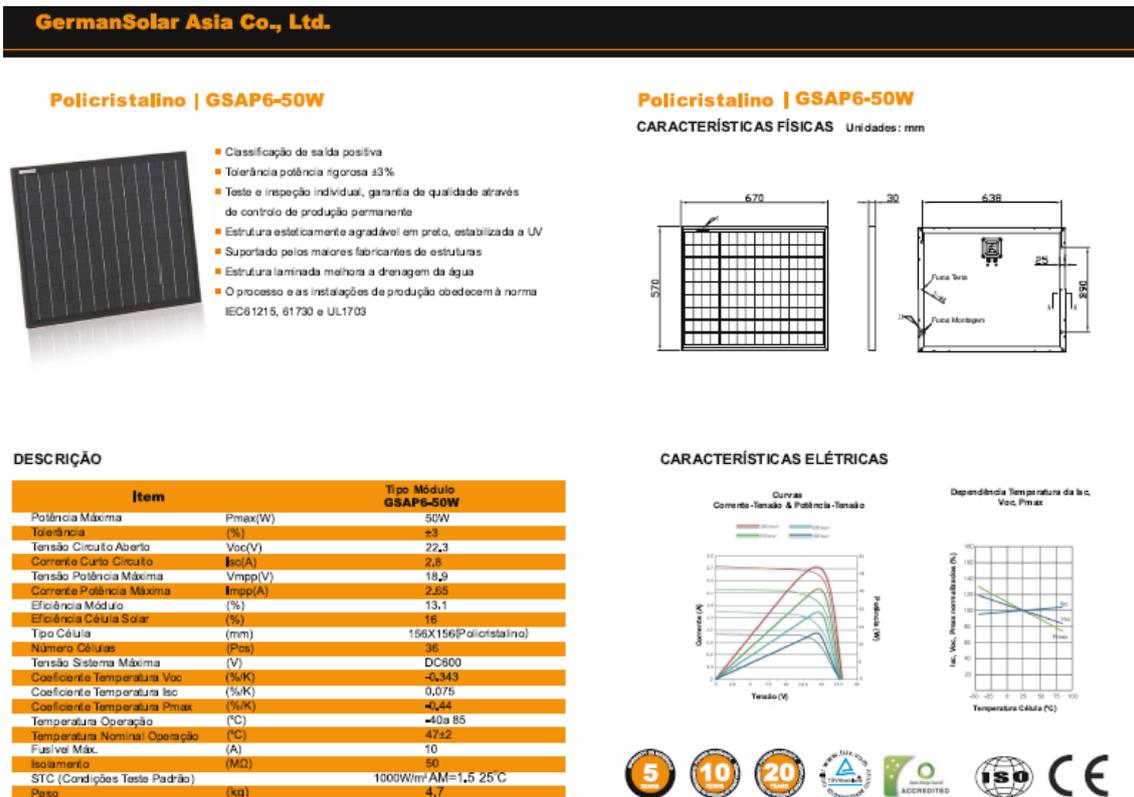
Tabela A.10 – Dados de irradiação solar direta diários do ano 2015.

<i>Média Radiação Global Horizontal - total diário (2015)</i>																							
<i>Janeiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Março</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Abril</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Mai</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Junho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Julho</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Agosto</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Setembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Outubro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Novembro</i>	<i>Wh/m²</i>	<i>Dezembro</i>	<i>Wh/m²</i>
1	6317.99	1	3366.58	1	5373.17	1	6974.84	1	5721.80	1	4733.62	1	3673.77	1	6102.99	1	6641.73	1	6174.89	1	6447.03	1	7691.10
2	4571.25	2	6553.50	2	3298.49	2	6708.46	2	4399.49	2	4804.30	2	2991.66	2	5848.70	2	7144.26	2	7501.29	2	6957.80	2	7916.19
3	6975.61	3	5634.24	3	6818.94	3	7037.72	3	5130.92	3	4983.16	3	2616.47	3	5530.05	3	6823.30	3	6599.54	3	7731.70	3	7803.70
4	6775.65	4	1062.40	4	6867.02	4	6508.84	4	5427.49	4	2953.04	4	4752.09	4	6198.85	4	6921.35	4	7393.83	4	6844.35	4	7406.27
5	6519.17	5	5100.81	5	5937.98	5	5295.42	5	4713.50	5	3267.31	5	2851.42	5	5768.47	5	6949.58	5	7334.63	5	7765.03	5	6348.04
6	6519.10	6	4752.67	6	5989.00	6	5293.27	6	5785.94	6	4006.12	6	4770.07	6	1077.84	6	7233.49	6	5652.30	6	7740.46	6	6984.98
7	4877.43	7	6504.67	7	6468.03	7	4002.62	7	4892.39	7	5112.35	7	4044.26	7	6071.00	7	7387.30	7	6151.00	7	1329.29	7	7387.57
8	5946.08	8	6970.20	8	6652.56	8	4077.58	8	5683.01	8	3330.81	8	3892.90	8	5679.00	8	7179.39	8	5110.21	8	4991.00	8	7720.10
9	7479.74	9	6595.34	9	6231.93	9	5286.19	9	4382.19	9	5069.34	9	5598.62	9	5143.00	9	6942.92	9	4951.69	9	6597.00	9	7639.42
10	7085.20	10	7093.54	10	5613.75	10	5566.90	10	4483.53	10	5326.81	10	5299.48	10	3973.00	10	6832.69	10	7396.04	10	5089.00	10	7617.22
11	6673.22	11	6547.81	11	6639.94	11	5254.58	11	5669.31	11	3487.57	11	5747.12	11	3178.00	11	7195.48	11	7093.91	11	7245.00	11	7679.23
12	6813.42	12	7057.57	12	6964.52	12	4572.87	12	5283.40	12	4512.16	12	3995.72	12	3783.00	12	7213.80	12	6247.28	12	7258.00	12	7677.40
13	6643.33	13	6907.65	13	6811.99	13	5234.20	13	5152.80	13	4822.35	13	5440.74	13	5164.99	13	6693.76	13	7653.31	13	7020.00	13	7682.79
14	6747.25	14	5414.50	14	7351.77	14	4745.95	14	4934.39	14	4014.80	14	5244.41	14	3779.53	14	5883.35	14	4509.38	14	7220.00	14	8006.44
15	6605.18	15	4957.08	15	6919.19	15	5975.39	15	5199.70	15	3861.96	15	4057.83	15	3917.56	15	4877.96	15	5979.04	15	7279.00	15	7799.26
16	7028.83	16	7323.08	16	6432.73	16	6540.32	16	4234.24	16	5504.34	16	5072.27	16	5851.74	16	4589.11	16	6383.83	16	6056.00	16	7771.43
17	7570.20	17	7265.33	17	4575.36	17	6344.06	17	5547.86	17	5710.64	17	4198.38	17	4333.39	17	5728.69	17	7858.20	17	7401.00	17	7079.96
18	7404.29	18	6262.43	18	5246.67	18	6097.02	18	3832.54	18	5109.46	18	4904.94	18	6590.72	18	4446.12	18	8166.73	18	6934.00	18	7625.66
19	7199.53	19	5282.95	19	4527.00	19	6269.95	19	2825.73	19	5502.80	19	5364.13	19	4658.04	19	6586.51	19	3547.06	19	6131.64	19	5543.50
20	6895.69	20	3890.83	20	6602.93	20	5300.69	20	4486.12	20	4225.15	20	5055.16	20	6802.78	20	6992.92	20	3906.85	20	6055.35	20	7195.54
21	6019.29	21	5148.50	21	4433.86	21	3979.72	21	4215.80	21	4643.41	21	5721.89	21	6620.59	21	7164.22	21	5308.95	21	7836.57	21	5578.68
22	5003.87	22	3009.37	22	3646.19	22	4976.44	22	2380.95	22	3954.03	22	5925.48	22	6453.48	22	6105.04	22	7631.77	22	7497.69	22	6499.33
23	6017.33	23	4820.39	23	3826.25	23	6115.62	23	1926.94	23	3401.89	23	4221.51	23	5988.18	23	7418.94	23	7426.91	23	7647.18	23	6077.14
24	6321.42	24	3343.75	24	6239.71	24	4773.65	24	4284.04	24	3252.54	24	2964.57	24	6752.73	24	7464.62	24	7284.78	24	6698.25	24	4813.33
25	4898.12	25	4604.40	25	5344.28	25	5092.83	25	3227.14	25	1996.05	25	5679.47	25	6793.74	25	7434.43	25	7246.70	25	5600.67	25	6843.65
26	6430.02	26	6788.15	26	6490.12	26	5402.56	26	4590.54	26	3037.77	26	4937.27	26	6561.14	26	7446.96	26	7588.77	26	5743.94	26	7757.17
27	6805.85	27	7164.19	27	6182.75	27	5165.70	27	3439.13	27	3369.01	27	5372.25	27	6684.41	27	6009.03	27	7864.17	27	7057.31	27	6703.35
28	7225.64	28	5850.98	28	6749.33	28	5825.79	28	5412.06	28	2729.26	28	4777.98	28	6790.93	28	7392.33	28	7779.28	28	7092.63	28	4990.78
29	6979.50			29	6748.68	29	6211.56	29	4771.20	29	2958.54	29	5596.33	29	6750.58	29	7521.44	29	7676.93	29	7763.76	29	4821.69
30	4989.90			30	6075.33	30	5628.66	30	5625.56	30	3587.51	30	5367.50	30	4852.21	30	6610.74	30	7109.59	30	7890.31	30	6116.50
31	6143.12			31	2710.85	31	4643.50	31	4643.50	31	4675.35	31	6841.35	31	6841.35	31	4777.89	31	4777.89	31	6171.05	31	6171.05

ANEXO B

Fichas técnicas de módulos encontrados no mercado com eficiências utilizadas para os calculos da tese.

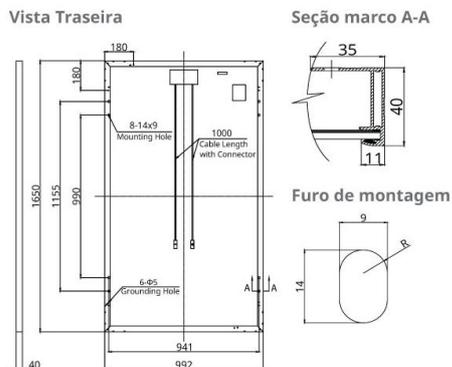
Figura B.1 – Ficha técnica de painel solar policristalino de eficiencia de 13%, GermanSolar Asia.



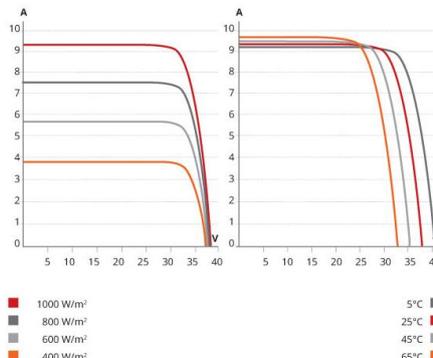
Fonte: German Solar Energy, 2017.

Figura B.2 – Ficha técnica de painel solar policristalino de eficiência de 16,5%, Canadian Solar.

MÓDULO / DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)



CS6K-270P / CURVAS I-V



DADOS ELÉTRICOS | STC*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Potência nominal máx. (Pmax)	260 W	265 W	270 W	275 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V	31.0 V
Corrente operacional opt. (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A	8.88 A
Tensão circuito aberto (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.0 V
Corrente curto-circuito (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A	9.45 A
Eficiência do módulo	15.88%	16.19%	16.50%	16.80%
Temperatura operacional	-40°C ~ +85°C			
Tensão do sistema máx.	1000 V (IEC) ou 1000 V (UL)			
Proteção contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Class. máx. fusíveis em série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

* Sob Condições de Teste Padrão (STC) de irradiação de 1000 W/m2, espectro AM de 1.5 e temperatura de célula de 25°C.

DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo célula	Policristalina, 6 polegadas
Configuração cél.	60 (6×10)
Dimensões	1650 × 992 × 40 mm (65.0 × 39.1 × 1.57 in)
Peso	18.2 kg (40.1 lbs)
Vidro dianteiro	Vidro temperado de 3.2 mm
Material do marco	Alumínio anodizado
J-Box	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm² (IEC) ou 4 mm² & 12 AWG 1000V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Conectores	T4 series ou PV2 series
Por Pallet	26 peças, 520 kg (1146.4 lbs)
Por Container (40' HQ)	728 peças

DADOS ELÉTRICOS | NOCT*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Potência nominal máx. (Pmax)	191 W	195 W	198 W	202 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	28.0 V	28.2 V	28.3 V	28.5 V
Corrente operacional opt. (Imp)	6.83 A	6.92 A	7.00 A	7.08 A
Tensão circuito aberto (Voc)	34.9 V	35.1 V	35.3 V	35.4 V
Corrente curto-circuito (Isc)	7.36 A	7.45 A	7.53 A	7.63 A

* Sob Temperatura Operacional Nomida Célula (NOCT), irradiação de 800 W/m2, espectro AM 1.5, temperatura ambiente de 20°C, velocidade do vento 1 m/s.

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificações	Dados
Coefficiente de temperatura (Pmax)	-0.41 % / °C
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0.31 % / °C
Coefficiente de temperatura (Isc)	0.053 % / °C
Temp. operacional nominal da célula	43±2 °C

DESEMPENHO A BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho excepcional em ambientes de baixa irradiação, média de eficiência relativa de 96.5 % a partir de uma irradiação de 1000 W/m² a 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulamentando todas as transações relativas à compra e venda dos produtos aqui descritos.

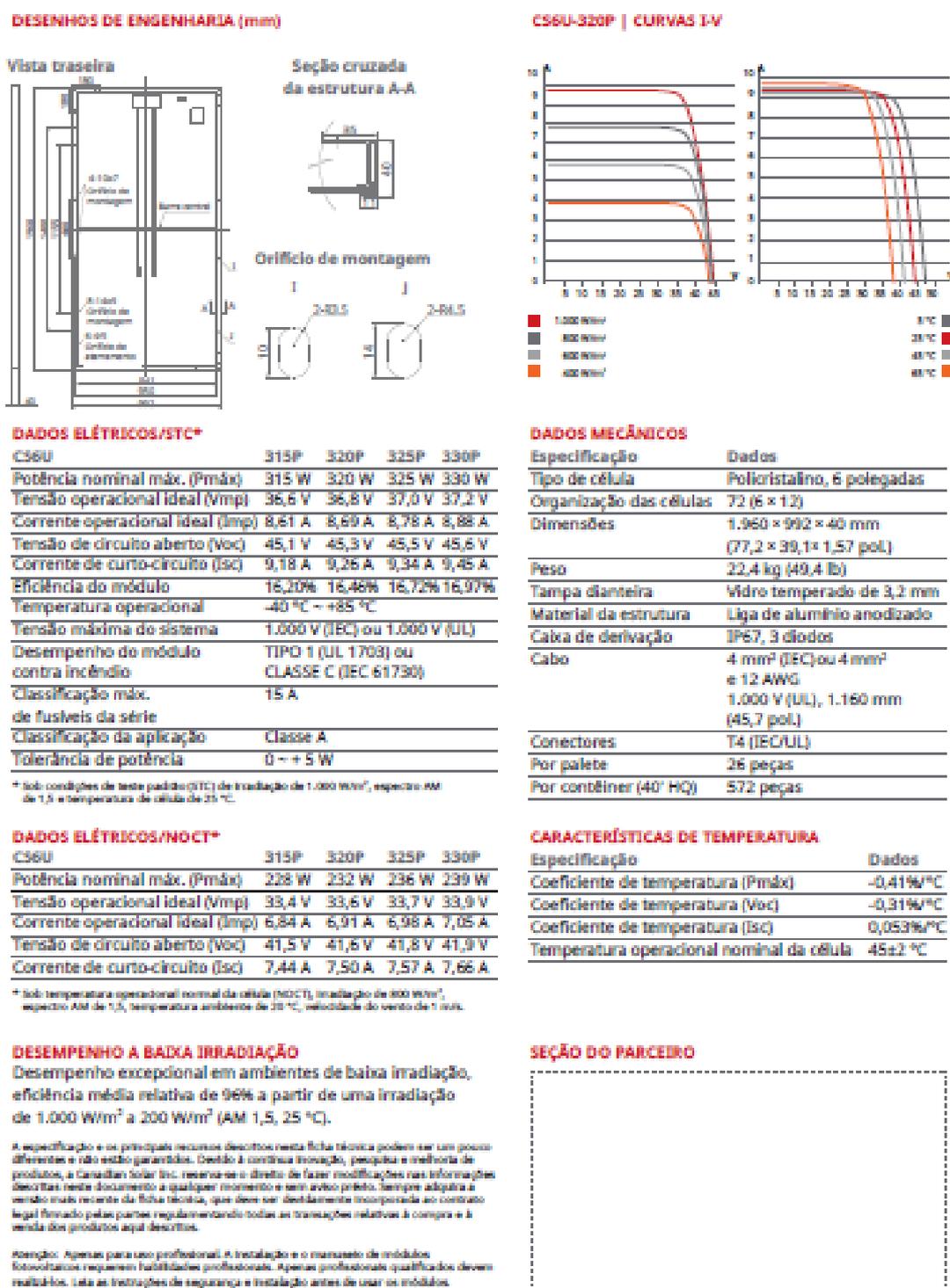
Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e manuseio de módulos fotovoltaicos requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-las. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

SEÇÃO DO PARCEIRO



Fonte: Canadian Solar, 2017.

Figura B.3 – Ficha técnica de painel solar policristalino de eficiência de 18%, Canadian Solar.



Fonte: Canadian Solar, 2017.

ANEXO C

Tabela C.1 – Geração da usina A.

	<i>Produção da planta PV (GWh)</i>	<i>% da geração de Sobradinho</i>		<i>Produção da planta PV (GWh)</i>	<i>% da geração de Sobradinho</i>
2006	41.78	10.3	<i>Janeiro</i>	42.10	8.7
	32.65	8.9	<i>Fevereiro</i>	29.21	4.9
	33.43	8.8	<i>Março</i>	36.78	5.5
	19.11	4.3	<i>Abril</i>	32.34	7.5
	23.06	5.4	<i>Mai</i>	28.28	7.1
	17.72	4.8	<i>Junho</i>	27.67	6.7
	22.16	5.5	<i>Julho</i>	27.06	6.0
	28.63	6.6	<i>Agosto</i>	26.70	7.7
	34.55	8.4	<i>Setembro</i>	36.27	9.0
	38.12	9.6	<i>Outubro</i>	39.27	9.6
	38.60	12.0	<i>Novembro</i>	39.94	12.7
	41.80	9.9	<i>Dezembro</i>	31.16	13.8
2008	26.84	13.2	<i>Janeiro</i>	37.41	16.2
	32.58	19.7	<i>Fevereiro</i>	31.47	10.9
	32.59	17.1	<i>Março</i>	37.36	10.8
	31.90	15.0	<i>Abril</i>	29.41	8.3
	28.18	11.2	<i>Mai</i>	23.99	5.6
	25.79	9.4	<i>Junho</i>	25.83	6.6
	26.66	10.1	<i>Julho</i>	29.28	7.1
	33.15	9.2	<i>Agosto</i>	27.81	7.7
	36.16	11.2	<i>Setembro</i>	36.46	10.3
	40.23	12.0	<i>Outubro</i>	37.24	9.7
	41.69	14.1	<i>Novembro</i>	43.23	12.9
	38.12	15.7	<i>Dezembro</i>	35.57	9.8
2010	38.39	10.9	<i>Janeiro</i>	37.72	13.0
	32.15	9.2	<i>Fevereiro</i>	31.71	9.6
	36.42	10.0	<i>Março</i>	36.71	11.3
	32.02	9.1	<i>Abril</i>	33.21	8.2
	33.03	10.1	<i>Mai</i>	26.97	8.9
	22.98	8.7	<i>Junho</i>	27.57	8.6
	25.58	8.8	<i>Julho</i>	29.12	8.8
	28.43	10.0	<i>Agosto</i>	29.14	7.7
	36.29	12.7	<i>Setembro</i>	35.56	9.9
	39.82	12.7	<i>Outubro</i>	36.99	9.5
	43.17	18.1	<i>Novembro</i>	37.00	13.3
	35.40	11.3	<i>Dezembro</i>	40.61	12.6
2012	39.23	9.9	<i>Janeiro</i>	36.22	13.7
	35.19	8.0	<i>Fevereiro</i>	37.49	19.5
	41.48	8.7	<i>Março</i>	36.86	16.7
	37.58	9.5	<i>Abril</i>	30.11	13.0
	32.54	7.4	<i>Mai</i>	28.28	12.3
	30.82	8.5	<i>Junho</i>	28.25	15.0
	29.49	10.4	<i>Julho</i>	29.82	12.7
	27.45	9.0	<i>Agosto</i>	32.67	15.0
	38.74	13.8	<i>Setembro</i>	38.10	18.4
	42.89	17.8	<i>Outubro</i>	40.09	18.1
	34.95	17.5	<i>Novembro</i>	35.97	19.0
	40.26	12.2	<i>Dezembro</i>	33.89	18.5
2014	41.23	21.0	<i>Janeiro</i>	41.71	25.4
	32.86	18.1	<i>Fevereiro</i>	32.46	21.9
	36.18	17.7	<i>Março</i>	37.59	22.6
	30.27	15.2	<i>Abril</i>	34.76	22.7
	27.73	13.5	<i>Mai</i>	29.75	18.3
	27.00	13.9	<i>Junho</i>	25.77	19.1
	28.86	14.8	<i>Julho</i>	30.28	22.7
	35.13	18.9	<i>Agosto</i>	35.66	26.9
	38.48	22.6	<i>Setembro</i>	41.99	33.6
	39.03	22.3	<i>Outubro</i>	42.51	33.9
	37.58	23.2	<i>Novembro</i>	42.01	35.5
	35.83	21.6	<i>Dezembro</i>	44.94	37.3
2007					
2009					
2011					
2013					
2015					

Tabela C.2 - Geração da usina B.

	<i>Produção da planta PV (GWh)</i>	<i>% da geração de Sobradinho</i>		<i>Produção da planta PV (GWh)</i>	<i>% da geração de Sobradinho</i>
2006	104.46	25.8	<i>Janeiro</i>	105.25	21.7
	81.63	22.3	<i>Fevereiro</i>	73.01	12.2
	83.58	21.9	<i>Março</i>	91.94	13.9
	47.77	10.7	<i>Abril</i>	80.85	18.6
	57.65	13.5	<i>Maiο</i>	70.69	17.7
	44.29	11.9	<i>Junho</i>	69.18	16.6
	55.40	13.8	<i>Julho</i>	67.66	15.0
	71.57	16.4	<i>Agosto</i>	66.76	19.2
	86.37	20.9	<i>Setembro</i>	90.67	22.6
	95.30	24.0	<i>Outubro</i>	98.17	24.1
	96.50	29.9	<i>Novembro</i>	99.84	31.9
	104.50	24.8	<i>Dezembro</i>	77.91	34.5
2008	67.11	33.1	<i>Janeiro</i>	93.52	40.4
	81.44	49.3	<i>Fevereiro</i>	78.68	27.1
	81.48	42.7	<i>Março</i>	93.40	27.1
	79.75	37.6	<i>Abril</i>	73.53	20.7
	70.46	28.1	<i>Maiο</i>	59.98	13.9
	64.47	23.5	<i>Junho</i>	64.58	16.5
	66.65	25.2	<i>Julho</i>	73.19	17.7
	82.87	23.0	<i>Agosto</i>	69.51	19.1
	90.41	27.9	<i>Setembro</i>	91.14	25.8
	100.57	29.9	<i>Outubro</i>	93.10	24.4
	104.21	35.2	<i>Novembro</i>	108.08	32.1
	95.30	39.2	<i>Dezembro</i>	88.93	24.5
2010	95.97	27.3	<i>Janeiro</i>	94.30	32.5
	80.38	23.1	<i>Fevereiro</i>	79.26	23.9
	91.05	25.1	<i>Março</i>	91.77	28.2
	80.06	22.7	<i>Abril</i>	83.03	20.4
	82.57	25.2	<i>Maiο</i>	67.43	22.1
	57.44	21.9	<i>Junho</i>	68.94	21.4
	63.95	22.1	<i>Julho</i>	72.81	21.9
	71.08	25.1	<i>Agosto</i>	72.86	19.2
	90.73	31.7	<i>Setembro</i>	88.89	24.7
	99.56	31.8	<i>Outubro</i>	92.47	23.6
	107.92	45.2	<i>Novembro</i>	92.49	33.4
	88.50	28.2	<i>Dezembro</i>	101.52	31.5
2012	98.08	24.8	<i>Janeiro</i>	90.54	34.1
	87.97	20.0	<i>Fevereiro</i>	93.73	48.8
	103.69	21.7	<i>Março</i>	92.16	41.8
	93.95	23.8	<i>Abril</i>	75.27	32.5
	81.36	18.6	<i>Maiο</i>	70.70	30.8
	77.04	21.2	<i>Junho</i>	70.62	37.5
	73.73	26.0	<i>Julho</i>	74.56	31.7
	68.63	22.4	<i>Agosto</i>	81.68	37.4
	96.84	34.4	<i>Setembro</i>	95.25	46.0
	107.22	44.6	<i>Outubro</i>	100.21	45.2
	87.37	43.7	<i>Novembro</i>	89.92	47.5
	100.64	30.6	<i>Dezembro</i>	84.72	46.2
2014	103.08	52.5	<i>Janeiro</i>	104.27	63.5
	82.14	45.3	<i>Fevereiro</i>	81.16	54.8
	90.45	44.2	<i>Março</i>	93.96	56.6
	75.68	37.9	<i>Abril</i>	86.90	56.7
	69.32	33.8	<i>Maiο</i>	74.38	45.8
	67.50	34.7	<i>Junho</i>	64.43	47.9
	72.15	36.9	<i>Julho</i>	75.69	56.7
	87.82	47.4	<i>Agosto</i>	89.14	67.3
	96.20	56.6	<i>Setembro</i>	104.97	84.1
	97.58	55.6	<i>Outubro</i>	106.27	84.9
	93.96	58.0	<i>Novembro</i>	105.02	88.6
	89.57	54.0	<i>Dezembro</i>	112.35	93.3

Tabela C.3 - Geração da usina C.

	<i>Produção da planta PV (GWh)</i>	<i>% da geração de Sobradinho</i>		<i>Produção da planta PV (GWh)</i>	<i>% da geração de Sobradinho</i>
2006	208.92	51.6	<i>Janeiro</i>	210.49	43.4
	163.26	44.7	<i>Fevereiro</i>	146.03	24.5
	167.16	43.9	<i>Março</i>	183.88	27.7
	95.55	21.3	<i>Abril</i>	161.71	37.3
	115.30	27.1	<i>Maiο</i>	141.38	35.3
	88.58	23.8	<i>Junho</i>	138.35	33.3
	110.81	27.7	<i>Julho</i>	135.31	30.0
	143.15	32.9	<i>Agosto</i>	133.51	38.3
	172.74	41.9	<i>Setembro</i>	181.33	45.2
	190.60	48.0	<i>Outubro</i>	196.34	48.2
	193.00	59.8	<i>Novembro</i>	199.68	63.7
	209.00	49.5	<i>Dezembro</i>	155.82	68.9
2008	134.21	66.2	<i>Janeiro</i>	187.04	80.8
	162.88	98.7	<i>Fevereiro</i>	157.35	54.3
	162.96	85.5	<i>Março</i>	186.80	54.1
	159.50	75.2	<i>Abril</i>	147.05	41.4
	140.92	56.2	<i>Maiο</i>	119.96	27.8
	128.93	46.9	<i>Junho</i>	129.17	33.0
	133.30	50.3	<i>Julho</i>	146.39	35.3
	165.74	46.1	<i>Agosto</i>	139.03	38.3
	180.82	55.8	<i>Setembro</i>	182.28	51.6
	201.14	59.8	<i>Outubro</i>	186.20	48.7
	208.43	70.3	<i>Novembro</i>	216.15	64.3
	190.59	78.5	<i>Dezembro</i>	177.87	49.1
2010	191.94	54.6	<i>Janeiro</i>	188.61	65.0
	160.76	46.1	<i>Fevereiro</i>	158.53	47.8
	182.10	50.2	<i>Março</i>	183.54	56.3
	160.11	45.5	<i>Abril</i>	166.06	40.9
	165.14	50.3	<i>Maiο</i>	134.86	44.3
	114.89	43.7	<i>Junho</i>	137.87	42.9
	127.90	44.2	<i>Julho</i>	145.62	43.8
	142.16	50.2	<i>Agosto</i>	145.71	38.4
	181.46	63.4	<i>Setembro</i>	177.78	49.4
	199.11	63.6	<i>Outubro</i>	184.95	47.3
	215.85	90.3	<i>Novembro</i>	184.98	66.7
	177.00	56.4	<i>Dezembro</i>	203.05	63.0
2012	196.16	49.6	<i>Janeiro</i>	181.09	68.3
	175.95	40.1	<i>Fevereiro</i>	187.46	97.6
	207.38	43.3	<i>Março</i>	184.32	83.7
	187.89	47.7	<i>Abril</i>	150.55	64.9
	162.72	37.2	<i>Maiο</i>	141.40	61.6
	154.09	42.5	<i>Junho</i>	141.23	75.0
	147.45	52.1	<i>Julho</i>	149.12	63.4
	137.26	44.8	<i>Agosto</i>	163.37	74.8
	193.68	68.8	<i>Setembro</i>	190.50	92.0
	214.44	89.1	<i>Outubro</i>	200.43	90.3
	174.73	87.3	<i>Novembro</i>	179.84	95.1
	201.28	61.1	<i>Dezembro</i>	169.45	92.4
2014	206.15	104.9	<i>Janeiro</i>	208.54	126.9
	164.28	90.5	<i>Fevereiro</i>	162.32	109.7
	180.90	88.4	<i>Março</i>	187.93	113.1
	151.37	75.9	<i>Abril</i>	173.81	113.3
	138.65	67.6	<i>Maiο</i>	148.76	91.6
	135.01	69.3	<i>Junho</i>	128.86	95.7
	144.31	73.8	<i>Julho</i>	151.38	113.3
	175.65	94.7	<i>Agosto</i>	178.28	134.6
	192.40	113.2	<i>Setembro</i>	209.95	168.1
	195.15	111.3	<i>Outubro</i>	212.53	169.7
	187.92	116.0	<i>Novembro</i>	210.04	177.3
	179.15	108.1	<i>Dezembro</i>	224.70	186.5

Tabela C.4 - Geração da planta D.

	<i>Produção da planta PV (GWh)</i>	<i>% da geração de Sobradinho</i>		<i>Produção da planta PV (GWh)</i>	<i>% da geração de Sobradinho</i>
2006	333.73	82.4	<i>Janeiro</i>	336.24	69.4
	260.79	71.3	<i>Fevereiro</i>	233.26	39.1
	267.03	70.1	<i>Março</i>	293.74	44.3
	152.63	34.1	<i>Abril</i>	258.31	59.6
	184.18	43.2	<i>Maiο</i>	225.84	56.5
	141.51	38.0	<i>Junho</i>	221.01	53.1
	177.01	44.2	<i>Julho</i>	216.15	47.9
	228.66	52.5	<i>Agosto</i>	213.28	61.2
	275.93	66.9	<i>Setembro</i>	289.67	72.2
	304.46	76.7	<i>Outubro</i>	313.64	77.0
	308.31	95.5	<i>Novembro</i>	318.97	101.8
	333.87	79.1	<i>Dezembro</i>	248.91	110.1
2008	214.39	105.8	<i>Janeiro</i>	298.77	129.0
	260.18	157.6	<i>Fevereiro</i>	251.36	86.7
	260.32	136.5	<i>Março</i>	298.39	86.5
	254.79	120.1	<i>Abril</i>	234.91	66.2
	225.11	89.8	<i>Maiο</i>	191.62	44.4
	205.96	75.0	<i>Junho</i>	206.33	52.8
	212.94	80.4	<i>Julho</i>	233.84	56.5
	264.76	73.6	<i>Agosto</i>	222.08	61.2
	288.85	89.2	<i>Setembro</i>	291.17	82.5
	321.30	95.4	<i>Outubro</i>	297.44	77.8
	332.95	112.3	<i>Novembro</i>	345.29	102.7
	304.46	125.3	<i>Dezembro</i>	284.13	78.4
2010	306.60	87.2	<i>Janeiro</i>	301.28	103.8
	256.81	73.7	<i>Fevereiro</i>	253.23	76.4
	290.89	80.1	<i>Março</i>	293.18	90.0
	255.76	72.6	<i>Abril</i>	265.26	65.3
	263.79	80.4	<i>Maiο</i>	215.43	70.8
	183.52	69.8	<i>Junho</i>	220.24	68.5
	204.31	70.6	<i>Julho</i>	232.61	70.0
	227.09	80.2	<i>Agosto</i>	232.76	61.3
	289.87	101.3	<i>Setembro</i>	283.99	78.9
	318.06	101.5	<i>Outubro</i>	295.44	75.5
	344.80	144.3	<i>Novembro</i>	295.49	106.6
	282.74	90.1	<i>Dezembro</i>	324.35	100.7
2012	313.36	79.3	<i>Janeiro</i>	289.27	109.1
	281.06	64.0	<i>Fevereiro</i>	299.46	155.9
	331.27	69.2	<i>Março</i>	294.43	133.7
	300.14	76.1	<i>Abril</i>	240.48	103.7
	259.93	59.5	<i>Maiο</i>	225.87	98.4
	246.14	67.9	<i>Junho</i>	225.61	119.8
	235.54	83.2	<i>Julho</i>	238.21	101.3
	219.26	71.6	<i>Agosto</i>	260.97	119.5
	309.38	109.9	<i>Setembro</i>	304.30	146.9
	342.54	142.4	<i>Outubro</i>	320.16	144.3
	279.12	139.5	<i>Novembro</i>	287.28	151.9
	321.53	97.6	<i>Dezembro</i>	270.68	147.7
2014	329.31	167.6	<i>Janeiro</i>	333.12	202.8
	262.43	144.6	<i>Fevereiro</i>	259.29	175.2
	288.97	141.2	<i>Março</i>	300.20	180.7
	241.79	121.2	<i>Abril</i>	277.64	181.0
	221.48	107.9	<i>Maiο</i>	237.63	146.4
	215.66	110.7	<i>Junho</i>	205.85	152.9
	230.52	117.9	<i>Julho</i>	241.82	181.0
	280.58	151.3	<i>Agosto</i>	284.79	215.0
	307.33	180.8	<i>Setembro</i>	335.37	268.5
	311.74	177.8	<i>Outubro</i>	339.51	271.1
	300.18	185.4	<i>Novembro</i>	335.52	283.2
	286.17	172.6	<i>Dezembro</i>	358.95	298.0
2007					
2009					
2011					
2013					
2015					

Tabela C.5 - Valores mensais de geração das Usinas A e B, o volume de água que a UHE Sobradinho supostamente não precisaria utilizar, porcentagem em relação ao volume total do reservatório e geração sugerida para UHE Sobradinho.

Período	Usina A				Usina B			
	Geração (GWh)	Hm ³	% em relação ao volume	Geração Sobradinho Sugerida (GWh)	Geração (GWh)	Hm ³	% em relação ao volume	Geração Sobradinho Sugerida (GWh)
Janeiro_2013	36	566.8	1.7	229.02	90.54	1417	4.2	174.70
Fevereiro_2013	37	586.7	1.7	154.60	93.73	1467	4.3	98.36
Março_2013	37	576.9	1.7	183.43	92.16	1442	4.2	128.13
Abril_2013	30	471.2	1.4	201.81	75.27	1178	3.5	156.65
Mai_2013	28	442.6	1.3	201.22	70.70	1106	3.2	158.80
Junho_2013	28	442.0	1.3	160.05	70.62	1105	3.2	117.68
Julho_2013	30	466.7	1.4	205.24	74.56	1167	3.4	160.50
Agosto_2013	33	511.3	1.5	185.67	81.68	1278	3.7	136.66
Setembro_2013	38	596.2	1.7	168.99	95.25	1491	4.4	111.84
Outubro_2013	40	627.3	1.8	181.86	100.21	1568	4.6	121.74
Novembro_2013	36	562.9	1.6	153.16	89.92	1407	4.1	99.21
Dezembro_2013	34	530.4	1.6	149.42	84.72	1326	3.9	98.59
Janeiro_2014	41	645.2	1.9	155.27	103.08	1613	4.7	93.42
Fevereiro_2014	33	514.2	1.5	148.59	82.14	1285	3.8	99.31
Março_2014	36	566.2	1.7	168.53	90.45	1415	4.1	114.26
Abril_2014	30	473.8	1.4	169.20	75.68	1184	3.5	123.79
Mai_2014	28	433.9	1.3	177.48	69.32	1085	3.2	135.89
Junho_2014	27	422.6	1.2	167.80	67.50	1056	3.1	127.30
Julho_2014	29	451.7	1.3	166.59	72.15	1129	3.3	123.30
Agosto_2014	35	549.8	1.6	150.27	87.82	1374	4.0	97.58
Setembro_2014	38	602.2	1.8	131.46	96.20	1505	4.4	73.74
Outubro_2014	39	610.8	1.8	136.35	97.58	1527	4.5	77.80
Novembro_2014	38	588.2	1.7	124.36	93.96	1470	4.3	67.98
Dezembro_2014	36	560.7	1.6	129.93	89.57	1402	4.1	76.19
Janeiro_2015	42	652.7	1.9	122.57	104.27	1632	4.8	60.01
Fevereiro_2015	32	508.0	1.5	115.55	81.16	1270	3.7	66.85
Março_2015	38	588.2	1.7	128.54	93.96	1470	4.3	72.17
Abril_2015	35	544.0	1.6	118.61	86.90	1360	4.0	66.47
Mai_2015	30	465.6	1.4	132.57	74.38	1164	3.4	87.94
Junho_2015	26	403.3	1.2	108.87	64.43	1008	3.0	70.21
Julho_2015	30	473.8	1.4	103.31	75.69	1185	3.5	57.90
Agosto_2015	36	558.0	1.6	96.83	89.14	1395	4.1	43.35
Setembro_2015	42	657.1	1.9	82.90	104.97	1643	4.8	19.92
Outubro_2015	43	665.2	1.9	82.72	106.27	1663	4.9	18.96
Novembro_2015	42	657.4	1.9	76.47	105.02	1644	4.8	13.46
Dezembro_2015	45	703.3	2.1	75.53	112.35	1758	5.2	8.12

Tabela C.6 - Valores mensais de geração das Usinas C e D e o volume de água que a UHE Sobradinho supostamente não precisaria utilizar, porcentagem em relação ao volume total do reservatório e geração sugerida para UHE Sobradinho.

Período	Usina C		Usina D		Geração UHE Sobradinho (GWh)
	(Hm ³)	% em relação ao volume	(Hm ³)	% em relação ao volume	
Janeiro_2013	758	2.2	2452	7.2	132.62
Fevereiro_2013	1431	4.2	3183	9.3	96.05
Março_2013	1161	3.4	2884	8.5	110.15
Abril_2013	541	1.6	1949	5.7	115.96
Maior_2013	417	1.2	1739	5.1	114.75
Junho_2013	737	2.2	2057	6.0	94.15
Julho_2013	494	1.4	1889	5.5	117.53
Agosto_2013	848	2.5	2376	7.0	109.17
Setembro_2013	1361	4.0	3142	9.2	103.55
Outubro_2013	1400	4.1	3274	9.6	110.98
Novembro_2013	1334	3.9	3016	8.8	94.57
Dezembro_2013	1217	3.6	2802	8.2	91.66
Janeiro_2014	1689	4.9	3616	10.6	98.25
Fevereiro_2014	1151	3.4	2687	7.9	90.73
Março_2014	1229	3.6	2920	8.6	102.36
Abril_2014	808	2.4	2223	6.5	99.74
Maior_2014	564	1.7	1860	5.5	102.61
Junho_2014	589	1.7	1851	5.4	97.40
Julho_2014	729	2.1	2078	6.1	97.73
Agosto_2014	1298	3.8	2940	8.6	92.70
Setembro_2014	1681	4.9	3480	10.2	84.97
Outubro_2014	1682	4.9	3506	10.3	87.69
Novembro_2014	1674	4.9	3430	10.1	80.97
Dezembro_2014	1507	4.4	3181	9.3	82.88
Janeiro_2015	1978	5.8	3928	11.5	82.14
Fevereiro_2015	1382	4.1	2900	8.5	74.01
Março_2015	1641	4.8	3398	10.0	83.07
Abril_2015	1520	4.5	3145	9.2	76.69
Maior_2015	1058	3.1	2449	7.2	81.16
Junho_2015	963	2.8	2168	6.4	67.32
Julho_2015	1324	3.9	2739	8.0	66.80
Agosto_2015	1753	5.1	3420	10.0	66.25
Setembro_2015	2308	6.8	4271	12.5	62.45
Outubro_2015	2346	6.9	4333	12.7	62.62
Novembro_2015	2360	6.9	4324	12.7	59.24
Dezembro_2015	2574	7.5	4675	13.7	60.24

Tabela C.7 – Volume sobressalente mensal de cada UFV.

<i>Usina A</i>	<i>Usina B</i>	<i>Usina C</i>	<i>Usina D</i>
<i>(Hm³)</i>			
300.48	1150.66	492.19	2185.21
320.44	1200.54	1164.34	2916.96
310.59	1175.93	894.46	2617.68
204.89	911.68	274.96	1682.45
176.25	840.08	150.69	1472.62
175.75	838.82	470.55	1790.97
200.44	900.56	228.14	1622.33
245.03	1012.02	581.88	2109.24
329.93	1224.28	1094.45	2875.44
361.01	1301.98	1133.57	3007.39
296.58	1140.89	1068.20	2749.54
264.05	1059.58	951.11	2535.30
378.94	1346.80	1422.34	3349.70
247.88	1019.16	884.82	2420.72
299.89	1149.19	962.88	2654.14
207.46	918.09	541.69	1956.83
167.65	818.57	297.73	1593.96
156.26	790.09	322.23	1584.43
185.36	862.86	462.69	1811.84
283.46	1108.11	1031.81	2673.98
335.88	1239.14	1414.85	3213.58
344.51	1260.73	1415.46	3239.99
321.85	1204.08	1407.33	3164.18
294.41	1135.49	1240.25	2915.14
386.39	1365.44	1711.73	3661.38
241.74	1003.81	1115.79	2633.35
321.90	1204.20	1374.78	3131.76
277.69	1093.68	1253.58	2878.52
199.31	897.72	791.64	2182.44
137.03	742.02	696.81	1901.58
207.51	918.24	1057.47	2472.78
291.70	1128.71	1487.03	3153.82
390.81	1376.48	2042.02	4004.85
398.91	1396.72	2079.86	4066.88
391.10	1377.21	2093.64	4057.35
437.00	1491.95	2307.56	4408.36