

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA - DAELT
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ALAIN HEIZO TOYAMA
NATALINO DAS NEVES JUNIOR
NELSON GERALDO DE ALMEIDA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA
DE ENERGIA PARA DIFERENTES REGIÕES NO ESTADO DO
PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

ALAIN HEIZO TOYAMA
NATALINO DAS NEVES JUNIOR
NELSON GERALDO DE ALMEIDA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA
DE ENERGIA PARA DIFERENTES REGIÕES NO ESTADO DO
PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. M.Sc. Gerson Maximo Tiepolo

CURITIBA

2014

Alain Heizo Toyama
Natalino das Neves Junior
Nelson Geraldo Almeida

Estudo de Viabilidade Econômica da Implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Energia para Diferentes Regiões no Estado do Paraná

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica ênfase Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 13 de agosto de 2014.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Gerson Maximo Tiepolo, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Gerson Maximo Tiepolo, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jair Urbanetz Junior, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Henrique Karam Salata, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso (ou Programa).

À nossas famílias que sempre nos apoiaram, nos ajudaram e acreditaram em nós.

À todos que dedicam-se ao desenvolvimento da energia fotovoltaica.

À todas as famílias brasileiras que se sacrificam diariamente e contribuíram através de tributos para a nossa formação nesta universidade pública.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a todos que estiverem envolvidos e contribuíram de alguma forma a esta pesquisa.

Em especial, agradecemos o nosso Professor Orientador Gerson Maximo Tiepolo por toda sua dedicação e atenção ao nosso trabalho.

Agradecemos também a banca avaliadora deste trabalho pela atenção e contribuição na avaliação deste TCC.

Agradecemos a nossas namoradas pela paciência e força para nos dedicar diariamente a este trabalho.

A todos os nossos colegas, agradecemos pela convivência diária e luta na faculdade.

O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano. (NEWTON, Isaac).

RESUMO

TOYAMA, Alain H.; NEVES, Natalino Jr.; ALMEIDA, Nelson G. Estudo de Viabilidade Econômica da Implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Energia para Diferentes Regiões no Estado do Paraná. 2014. 109 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

As fontes de energia fotovoltaicas se tornam cada vez mais presentes na geração de energia elétrica. Porém, existe a necessidade de se aproximar cada vez mais os custos teóricos aos praticados no mercado. Este estudo analisa a viabilidade da geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia em diferentes regiões no Estado do Paraná. Inicia-se com a contextualização do cenário global de energia fotovoltaica e seu crescimento. Descreve o cenário Brasileiro dentro deste segmento. Depois, apresenta a forma de coleta de dados e cálculo do custo em real (R\$) por watt pico (Wp) de sistemas fotovoltaicos *turn-key* para uma série de potências instaladas. Traçam-se curvas que mostram as tendências do custo em reais por watt pico instalado de acordo com a potência dos sistemas. Sequencialmente, é mostrado a produção de energia elétrica de cada sistema nas determinadas regiões do Estado do Paraná num período de 30 anos. Após isso, são apresentados os retornos dos investimentos respectivos as diferentes regiões. Por fim, se conclui que todos os sistemas fotovoltaicos parametrizados são viáveis no Estado do Paraná.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico. Energia solar. Estudo de viabilidade.

ABSTRACT

TOYAMA, Alain H.; NEVES, Natalino Jr.; ALMEIDA, Nelson A.. 2014. 109 f. Study of the Economic Viability of Generation of Electrical Energy in Photovoltaic Systems Connected to the Electrical Power Grid in Different Regions of the State of Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The photovoltaic sources are becoming more usual in the generation of electrical energy. Though, there is a need to approximate the theoretical values to the practiced on the market ones even more. This study analyzes the viability of generating electricity through photovoltaic systems connected to the power grid in different regions of the State of Paraná. It starts contextualizing the global level of photovoltaic energy and its growth. It describes the Brazilian scenario in photovoltaic energy. Later, it presents the method the data was gathered and how the costs in Real (R\$) per watt peak (Wp) were calculated for some power sizes of installed photovoltaic turn-key system. It traces curves that indicate trends of costs in Real per watt peak according to its installed power size. Sequentially, it is show the production of electricity from each system at the chose regions of Parana State in 30 years. After all, it concludes that all photovoltaic systems parameterized are viable in the State of Paraná.

Keywords: Photovoltaic system. Solar energy. Study of the Economic Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Potência instalada de energia renovável	21
Figura 02 – Crescimento da energia renovável no mundo	22
Figura 03 – Matriz elétrica brasileira	25
Figura 04 – Potencial hidrelétrico mundial tecnicamente aproveitável	27
Figura 05 – Usina hidrelétrica de três gargantas	28
Figura 06 – Usina hidrelétrica de Itaipu	28
Figura 07 – Potencial eólico brasileiro estimado separado por região	32
Figura 08 – Usina eólica instalada Gravatá PE	33
Figura 09 – Usina eólica off-shore instalada na Europa.....	33
Figura 10 – Perfil esquemático de uma usina nuclear	37
Figura 11 – Usina nuclear de Kashiwazaki – Kariwa	38
Figura 12 – Capacidade mundial do sistema FV	40
Figura 13 – Capacidade instalada acumulada em sistemas FV em 2013	40
Figura 14 – Células orgânicas	46
Figura 15 – Célula, módulo e painel fotovoltaico	46
Figura 16 – Conectores MC4	49
Figura 17 – Adaptado mapa de potência fotovoltaica mundial (W/habitante).....	55
Figura 18 – Potência instalada de FV na Alemanha.....	58
Figura 19 – Desenvolvimento FV	59
Figura 20 – Gastos em milhões EUR no desenvolvimento de FV (PV) e programas de investimento futuro (ZIP) de 1974 até 2008.....	61
Figura 21 – Composição da matriz energética Brasileira no consumo de energia elétrica	65
Figura 22 – Mapa solar do Brasil no plano inclinado.....	68
Figura 23 – Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná.....	69
Figura 24 – Mapa solar da Alemanha.....	70
Figura 25 – Sistemas FV desde 2006 em torno de 66% mais barato (EUR/kWp).....	71
Figura 26 – Dióxido de Carbono não emitido devido ao uso de energia FV (tonCO ₂)	73
Figura 27 – Mapa de Empresas do Setor FV, visão nacional.....	74
Figura 28 – Mapa de Empresas do Setor FV, visão em Curitiba	75
Figura 29 – Crachá EnerSolar + (frente)	76
Figura 30 – Crachá EnerSolar + (Verso).....	76
Figura 31 – Divisão do mapa fotovoltaico do Estado do Paraná em regiões de A até F	86
Figura 32 – Escala de cores para anos de retorno.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Demanda mundial de energia primária.....	21
Tabela 02 – Matriz elétrica brasileira de 2013	24
Tabela 03 – Potencial hidrelétrico brasileiro dividido por bacia hidrográfica	27
Tabela 04 – Distribuição da área dos continentes segundo a velocidade média do vento	30
Tabela 05 – Estimativa do potencial eólico mundial	31
Tabela 06 – Produção de energia elétrica por fonte no mundo	35
Tabela 07 – Reserva mundial de urânio	35
Tabela 08 – Maiores produtores de energia nuclear.....	36
Tabela 09 – Eficiência dos módulos Fotovoltaicos.....	47
Tabela 10 – Eficiência típica dos módulos comerciais	47
Tabela 11 – Mecanismos de Incentivo.....	54
Tabela 12 – Taxas anteriores da StrEG e depois da reforma EEG em 2000 para SFVCR	64
Tabela 13 – Novas taxas praticadas com reforma em 2008 da EEG para SFVCR	64
Tabela 14 – Projeção de aumento de consumo e do PIB nacional.....	66
Tabela 15 – Exemplo apenas ilustrativo da base de dados com custos explodidos para 1-1,2kWp	80
Tabela 16 – Delimitação das regiões em kWh/(m ² x ano) para 1 kWp.....	86
Tabela 17 – Energia elétrica gerada em cada região por ano sem perda na eficiência	87
Tabela 18 – Energia elétrica gerada acumulada em 30 anos em cada região com perdas de eficiência	88
Tabela 19 – Custo médio do investimento inicial de cada sistema	88
Tabela 20 – Custo médio da operação e manutenção de cada sistema ao longo de 30 anos.....	89
Tabela 22 – Custo de oportunidade.....	91
Tabela 23 – Custo médio total ao longo de 30 anos acumulado	92
Tabela 24 – Custo evitado acumulado em 30 anos, reinvestido como custo de oportunidade - Tarifa B1	93
Tabela 25 – Custo evitado acumulado em 30 anos, reinvestido como custo de oportunidade - Tarifa A1	93
Tabela 26 – Anos para o retorno do investimento – Média dos cenários e tarifa B1.....	94
Tabela 27 – Anos para o retorno do investimento – Média dos cenários e tarifa A1.....	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Países com maior dependência da energia nuclear na produção de energia	36
Gráfico 02 – Evolução da capacidade instalada acumulada de fotovoltaica mundial (MW).....	56
Gráfico 03 – Evolução da capacidade instalada acumulada de fotovoltaica nos países europeus (MW)	57
Gráfico 04 – Distribuição das projeções de 2016 até 2022 de ampliação da matriz energética por região.....	66
Gráfico 05 – Valores de módulos (R\$/Wp) versus potência do sistema instalado (kWp)	81
Gráfico 06 – Valores de instalação (R\$/Wp) versus potência do sistema instalado (kWp).....	82
Gráfico 07 – Valores de inversores (R\$/Wp) versus potência do sistema instalado (kWp)	82
Gráfico 08 – Custos do SFV completo (R\$/Wp) versus Potência (kWp)	83
Gráfico 09 – Participação em porcentagem de cada componente do SFV.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica;

APAC - Asia e Pacifico;

BMU - Bundesministerium fuer Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit;

BNEF - Bloomberg New Energy Finance;

CdTe - telureto de cádmio;

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais;

CIGS - disseleneto de cobre-indio com pequenas quantidades de gálio;

CIS - disseleneto de cobre-indio;

CO₂ - Dióxido de Carbono;

COP - Conferência do Clima;

c-Si - silício;

DGS - Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie;

EEG - Erneurbare-Ernegie-Gesetz,;

EPE - Empresa de Pesquisa Energética;

EPIA - European Photovoltaic Industry Association;

EWEA - European Wind Energy Association;

FRE - fonte renovável de energia;

FV - Fotovoltaico;

GD - geração distribuída;

GMO - Global Market Outlook;

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY;

INEE - Instituto Nacional de Energia Elétrica;

ISE - Institut für Solare Energiesysteme;

mc-Si - silício multicristalino;

MEA - Middle East and Africa;

MME - Ministério de Minas e Energia;

OFR - outras fontes renováveis;

PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas;

PIB - produto interno bruto;

P&D - Ministério de Pesquisa e Desenvolvimento;

RECAI - Índice de atratividade de países em energia renovável;

sc-Si - silício monocristalino;

SFVCR - Sistema fotovoltaico conectado à rede;

SFV - Sistemas fotovoltaico;

SFD - Solarenergie-Förderverein Deutschland;

StrEG - Stromeinspeisungsgesetz;

VDEW - associação de concessionárias;

VSI - Verband mittelständischer Solarindustrie;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 TEMA	15
1.1.1 Delimitação do Tema	15
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo Geral.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 JUSTIFICATIVA.....	17
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 SUSTENTABILIDADE E A GERAÇÃO DE ENERGIA	20
2.2 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA.....	24
2.2.1 Energia hidráulica	25
2.2.1.1 Potencial da energia hidráulica.....	26
2.2.1.2 Impactos socioambientais	29
2.2.2 Energia Eólica	29
2.2.2.1 Potencial da energia eólica.....	30
2.2.2.2 Impactos socioambientais	33
2.2.3 Energia Nuclear.....	34
2.2.3.1 Potencial da energia nuclear.....	34
2.2.3.2 Princípio de funcionamento e tecnologias.....	37
2.2.3.3 Impactos socioambientais	38
2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO	39
2.3.1 Classificação dos SFVs	42
2.3.1.1 Interligação com o sistema público de fornecimento de energia	42
2.3.1.2 Configuração	43
2.3.2 Sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR).....	43
2.3.2.1 Componentes do SFVCR	44
2.3.2.1.1 Módulos.....	44
2.3.2.1.2 Inversores	48
2.3.2.1.3 Estruturas.....	48
2.3.2.1.4 Cabos e conectores	49
2.3.3 Normas e regulamentações.....	50
2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	52
2.5 CENÁRIO MUNDIAL DE SFV	54
2.5.1 Mundo	54
2.5.2 Europa	57
2.5.3 Alemanha	58
2.5.3.1 Crescimento da energia FV	58
2.5.3.2 Decisões Essenciais para o Desenvolvimento da Energia FV.....	59
2.5.3.2.1 Fase pioneira e P&D (1970-91)	59
2.5.3.2.2 Adesão ampliada (1991-94)	61
2.5.3.2.3 Insegurança e desaceleração (1994-98).....	62
2.5.3.2.4 Alavancagem (1999-2003).....	63
2.5.3.2.5 Fim do desenvolvimento (2004 –XX).....	64
2.6 CENÁRIO BRASILEIRO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	65
2.6.1 Incidência solar nacional.....	67
2.6.2 Potencial do Estado do Paraná	68

2.6.2.1 Potencial de Geração Fotovoltaica no Estado do Paraná e Alemanha	69
2.7 EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DE SFV	71
2.8 FATORES QUE DEVEM INFLUENCIAR O CRESCIMENTO NACIONAL DE SFV	72
2.8.2 Resolução 482	72
2.8.3 Crédito de carbono	72
2.8.3.1 Redução de emissão de CO ₂ na Alemanha.....	73
3 LEVANTAMENTO DO CUSTO DE SFVCR.....	74
3.1 PESQUISA DOS FORNECEDORES	74
3.2 SELEÇÃO DAS EMPRESAS	76
3.3 PREMISSAS PARA COLETA DE DADOS.....	77
3.3.1 Cenário para Geração	77
3.3.2 Cenário de Cotação	77
3.4 COLETA DE DADOS	78
3.4.1 Solicitação das cotações.....	78
3.4.2 Meios de comunicação	78
3.4.3 Receber cotações e processamento dos dados.....	79
3.5 APURAÇÃO DOS DADOS	79
4 ESTUDO DE VIABILIDADE DE SFVCR.....	85
4.1 PREMISSAS	85
4.1.1 Divisão do mapa fotovoltaico do Estado do Paraná por regiões e geração de energia	85
4.1.2 Investimento inicial	88
4.1.3 Operação e manutenção	89
4.1.4 Reposição do inversor	89
4.1.5 Custo de oportunidade.....	90
4.1.6 Tarifa e reajuste tarifário	91
4.2 CÁLCULO DE RETORNO DE INVESTIMENTO.....	92
4.2.1 Custo total ao longo de 30 anos	92
4.2.2 Economia ao longo de 30 anos.....	92
4.2.3 Análise da viabilidade de um SFVCR nas regiões do Estado do Paraná	93
5 CONCLUSÃO	96
REFERÊNCIAS	98
ANEXO A	106
ANEXO B.....	108
ANEXO C	109
ANEXO D	110
ANEXO E.....	111
ANEXO F.....	112

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

1.1.1 Delimitação do Tema

O tema energia renovável tem se tornado cada vez mais o alvo de discussões pelo mundo, sendo que, manter ou aumentar o uso de fontes de energia que são nocivos ao meio ambiente, como os combustíveis fósseis que tem dominado a cadeia da matriz energética global, se torna uma decisão insustentável (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2012, p.1).

De acordo com o relatório anual World Energy Outlook (2012, p.8) da IEA (International Energy Agency), a procura mundial de energia crescerá mais de um terço até 2035 e, conseqüentemente, mais investimentos no setor de energia serão inevitáveis. Dentro deste cenário, investimentos na área de energia elétrica são imprescindíveis para auxiliar no desenvolvimento da sociedade. Entretanto, face o atual momento em que a sociedade atravessa, se faz necessário o aumento da geração de energia elétrica através da utilização de fontes renováveis, como através de fontes hidráulicas, eólicas, solar, dentre outras. Dentre as fontes renováveis em evidência, a solar tem ganhado cada vez mais repercussão de forma global.

A energia solar cresce mais rapidamente do que qualquer outra das tecnologias de energias renováveis. As fontes de energia renováveis se tornarão a segunda fonte mundial de geração de eletricidade em 2015 - aproximadamente, metade do tanto gerado pelo carvão. (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2012, p 8).

No Brasil, as hidrelétricas tem maior participação na geração, porém seus impactos são negativos no meio ambiente devido ao alagamento de grandes áreas cultiváveis e a emissão de metano (CH₄) proveniente da decomposição da matéria orgânica das áreas alagadas (PEREIRA et al 2006, p.10).

O Brasil possui uma ótima incidência de radiação, no entanto os investimentos nesta fonte no Brasil ainda são pequenos, pois existe uma visão que “embute níveis de risco e custos superiores aos observados nas tecnologias atualmente em uso comercial” (EPE, 2012,

p.1). Diante desta perspectiva, é importante para o consumidor e os investidores saberem ao certo qual é o custo para geração de energia elétrica por fonte fotovoltaica, e como consequência, determinar o prazo de retorno deste investimento.

Sendo assim, será um dos focos deste trabalho determinar os custos atuais para implantação de um sistema fotovoltaico, e elaborar uma análise da viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia localizada no Estado do Paraná.

1.2 PROBLEMA E PREMISAS

Sendo o Brasil um país, em sua maior parte tropical, poderia se deduzir que ele estaria entre os principais produtores de energia elétrica de forma global através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de energia elétrica (SFVCR), mas na realidade não é isso que acontece. Atualmente, a Alemanha ocupa a primeira posição no ranking de países que mais investiram nesta tecnologia, com 32,4 GW de capacidade instalada, seguido pela Itália com 16,4 GW e Estados Unidos com 7,2 GW (REN21, 2013, p. 40). O fato do Brasil não ser uma potência em energia solar por SFVCR é porque os investimentos ocorridos nesta área ainda são ínfimos, conforme observado no Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2013 publicado pelo Ministério de Minas e Energia, onde estes sistemas não são sequer considerados (EPE, 2013).

Um dos principais motivos para falta de investimentos neste setor é o alto custo de implantação (EPE, 2012, p.27) e a falta de um estudo específico de SFVCR que traga uma análise clara do retorno sobre este investimento alto, sendo um risco para os consumidores e investidores.

Além disso, outro problema é a tarifa de energia elétrica paga à concessionária pelo consumidor, que impacta diretamente no retorno do investimento, fator que determinará a viabilidade ou não do sistema pela diferença entre o custo em R\$/kWh do SFVCR e o das concessionárias.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Levantamento do custo e determinação da viabilidade da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia para diferentes regiões no Estado do Paraná.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar referencial teórico de SFVCR;
- Obtenção do custo do SFVCR para diversos valores de potência instalada;
- Levantar a produção de energia elétrica para cada região delimitada no mapa fotovoltaico do Estado do Paraná;
- Formar cenários de SFVCR e calcular seus respectivos custos de energia elétrica;
- Determinar os custos da energia elétrica gerada por SFVCR's nas regiões apresentadas no Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná;
- Levantar os valores das tarifas de energia elétrica utilizadas no Estado do Paraná;
- Determinar a viabilidade da implantação de SFVCR's para cada região do Estado do Paraná;
- Concluir análise dos resultados.

1.4 JUSTIFICATIVA

Tendo como base “a versão preliminar do Plano de Expansão Decenal de Energia de 2021 [...] prevê que a demanda de eletricidade se expandirá em 52%” (REENERGY, 2013, n.14, p.38), e que investimentos serão necessários na matriz energética.

O Brasil tem “uma expectativa [grande] quanto à participação do País na geração de energia solar por conta da potencialidade desta fonte e por abrigar a maior reserva de quartzo

do mundo, de onde se extrai o silício, usado nas células solares” (REENERGY, 2010, n.2, p.45).

Segundo o relatório Renewables Global Status Report, da REN21, o custo do SFV no mundo em 2011 caiu consideravelmente, devido alguns fatores como: aumento da concorrência entre os fabricantes, economia causada pelo aumento da escala de produção, inovações tecnológicas e uma grande queda no preço do silício. Como consequência, o preço do módulo caiu mais de 40% (REN21, 2013, p. 49).

Com isso, tendo em vista a crescente demanda de energia elétrica, o Brasil como potencial grande na geração de energia FV e a queda do preço destes sistemas, enxerga-se uma tendência clara de crescimento deste setor e justifica-se uma análise detalhada do SFVCR. O principal ganho deste trabalho se dá através de um levantamento e análise explodida dos custos para verificar o retorno sobre o investimento, considerando diferentes potências e cenários adotados de tarifas e geração.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na primeira etapa será feita uma revisão bibliográfica sobre os temas: desenvolvimento sustentável, fontes alternativas de energia, componentes de um SFV, cenário global de geração FV, contexto histórico do desenvolvimento e progresso em geração FV da Alemanha, atual líder mundial em SFVCR e, finalmente, o cenário nacional de geração FV.

Na segunda etapa serão levantados, através de pesquisa de campo, os preços de todos os componentes para se instalar um SFVCR, através do contato direto com fornecedores integradores, seja por e-mail, telefone ou visitas. Para este levantamento será considerado o mínimo de três fontes por item, quando possível, a partir de premissas pré-estabelecidas para cotação.

Na terceira etapa serão determinadas premissas para cálculo da viabilidade dos SFVCR, para então depois ser determinado um custo final para se manter um sistema ao longo de sua vida útil. Após isso, se construirão tabelas de comparações para verificar a viabilidade ou não dos sistemas nas diversas regiões do mapa fotovoltaico.

Com isso será possível concluir em quais cenários é viável economicamente a implantação de SFVCR definidos em cada uma das regiões encontradas no Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1 – Introdução. Apresenta-se a proposta do trabalho. É explicado brevemente o propósito e recursos utilizados para alcançar os objetivos do estudo.

Capítulo 2 – Referencial Teórico. É realizada a revisão bibliográfica da pesquisa, abordando temas como sustentabilidade, geração de energia elétrica e suas principais fontes, fonte FV, cenário mundial de fonte FV, foco na história da energia FV na Alemanha, cenário nacional de fonte FV e evolução dos custos da energia FV no mundo.

Capítulo 3 – Levantamento do Custo de SFVCR. Mostra-se os meios para encontrar e selecionar os fornecedores integradores de SFV. São relatadas as dificuldades no levantamento dos dados para cálculo do custo, é apresentada a metodologia utilizada na apuração dos dados e os resultados obtidos desta pesquisa de mercado.

Capítulo 4 – Estudo de Viabilidade de SFVCR. Estabelece-se premissas e variáveis como produtividade total anual ($\text{kWh} / (\text{kWp} \times \text{ano})$) de acordo com a irradiação solar no Estado do Paraná, inclinação dos painéis conforme a latitude, instalações na cobertura de edificações, tarifas de energia utilizadas no Estado do Paraná, etc. Serão então descritas as análises e traçados gráficos para visualização de tendências dos custos de geração de energia elétrica do SFVCR. Posteriormente, uma análise mostrará a viabilidade econômica ou não dos sistemas.

Capítulo 5 – Conclusão. Será descrita a conclusão final da pesquisa, com a identificação de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SUSTENTABILIDADE E A GERAÇÃO DE ENERGIA

O avanço do homem durante os séculos sempre esteve ligado à capacidade de capturar, coletar e aproveitar a energia. Para isso usou-se a domesticação de plantas e animais e o controle de alguns elementos da natureza, como o fogo e a água. Com o aprimoramento da absorção de energia a humanidade pode aproveitar de alguns deleites: os ambientes fechados são aquecidos no inverno, frescos no verão e iluminados à noite, em apenas algumas horas é possível se deslocar por milhares de quilômetros, a comida gelada pode ser aquecida em poucos segundos e etc. Essas acomodações e tecnologias só são possíveis com o uso de energia. Com o crescimento do desenvolvimento econômico e tecnológico o consumo de energia tem atingido níveis consideráveis. É possível notar isso quando se compara o consumo de eletricidade por pessoa em países desenvolvidos, que chega a 10 MWh anual, com o consumo de eletricidade por pessoa em países em desenvolvimento, onde se encontra a maior parte da população mundial, que é menor que 2 MWh anual. O alcance ao desenvolvimento dessa parte da população só será possível com o uso eficiente da energia e com a criação de fontes de energia que sejam renováveis (UM FUTURO ..., 2010).

Porém, a utilização de fontes de energia que são nocivas ao meio ambiente ainda é o principal meio de obtenção de energia. A Tabela 01 mostra o percentual do uso dessas fontes no ano de 2008. Pode-se notar que as fontes que mais prejudicam o meio ambiente ocupavam mais de 85% da matriz energética mundial.

Entre 2008 e 2013, a produção de energia renovável cresceu rapidamente. Até o final de 2011 ela representava 19% da energia produzida mundialmente, isto é, pulou de quase 13% em 2008 para 19% em 2011. Desse total, 9,3 % veio da biomassa tradicional e o resto da energia renovável dita moderna que inclui biomassa, solar, geotérmica, eólica, biocombustíveis, hidrelétricas, marés (REN21, 2013 p. 19). Em 2012 o crescimento ficou praticamente igual ao de 2011 e em 2013 continuou crescendo. Pode-se observar o crescimento da energia renovável na Figura 01 (REN21, 2014 p. 13). As tecnologias voltadas à energia do sol mostraram maior crescimento do que as outras tecnologias, onde se destacam os painéis fotovoltaicos. Do ano de 2004 a 2012 os painéis fotovoltaicos tiveram um crescimento de potência instalada de 2,6 GW para 100 GW, conforme mostra a Figura 01

(REN21, 2014 p. 15). Já em 2013 o crescimento dos painéis foi de 39%, mostrado na Figura 02 (REN21, 2014 p. 22). A energia renovável moderna pode substituir os combustíveis fósseis e nucleares não só na geração de energia, mas também no aquecimento e refrigeração, combustíveis para transporte e serviços de energia rural (REN21, 2013 p. 19).

Fonte	%
Petróleo	33,34
Carvão	27,29
Gás natural	20,42
Nuclear	6,03
Biomassa tradicional	7,9
Biomassa moderna	1,83
Geotérmica	0,64
Vento	0,16
Solar	0,11
Marés	0,00
PCH	0,24
Grandes hidrelétricas	2,06

Tabela 01 – Demanda mundial de energia primária
Fonte: Pereira (2011, p. 124)

		START 2004 ¹	END 2012	END 2013
POWER				
Renewable power capacity (total, not including hydro)	GW	85	480	560
Renewable power capacity (total, including hydro)	GW	800	1,440	1,560
 Hydropower capacity (total) ²	GW	715	960	1,000
 Bio-power capacity	GW	<36	83	88
 Bio-power generation	TWh	227	350	405
 Geothermal power capacity	GW	8.9	11.5	12
 Solar PV capacity (total)	GW	2.6	100	139
 Concentrating solar thermal power (total)	GW	0.4	2.5	3.4
 Wind power capacity (total)	GW	48	283	318

Figura 01 – Potência instalada de energia renovável
Fonte: Adaptado de REN21 (2014, p. 15)

O sistema FV com os seus 142,4 GW de capacidade instalada tornou-se a terceira tecnologia renovável em termos de capacidade instalada (não em geração) (REN21, 2014 p. 15).

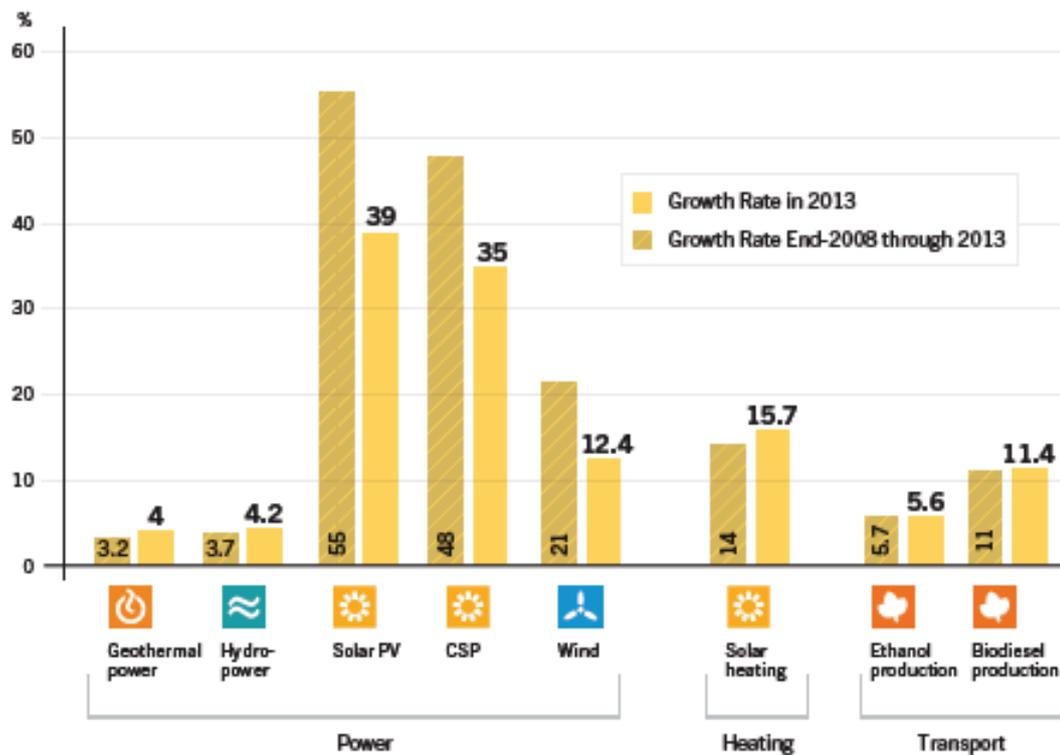


Figura 02 – Crescimento da energia renovável no mundo
 Fonte: Adaptado de REN21 (2014, p. 22)

Na Espanha, a maior fonte de eletricidade de sua matriz em 2013, com 20,9% (54,478 GW) foi a energia eólica frente a 20,8% da nuclear. A energia eólica na Espanha tem sido responsável nos últimos 16 anos, pela redução de mais de 20% na emissão de CO₂ (BEZUTTI, 2014).

Em 2013, Portugal teve seu melhor ano na geração de energias renováveis, evitando a emissão de 13 milhões de toneladas de gases contribuintes para o efeito estufa na atmosfera. A energia gerada de forma sustentável foi responsável por mais de 58% da demanda total do país, fazendo com que Portugal deixasse de gastar quase 850 milhões de euros (RENOVÁVEIS..., 2014).

O investimento no mundo em energia renovável caiu 12% em 2013. Em 2011 os investimentos em energia renovável foram de US\$318 bilhões que caíram para US\$289 bilhões em 2012, isto é, queda de 9% e em 2013 os investimentos caíram para US\$254 bilhões, essas informações foram divulgadas pela Bloomberg New Energy Finance (BNEF). A queda dos investimentos foi em parte por causa da queda dos custos da energia limpa provocada pelo avanço da tecnologia, exemplo disso é a queda do custo dos painéis solares e dos parques eólicos. O declive dos investimentos da Europa foi de quase 41%, da China foi de 3,8%, que foi sua primeira queda em mais de uma década, e dos EUA foi de 8,4%. O único a

crescer foi o Japão que está utilizando mais energia solar desde que desligou suas plantas nucleares e esse crescimento foi de 55%. Porém, os investimentos anuais devem dobrar até o final desta década chegando a R\$500 bilhões e até 2030 deve chegar a US\$1 trilhão. A meta de crescimento dos investimentos em energia renovável deve ser levada a sério e deve ser cumprida para se assegurar a sustentabilidade em longo prazo e diminuir o aquecimento global do nosso planeta (INVESTIMENTO..., 2014).

Segundo pesquisas, os mercados emergentes estão se tornando cada vez mais atrativos para investimento em energia renovável. Pois os países que já alcançaram certa maturidade em energia renovável estão passando por uma reestruturação de suas políticas energéticas, o que leva a incerteza de mercado. Dos 40 mercados avaliados, o Brasil ocupa a 14º posição. Só em 2013, 3 GW de capacidade instalada em energia renovável entrou em operação e quase 40 GW de projetos se inscreveram para os leilões. Os Estados Unidos ocupam a primeira posição no RECAI (Índice de atratividade de países em energia renovável), porém os investidores estão preocupados com a falta de política energética ao longo prazo. Dentre os países que estão passando por atrasos em investimentos, devido às políticas energéticas, está a Alemanha, a Austrália, a Polônia e o Reino Unido. Entretanto, a China que é um dos países avançados em energias renováveis não está passando por indecisões políticas. Ela continua com o seu objetivo de alcançar 35 GW em energia solar para 2015, para isso ela deixa de cobrar impostos sobre a energia solar e possui subsídios fiscais (BRASIL..., 2014).

No Brasil, a maior parte da matriz energética se constitui de usinas hidrelétricas caracterizando o Brasil como um país sustentável quanto a sua produção de energia. Para os próximos 10 anos a energia proveniente das hidrelétricas, do bagaço da cana de açúcar e da eólica atenderá 80% da expansão prevista. Entretanto, prevê-se que entre 2025 e 2030 haverá o esgotamento da energia hidrelétrica (PEDUZZI, 2014). Quando se fala de energia oriunda do sol, o Brasil não alcançou uma produção significativa. Na matriz energética, a geração de energia por sistemas FV não é mencionada, conforme é possível observar na Tabela 02.

Empreendimentos em Operação							
Tipo	Capacidade Instalada			%	Total		%
	N.º de Usinas	(kW)			N.º de Usinas	(kW)	
Hidro		1.090	85.948.506	63,81	1.090	85.948.506	63,81
Gás	Natural	113	12.170.186	9,04	152	13.895.609	10,32
	Processo	39	1.725.423	1,28			
Petróleo	Óleo Diesel	1.104	3.513.201	2,61	1.138	7.662.814	5,69
	Óleo Residual	34	4.149.613	3,08			
Biomassa	Bagaço de Cana	378	9.338.666	6,93	475	11.407.712	8,47
	Licor Negro	16	1.530.182	1,14			
	Madeira	50	422.837	0,31			
	Biogás	22	79.594	0,06			
	Casca de Arroz	9	36.433	0,03			
Nuclear		2	1.990.000	1,48	2	1.990.000	1,48
Carvão Mineral	Carvão Mineral	13	3.389.465	2,52	13	3.389.465	2,52
Eólica		108	2.219.769	1,65	108	2.219.769	1,65
Importação	Paraguai		5.650.000	5,46	8.170.000	6,07	
	Argentina		2.250.000	2,17			
	Venezuela		200.000	0,19			
	Uruguai		70.000	0,07			
Total		3.023	134.693.144	100	3.023	134.693.144	100

Tabela 02 – Matriz elétrica brasileira de 2013
Fonte: Elaboração ANEEL (2013)

2.2 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

Como o uso de energia elétrica tem se intensificado cada vez mais, o potencial de energia instalado aumentou muito com o passar do tempo. Isso impactou no crescimento econômico das nações, já que o mesmo está ligado diretamente a disponibilidade energética. Conforme Cheidde destaca (2011, p.1) “uma diminuição no consumo de energia está diretamente relacionada a um decréscimo do produto interno bruto (PIB), sendo necessário, portanto, aumentar a disponibilidade de energia antes de pleitear um crescimento econômico.” Com isso, a busca por diferentes fontes de energia tem-se aumentado consideravelmente, impactando em diversas fontes diferentes para a obtenção de energia.

Dentre essas diversas fontes para geração de energia elétrica disponíveis, a mais utilizada no Brasil é a hidráulica, conforme dito anteriormente. Pode-se notar na Figura 03, a qual apresenta a matriz elétrica brasileira para os anos de 2012 e 2013, que a energia elétrica obtida através das fontes hidráulicas ocupa mais de 70% do total de fontes disponíveis em 2013.

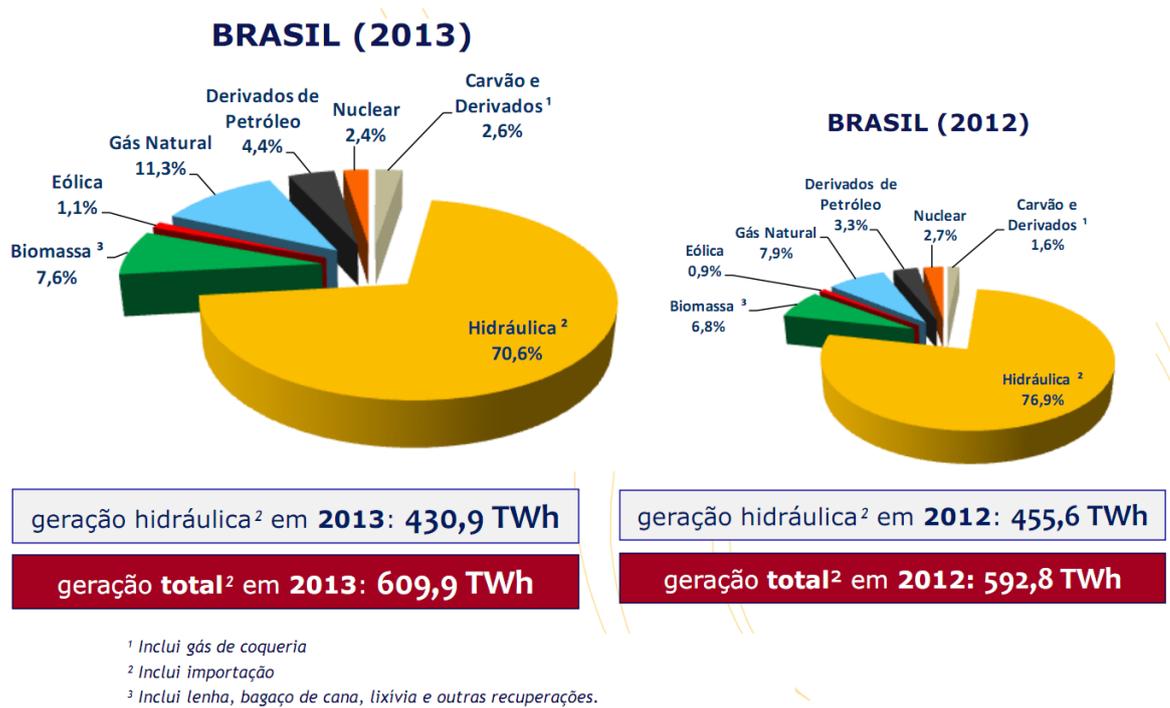


Figura 03 – Matriz elétrica brasileira
Fonte: Balanço energético nacional (2014, p. 29)

Com o alto crescimento da demanda por energia, as fontes alternativas de energia, que antigamente podiam apresentar um alto custo de geração, começam a ser parte fundamental na matriz elétrica dos países, já que a sua viabilidade tornou-se satisfatória principalmente com a evolução tecnológica. A seguir serão apresentadas as principais fontes alternativas utilizadas para a geração de energia elétrica.

2.2.1 Energia hidráulica

Energia hidráulica é a energia obtida através do aproveitamento da energia potencial da queda d'água de um rio. Para que essa energia possa ser aproveitada, diversas vezes se torna necessário represar a água e construir barragens para a instalação de turbinas. Essa forma de energia foi uma das primeiras a serem utilizadas para substituir o trabalho animal pelo trabalho mecânico, inicialmente para a moagem de grãos e o bombeamento de água. Como a energia hidráulica possuía caráter renovável e uma grande disponibilidade de recursos, conseguiu adquirir uma parcela significativa na matriz energética mundial.

Para o Brasil a energia hidráulica possui uma grande importância. Conforme apresentado na seção anterior, essa fonte de energia é a que mais contribui na geração de energia elétrica, além de desempenhar um importante papel na integração de regiões distantes dos grandes centros urbanos e industriais.

2.2.1.1 Potencial da energia hidráulica

Segundo a ANEEL (2005, p. 44), a quantidade de energia hidráulica disponível pode ser calculada utilizando a equação (01) da energia potencial:

$$EP = m \times g \times h \quad (01)$$

onde:

m = massa

g = aceleração da gravidade

h = altura

Utilizando esta relação e admitindo que a precipitação média anual da terra é da ordem de 1017 Kg e a altura média da superfície em relação ao nível do mar é de 800 m pode-se obter um potencial de 200.000 TWh por ano, o que impactaria em duas vezes o consumo mundial médio anual de energia. Porém essa estimativa não condiz com a realidade, já que na prática o aproveitamento de todo esse volume de água não é possível em virtude principalmente da inacessibilidade de parte desse volume além da reevaporação de parte da água antes que possa ser utilizada. As estimativas mostram que apenas um quarto de todo o potencial apresentado pode ser efetivamente aproveitado, o que deixa a energia hidráulica com um potencial de aproximadamente 50.000 TWh por ano. Do ponto de vista técnico esse potencial também é irrealista, já que uma usina depende do tempo efetivo de operação, onde na prática varia em torno de 40 % do total, em função da necessidade de manutenção do sistema e dos problemas operacionais, o que diminui o potencial para 10.000 TWh a 20.000 TWh por ano (ANEEL, 2005 p. 44).

A Figura 04 mostra o potencial hidráulico tecnicamente aproveitável para as diferentes regiões do planeta:

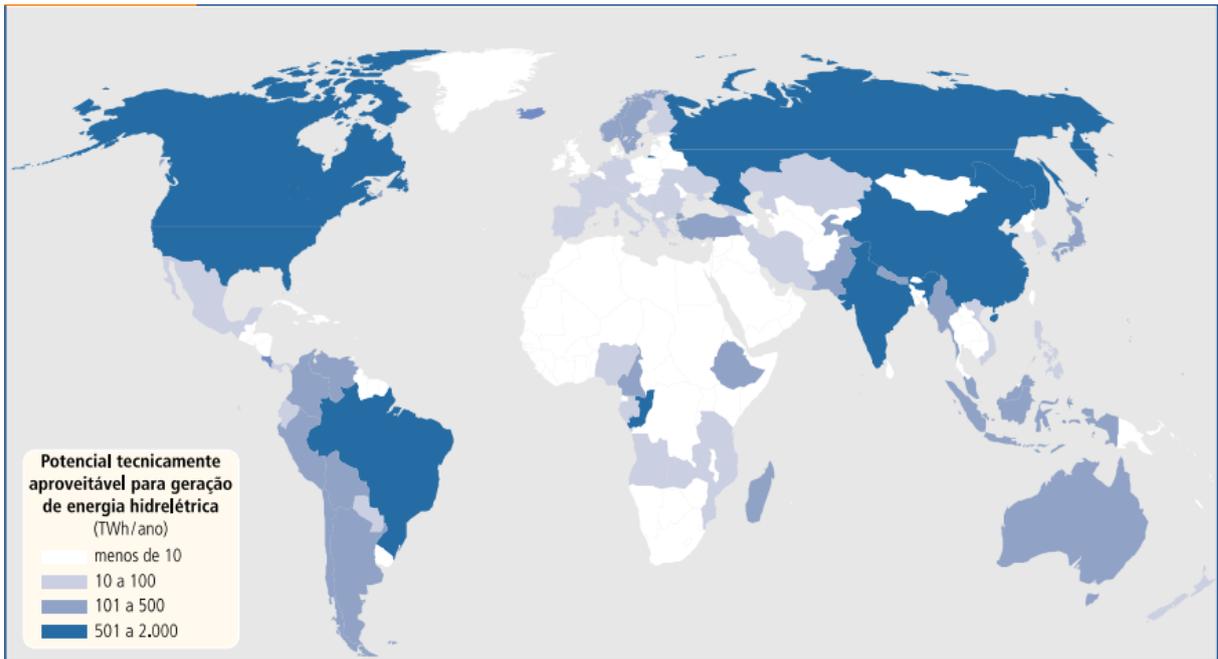


Figura 04 – Potencial hidrelétrico mundial tecnicamente aproveitável
 Fonte: Adaptado de ANEEL (2005, p. 44)

No Brasil, o potencial hidráulico é estimado em torno de 260 GW, porém apenas 68% desse potencial inventariou-se, conforme pode-se observar na Tabela 03.

Bacia	Código	Estimado		Inventariado		Total (MW)	
		(MW)	% em relação ao total	(MW)	% em relação ao total	(MW)	% em relação ao total
Bacia do Rio Amazonas	1	64.164,49	78,8	40.883,07	23,0	105.047,56	40,6
Bacia do Rio Tocantins	2	2.018,80	2,5	24.620,65	13,9	26.639,45	10,3
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	3	1.070,50	1,3	2.127,85	1,2	3.198,35	1,2
Bacia do Rio São Francisco	4	1.917,28	2,4	24.299,84	13,7	26.217,12	10,1
Bacia do Atlântico Leste	5	1.779,20	2,2	12.759,81	7,2	14.539,01	5,6
Bacia do Rio Paraná	6	7.119,29	8,7	53.783,42	30,3	60.902,71	23,5
Bacia do Rio Uruguai	7	1.151,70	1,4	11.664,16	6,6	12.815,86	5,0
Bacia do Atlântico Sudeste	8	2.169,16	2,7	7.296,77	4,1	9.465,93	3,7
Total	-	81.390,42	100	177.435,57	100	258.825,99	100

Tabela 03 – Potencial hidrelétrico brasileiro dividido por bacia hidrográfica
 Fonte: Adaptado de ANEEL (2005, p. 45)

A maior usina hidrelétrica atualmente instalada no mundo é a de três gargantas situada na China. Com uma queda d'água de 181 m possui uma potência instalada de 18.200 MW com 32 turbinas, sendo 6 subterrâneas (Hidrelétrica Três Gargantas, 2014). A Figura 05 mostra uma vista da usina de três gargantas:



Figura 05 – Usina hidrelétrica de três gargantas
Fonte: Adaptado de Hidrelétrica Três gargantas (2014)

A segunda maior usina hidrelétrica do mundo é a usina de Itaipu (Figura 06), situada no Brasil e no Paraguai, que conta com 20 unidades geradoras e 14.000 MW de potência instalada.



Figura 06 – Usina hidrelétrica de Itaipu
Fonte: Adaptado de Itaipu binacional (2014)

Apesar de possuir uma menor potência instalada do que a usina de três gargantas, a usina de Itaipu é a recordista em termos de produção de energia elétrica nos dois últimos anos. No ano de 2013 a usina produziu um total de 98,6 milhões de MWh, quebrando o recorde que pertencia a ela mesma em 2012 (Itaipu binacional, 2014).

2.2.1.2 Impactos socioambientais

O principal impacto ambiental ocasionado pela instalação de uma usina hidrelétrica é a inundação de uma grande quantidade de área já que exige a construção de grandes reservatórios. Essas áreas na maioria dos casos possuem grande diversidade biológica o que traz a necessidade de um estudo prévio para a realocação de pessoas e animais silvestres.

Com a formação de grandes reservatórios para acumulação de água e regularização de vazões, ocorrem alterações no regime das águas e formação de microclimas, o que pode prejudicar e até mesmo extinguir certas espécies.

Os impactos ambientais causados no passado serviram para a incorporação da variável ambiental e de outros aspectos no planejamento do setor elétrico, principalmente quando há a necessidade de novos projetos a serem construídos.

2.2.2 Energia Eólica

A energia eólica é aquela associada à energia cinética do vento. O aproveitamento dessa energia para a utilização de energia elétrica é feito a partir da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação com a utilização de turbinas eólicas conhecidas como aerogeradores. Outra utilização comum da energia cinética dos ventos é com cataventos e moinhos para a finalidade de trabalhos mecânicos

O aproveitamento de energia eólica é utilizado a milhares de anos, tanto para irrigação de plantações como para tração naval impulsionando embarcações. A primeira grande aplicação industrial para a energia cinética dos ventos foi na utilização de moinhos de vento tanto para a moagem de grãos como para o bombeamento de água (ANEEL, 2005 p. 93).

2.2.2.1 Potencial da energia eólica

Existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo, sendo a primeira turbina comercial ligada à rede elétrica tendo sido instalada na Dinamarca em 1976. Na Europa, a associação Europeia de Energia Eólica havia definido uma meta de instalação de 4000 MW de potência instalada para usinas eólicas até o ano 2000 e 11500 MW até 2005, porém estas metas foram cumpridas antes do prazo, sendo 4000 MW em 1996 e 11500 MW em 2001. O potencial eólico dos Estados Unidos era da ordem de 4600 MW em 2009, com crescimento estimado de 10 % ao ano. Já o potencial mundial é estimado em 1200 GW para 2020 (ANEEL, 2005 p. 93).

O potencial eólico de cada local pode ser determinado a partir de trabalhos sistemáticos que envolvem coleta e análise de dados para a verificação da velocidade e o regime do vento. Para um determinado local possuir um aproveitamento satisfatório para a geração de energia eólica, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 m, fazendo com que a velocidade mínima para o vento seja de 7 a 8 m/s (ANEEL, 2005 p. 94).

Conforme a Tabela 04, apenas uma pequena porcentagem da superfície terrestre possui uma velocidade do vento satisfatória para a utilização de energia eólica:

Região/Continente	Velocidade do Vento (m/s) a 50 m de Altura					
	6,4 a 7,0		7,0 a 7,5		7,5 a 11,9	
	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)
África	3.750	12	3.350	11	200	1
Austrália	850	8	400	4	550	5
América do Norte	2.550	12	1.750	8	3.350	15
América Latina	1.400	8	850	5	950	5
Europa Ocidental	345	8,6	416	10	371	22
Europa Ocidental & ex-URSS	3.377	15	2.260	10	1.146	5
Ásia (excluindo ex-URSS)	1.550	6	450	2	200	5
Mundo	13.650	10	9.550	7	8.350	6

Tabela 04 – Distribuição da área dos continentes segundo a velocidade média do vento
Fonte: Adaptado de ANEEL (2005, p.94)

Apesar da pequena porcentagem apresentada na Tabela 04, o potencial eólico mundial estimado é de 500.000 TWh/ano, porém por questões sócio ambientais como áreas densamente povoadas e/ou industrializadas além de regiões muito montanhosas, apenas cerca

de 10% desse potencial pode ser tecnicamente aproveitado, conforme pode-se notar na Tabela 05.

Região	Porcentagem de Terra Ocupada*	Potencial Bruto (TWh/ano)	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Potencial Líquido (TWh/ano)
África	24	106.000	20	10.600
Austrália	17	30.000	2	3.000
América do Norte	35	139.000	15	14.000
América Latina	18	54.000	15	5.400
Europa Ocidental	42	31.400	102	4.800
Europa Ocidental & ex-URSS	29	106.000	13	10.600
Ásia (excluindo ex-URSS)	9	32.000	100	4.900
Mundo**	23	498.400	-	53.000

Tabela 05 – Estimativa do potencial eólico mundial

Fonte: Adaptado de ANEEL (2005, p.94)

Os estudos recentes sobre o potencial eólico brasileiro tem motivado a exploração dessa fonte de energia no país. Segundo AMARANTE et al (2011, p. 43) considerando turbinas eólicas instaladas em torres de 50 m de altura e áreas com velocidade do vento médias anuais iguais ou superiores a 7 m/s o potencial eólico brasileiro é estimado em cerca de 143 GW, o que representaria uma energia de 272,2 TWh/ano. A Figura 07 mostra o potencial eólico nacional estimado separado por região:

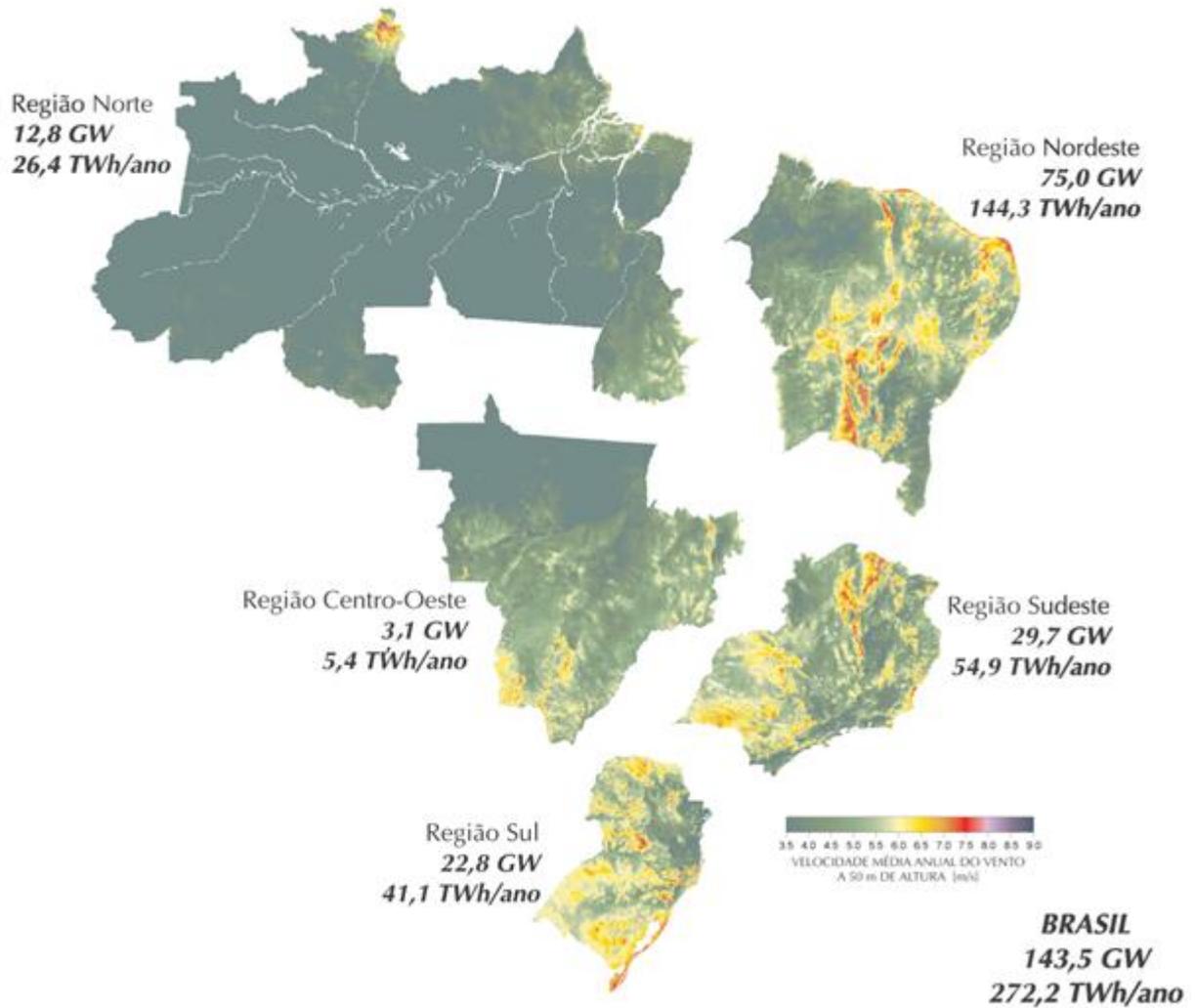


Figura 07 – Potencial eólico brasileiro estimado separado por região
 Fonte: Adaptado de AMARANTE et al (2011, p. 44)

A classificação das turbinas eólicas é feita considerando a potência das turbinas, sendo as de pequeno porte com potência menor que 500 kW, médio porte com potência nominal entre 500 kW e 1000 kW e as de grande porte com potência maior que 1 MW.

As aplicações das turbinas podem ser efetuadas para atender comunidades distantes em sistemas isolados ou conectados à rede elétrica. Suas instalações podem ser realizadas tanto em terra firme quanto *off-shore*, conforme Figuras 08 e 09.



Figura 08 – Usina eólica instalada Gravatá PE
Fonte: Eólica tecnologia (2014)



Figura 09 – Usina eólica *off-shore* instalada na Europa
Fonte: EWEA (2013, p.1)

2.2.2.2 Impactos socioambientais

Como as usinas *off-shore* costumam ser instaladas longe dos centros populacionais elas conseguem reduzir um dos empecilhos apresentados por essa fonte de energia, que são os

altos níveis de ruído, os quais podem ocasionar transtornos as populações vizinhas as usinas. Outro impacto apresentado pelas usinas eólicas são as interferências eletromagnéticas que dependendo do local de instalação, podem afetar os sistemas de transmissão de dados e de comunicações. O impacto visual gerado com a instalação de uma usina eólica também pode ser um outro empecilho já que afeta a paisagem do local principalmente quando há um número elevado de turbinas, porém as centrais eólicas também podem ajudar na divulgação do local de instalação já que costumam atrair turistas para a região.

2.2.3 Energia Nuclear

Energia nuclear é a energia associada a modificação da composição dos núcleos atômico de determinados elementos químicos. Mesmo apresentando uma complexa estrutura, uma usina nuclear possui um funcionamento muito similar a uma usina termelétrica, diferenciando-se principalmente na fonte de calor utilizada (ANEEL, 2005 p. 139).

Muitos pesquisadores definem a energia nuclear como uma fonte limpa e barata de geração de energia elétrica, porém por causa dos riscos ocasionados pela radiação emitida neste tipo de geração além da radioatividade dos elementos utilizados, alguns a consideram com uma fonte não viável (ANEEL, 2005 p. 142).

2.2.3.1 Potencial da energia nuclear

Após a crise do petróleo ocorrida nos anos 70 e a crise energética que ocorreu logo depois, tornou-se necessário uma busca por novas fontes de energia para a geração de eletricidade como alternativa aos combustíveis fósseis. Isso tornou a energia nuclear uma opção bastante atrativa ocasionando em um grande número de investimentos (ANEEL, 2005 p. 139). Com pouco mais de duas décadas, a energia nuclear passou a ocupar uma posição significativa na produção de energia mundial, indo de desprezíveis 0,1% para 14,8% da produção total, conforme pode-se verificar na Tabela 06.

Fonte de energia	%	TWh*
Carvão	41,0	7.761,3
Petróleo	5,8	1.097,94
Gás Natural	20,1	3.804,93
Nuclear	14,8	2.801,64
Hidrelétrica	16,0	3.028,8
Outras	2,3	435,39
Total	100,0	18.930

(*) Um terawatt-hora equivale a mil gigawatts-hora

Tabela 06 – Produção de energia elétrica por fonte no mundo
Fonte: Adaptado de ANEEL (2008, p. 120)

A matéria-prima para a utilização da energia nuclear é o minério de urânio, normalmente encontrado nas rochas da crosta terrestre. A Tabela 07 mostra as reservas de urânio espalhadas pelo mundo.

País	tU
Austrália	1.143.000
Cazaquistão	816.099
Canadá	443.800
Estados Unidos	342.000
África do Sul	340.596
Namíbia	282.359
Brasil	278.700
Nigéria	225.459
Rússia	172.402
Ubequistão	89.836
Jordânia	78.975
Índia	64.840
Mongólia	61.950
China	59.723
Outros Países	227.588
Total	4.627.327

(*) tU: toneladas de urânio.

Tabela 07 – Reserva mundial de urânio
Fonte: ANEEL (2008, p. 122)

Para a produção de energia nuclear, também é possível reutilizar o urânio e a sobra do material radioativo usado no processo de enriquecimento além de material aproveitado da obtenção de artefatos bélicos não mais utilizados e estoques civis e militares, o que fez com que em 2006 apenas 54% da energia nuclear produzida no mundo utilizasse matéria-prima das reservas de urânio, sendo o restante aproveitado de outras fontes (ANEEL, 2008 p. 122).

O Brasil, apesar de estar entre as maiores reservas de urânio em 2008, possui apenas 25% do território explorado em busca do minério. Comparado com os países com maior produção de energia nuclear, ele aparece na 23ª posição, conforme pode-se notar na Tabela 08.

	País	Unidades	MW
1ª	Estados Unidos	104	100.582
2ª	França	59	63.260
2ª	Japão	55	47.587
4ª	Rússia	31	21.743
5ª	Alemanha	17	20.470
6ª	Coréia	20	17.451
7ª	Ucrânia	15	13.107
8ª	Canadá	18	12.621
9ª	Reino Unido	19	10.222
10ª	Suécia	10	9.014
23ª	Brasil	2	2.007
	Total	439	372.100

Tabela 08 – Maiores produtores de energia nuclear
 Fonte: ANEEL (2008, p. 124)

Para alguns países a energia nuclear é de extrema importância para a produção de energia. Conforme pode-se notar no Gráfico 01, para países como França e Lituânia a dependência em relação a energia nuclear é elevada, chegando a representar mais de 60% da produção de energia do país.

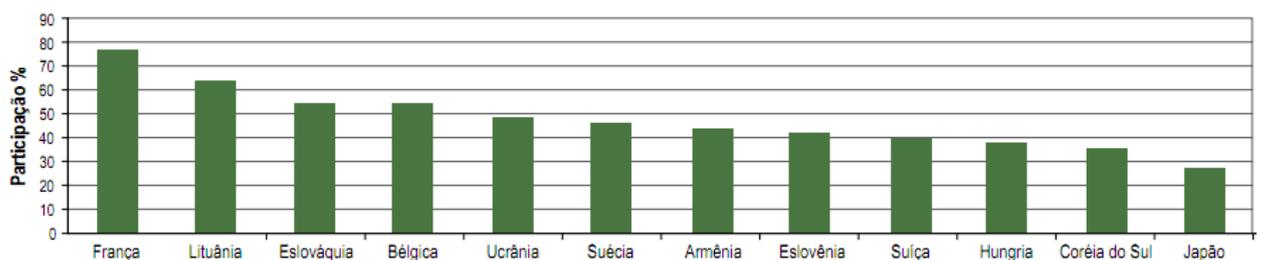


Gráfico 01 – Países com maior dependência da energia nuclear na produção de energia
 Fonte: ANEEL (2008, p. 124)

2.2.3.2 Princípio de funcionamento e tecnologias

Conforme apresentado anteriormente, uma usina nuclear apresenta um funcionamento muito parecido com o de uma termoelétrica. A diferença principal é que para aquecer a água e transformá-la em vapor o qual irá movimentar a turbina e conseqüentemente o gerador é utilizada a fissão nuclear do núcleo do átomo, o que gera uma grande quantidade de calor.

As usinas termonucleares apresentam uma estrutura denominada vaso de pressão, na qual contém água utilizada para refrigeração do núcleo do reator que é onde fica armazenado o combustível nuclear. Com isso essa água altamente radioativa circula quente por um gerador de vapor em um circuito fechado o qual aquece um outra corrente de água que também passa pelo gerador e se transforma em vapor acionando assim a turbina para a geração de energia elétrica. A Figura 10 mostra essa forma simplificada para a demonstração da produção de energia de uma usina termonuclear:

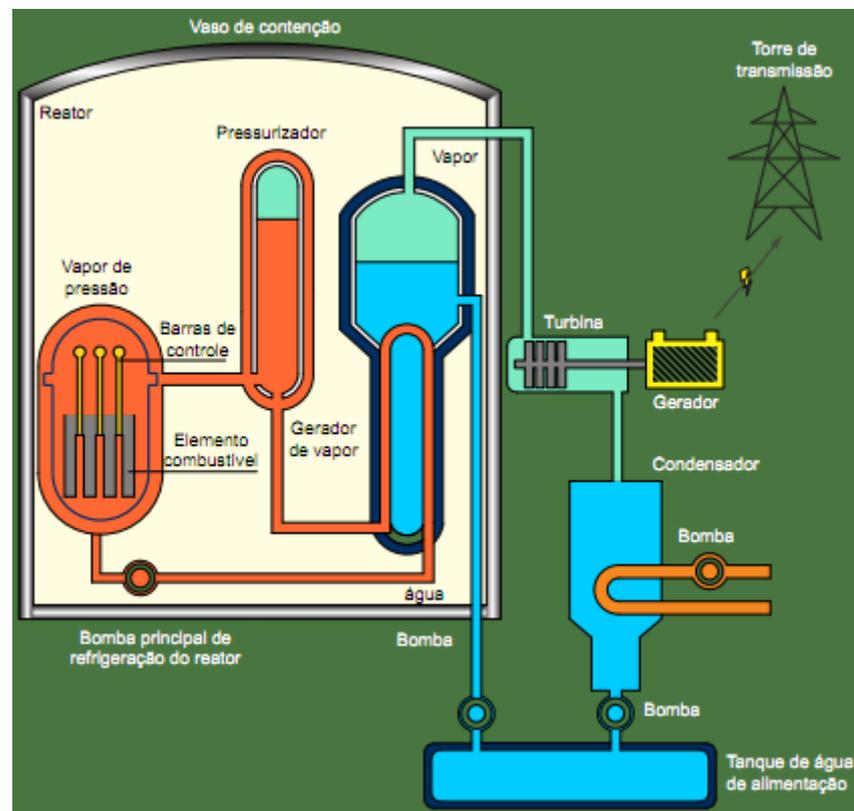


Figura 10 – Perfil esquemático de uma usina nuclear
 Fonte: ANEEL (2008, p. 120)

A água quente que circula no gerador de vapor não possui contato com a água fria que também circula no gerador, para assim evitar a contaminação da água fria.

A maior usina nuclear para a produção de energia elétrica do mundo é a de Kashiwazaki – Kariwa localizada no Japão (Figura 11). Com uma capacidade de 8212 MW é a quarta maior fonte de geração de energia elétrica do planeta.



Figura 11 – Usina nuclear de Kashiwazaki – Kariwa
Fonte: Gigantes do mundo (2013)

Atualmente, a usina de Kashiwazaki – Kariwa encontra-se desativada, em decorrência de um terremoto seguido de tsunami ocorrido em 2011, o qual fez com que todos os reatores nucleares do Japão fossem desligados por medida de segurança.

2.2.3.3 Impactos socioambientais

Apesar de ser uma das fontes de geração de energia mais utilizadas no mundo e não emitir uma quantidade tão grande de dióxido de carbono na atmosfera, o que ajuda a evitar o efeito estufa, a energia nuclear ainda é vista com certo receio, principalmente após alguns acidentes ocorridos. Após a explosão de um dos quatro reatores da usina nuclear de Chernobyl na Ucrânia, ocorreu o aparecimento de uma nuvem radioativa com proporções

gigantescas atingindo milhões de pessoas e proporcionando inúmeros danos, como mutações genéticas provocadas pela emissão de material radioativo além de contaminações da vegetação e do solo. Além dos riscos ocasionados por um acidente existe a remota possibilidade de contaminação do solo, do ar e da água por radionuclídeos durante o processo de geração de energia (ANEEL, 2005 p. 142).

Outro acidente nuclear que ficou bastante conhecido foi o ocorrido na central de Fukushima Daiichi, no Japão em março de 2011. A região Nordeste do País foi atingida por um terremoto de 9 graus na escala Richter resultando em um tsunami, o qual inviabilizou o sistema de emergência destinado ao resfriamento de quatro reatores da central. Com isso ocorreu a perda total dos quatro reatores devido ao derretimento dos seus núcleos liberando grande radioatividade para o meio ambiente. Não ocorreu nenhuma vítima por causa do acidente nuclear, porém a população próxima a área do acidente teve que ser removida para evitar danos causados pela radioatividade (ELETROBRAS, 2014).

2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico (SFV) consiste, basicamente, na geração direta de energia elétrica a partir da energia do sol. Esse fenômeno é denominado efeito fotovoltaico, que foi primeiramente observado por Henry Becquerel em 1839 (GOETZBERGER; HOFFMAN, 2005, p 1). Este efeito acontece quando os fótons que estão contidos na energia solar incidem sobre um material semicondutor, que possui junção elétrica p-n ou p-i-n, e uma fração da energia desses fótons excita os elétrons do semicondutor ocasionando o movimento ordenado desses elétrons, a corrente elétrica (RÜTHER, 2004 p. 8). No SFV o efeito fotovoltaico acontece nas células fotovoltaicas.

A produção e o mercado do SFV estão em constante crescimento, mesmo em momentos de crises econômicas. A Figura 12 mostra que em 2013 atingiu-se a marca de 149 GW (REN21, 2014 p. 19). O SFV está caminhando para ser uma importante fonte de energia para o mundo.

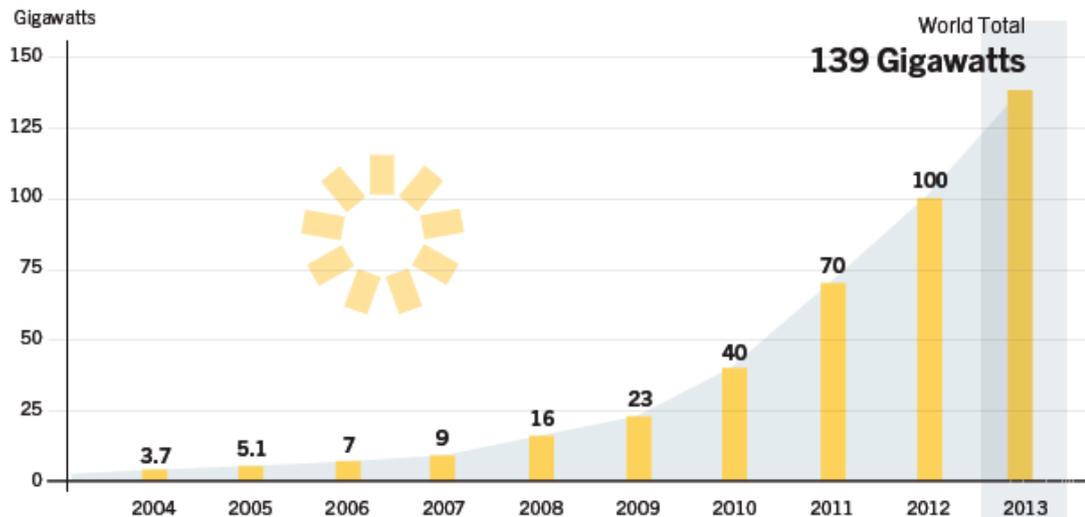


Figura 12 – Capacidade mundial do sistema FV
 Fonte: Adaptado de REN21 (2014, p. 49)

Segundo a European Photovoltaic Industry Association (EPIA, 2014 p. 17), no seu relatório Global Market Outlook for Photovoltaics, em 2009 a capacidade mundial instalada dos sistemas FV era de 23,185 GW. No ano seguinte pulou para 40,336 GW, no final de 2012 era de 100,504 GW e em 2013 foi para mais de 138 GW. Nesse panorama, a Europa é a líder em potência instalada, com 81,5 GW em 2013, o que representa quase 59% da produção mundial. Em seguida vem China, EUA, Japão, Austrália e Índia em ordem decrescente de produção. Por sete vezes seguidas em 13 anos, a Alemanha foi o país que mais instalou sistemas FV, com 7,6 GW recém conectados, seguido por China (5 GW), Itália (3,4 GW), EUA (3,3 GW) e Japão (2,2 GW). Esses países representaram dois terços da produção mundial durante o ano de 2012 (EPIA, 2013 p. 13). A Figura 13 mostra como estava dividida a capacidade instalada acumulada pelo mundo até 2013.

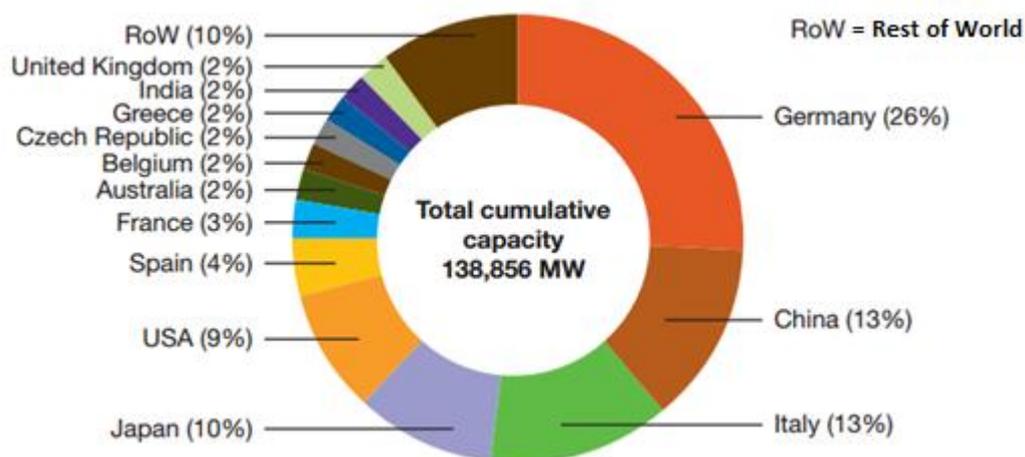


Figura 13 – Capacidade instalada acumulada em sistemas FV em 2013
 Fonte: Adaptado de EPIA (2014, p. 38)

Para os próximos anos, vê-se a Europa perdendo espaço para o resto do mundo na produção de energia pelo sistema FV. Isso pode ser notado quando comparamos a produção da Europa de 2012 com a de 2013, onde em 2012 pertencia a ela aproximadamente 69% da produção mundial e em 2013 caiu para 59%, mostrando que a tendência é dos mercados se equilibrarem ainda mais. Impulsionadas pela demanda de energia local, a China e a Índia tem o crescimento mais rápido na instalação de sistemas FV (EPIA, 2014 p.17).

No final de 2013, a China anunciou a instalação da maior usina solar do mundo, com capacidade instalada de 10 GW, sendo localizada em Xinjiang. Em 2014 já haverá produção de energia, com previsão de aproximadamente 300 MWh, porém a usina levará quatro anos para ficar completamente pronta. Esses números mostram como a China tem se preocupado com a geração de energia limpa, porém a situação atual da poluição no país é gravíssima e essa usina não aliviará a poluição nos grandes centros urbanos (CHINA..., 2014).

No Brasil o sistema FV não tem significância na matriz energética. Para que a energia solar entre na matriz o governo estuda algumas possíveis soluções, como a possibilidade de realizar um leilão específico para a solar, da mesma forma que realizou-se com a eólica. Para melhorar o quadro da energia solar na matriz energética brasileira existem projetos em andamento. A exemplo disso, a empresa japonesa Jinko Solar está apostando numa demanda real de 300 MW em interessados a adquirir equipamentos. Ainda não tem data de quando a empresa irá instalar uma unidade aqui no Brasil, porém já se tem o preço disso que será em torno de 28 milhões de reais. Já a empresa chinesa Hanergy, que é a maior empresa privada de energia renovável da China, vai instalar uma unidade de módulos solares no Parque Tecnológico Tecnosinos, em São Leopoldo, Rio Grande do Sul. (BEZUTTI, 2014).

A copa do mundo trouxe alguns investimentos na área de solar no Brasil. Um dos investimentos é o Estádio Nacional de Brasília que terá instalação de usina solar. Ela deverá gerar cerca de 3 GWh/ano e deverá ficar pronta até julho de 2014 (MARCIEL, 2014).

A comercializadora Kroma Energia fechou acordos que viabilizarão a construção de uma planta de 29,25 MW de capacidade instalada em Pernambuco numa área de 115 hectares. A comercializadora aposta na energia solar e para isso apoia a tecnologia criando demanda para a mesma (KROMA, 2014).

A Secretaria de Energia do estado de São Paulo aprovou instalação de uma usina fotovoltaica no Parque Cândido Portinari. A usina será a primeira em geração FV da cidade, com capacidade de 723 kWp, ela será suficiente para atender 350 famílias e mais 40 pontos de iluminação do Parque Villa Lobos. Esse projeto é único no mundo, já que a usina será construída num espaço público (FELIX, 2013).

No estado de Santa Catarina também há investimento em sistemas FV e é onde a Eletrosul, que é uma empresa do grupo Eletrobrás e uma das maiores geradoras eólicas do país, inaugurará projeto de energia solar, mais precisamente na cidade de Florianópolis, com painéis solares instalados em telhados e em estacionamentos. A central terá potência de 1 MW. Serão instalados 4 mil módulos e 27 inversores e o custo para a implantação é de R\$9,5 milhões. Este projeto é teste para possíveis participações em leilões. A energia será vendida com parceria com a Celesc, distribuidora estadual, e para grandes clientes interessados a agregar à sua imagem a energia renovável. A previsão de início das operações da central é para o primeiro semestre de 2014 (PAMPLONA, 2014).

Em relação a energia produzida, em 2012 na Europa o sistema FV foi responsável por 2,6 % da demanda de eletricidade. Mundialmente, o sistema FV produziu 110 TWh de eletricidade por ano (REN 21, 2013 p. 43).

2.3.1 Classificação dos SFVs

Segundo a NBR 11704 (2008, p. 2), os SFVs se classificam de acordo com a interligação com o sistema público de fornecimento de energia elétrica e de acordo com a sua configuração.

2.3.1.1 Interligação com o sistema público de fornecimento de energia

a) Sistemas isolados: são aqueles que não são conectados ao sistema público de fornecimento de energia.

b) Sistemas conectados à rede elétrica: são aqueles que são conectados ao sistema público de fornecimento de energia.

2.3.1.2 Configuração

- a) Sistemas puros: são aqueles que utilizam apenas o sistema FV como gerador de energia elétrica.
- b) Sistemas híbridos: são aqueles que utilizam o sistema FV e mais algum outro tipo de gerador de energia elétrica.

2.3.2 Sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR)

O SFVCR dispensa a utilização dos bancos de baterias necessários nos casos de sistemas isolados, que precisam armazenar energia para os momentos em que a geração FV não supre a demanda das cargas ou à noite. A rede funciona como o armazenador de energia para o SFVCR, pois a energia gerada além da demandada é injetada na rede e essa energia volta para o consumidor em créditos energéticos e ainda é distribuída para outros consumidores reduzindo a geração nas fontes convencionais de energia. Em contra partida, quando o SFVCR não é suficiente para gerar a energia demandada, a diferença de energia entre a energia gerada e a demandada é suprida pela rede. A não utilização de banco de bateria diminui o custo da instalação do sistema e as manutenções recorrentes (RÜTHER, 2004 p. 9; URBANETZ, 2010 p. 37).

O SFVCR pode ser instalado de duas formas: integrada a uma edificação, isto é, o sistema pode ser montado sobre partes do edifício, como cobertura ou fachadas, ou centralizada, como uma usina convencional, nesse caso envolve complexo sistema de transmissão e distribuição e um custo adicional envolvido. O SFVCR integrado a uma edificação possui algumas vantagens, tais como: não requer área extra, podendo ser instalado próximo ao consumidor além de eliminar perdas por transmissão e distribuição (RÜTHER, 2004 p. 9). Segundo a EPE (2012, p. 35), no Brasil há uma tendência robusta em direção aos SFVCRs integrado a uma edificação, onde se visa o aumento da geração distribuída, porém a geração centralizada, de maior porte, não está competindo com as outras formas de geração, já que ainda falta incentivo para essa forma de geração.

2.3.2.1 Componentes do SFVCR

O SFVCR constitui-se de módulos fotovoltaicos, inversores, estrutura, conectores e cabos.

2.3.2.1.1 Módulos

A transformação da energia do sol em energia elétrica acontece nos módulos, pois é onde estão localizadas as células FV. O módulo é o elemento básico do sistema gerador e é composta pelo agrupamento em conjunto de células FV. Elas são conectadas eletricamente em série-paralelo para que se possa gerar potência suficiente para os casos práticos e atualmente podem-se encontrar módulos com capacidades diferenciadas de Wp (lê-se “watt pico”, que é um valor obtido em condições ideais específicas). Para sistemas de altas potências, os módulos são arranjados em série-paralelo para formar os painéis fotovoltaicos. A Figura 15 mostra como se arranjam os painéis, os módulos e as células FV.

As tecnologias usadas para fabricação das células FV são classificadas geralmente em três gerações, dependendo do material de base utilizado e do nível de maturidade comercial (IRENA, 2012 p. 49). Mais de 90% dos módulos são fabricados a base de células de silício (c-Si) e é esperado que se mantenha assim para os próximos anos (EPE, 2012 p. 17). Na primeira geração são usadas células que utilizam o silício monocristalino (m-Si) e o silício policristalino (p-Si). Na segunda geração são usadas células de filmes finos que utilizam o silício amorfo a-Si, o telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre-indio (CIS), o disseleneto de cobre-indio com pequenas quantidades de gálio (CIGS). Na terceira geração são usadas as células orgânicas, que ainda estão em testes e que ainda não foram amplamente comercializadas, mas já se vê indícios do seu início, o concentrador fotovoltaico, bem como outras tecnologias (IRENA, 2012 p. 49).

As células da primeira geração são as mais comercializadas por apresentarem menor preço e melhor eficiência. Porém, o custo dos materiais básicos para a fabricação ainda é elevado o que dificulta uma melhor expansão. As células da segunda geração são atrativas pelo fato de usarem menor quantidade de material e pelo baixo custo de fabricação, contudo a baixa eficiência e o fato de não ser uma tecnologia madura o bastante, isto é, os problemas

com a durabilidade, a disponibilidade e a toxicidade (cádmio) dos materiais, deixam essa tecnologia em desvantagem, tendo uma quota modesta no mercado. As células da terceira geração ainda estão para ser comercializadas em qualquer escala. O concentrador fotovoltaico tem potencial de ter maior eficiência do que qualquer outra tecnologia, porém não se tem claramente o custo desta tecnologia. (IRENA, 2012)

O fato do silício ser um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e de ser o elemento base à tecnologia mais utilizada para a fabricação das células FV faz com que o seu preço e disponibilidade sejam mais acessíveis. Os módulos de silício monocristalinos são mais caros que os policristalinos, entretanto os monocristalinos são mais eficientes (PROJETO “A CARTA DO SOL”, 2011 p. 5).

Em janeiro de 2014, divulgou-se que a CSEM Brasil começará a produção piloto, em que um dos produtos é a eletrônica orgânica visando a aplicação em painéis solares para a produção de energia elétrica. Segundo Tiago Maranhão Alves, CEO do CSEM Brasil, essa tecnologia é de baixo custo e que em dois anos o preço será menor que a metade dos preços dos painéis tradicionais, é leve, cada painel pesa poucas gramas, tem transparência maior, tem baixo impacto ambiental e consome 20 vezes menos energia que os painéis que utilizam o silício. As células orgânicas são impressas em um plástico especial biodegradável (CSEM, 2014). A Figura 14 mostra algumas impressões com o material orgânico.

Por ano a CSEM Brasil poderá produzir painéis suficientes para suprir a demanda de energia de uma cidade de 200 mil habitantes, o que equivale a uma usina de 200 MW. Um dos objetivos da produção desses painéis é alcançar a indústria automobilística também. Por esses painéis serem mais leves, será possível coloca-los no teto dos automóveis e ônibus (CSEM, 2014). Essa tecnologia não pretende substituir a tecnologia atual do silício, ela é mais uma opção em soluções novas e complementares. A Figura 15 apresenta a célula, o módulo e o painel fotovoltaico.



Figura 14 – Células orgânicas
Fonte: CSEM (2014)



Figura 15 – Célula, módulo e painel fotovoltaico
Fonte: URBANETZ (2010, p. 26)

Os painéis FV são construídos e projetados para ficar em ambientes externos e suportar as intempéries do tempo, como a chuva, sol e outros agentes climáticos. Nessas condições os fabricantes garantem que os módulos funcionam de modo satisfatório por 20-25

anos e operam com uma eficiência de 80% da potência nominal após esse tempo (RÜTHER, 2004 p. 11; GOETZBERGER; HOFFMAN, 2005 p. 155).

A Tabela 09 mostra a eficiência das tecnologias atuais e esperada para os próximos anos:

Tecnologia	2010-2015	2015-2020	2020-2030
Silício			
Monocristalino	17-20%	23%	25%
Multicristalino	14-17%	19%	21%
Filmes finos			
Cd -Te	12%	14%	15%
CIS/CIGS	14%	15%	18%
Si-a	10%	12%	15%

Tabela 09 – Eficiência dos módulos Fotovoltaicos
 Fonte: PROJETO “A CARTA DO SOL” (2011, p. 6)

A Tabela 10 mostra a eficiência dos módulos comercializados e a comparação das áreas necessária para a produção equivalente de um sistema de 1 kWp.

Tecnologia	Eficiência	Área/kW _p
Silício cristalino		
Monocristalino	13 a 19%	~7m ²
Policristalino	11 a 15%	~8m ²
Filmes finos		
Silício amorfo (a-Si)	4 a 8%	~15m ²
Telureto de Cadmio (Cd-Te)	10 a 11%	~10m ²
Disseleneto de cobre-índio-gálio (CIGS)	7 a 12%	~10m ²
Concentrador fotovoltaico	~25%	

Tabela 10 – Eficiência típica dos módulos comerciais
 Fonte: EPE (2012, p. 7)

2.3.2.1.2 Inversores

Como a energia elétrica gerada nos módulos é em corrente contínua se faz necessário converter essa corrente em alternada. Essa transformação é feita através dos inversores.

Há alguns anos, usava-se inversores únicos para suprir a potência total instalada dos sistemas, hoje a tendência é usar vários inversores com potência menor ligados em paralelo para suprir a potência dos sistemas. Assim, caso um dos inversores venha apresentar algum problema, apenas o subsistema interligado a esse inversor ficaria desligado temporariamente (RÜTHER, 2004 p.30)

Geralmente os inversores são ligados em série com o SFV, porém surge a possibilidade de implementar microinversores diretamente aos painéis FV, isso reduzirá o custo na montagem do sistema, dará maior segurança, diminuirá o tempo de instalação e homogeneizará o custo da inversão em relação a potência (EPE, 2012 p. 23).

Os inversores tem a função também de ajustar continuamente a potência máxima do sistema FV em função da temperatura e radiação e de desligar o sistema FV na falta de energia da rede, evitando o fenômeno de ilhamento, que é quando se forma um subsistema isolado. Eles ainda podem corrigir o fator de potência e agir como filtro ativo (URBANETZ, 2010 p. 38).

Para os sistemas de alta potência são usados os inversores do tipo comutados pela rede e para sistemas de baixa potência são usados inversores do tipo autocomutados (URBANETZ, 2010 p. 84).

Segundo Urbanetz (2010, p. 176), no Brasil o que se utiliza mais são os inversores importados do que os nacionais, isso se dá pela baixa demanda nacional que não viabiliza a produção.

Segundo a EPE, a vida útil média dos inversores é de 10 anos. (EPE, 2012 p.30)

2.3.2.1.3 Estruturas

Os módulos requerem um sistema de suporte estrutural, tanto para fixação como para posicionar os módulos num ângulo que tenham melhor aproveitamento da incidência dos raios do sol, podendo essa estrutura ser móvel.

Normalmente, usa-se alumínio ou aço como material dessas estruturas. A montagem delas varia dependendo do local onde o sistema FV está sendo instalado, com diferentes arranjos para residências, indústrias ou edifícios comerciais, levando em conta os tipos de telhado, arquitetura do edifício ou se montado no chão (GOETZBERGER; HOFFMAN, 2005 p. 119).

A estrutura deve suportar ventos, cargas mecânicas, alterações de temperaturas e possuir vida útil igual ao sistema (RÜTHER, 2004 p. 17).

2.3.2.1.4 Cabos e conectores

Os cabos usados nos sistemas FV são diferenciados, pois devem suportar as elevadas temperaturas que atingem a parte posterior dos módulos e ser resistentes a radiação ultravioleta (RÜTHER, 2004 p. 17).

Os conectores são utilizados para simplificar a interligação dos painéis fotovoltaicos e fazer extensão nos cabos. Os conectores mais utilizados são os conectores MC4, ilustrado na Figura 16, que foram desenvolvidos e patenteados pela empresa alemã Multi-Contact. Existiram outros conectores, porém o MC4 padronizou-se mundialmente (NEOSOLAR, 2014).



Figura 16 – Conectores MC4
Fonte: NEOSOLAR (2014)

2.3.3 Normas e regulamentações

Com a possibilidade da instalação de um sistema fotovoltaico para a geração de energia elétrica alcançar uma viabilidade considerada satisfatória, surgiu a necessidade de elaboração de normas para garantir assim a qualidade e compatibilidade dos equipamentos além da segurança dos sistemas. Algumas regulamentações também foram elaboradas para estimular os investimentos principalmente em energias renováveis. A seguir serão apresentadas algumas normas e regulamentações sobre os sistemas fotovoltaicos de geração de energia conectados à rede elétrica.

- ABNT NBR 10899:2006 – Energia solar fotovoltaica – Terminologia

O objetivo principal da norma NBR10899 é definir os termos técnicos referentes exclusivamente à conversão fotovoltaica da energia radiante solar em energia elétrica.

- ABNT NBR 11704:2008 – Sistemas fotovoltaicos - Classificação

A norma NBR 11704 apresenta em seu texto as diferentes formas de classificação para os sistemas de conversão de energia solar em energia elétrica.

- ABNT NBR 16149:2013 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição

Na norma NBR 16149, a ABNT apresenta todos os requisitos e recomendações específicas para a conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica.

- ABNT NBR 16150:2013 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade

Já na norma NBR 16150, a ABNT traz os procedimentos de ensaio para a verificação dos equipamentos utilizados na conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia elétrica garantindo assim que os mesmos estejam conforme os requisitos observados na norma NBR 16149.

- ABNT NBR IEC 62116:2012 – Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica

A norma NBR IEC 62116 fornece os procedimentos de ensaio que garantam o desempenho dos inversores utilizados nos sistemas fotovoltaicos no que se refere a prevenção de ilhamento quando há a interrupção do fornecimento de energia a uma rede contendo geradores distribuídos.

- NTC 905100 – Manual de acesso de geração distribuída ao sistema da COPEL

Com esta norma a COPEL fornece todos os requisitos necessários para que as unidades geradoras de energia elétrica que utilizam os sistemas de distribuição da COPEL possam se conectar à rede, tanto para conexões de baixa tensão (220/127 V), como para as de média tensão (13,8 e 34,5 kV) e alta tensão (69 e 138 kV).

- Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 – ANEEL

A resolução nº 482 apresentada pela ANEEL mostra as condições gerais para o acesso de microgeração distribuída (central geradora com potência instalada menor ou igual a 100 kW) e minigeração distribuída (central geradora com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1MW) aos sistemas de distribuição de energia elétrica, além de apresentar o sistema de compensação de energia. O sistema de compensação de energia permite ao consumidor instalar unidades geradoras em sua unidade consumidora e com isso efetuar a troca de energia com a distribuidora local, sendo o consumo a ser faturado pela distribuidora a diferença entre a energia consumida e a injetada pelo consumidor. Os montantes de energia injetada que não forem compensados na própria unidade consumidora podem ser utilizados para compensar outra unidade consumidora que tenha sido previamente cadastrada e esteja sobre mesma titularidade da primeira. Os créditos de energia ativa gerada pelo método de compensação de energia podem ser utilizados pelo consumidor em um prazo de 36 meses.

- Resolução Normativa nº 517, de 11 de dezembro de 2012 – ANEEL

Na resolução nº 517, a ANEEL traz algumas alterações e inclusões na resolução normativa 482, sendo a mais relevante para esse trabalho a informação de que a potência

instalada para a microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia fica limitada à carga instalada, no caso de consumidores do grupo B, ou à demanda contratada, no caso de consumidores do grupo A, sendo que se o consumidor quiser instalar microgeração ou minigeração distribuída com potência superior a esses limites deverá solicitar aumento na carga instalada ou na demanda contratada, de acordo com sua categoria.

- Resolução Normativa nº 493, de 05 de junho de 2012 – ANEEL

Na resolução nº 493, a ANEEL traz os procedimentos e as condições de fornecimento de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI e do fornecimento por meio de microssistema isolado de geração e distribuição de energia elétrica - MIGDI. Para este tipo de fornecimento de energia é necessário uma autonomia para suprir o consumo na completa ausência da fonte primária, utilizando como base o consumo diário de referência permitindo então a concessionária explorar a prestação de serviços públicos de energia elétrica. Para os sistemas com geração por meio de fontes intermitentes, a resolução considera as fontes solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Geração distribuída (GD) é o nome dado à geração de energia próxima ou no próprio local do(s) consumidor(es), independente da potência, tecnologia ou fonte utilizada. A GD no Brasil era comum na primeira metade do século XX, quando a energia era gerada no local das indústrias. Foi a partir da década de 40 que a geração centralizada de grande porte passou a ser utilizada, pois ficou mais viável. Depois disso a GD deixou-se um pouco de lado. Porém em 2004 houve um grande avanço, quando a GD citou-se na lei 10.848/04 como uma forma de geração de energia elétrica. Isso é consequência de alguns fatores, como a reforma do setor elétrico do Brasil que permitiu a competição no serviço de energia e o desenvolvimento de tecnologias (INEE, 2014).

A GD desenvolve alguns desafios ao setor elétrico no que diz respeito à segurança energética, despacho, regulamentação, etc. Porém, por outro lado, a GD reduz perdas na transmissão e distribuição, proporciona maior estabilidade à tensão elétrica, adia investimento no setor elétrico, proporciona maior aproveitamento dos recursos renováveis, dá mais confiabilidade ao reduzir número de quedas de energia e *blackouts*, alivia sobrecargas e congestionamento do sistema de transmissão e outras vantagens (CEMIG, 2014).

Com a geração distribuída veio o sistema de compensação de energia elétrica que a resolução normativa ANEEL nº 482/2012 define como energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída que é entregue à distribuidora local e é retornada posteriormente na mesma unidade consumidora ou em outra unidade consumidora com mesma titularidade. Onde microgeração e minigeração se entende por central geradora que utiliza fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica biomassa ou cogeração qualificada conectadas na rede. (ANEL, 2012 p. 1).

2.4.1 Incentivos que Promovem a GD

O principal mecanismo de incentivo às fontes renováveis e à geração distribuída é o sistema de cotas (*renewable certificates* e leilões de compra), onde as distribuidoras de energia devem fornecer parte da sua energia através de fontes renováveis e o sistema de preços (*feed-in tariff*), onde a energia proveniente de fontes renováveis possuem preços diferenciados (EPE, 2012 p. 37). Existem outros mecanismos de incentivos, conforme resume a Tabela 11.

Mecanismo	Breve descrição
Tarifa-prêmio	Aquisição, pela distribuidora, da energia a uma tarifa superior àquela paga pelo consumidor. Subsídio dado pelo governo e repassado aos demais consumidores.
Cotas (ROC, RPO, REC, RPS e leilões)	Instrumento de aquisição obrigatória de determinado patamar de geração elétrica a partir de fontes renováveis.
Subsídio ao investimento inicial	Subsídio direto, seja sobre equipamentos específicos, seja sobre o investimento total no sistema fotovoltaico.
Dedução no imposto de renda	Dedução no imposto de renda de parte ou todo investimento realizado em sistemas fotovoltaicos.
Incentivo à aquisição de eletricidade “verde” oriunda de sistemas fotovoltaicos	Confere ao consumidor final o direito de escolha quanto à aquisição de eletricidade proveniente de geração fotovoltaica, mediante o pagamento de uma tarifa maior.
Obrigatoriedade de aquisição de FV no portfólio obrigatório de renováveis	Instrumento de aquisição obrigatória de determinado patamar de geração elétrica proveniente de geração fotovoltaica.
Fundos de investimentos para FV	Oferta de ações em fundos privados de investimentos
Ações voluntárias de bancos comerciais	Concessão preferencial de hipotecas para construções que possuam sistemas fotovoltaicos e empréstimos para instalações destes sistemas.
Ações voluntárias de distribuidoras	Mecanismos de suporte à aquisição de energia renovável pelos consumidores, instalação de plantas centralizadas de FV, financiamento de investimentos e modelos de aquisição de eletricidade derivada de FV.
Padrões em edificações sustentáveis	Estabelecimento de padrões mínimos de desempenho para edificações (existentes e novas), cujo contexto favorece, entre outras, a adoção de sistemas fotovoltaicos.

Tabela 11 – Mecanismos de Incentivo
Fonte: Adaptado de EPE (2012, p. 38)

2.5 CENÁRIO MUNDIAL DE SFV

2.5.1 Mundo

O mundo hoje tem cada vez mais sido guiado pela “preocupação com o meio ambiente [que] favorece as fontes de energia [renováveis] menos agressivas [como fotovoltaicas, eólicas, geotérmica, etc]” (MME, 2009, p. 10). E sabendo que nos países desenvolvidos a maioria das fontes de energia primária é térmica fez com que nas últimas

décadas investimentos tenham sido feitos para substituir esta forma de geração. Com isso, sistemas fotovoltaicos ganharam sua importância mundial.

Em países desenvolvidos, onde a base é essencialmente fóssil, existem, em geral, poucas opções renováveis para o suprimento energético. Por isso, alternativas relativamente mais caras são utilizadas para a diversificação da matriz energética. Em primeira instância, pode-se afirmar que a inserção da geração fotovoltaica nesses países pioneiros em sistemas distribuídos interligados à rede, foi o estímulo ao aumento da utilização de fontes renováveis de energia. (MME, 2009, p.10).

Assim, pelos últimos 10 anos, o uso de SFV aumentou com taxas alarmantes de potências instaladas. Resultado disto, que contempla sistemas isolados e conectados a rede, é claramente demonstrado no mapa a seguir, Figura 17, obtido do relatório de Perspectiva Global de Mercado (GMO – *Global Market Outlook*) emitido pela Associação Fotovoltaica Européia das Indústrias (EPIA – *European Photovoltaic Industry Association*).

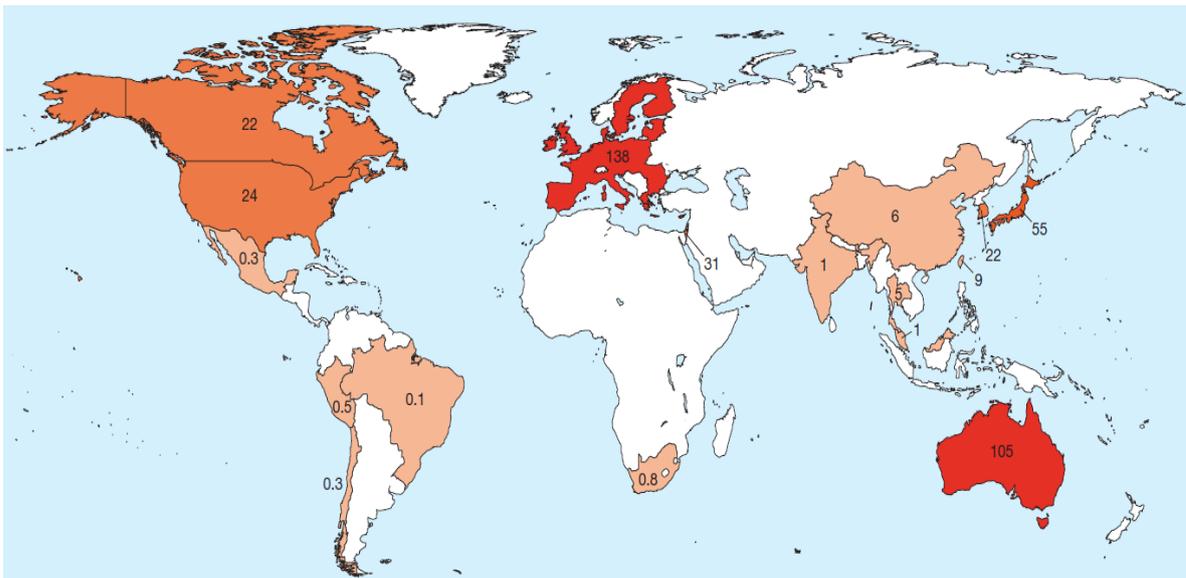
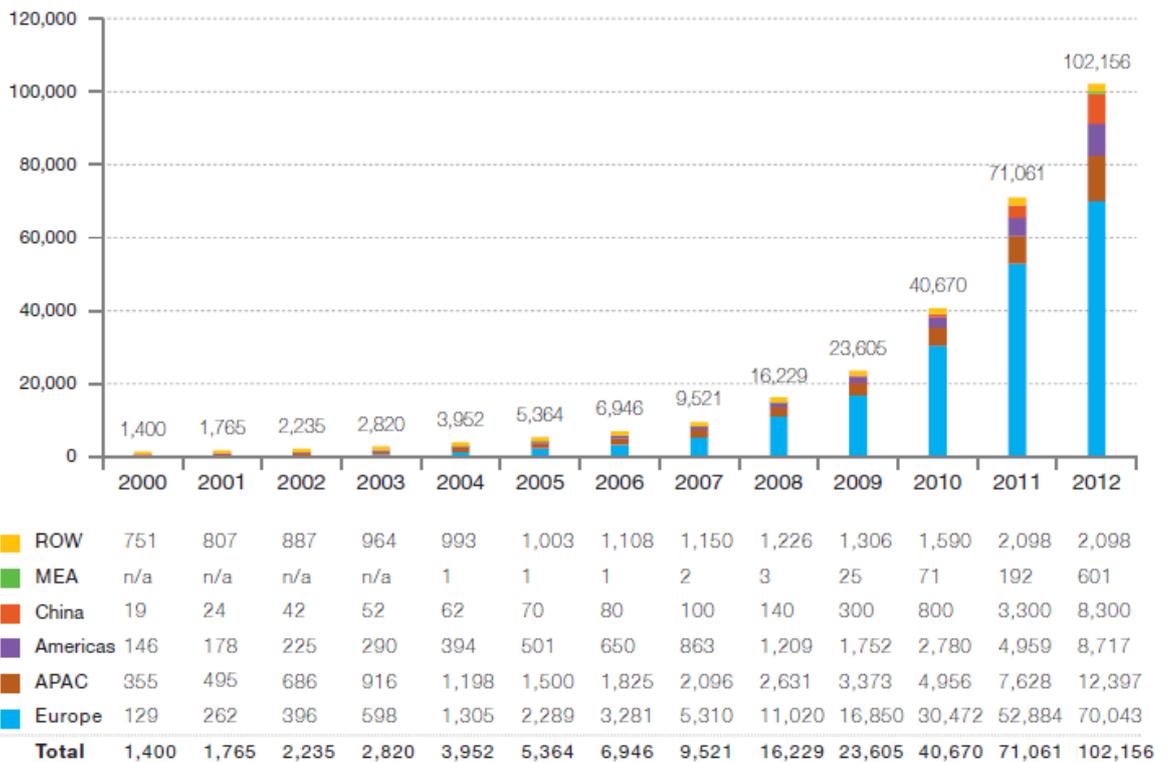


Figura 17 – Adaptado mapa de potência fotovoltaica mundial (W/habitante)
Fonte: EPIA – GMO (2013 p. 15).

No mapa da figura 17 é interessante observar o quanto os países estão envolvidos na tecnologia de sistemas fotovoltaicos, sendo a coloração escura a maior intensidade de W/habitante. Isto facilita enxergar, por exemplo, que a Europa está praticamente dominando a geração de potência (W) por habitante.

O Gráfico 02 mostra que a APAC, Ásia e Pacífico, possuem uma potência instalada em (MW) inferior a Europa. Sendo que a Oceania tem 12 GWp e a Europa 70 GWp instalada.



ROW: Rest of the World. MEA: Middle East and Africa. APAC: Asia Pacific.

Gráfico 02 – Evolução da capacidade instalada acumulada de fotovoltaica mundial (MW)
Fonte: EPIA – GMO (2013, p. 13).

Vale destacar no Gráfico 02 a tendência mostrada no mundo, de que desde o ano 2000 até 2012 houve um aumento de capacidade instalada acumulada de 1,4 GWp para 102,156 GWp. A Europa sozinha representava 69% da potência total instalada do mundo em 2012. Houve esse crescimento expressivo mesmo em meio à crise econômica mundial de 2008 (EPIA, 2013, p.13).

Quanto aos demais em 2012, nas Américas só os EUA representa 90% (7,8GW instalado). No Oriente Médio e África (MEA – *Middle East and Africa*) a quantidade de potência é baixa com 600MW. A China sozinha tem quase 9GW e o resto do mundo (ROW – *Rest of the World*) com 2GW instalado. Com isso totalizado uma capacidade instalada de 102 GW.

2.5.2 Europa

Na Europa, visto no Gráfico 03, os países Alemanha (*Germany* - laranja) e Itália (*Italy* - verde claro) são as que mais se destacam com potência instalada de aproximadamente juntas de 50GWp. Com base nisso a Europa é a líder mundial de geração de energia através da energia do sol.

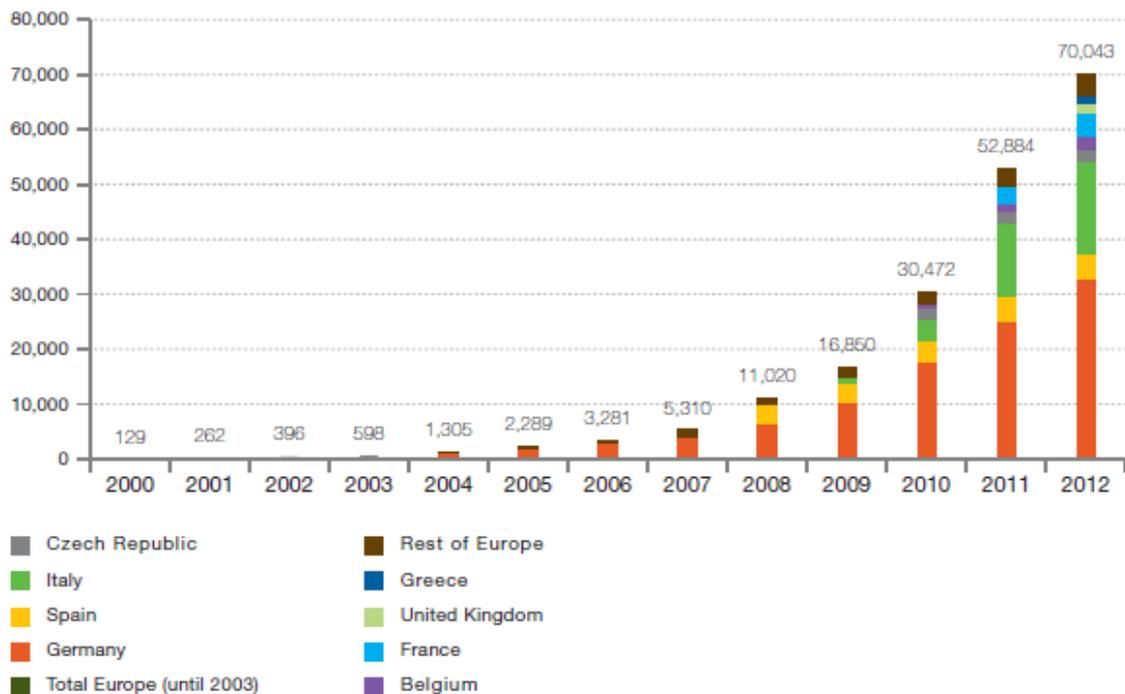


Gráfico 03 – Evolução da capacidade instalada acumulada de fotovoltaica nos países europeus (MW)
 Fonte: EPIA – GMO (2013 p. 17).

Os maiores motivos para o crescimento na Europa como mostram os Gráficos 02 e 03 da GMO, EPIA, são os incentivos para este tipo de sistemas, conforme colocado pelo relatório da EPE.

O sistema de tarifa-prêmio (“*feed-in tariff*”), adotado em quase todos os países da Europa, em que se observa expressiva instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, tem se revelado como o mais eficiente para incentivar o uso desta fonte. A tarifa-prêmio é calculada visando a garantir taxas de retorno atrativas em contratos de até 25 anos de duração. (EPE, 2012, p. 40).

Dentre outros programas de incentivo que também proporcionam o crescimento desta energia na Europa.

2.5.3 Alemanha

2.5.3.1 Crescimento da energia FV

Conforme visto no *market share* a Alemanha é um dos maiores exemplos na geração de energia solar e está investindo fortemente como solução de sua matriz energética. Sendo o “país com maior capacidade FV conectada à rede [no mundo]” (MME, 2009, p. 19).

Na Figura 18, obtida do site do governo da Alemanha (*Bundesrepublik Deutschland* – BDR) mostra detalhadamente o crescimento do potencial instalado de energia fotovoltaica desde 2004 até 2012, sendo que em 2004 tinham 758 MWp instalados e em 2012 atingiram a marca de 32 GWp de potencial instalado. Isto representa um crescimento no total de 4043% em nove anos, uma taxa positiva e indiscutivelmente surpreendente. Com isso, a Alemanha se torna o modelo mundial que deve ser analisado para se entender os motivos de tanto crescimento.

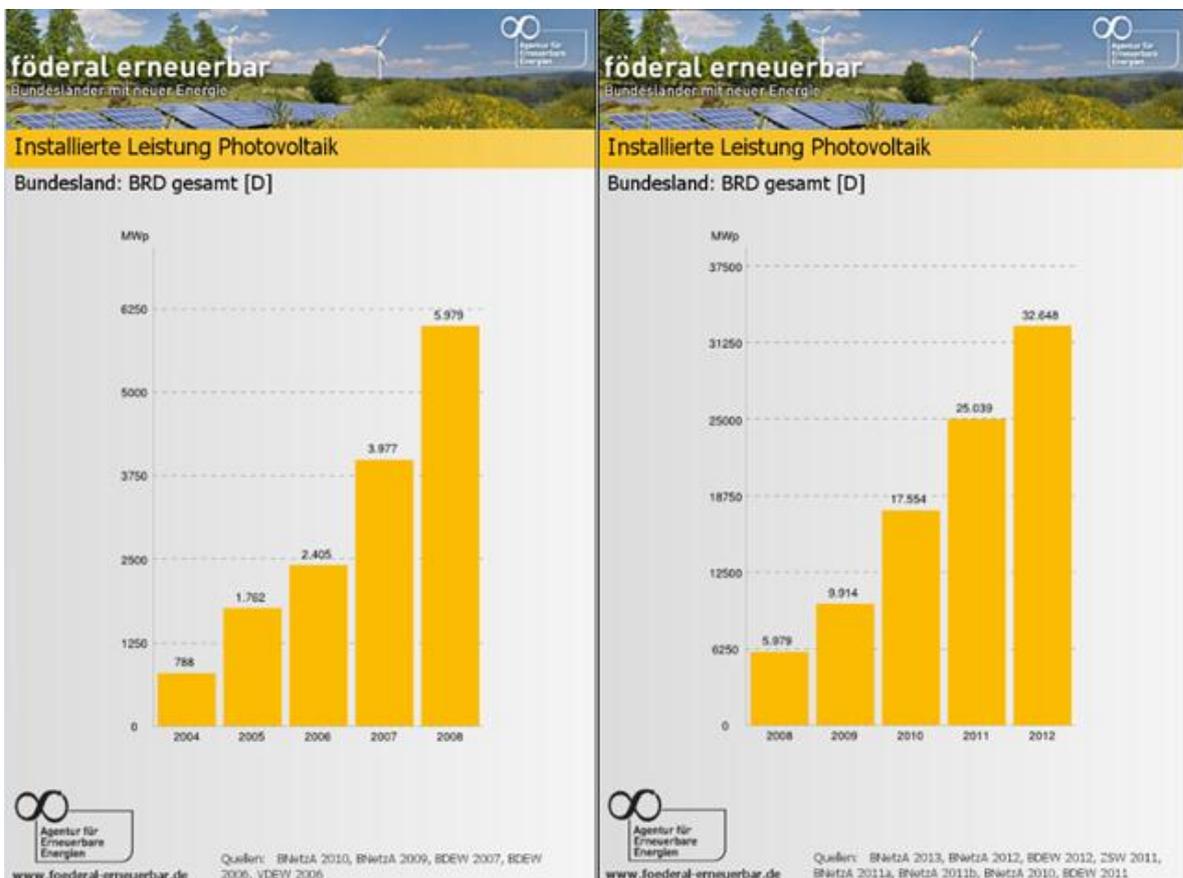


Figura 18 – Potência instalada de FV na Alemanha
Fonte: FOEDERAL ERNEURBAR (2013).

Historicamente, “deve-se lembrar que todo este crescimento alavancou-se pela decisão estratégica da Alemanha, de inserir energia renovável em sua matriz energética, reduzindo a participação da energia nuclear” (MME, 2009, p. 19).

2.5.3.2 Decisões Essenciais para o Desenvolvimento da Energia FV

No relatório de Retrospectiva de Energia Renovável na Alemanha e Acontecimentos de Inovações emitido pelo Ministério do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança de Reator (*Bundesministerium fuer Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – BMU*), em 2009, foram definidos principais períodos regidos por contextos políticos e históricos que contribuíram para o desenvolvimento do uso da energia FV na Alemanha, conforme a Figura 19.



Figura 19 – Desenvolvimento FV
Fonte: adaptado BMU (2009a, p. 217).

2.5.3.2.1 Fase pioneira e P&D (1970-91)

Entre 1970 e 1981 a Alemanha marcou-se por fortes turbulências na matriz energética por depender de fontes de energia primárias importadas como os derivados de combustíveis fósseis e carvão. E, segundo BMU (2009a, p. 219), devido à crise do petróleo dos anos 70 o país iniciou uma busca ousada por fontes alternativas incentivadas por pesquisas. Frutos importantes disso foram investimentos no avanço de diversas tecnologias. Uma beneficiada foi geração através de energia FV em seus estágios iniciais, na busca de matérias com custo de produção mais viáveis e testes em equipamentos menores.

A energia nuclear por sua vez também era uma das possibilidades se não fosse pelo maior acidente nuclear da história em 1986 na cidade de Chernobyl na Ucrânia. E um

relatório iniciado em 1981 pelo Ministério de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na Alemanha, que durou cinco anos, concluiu que o desenvolvimento de fontes renováveis de energia “seria menos dispendioso que o investimento em sistema de abastecimento elétrico por energia nuclear, como era previsto” (MME, 2009, p. 21). Este descontrolo e descoberta fizeram com que a sociedade olhasse a energia nuclear com maus olhos.

Com apoio da população a fonte renovável de energia (FRE) se tornou então a saída mais lógica. Porém, até o final dos anos 80 “as FRE enfrentaram um sistema de abastecimento de energia bastante hostil, dominado por grandes concessionárias com muito poder e baseadas na geração a carvão e nuclear” (MME, 2009, p. 22).

Mesmo com o grande domínio das concessionárias, importantes órgãos e associações foram criadas no estágio pioneiro da energia FV como:

- a) *Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.* (DGS) – associação criada em 1975 e responsável pela disseminação da energia solar (BMU, 2009a, p. 233);
- b) *Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V.* (SFV) – associação criada em 1986 e “em 1989 desenvolveu o conceito de “pagamento para cobertura de custo” para a eletricidade gerada por FRE (semente do conceito *feed-in tariff* / tarifa-prêmio)” (MME, 2009, p.22);
- c) *Verband mittelständischer Solarindustrie e.V.* (VSI) – associação criada em 1979 e renomeada em 1986 para *Deutscher Fachverband Solarenergie e.V.* (DFS) que auxilia as indústrias no ramo FV na Alemanha (BMU, 2009a, p. 233);
- d) EUROSOLAR – órgão internacional criada em 1988 que decide através de energia renovável substituir completamente a matriz de energia com combustíveis fósseis. “E que contava com vários membros do parlamento alemão em suas fileiras.” (MME, 2009, p.22).

De acordo com os interesses crescentes na energia FV dentro dos órgãos e associações na Alemanha, na Figura 20 pode-se ver que o investimento do governo no desenvolvimento aumentou com o decorrer dos anos com a importância do sistema na matriz energética. Vale ressaltar o ano de 1982 que teve um crescimento em torno de 550% em relação ao ano anterior de 1981. Neste ano, segundo o BMU (2009a, p. 220), a decisão do governo foi não só de investir nas pesquisas federais, mas como também na sua infraestrutura, por exemplo, no *Fraunhofer-ISE (Institut für Solare Energiesysteme)* que por muitos na época considerou-se desnecessário e hoje é um instituto importante na pesquisa FV.

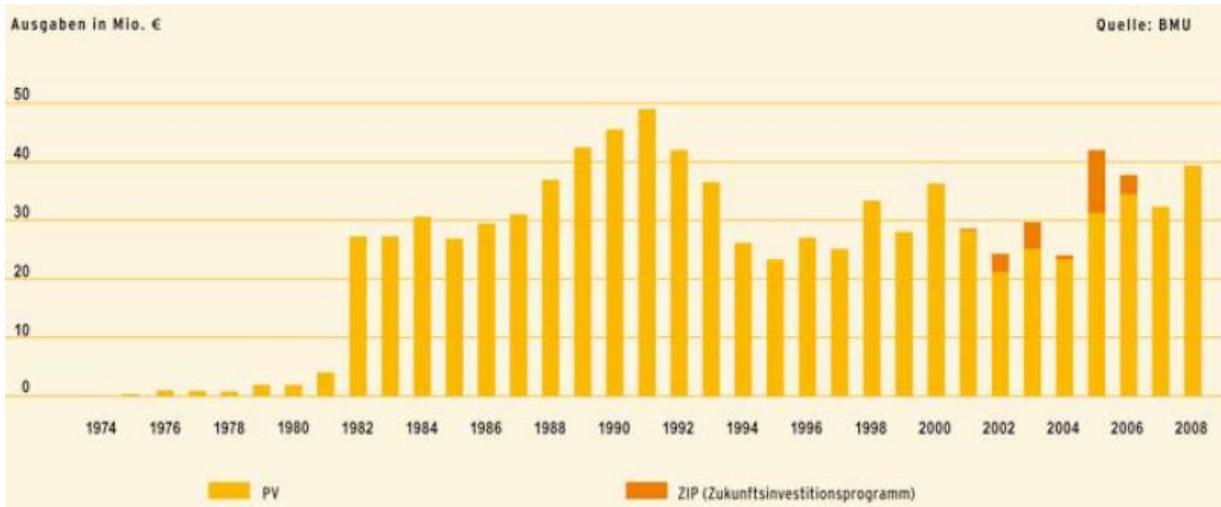


Figura 20 – Gastos em milhões EUR no desenvolvimento de FV (PV) e programas de investimento futuro (ZIP) de 1974 até 2008
Fonte: BMU (2009b, p. 16).

2.5.3.2.2 Adesão ampliada (1991-94)

Entre 1991 até 1994 o governo alemão lançou o “programa de 1.000 telhados solares fotovoltaicos” (MME, 2009, p. 23) que previa a instalação de mil sistemas FV conectados a rede nos telhados. Segundo BMU (2009, p. 237) os sistemas eram subsidiados em determinadas condições até no máximo 70% pelo governo. O programa foi um sucesso, com grande adesão no país, que no final instalou sistemas FV em total de 2.200 telhados (MME, 2009, p. 24).

O objetivo do programa, no entanto, que era o de liderar a inserção de sistemas FV no mercado para atrair investidores não deu certo. Isto por grande motivo da *Stromeinspeisungsgesetz* (StrEG), Lei que trata da injeção da energia conhecida em inglês por *Feed-in Law*, que no início só beneficiava PCHs e eólicas.

[em 1990] A Feed-in Law obrigou as concessionárias a conectarem à rede geradores que utilizam FRE e a comprarem a energia gerada a uma tarifa-prêmio que, para eólica e fotovoltaica, chegava a 90% da tarifa média cobrada dos consumidores finais (~0,17 marcos). A Feed-in Law deu incentivos financeiros consideráveis a investidores, embora menos para energia fotovoltaica, pois seus custos eram ainda muito altos comparados com as tarifas-prêmio (*feed-in tariffs*). (MME, 2009, p. 23).

Ainda assim, mesmo com a tarifa-prêmio, somente para a energia FV os valores de produção comparados com o retorno do investimento não tornavam o mercado atraente para se aplicar dinheiro.

2.5.3.2.3 Insegurança e desaceleração (1994-98)

O programa de 1.000 telhados enfim encarou-se como somente um estudo de desenvolvimento sem repercussão no mercado. Enfim o período de 1994 até 1998 marcou-se por insegurança para os investidores na energia FV e desaceleração do desenvolvimento da tecnologia.

Houve a tentativa de se iniciar o programa desta vez de 100.000 telhados pela Eusolar em 1993-96 que bloqueou-se na aprovação do projeto. Sem justificativas convincentes a favor, com uma energia ainda cara e apoio contrário até do governo em regência na aprovação de novos projetos os investidores sentiram um possível abandono desta tecnologia e assim a morte da energia fotovoltaica (BMU, 2009a, p. 245). No entanto, investimentos pequenos privados da população em residências mantiveram a esperança da energia FV.

E em paralelo, as concessionárias também começaram a atacar os projetos do governo que favoreciam FRE e geração descentralizadas. “Em 1996, a VDEW (associação de concessionárias) apresenta queixa à DG Competition (subdivisão da Comissão Europeia que trata das regras para que o mercado opere sob competição justa)” (MME, 2009, p. 24). Como resposta, o Ministério da Economia evita a entrada de uma lei que desse mais bônus para a geração descentralizada de FRE.

Com tudo, “em 1997, a proposta do governo de reduzir as taxas de *feed-in* levou a passeatas e protestos públicos que uniram trabalhadores, fazendeiros e grupos ligados à igreja, além de associações de defesa do meio ambiente e do setor solar e eólico” (MME, 2009, p.24). Ao contrário da proposta da oposição do governo a FRE ganhou uma conquista importante que é a incorporação no “Código de reforma do setor energético em 1997 [...] Quando tornou-se claro que as taxas *feed-in* seriam mantidas, o mercado de turbinas eólicas voltou a se expandir” (MME, 2009, p.24).

Em 1998 na mudança de governo o programa de 100.000 telhados resgatou-se e antes de sua aprovação indústrias aumentaram sua capacidade de produção para atender um

mercado ainda inexistente. Assim, aprovado o projeto sob forte pressão de associações e órgãos de energia FV (BMU, 2009a, p.257).

2.5.3.2.4 Alavancagem (1999-2003)

Em 1999 até 2003 a energia FV alavancou-se para permanecer no mercado alemão e não repetir o recesso no passado. No início, o programa de 100.000 telhados teve adesão menor do que a esperada. Mas a reação de cada Estado então foi a de incentivar enquanto o governo federal aprovasse os créditos maiores (BMU, 2009a, p.259).

Em 1999 então com o novo governo, teve início a reforma da *StrEG, Feed-in Law*, aprovada em 2000 gerando o “Código das Fontes Renováveis de Energia (*Erneuerbare-Energie-Gesetz, EEG*)” (MME, 2009, p. 25).

A EEG determinou segundo a MME (2009, p.26) as seguintes condições:

- a. Distribuição entre todas as concessionárias da Alemanha os valores do montante a ser pago devido à geração distribuída de FRE, assim evitando sobrecarga de algumas regiões;
- b. Com base nos custos reais de geração, tarifas por kWh para cada tipo de FRE. Pois, o sistema antigo de subsídios sobrecarregava o orçamento do governo e as tarifas se tornam mais atraentes para qualquer sistema;
- c. Instalou sistema de que sistemas poluidores pagariam por externalidades;
- d. Garante tarifas para geração de 20 anos e condições favoráveis para a geração por FRE.

Com isso, a EEG garantiu uma segurança inexistente para investidores muito atraente. A Tabela 12 mostra um aumento de 493% de taxas praticadas (de 10 para 59,3 centavos/kWh) com a reforma que fez com o que aumentasse de forma acelerada a instalação de sistemas FV. “Com essas iniciativas, em 2000 a Alemanha tornou-se líder mundial em telhados solares, tendo operando no país seis indústrias de produção de células e módulos fotovoltaicos (eram duas em 1996)” (MME, 2009, p. 26).

Sistemas em telhados até 30kW		1991	1995	1999	2000	2001	2002	2003
		StrEG			EEG em 2000			
Remuneração nominais previstas	Centavos DM/kWh	8,5	8,8	8,4	50,6	50,6	48,1	45,7
Remuneração praticada em 2009		11,9	11,0	10,0	59,3	58,1	54,5	51,2

Tabela 12 – Taxas anteriores da StrEG e depois da reforma EEG em 2000 para SFVCR
Fonte: adaptado BMU (2009a, p. 16).

Em paralelo a todo o desenvolvimento, a pressão internacional de conservação do meio ambiente crescia cada vez mais segundo a BMU (2009a, p. 269).

2.5.3.2.5 Fim do desenvolvimento (2004 –XX)

Com o sistema FV andando com suas próprias pernas, a partir de 2004, o período é considerado como maduro e fim do desenvolvimento para sobreviver, com mais de 750MWp instalado até o final de 2004. Reformas até continuaram nas tarifas acordadas dentro do EEG de forma a assegurar um sistema saudável para continuar até os dias de hoje em meados 2014.

A Tabela 13 mostra algumas alterações de produtividade programadas em 2008 e aplicada nas tarifas 2009 adiante.

Ano de entrada no programa	Potência instalada			
	até 30 kWp	> 30 kWp a 100 kWp	> 100 kWp até 1.000 kWp	> 1.000 kWp
	Percentual de redução anual da tarifa-prêmio			
	-8% em 2009/2010, -9% a partir de 2011	-8% em 2009/2010, -9% a partir de 2011	-10% em 2009/2010, -9% a partir de 2011	-25% em 2009, -10% em 2010, -9% a partir de 2011
Tarifa-prêmio (centavos de euro por kWh gerado)				
2008	46,75	44,78	43,99	43,99
2009	43,01	40,91	39,58	33,00
2010	39,57	37,64	35,62	29,70
2011	36,01	34,25	32,42	27,03
2012	32,77	31,17	29,50	24,59
2013	29,82	28,36	26,84	22,38
2014	27,13	25,81	24,43	20,37
2015	24,69	23,49	22,23	18,53

Tabela 13 – Novas taxas praticadas com reforma em 2008 da EEG para SFVCR
Fonte: MME (2009a, p. 27).

2.6 CENÁRIO BRASILEIRO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Como pode ser observado na Figura 21, a matriz energética Brasileira apresenta uma condição bastante favorável em relação ao resto do mundo, pois contém quase 85% de sua matriz com Fonte Renovável de Energia.

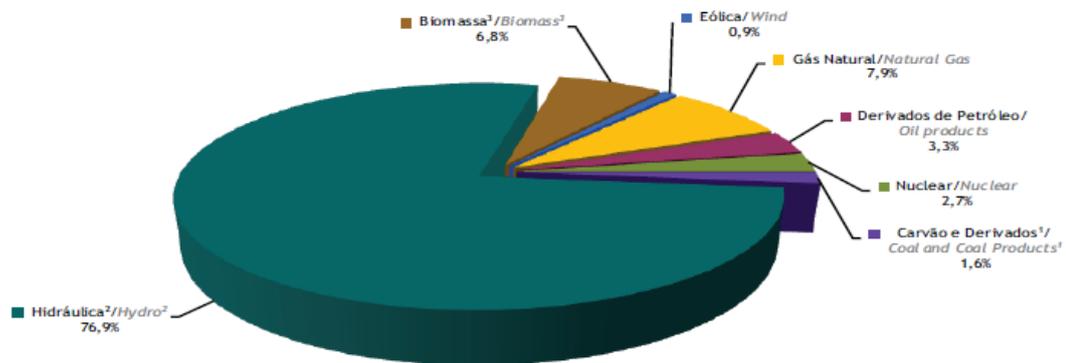


Figura 21 – Composição da matriz energética Brasileira no consumo de energia elétrica
Fonte: EPE (2013, p.16).

Sendo assim, o grande desafio se concentra em atender no futuro a demanda de consumo mundial, e isto conseqüentemente se reflete para o Brasil por ser ainda por cima um país em desenvolvimento.

O aumento da demanda e consumo de energia decorrente do progresso tecnológico e do avanço no desenvolvimento humano (caracterizado por parâmetros sócio-econômicos) são apontados como os fatores mais importantes na aceleração das alterações climáticas e ambientais observadas e descritas pela comunidade científica. O crescimento do consumo de energia mais que triplicou após a Revolução Industrial [...]. (PEREIRA et al, 2006, p. 9).

De acordo com o Plano de Desenvolvimento Energético de 2022, as projeções econômicas e demográficas, “resultaram em crescimento continuado do consumo per capita de eletricidade [...] em torno de 49% no período decenal” (BRASIL, 2013, p.41). Na Tabela 14, pode-se observar um crescimento de PIB de 52,9% e de consumo 50% até 2022.

Ano	Consumo ⁽¹⁾ (TWh)	PIB (R\$ bilhões de 2010)
2013	520,0	4.129
2017	625,8	4.950
2022	785,1	6.314

Tabela 14 – Projeção de aumento de consumo e do PIB nacional
Fonte: adaptado BRASIL (2013, p.47).

Com base nisso a matriz energética Brasileira precisa ser ampliada para atender o aumento de consumo de 50% acima do atual. O Gráfico 04 a seguir mostra a proposta do PDE 2022.

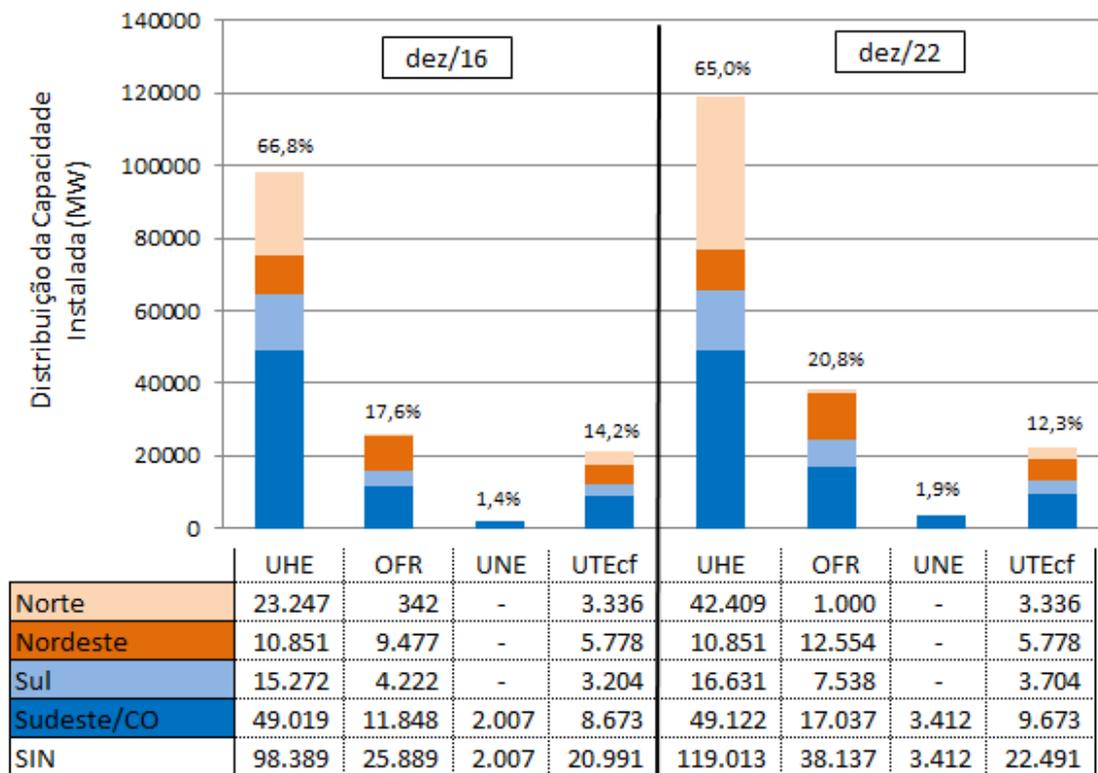


Gráfico 04 – Distribuição das projeções de 2016 até 2022 de ampliação da matriz energética por região
Fonte: Adaptado Brasil (2013, p.97).

O que se observa no Gráfico 04 ainda é ampliação de usinas hidrelétricas como solução essencial para somente o Norte do país. As demais regiões ampliarão sua matriz energética principalmente através de OFR, outras fontes renováveis.

É um potencial, menos agressivo ao meio ambiente não havendo necessidade de alagamento como em hidrelétricas, para suprir a demanda crescente nacional de energia no futuro é a energia FV que segundo o autor Tiepolo et al (2013, p.2) comparado com o líder mundial de potência instalada, a Alemanha que se localiza na Europa, o Brasil possui uma irradiação solar muito superior.

No entanto, o cenário nacional de SFV ainda é muito jovem. O que se pode comparar com o cenário de insegurança de 1994 até 1998 na Alemanha. Onde se observa alguns incentivos como a resolução 482, mas nada tão significativo como a EEG de 2000 que passou uma confiança aos investidores e o crescimento espontâneo desta FRE. E fora isso, assim como na Alemanha, as concessionárias no Brasil detêm um grande controle da geração da energia. Por isso, para o crescimento neste segmento de energia FV o esperado é ser ainda desacelerado. A não ser que haja uma contrapartida de mudanças como foi na Alemanha com população impedindo em 1997 que acabassem com incentivos importantes para FRE e adição do incentivo ao Código de energia.

2.6.1 Incidência solar nacional

O mapa da Figura 22, obtido do Atlas solar, mostra a incidência solar no Brasil média em kWh/m²/ano.

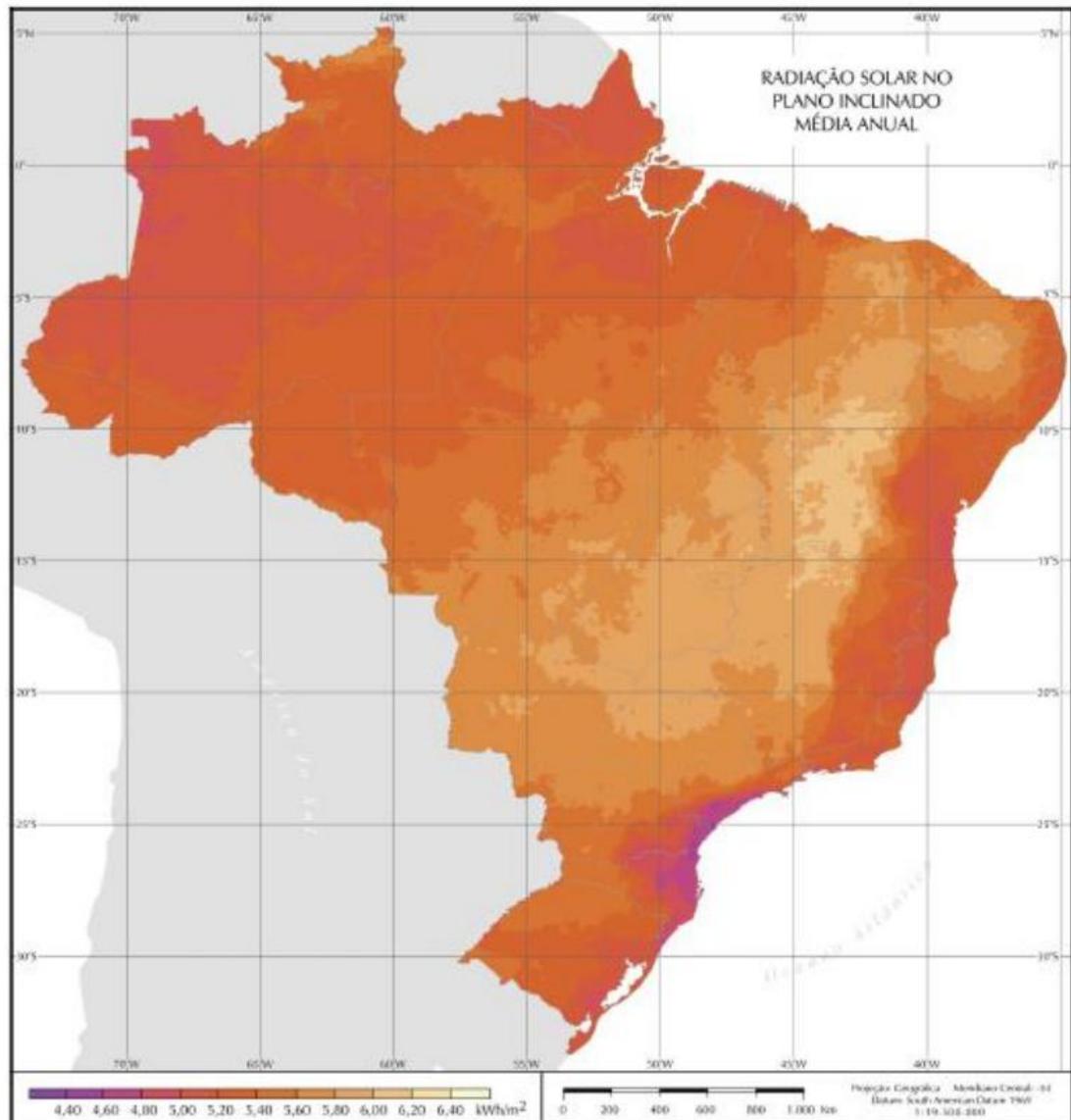


Figura 22 – Mapa solar do Brasil no plano inclinado
Fonte: PEREIRA et al (2006).

2.6.2 Potencial do Estado do Paraná

O Estado do Paraná é um dos maiores produtores de energia elétrica através de hidrelétricas. No entanto, o uso desta FRE está em constante declínio por esgotar o potencial hídrico e pressão da sociedade quanto ao alagamento de áreas muito grandes. (TIEPOLO et al, 2013, p. 1).

2.6.2.1 Potencial de Geração Fotovoltaica no Estado do Paraná e Alemanha

Uma análise mais profunda dos dois mapas das Figuras 23 e 24, que foram construídos com os mesmos parâmetros, mostra o potencial para a produção de Energia FV no Estado do Paraná. O que realmente impressiona é justamente o fato de que o País com o maior potencial de energia FV instalada no mundo, a Alemanha, não possui irradiação solar que chegue nem no mínimo do potencial de irradiação solar do Estado do Paraná. Nas Figuras 23 e 24 que estão na mesma escala de cores pode-se ver claramente esta diferença.

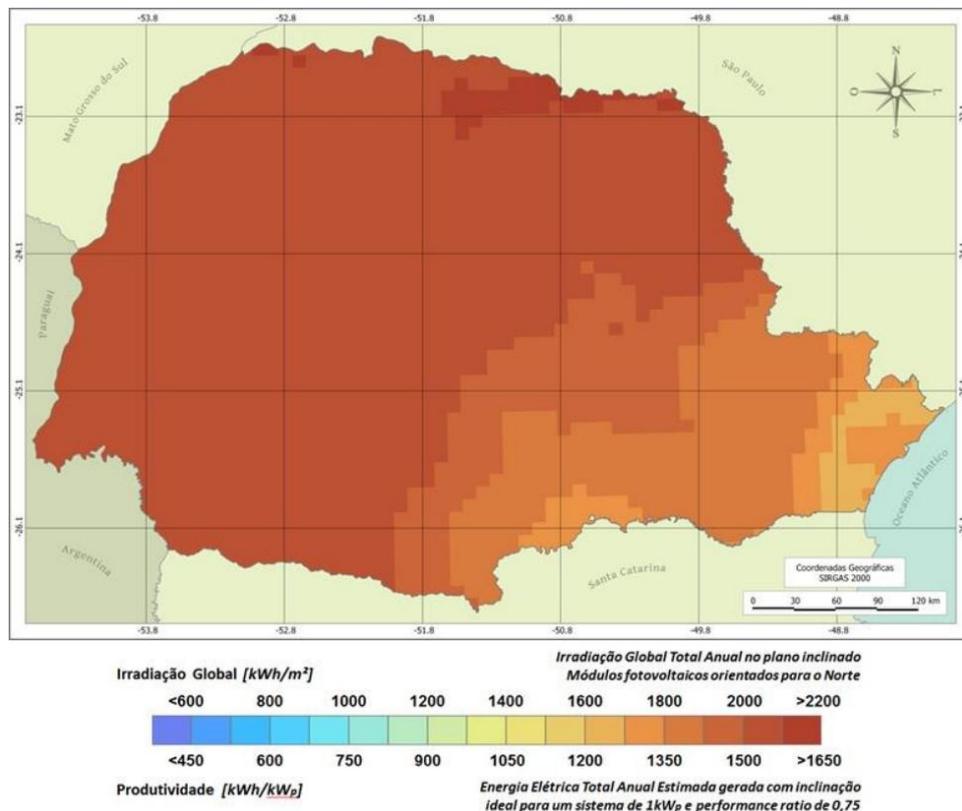


Figura 23 – Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná

Fonte: TIEPOLO et al (2014, p.4).

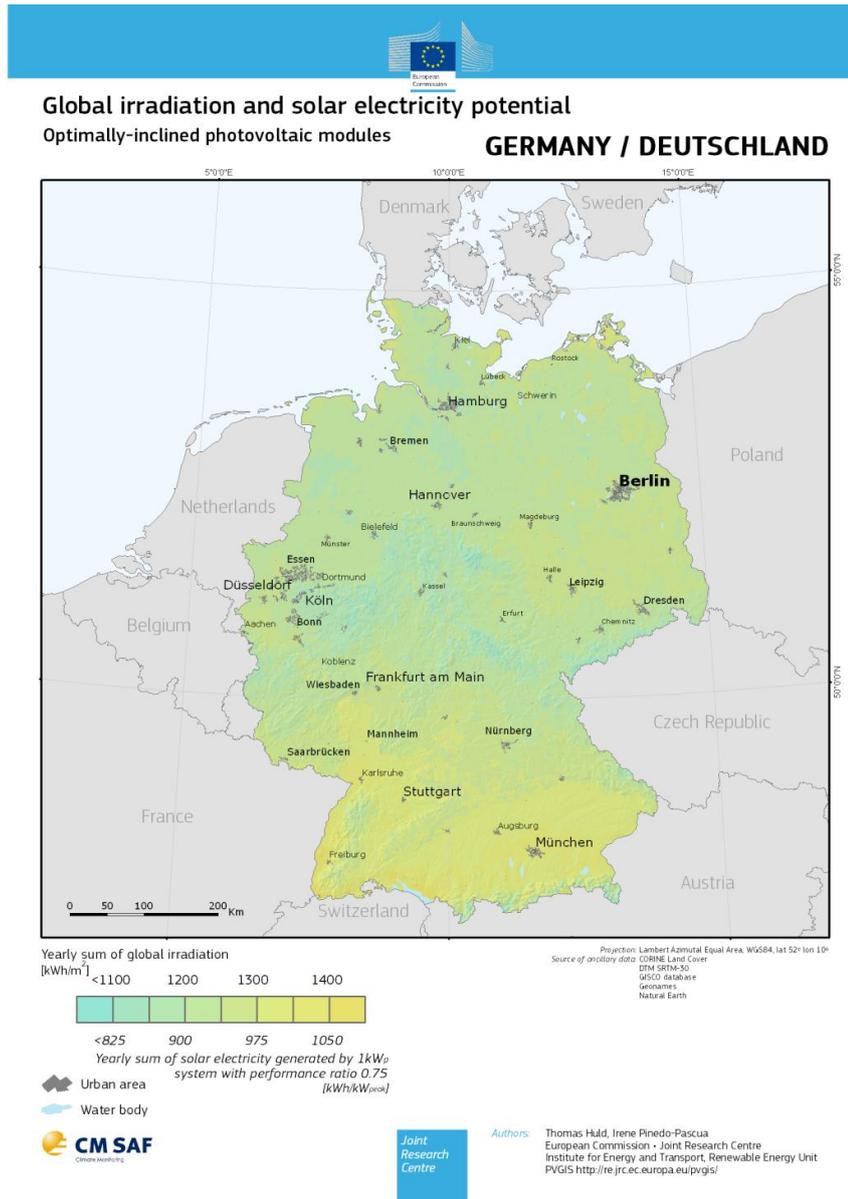


Figura 24 – Mapa solar da Alemanha
Fonte: EUROPEAN COMMISSION (2012).

A conclusão que se chega, na comparação entre os dois mapas das Figuras 23 e 24, já pela própria coloração é que o Paraná possui um potencial enorme.

No entanto, sabe-se que o custo de implantação da estrutura como um todo é ainda muito cara em relação aos demais países.

2.7 EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DE SFV

A Figura 25 mostra a tendência que se espera no Brasil que ocorreu na história da Alemanha. O preço das instalações elétricas tiveram uma queda efetiva de 66% dos preços em EUR/kWp sem impostos, desde 2006 até 2013, para sistemas de até 10kWp instalados no telhado em cliente final.

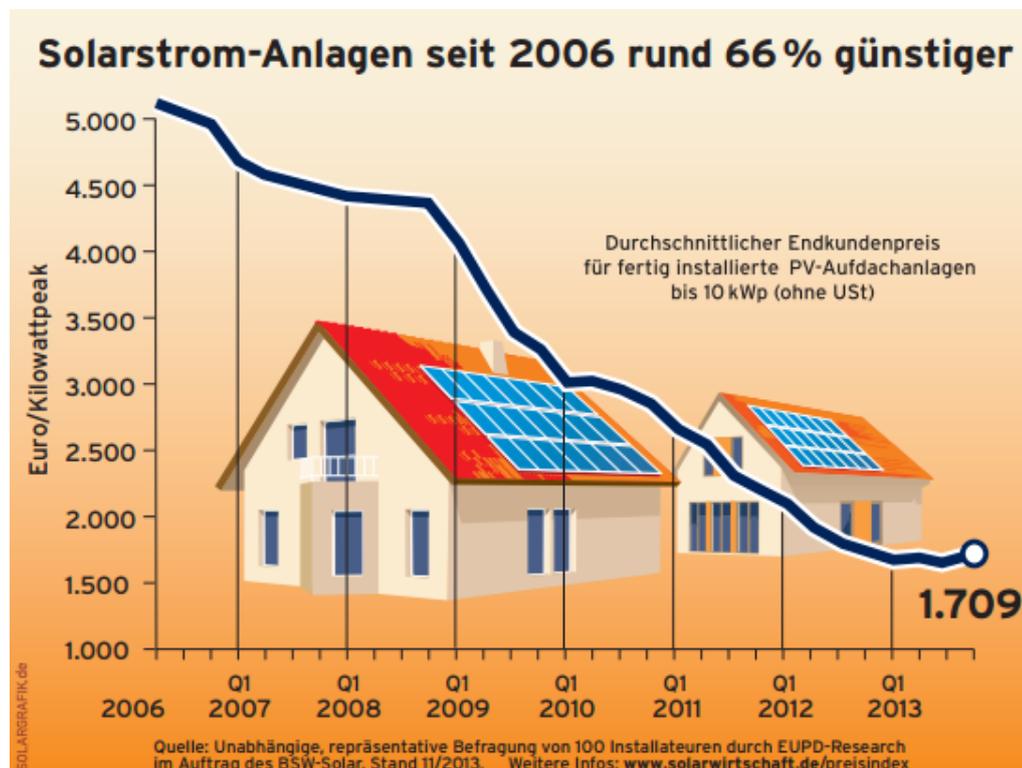


Figura 25 – Sistemas FV desde 2006 em torno de 66% mais barato (EUR/kWp)
Fonte: BSW-Solar (2013c).

“Apesar do grande potencial [de FRE], os custos atuais dessa tecnologia são relativamente elevados [no Brasil]. Porém, esses custos apresentam tendência de queda, principalmente na geração fotovoltaica” (BRASIL, 2013, p.96), de acordo com a tendência mundial. Esse cenário de queda poderia ser ainda melhor, no entanto, “o fato é que no Brasil, atualmente, não há uma cadeia produtiva consolidada de sistemas fotovoltaicos, embora o País detenha uma das maiores reservas mundial de Silício, que é a matéria prima para a fabricação desses componentes.” (MME, 2009, p. 33).

2.8 FATORES QUE DEVEM INFLUENCIAR O CRESCIMENTO NACIONAL DE SFV

2.8.2 Resolução 482

“Uma das fontes que devem ganhar um maior impulso com a nova resolução [482] é a solar. Visto o custo ainda elevado da geração fotovoltaica no Brasil com relação às outras fontes energéticas, são justamente os consumidores cativos que estão mais próximos da viabilidade econômica para a instalação de tais sistemas. Isso porque possuem uma tarifa de energia das mais altas do mundo, devido principalmente a alta incidência de impostos.” (SILVA, 2013, p.1)

2.8.3 Crédito de carbono

O conceito de Crédito de Carbono surgiu na Conferência de Quioto em 1997 e “Durante a última Conferência do Clima (COP 17), realizada em 2011, na África do Sul, as metas de Quioto foram atualizadas e ampliadas para cortes de 25% a 40% nas emissões de [CO₂], em 2020, sobre os níveis de 1990 para os países desenvolvidos” (BRASIL, 2012). E isto é obtido através de diversos projetos que comprovem a redução da emissão. O cálculo é simples, cada tonelada medida de CO₂ que é evitada de entrar na atmosfera por um país desenvolvido conta como um crédito. O interessante disto é que este crédito pode ser comercializado no mercado internacional para que os países não desenvolvidos possam comprar e atingir metas internacionais estabelecidas.

Um grande contribuinte para isto são FRE. Como, por exemplo, o SFV que ao contrário de demais fontes de energia encontrada nos países desenvolvidos não tem como um produto final o gás carbônico. Com isto uma conta simples de evitar a produção de gás carbônico resulta em créditos que podem ser revendidos aos países que acordaram em reduzir emissão e não tem progresso para atingir as metas internacionais.

2.8.3.1 Redução de emissão de CO₂ na Alemanha

Na atualidade, uma das maiores preocupações é a redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂) para diminuir o impacto da poluição ao meio ambiente. A Figura 26 mostra a quantidade significativa de CO₂ em toneladas acumuladas que não foram para atmosfera devido ao sistema fotovoltaico implementado pelo governo alemão desde 2000. Uma quantidade que é o reflexo direto do crescimento visto da Alemanha nos investimentos neste setor de energia fotovoltaica.

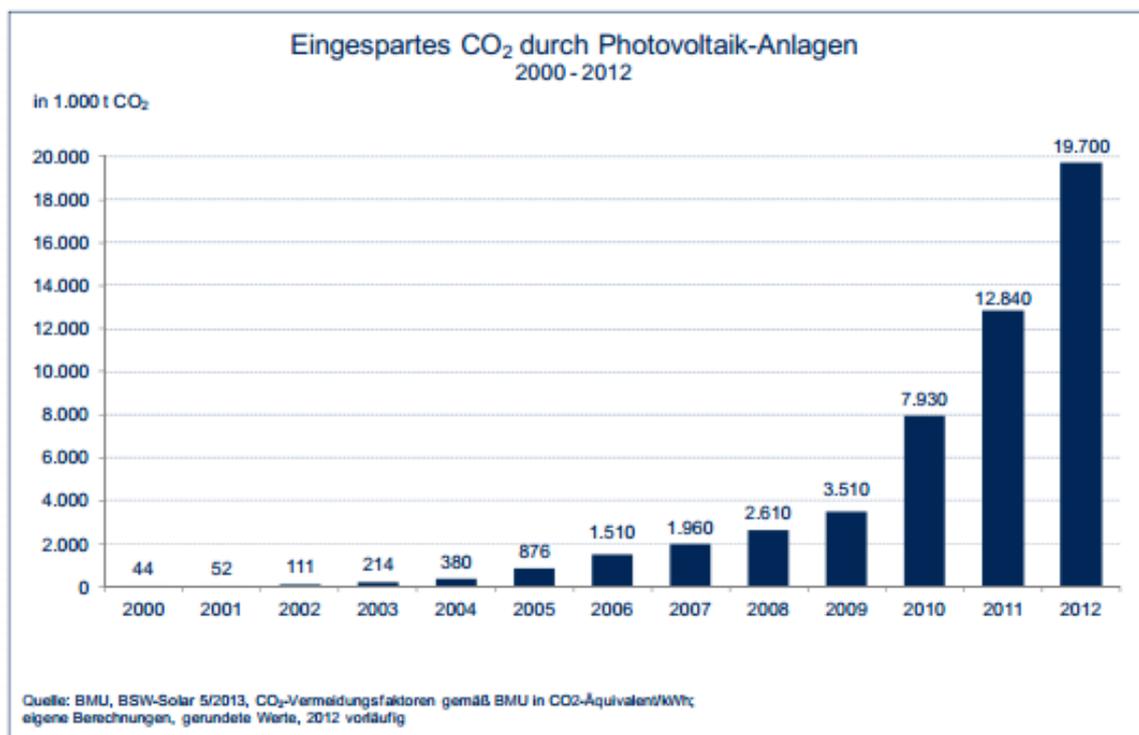


Figura 26 – Dióxido de Carbono não emitido devido ao uso de energia FV (tonCO₂)
Fonte: BSW-Solar (2013b).

3 LEVANTAMENTO DO CUSTO DE SFVCR

Será inicialmente selecionada uma base de fornecedores para cotação. Depois, evidencia-se o processo, a estratégia e as premissas utilizadas para obtenção dos custos em reais por watt pico (R\$/Wp) para cada sistema FV.

3.1 PESQUISA DOS FORNECEDORES

Utilizando três meios diferentes conseguiu-se encontrar os fornecedores para cotação: pesquisa de internet, visita à feira e indicação.

O primeiro meio foi através da pesquisa na internet, o qual serviu como ponto inicial para se encontrar os sites que fazem referência à energia FV. Nestes sites então se encontrou os potenciais fornecedores de energia FV no Brasil. Um exemplo é o mapa no site da América do Sol, mostrado na Figura 27, que foi um dos recursos utilizados na internet para se encontrar as empresas de energia FV.



Figura 27 – Mapa de Empresas do Setor FV, visão nacional
Fonte: BERMUDEZ (2013).

Constatou-se que existem em torno de 283 fornecedores cadastrados no site America do Sol. Para o estudo então, se filtrou o mapa para os fornecedores na região de Curitiba conforme apresentado na Figura 28. Assim, identificaram-se treze fornecedores só na região metropolitana de Curitiba com todos os dados como telefone, endereço, área de atuação, breve histórico, etc.



Figura 28 – Mapa de Empresas do Setor FV, visão em Curitiba
Fonte: BERMUDEZ (2013).

Outra forma importante de determinar fornecedores foi através da visita às feiras para identificar a situação no mercado. Sendo assim, se visitou a feira EnerSolar+ no dia 19 de julho de 2013 em São Paulo (Figura 29 e 30), na qual, se observou uma grande tendência de inúmeras empresas Chinesas com intenção de entrar no mercado brasileiro, fora as existentes com novas tecnologias de ponta. Conheceram-se importantes marcas de módulos, inversores, integradoras, etc.

3.3 PREMISSAS PARA COLETA DE DADOS

3.3.1 Cenário para Geração

As características básicas adotadas no cenário de geração são:

- inclinação dos módulos igual à latitude do local;
- sistema orientado para o norte geográfico;
- performance ratio ou taxa de desempenho igual a 0,75;

3.3.2 Cenário de Cotação

Para efeito de confidencialidade acordou-se com cada fornecedor que nunca serão apresentados dados isolados, somente médias aritméticas entre as cotações e sua identidade será mantida anônima.

Todos os sistemas cotados para qualquer potência instalada são considerados como *Turn-Key*, o que significa que o fornecedor entregará o sistema funcionando.

Quanto à manutenção, considerou-se nessa primeira etapa somente a troca dos inversores a cada 10 anos e como limite da troca do sistema todo, uma média da vida útil dos módulos disponíveis atualmente no mercado, de 30 anos.

Para a potência máxima dos sistemas analisados será considerada a minigeração distribuída que de acordo com a resolução 482/2012 contempla até 1 MWp.

A soma da potência total em kW do inversor será de igual valor ou maior do que a potência do sistema instalado em kWp.

O câmbio a ser considerado é o do mês de fevereiro de 2014, sendo que a abertura da composição do custo é imprescindível.

3.4 COLETA DE DADOS

3.4.1 Solicitação das cotações

Em um primeiro passo abordou-se as empresas como um grupo de pesquisa, o que logo se tornou um obstáculo para obter as informações necessárias. O fato é que o trabalho sugerido, para os fornecedores, exigiria muito tempo sem sequer um retorno desejável que seria a nomeação de um projeto efetivo na conclusão do estudo.

Sendo assim, fez-se uma nova proposta para cotação usando a empresa X como objeto real de estudo. Logo foi possível motivar os fornecedores a construir diversos cenários de cotações para efetiva instalação caso se mostrasse algo realmente viável.

3.4.2 Meios de comunicação

Utilizou-se os meios de comunicação por telefone, e-mail e reuniões nas visitas tanto aos fornecedores como na empresa X.

Por telefone era sempre estabelecido o primeiro contato com o comercial do fornecedor, além de discutir as propostas, acompanhar as cotações e redefinir premissas.

As reuniões no fornecedor e na empresa X serviam para estabelecer um compromisso maior entre as duas partes fortalecendo principalmente o relacionamento. Dessas reuniões, uma lista de ações e os próximos passos sempre eram resultantes.

Então, via e-mail, eram sempre registradas basicamente minutas e ATA's de reuniões, enfatizando prazos para registro e os tópicos breves discutidos.

3.4.3 Receber cotações e processamento dos dados

Receberam-se as cotações e suas revisões de cada fornecedor durante um período de quatro meses, no qual em cada entrega analisavam-se criticamente em uma planilha todos os fornecedores com seus custos explodidos. Em seguida, era dentro de uma semana, concedido um *feedback* ao fornecedor positivo ou negativo de sua competitividade. Caso negativo, este submetia outra oferta até chegar ao seu melhor preço limite.

3.5 APURAÇÃO DOS DADOS

Através dos orçamentos submetidos construiu-se um banco de dados onde foram explodidos os detalhes de custo de cada cotação conforme Tabela 15 em 28 linhas. Foram separados os fornecedores, linha 1 (1), e respectivas potências instaladas em W_p (2). Nisto os módulos e inversores foram especificados a partir da linha 4 (4), respectivamente, a quantidade (5 e 10), marca (7 e 11), área de ocupação dos módulos em m^2 (6) e potência (8 e 12). O custo de cada módulo e inversor é mostrado, respectivamente, nas linhas 9 e 13, onde dividiu-se o custo total de cada equipamento (17 e 18) pela quantidade dos mesmo (5 e 10). A taxa de utilização (14) é a relação entre potência instalada de módulos e à quantidade de potência total do inversor.

Com isso, para estruturação do custo tomaram-se como base três categorias principais: inversores, módulos e instalação. Na categoria instalação (18) estão inclusos os cabos (20), conectores (22), suporte (24), medidor bidirecional, proteção, etc. Com base nisto, o valor total (28) é dividido pela potência instalada (2) para obter a taxa de cada sistema em $R\$/W_p$ (3).

1 Fornecedor	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
2 Pot. Instal. [Wp]	960,00	1.000,00	1.200,00	960,00
3 R\$/Wp	16,15	14,90	12,83	21,35
4 Especificações:				
5 Módulo	4	4	4	4
6 Área	Área A	Área B	Área C	Área D
7 Marca	Módulo A	Módulo B	Módulo C	Módulo D
8 Potência (W)	240	250	300	240
9 R\$ (incl. tax)	1.250,00	950,00	975,00	1.375,00
10 Inversor	1	1	1	1
11 Marca	Inver A	Inver B	Inver C	Inver D
12 Potência (W)	1.500	1.000,00	1.200,00	2.000,00
13 R\$ (incl. tax)	4.500,00	4.000,00	3.500,00	5.000,00
14 Taxa de Utiliz.	64%	100%	100%	48%
15 Composição				
16 Inversor	4.500,00	4.000,00	3.500,00	5.000,00
17 Módulo	5.000,00	3.800,00	3.900,00	5.500,00
18 Instalação	6.000,00	7.100,00	8.000,00	10.000,00
19 Mão de Obra	2.000,00	3.000,00	2.500,00	5.000,00
20 Cabos	1.000,00	1.300,00	2.000,00	3.000,00
21 Painel interlig. Inv				
22 Conectores	500,00	800,00		
23 Fixadores Módulo				
24 Suporte	1.500,00	2.000,00	3.500,00	2.000,00
25 Eletrocalha				
26 Outros				
27 Projeto Elet.	1.000,00			
28 Total	15.500,00	14.900,00	15.400,00	20.500,00

Tabela 15 – Exemplo apenas ilustrativo da base de dados com custos explodidos para 1-1,2kWp
Fonte: Autoria própria (2014).

A partir da base de dados, isolaram-se cada componente (módulo, inversor e instalação) nos orçamentos de acordo com a potência do sistema. Depois, fez-se uma média aritmética entre os valores encontrados em cada potência do sistema dentre os fornecedores. Com isso, obteve-se uma tabela de preço médio para composição de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em função da potência instalada das cotações de diversos sistemas (Anexo A: Tabela A, B e C). Nas análises, em R\$/Wp, logo se mostrou uma tendência da taxa do custo dos módulos, instalação e inversor decrescer conforme a potência instalada do sistema aumenta.

Assim, montou-se uma planilha dinâmica para cálculo de cenários otimista, intermediário e pessimista para sistemas de 1kWp até 1MWp, sendo que dentre os intervalos selecionados de potência do sistema aplicou-se uma interpolação linear a partir dos valores obtidos em diversas potências cotadas. Para a obtenção dos diferentes cenários (otimista, intermediário e pessimista) foram utilizadas as seguintes considerações (Anexo A: Tabela D):

- Cenário Pessimista: utilizaram-se inversores de potência mais baixa utilizando quando necessário um grande número de inversores para alcançar a potência desejada e considerando o pior valor de custo em R\$/Wp para os módulos;
- Cenário Intermediário: utilizaram-se inversores de maior potência diminuindo assim o número de inversores e considerado o valor intermediário do custo em R\$/Wp para os módulos;
- Cenário otimista: continuou-se a utilizar os inversores de maior potência, porém agora o menor valor do custo em R\$/Wp para os módulos foi utilizado;

Após essas considerações, calculou-se a média entre todos os cenários, obtendo assim a relação em R\$/Wp para cada potência analisada dos módulos, instalação, inversor e sistema completo. Os Gráficos 05 até 08 apresentam a relação final entre o custo do sistema completo, em R\$/Wp, em função das potências instaladas em kWp.

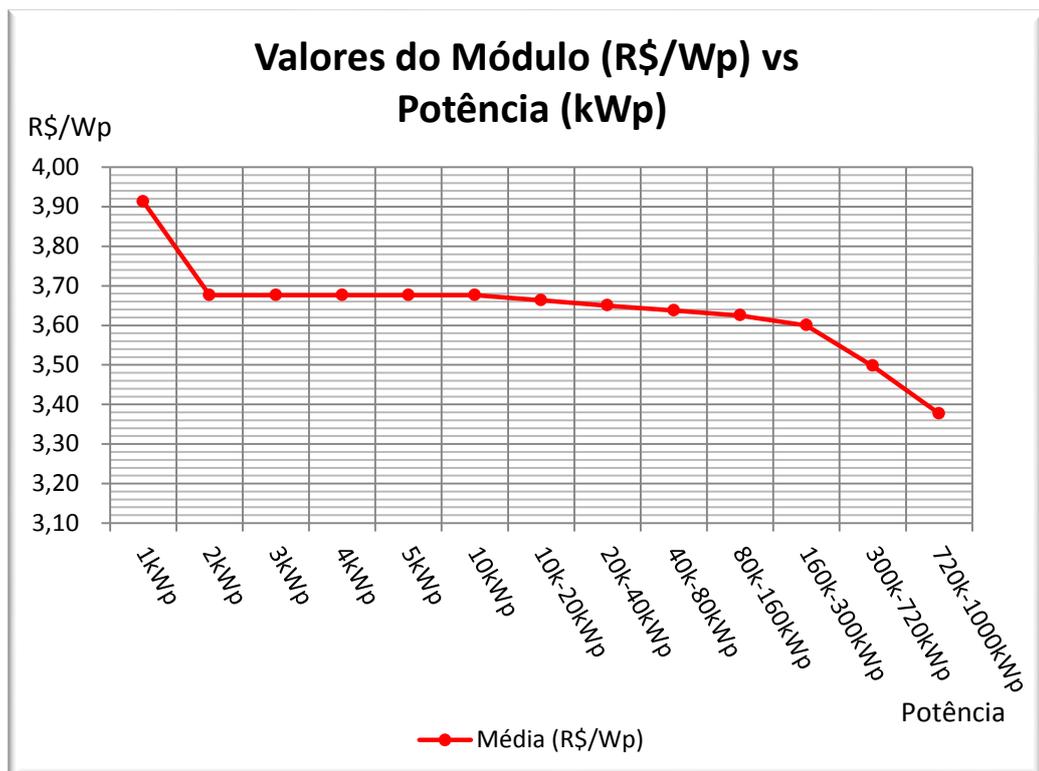


Gráfico 05 – Valores de módulos (R\$/Wp) versus potência do sistema instalado (kWp)
 Fonte: Autoria própria (2014).

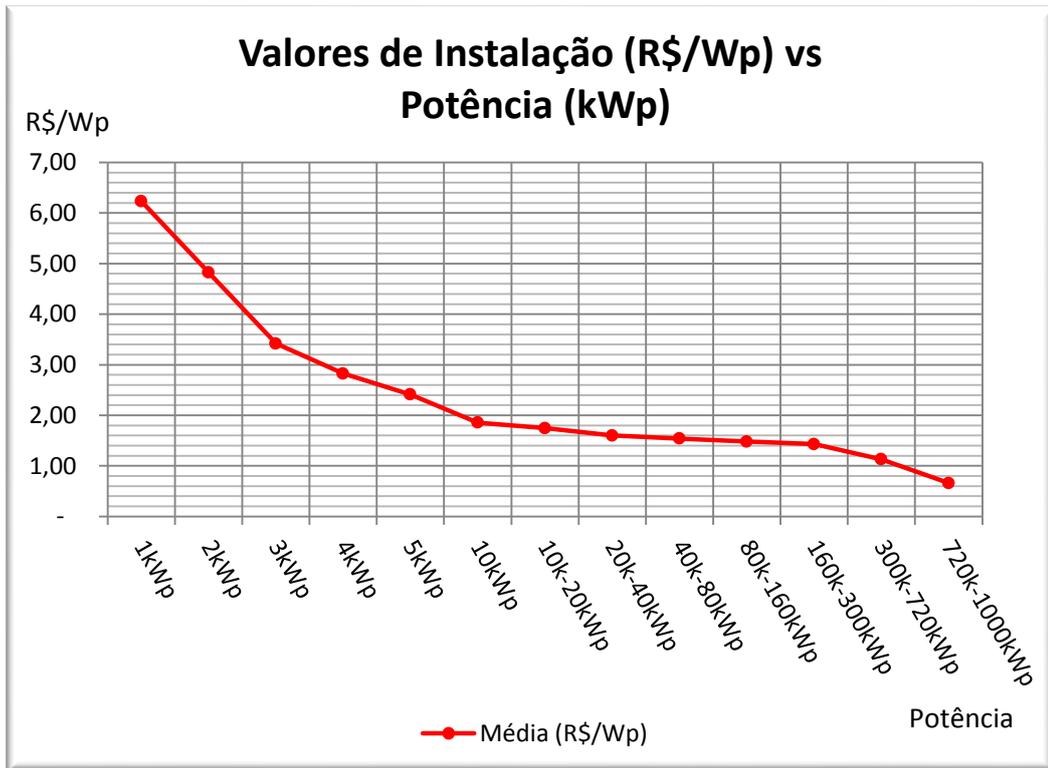


Gráfico 06 – Valores de instalação (R\$/Wp) versus potência do sistema instalado (kWp)
 Fonte: Autoria própria (2014).

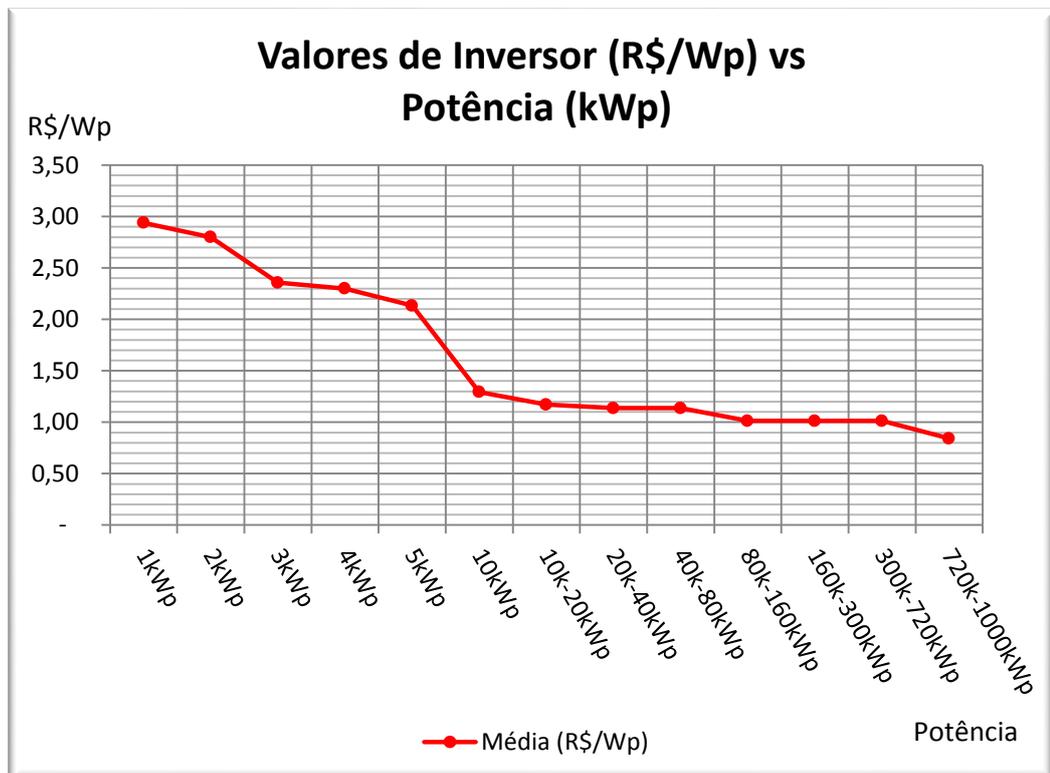


Gráfico 07 – Valores de inversores (R\$/Wp) versus potência do sistema instalado (kWp)
 Fonte: Autoria própria (2014).

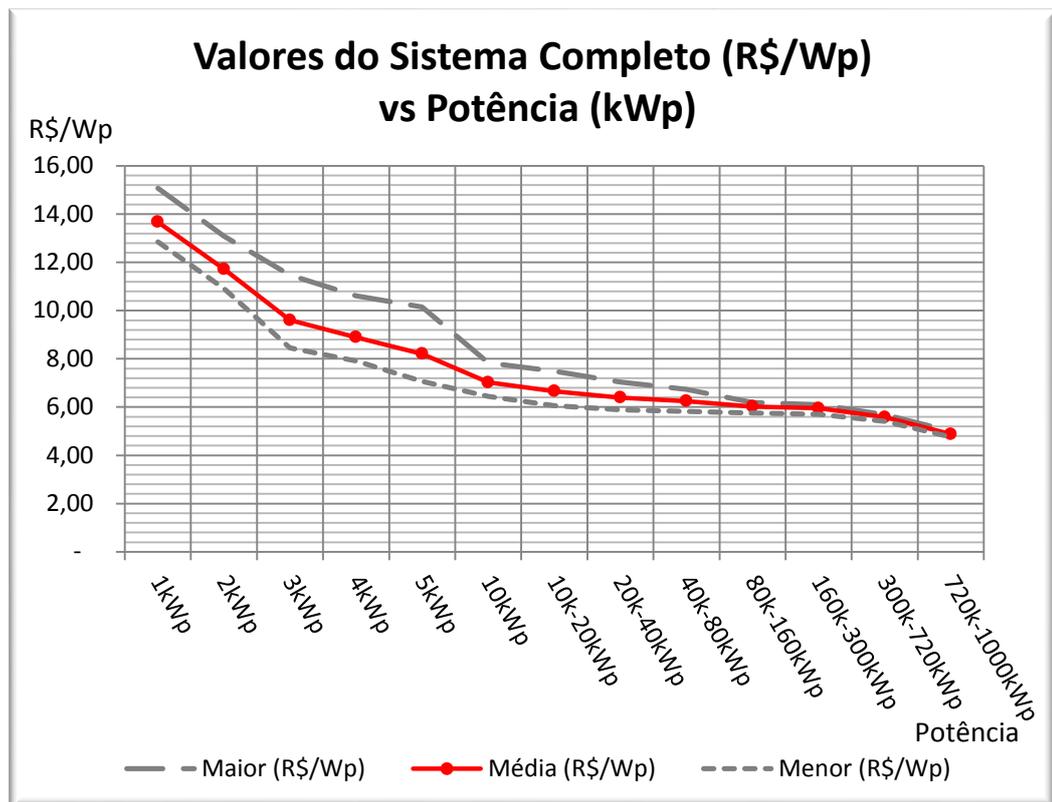


Gráfico 08 – Custos do SFV completo (R\$/Wp) versus Potência (kWp)

Fonte: Autoria própria (2014).

Após o levantamento do custo total de cada sistema de acordo com a potência, analisou-se o impacto que cada elemento possui no custo total do sistema. O Gráfico 09 apresenta a porcentagem que cada componente possui no custo total do SFVCR:

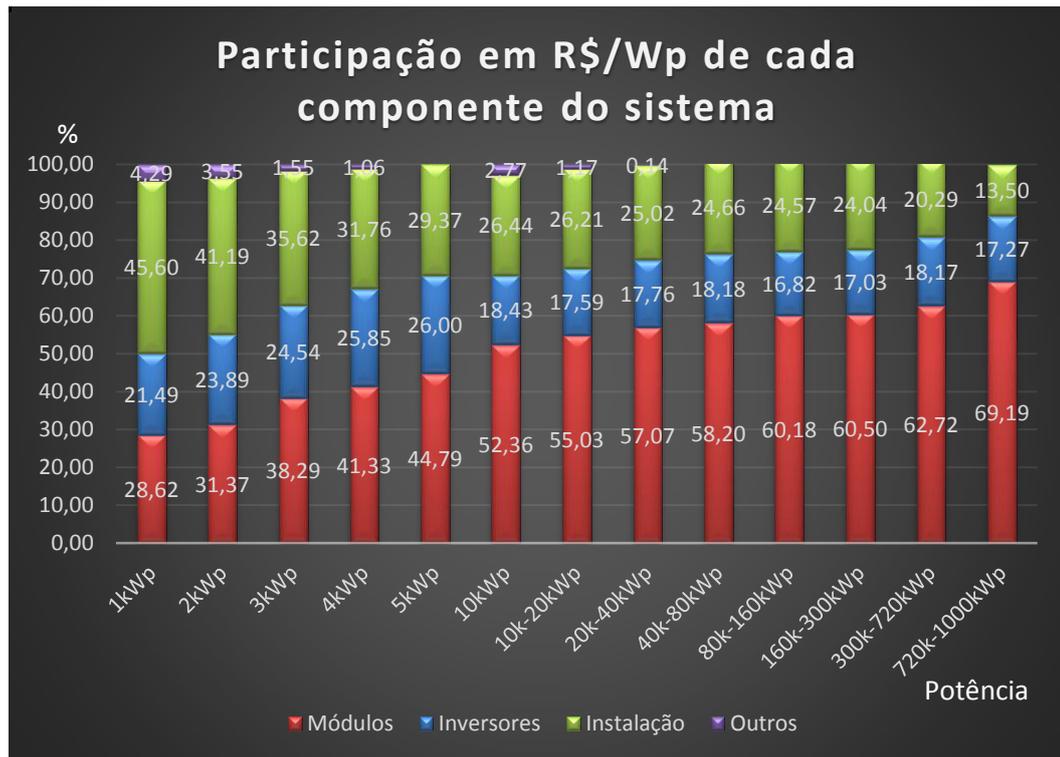


Gráfico 09 – Participação em porcentagem de cada componente do SFV
Fonte: Autoria própria (2014).

Quando foram efetuadas as somas de todas as porcentagens para o sistema total alguns valores e/ou faixas de potência não chegaram a soma de 100%, gerando o item “Outros” que apareceu no Gráfico 09. Isso se deve ao fato de que para efetuar o cálculo dos valores de cada sistema foram utilizadas as médias de cada cenário para o sistema como um todo. Já para efetuar o cálculo da participação de cada componente no custo total utilizou-se a média de cada componente separado.

4 ESTUDO DE VIABILIDADE DE SFVCR

O cálculo da viabilidade do SFVCR partirá de premissas pré-estabelecidas e depois efetivamente se calculará o retorno do investimento ao longo de sua vida útil.

4.1 PREMISSAS

Para o cálculo de viabilidade econômica foram estabelecidas seis principais premissas para simular o retorno do investimento de um SFVCR ao longo de toda a sua vida útil: divisão do mapa do Estado do Paraná por regiões, investimento inicial, operação e manutenção, reposição do inversor, custo de oportunidade e reajuste tarifário.

4.1.1 Divisão do mapa fotovoltaico do Estado do Paraná por regiões e geração de energia

A divisão do mapa fotovoltaico ocorreu de forma alfabética. Foram classificadas cinco regiões de A até F de acordo com a coloração encontrada no mapa fotovoltaico da Figura 23 apresentada no capítulo dois. A Figura 31 mostra a distribuição das letras no mapa.

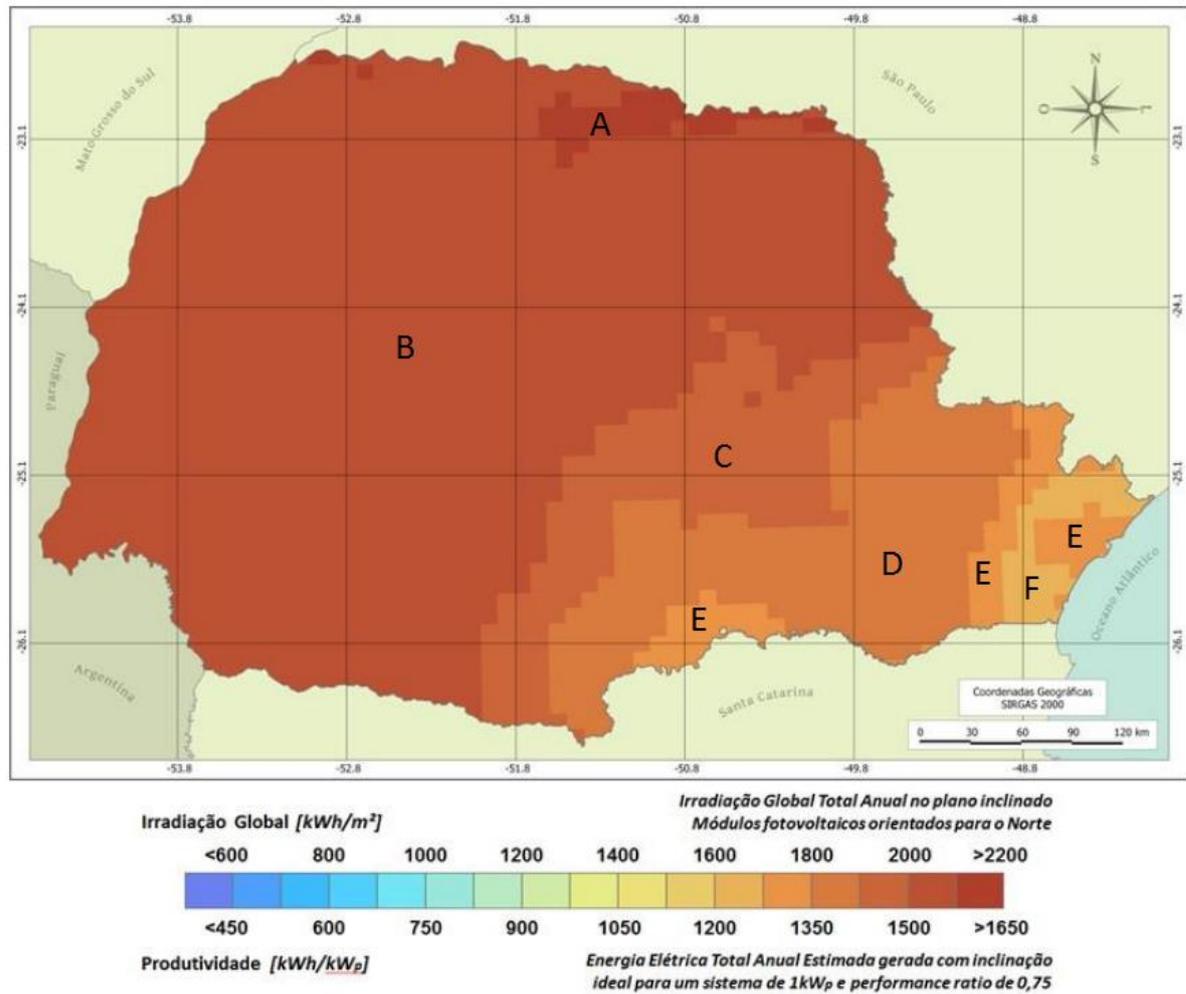


Figura 31 – Divisão do mapa fotovoltaico do Estado do Paraná em regiões de A até F
Fonte: Adaptado de Tiepolo et al (2014, p.4).

Em seguida, parametrizou-se o mapa de acordo com as regiões do Estado. A Tabela 16 apresenta os valores de produtividade total anual apresentado no mapa fotovoltaico do Estado do Paraná conforme a escala de coloração da Figura 31.

Regiões do Estado	Produtividade total anual (kWh/(kW _p x ano))		
	Mín.	Máx.	Média
A	1575	1650	1612,5
B	1500	1575	1537,5
C	1425	1500	1462,5
D	1350	1425	1387,5
E	1275	1350	1312,5
F	1200	1275	1237,5

Tabela 16 – Delimitação das regiões em kWh/(m² x ano) para 1 kW_p
Fonte: Adaptado de Tiepolo et al (2014).

Tendo em vista a produtividade total anual, Tabela 16, e as potências estabelecidas em kWp criou-se a Tabela 17, a qual apresenta a energia elétrica gerada no primeiro ano de utilização de cada sistema. A base de cálculo foi a potência em kWp dos sistemas multiplicada pelos valores médios de produtividade para cada região, delimitados na Tabela 16. A partir de sistemas com potências de 10kWp foi usado a média dos intervalos apresentados, como por exemplo, para o intervalo de 10k-20kWp usou-se o sistema de 15kWp para o cálculo da energia gerada nesse intervalo.

Energia elétrica gerada em cada região (kWh/ano) sem perda na eficiência						
Potência do sistema (kWp)	A	B	C	D	E	F
1kWp	1.612,5	1.537,5	1.462,5	1.387,5	1.312,5	1.237,5
2kWp	3.225,0	3.075,0	2.925,0	2.775,0	2.625,0	2.475,0
3kWp	4.837,5	4.612,5	4.387,5	4.162,5	3.937,5	3.712,5
4kWp	6.450,0	6.150,0	5.850,0	5.550,0	5.250,0	4.950,0
5kWp	8.062,5	7.687,5	7.312,5	6.937,5	6.562,5	6.187,5
10kWp	16.125,0	15.375,0	14.625,0	13.875,0	13.125,0	12.375,0
10k-20kWp	24.187,5	23.062,5	21.937,5	20.812,5	19.687,5	18.562,5
20k-40kWp	48.375,0	46.125,0	43.875,0	41.625,0	39.375,0	37.125,0
40k-80kWp	96.750,0	92.250,0	87.750,0	83.250,0	78.750,0	74.250,0
80k-160kWp	193.500,0	184.500,0	175.500,0	166.500,0	157.500,0	148.500,0
160k-300kWp	370.875,0	353.625,0	336.375,0	319.125,0	301.875,0	284.625,0
300k-720kWp	822.375,0	784.125,0	745.875,0	707.625,0	669.375,0	631.125,0
720k-1000kWp	1.386.750,0	1.322.250,0	1.257.750,0	1.193.250,0	1.128.750,0	1.064.250,0

Tabela 17 – Energia elétrica gerada em cada região por ano sem perda na eficiência
Fonte: Autoria própria (2014).

A partir da Tabela 17 foi construída uma segunda planilha, que se encontra resumida no Anexo B, onde calculou-se a energia gerada com perda de eficiência nos painéis de 0,65% ao ano ao longo de 20 anos, conforme a nota técnica da EPE estipula. A partir do 20º ano considera-se que o rendimento do sistema se estabiliza (EPE 2012, p.30). A Tabela 18 mostra a energia total gerada acumulada ao longo de 30 anos.

kWh acumulados em 30 anos de geração por região com perdas da eficiência						
Potência do sistema (kWp)	A	B	C	D	E	F
1kWp	44.290	42.507	40.433	38.360	36.286	34.213
2kWp	88.580	85.013	80.866	76.719	72.572	68.425
3kWp	132.871	127.520	121.299	115.079	108.858	102.638
4kWp	178.320	170.026	161.732	153.438	145.144	136.850
5kWp	222.900	212.533	202.165	191.798	181.430	171.063
10kWp	445.800	425.065	404.330	383.595	362.861	342.126
10k-20kWp	668.700	637.598	606.495	575.393	544.291	513.188
20k-40kWp	1.337.400	1.275.196	1.212.991	1.150.786	1.088.582	1.026.377
40k-80kWp	2.674.800	2.550.391	2.425.982	2.301.572	2.177.163	2.052.754
80k-160kWp	5.349.601	5.100.782	4.851.964	4.603.145	4.354.326	4.105.508
160k-300kWp	10.253.402	9.776.499	9.299.597	8.822.694	8.345.792	7.868.890
300k-720kWp	22.735.804	21.678.324	20.620.845	19.563.366	18.505.887	17.448.407
720k-1000kWp	38.338.806	36.555.606	34.772.405	32.989.205	31.206.005	29.422.805

Tabela 18 – Energia elétrica gerada acumulada em 30 anos em cada região com perdas de eficiência
Fonte: Autoria própria (2014).

4.1.2 Investimento inicial

Com o levantamento dos custos efetuado no capítulo 3, é possível realizar uma análise do investimento inicial necessário para cada sistema. Com isso, chegou-se nos seguintes valores para o custo médio do investimento inicial de cada sistema, apresentado na Tabela 19:

INVESTIMENTO INICIAL (R\$)	
Potência do sistema (kWp)	Média
1kWp	13.671,35
2kWp	23.437,77
3kWp	28.801,07
4kWp	35.583,28
5kWp	41.037,00
10kWp	70.212,62
10k-20kWp	99.840,68
20k-40kWp	191.860,68
40k-80kWp	374.993,40
80k-160kWp	722.797,06
160k-300kWp	1.368.550,85
300k-720kWp	2.843.874,84
720k-1000kWp	4.196.910,50

Tabela 19 – Custo médio do investimento inicial de cada sistema
Fonte: Autoria própria (2014).

4.1.3 Operação e manutenção

A partir do valor obtido para o custo do investimento inicial de cada sistema é possível estimar quais serão os valores necessários para os gastos com a operação e a manutenção dos mesmos. Para isso, foi considerado o valor de 1% ao ano sobre o valor do investimento inicial (EPE 2012, p.30). Assim, os custos para a operação e manutenção de cada sistema são apresentados na Tabela 20, calculados para uma vida útil de 30 anos:

CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (R\$)	
Potência do sistema (kWp)	Média
1kWp	4.101,41
2kWp	7.031,33
3kWp	8.640,32
4kWp	10.674,99
5kWp	12.311,10
10kWp	21.063,79
10k-20kWp	29.952,21
20k-40kWp	57.558,20
40k-80kWp	112.498,02
80k-160kWp	216.839,12
160k-300kWp	410.565,26
300k-720kWp	853.162,45
720k-1000kWp	1.259.073,15

Tabela 20 – Custo médio da operação e manutenção de cada sistema ao longo de 30 anos
Fonte: Autoria própria (2014).

4.1.4 Reposição do inversor

Os inversores atualmente possuem uma vida útil menor que a dos módulos fotovoltaicos. Com isto se faz necessário um investimento adicional na reposição destes itens. Considerando a vida útil de inversores como sendo de 10 anos (EPE, 2012 p. 30), são estabelecidas duas trocas de inversores adicionais ao longo dos 30 anos de vida útil. É esperado que o custo destes inversores caia no futuro, mas como base considerou-se o mesmo valor do custo inicial. O custo de reposição é apresentado na Tabela 21:

CUSTO DE REPOSIÇÃO DE INVERSORES (R\$)	
Potência do sistema (kWp)	Média
1kWp	5.876,95
2kWp	11.198,19
3kWp	14.136,67
4kWp	18.397,06
5kWp	21.335,54
10kWp	25.876,87
10k-20kWp	35.127,10
20k-40kWp	68.166,89
40k-80kWp	136.333,78
80k-160kWp	243.161,95
160k-300kWp	466.060,39
300k-720kWp	1.033.438,27
720k-1000kWp	1.449.263,10

Tabela 21 – Custo médio de reposição de inversores
Fonte: Autoria própria (2014).

4.1.5 Custo de oportunidade

O custo de oportunidade se define pela perda que o investidor tem se ao invés de investir em um SFVCR, colocasse o recurso utilizado como investimento inicial, por exemplo, em uma instituição financeira com rendimentos mínimos. A base escolhida foi a poupança com rendimento de 0,5% ao mês durante 30 anos. Com isso, foram obtidos os seguintes valores apresentados na Tabela 22:

CUSTO DE OPORTUNIDADE (R\$)	
Potência do sistema (kWp)	Média
1kWp	68.665,41
2kWp	117.717,95
3kWp	144.655,54
4kWp	178.719,72
5kWp	206.111,41
10kWp	352.648,15
10k-20kWp	501.457,35
20k-40kWp	963.634,70
40k-80kWp	1.883.432,55
80k-160kWp	3.630.302,59
160k-300kWp	6.873.649,58
300k-720kWp	14.283.575,30
720k-1000kWp	21.079.298,65

Tabela 22 – Custo de oportunidade
Fonte: Autoria própria (2014).

4.1.6 Tarifa e reajuste tarifário

Utilizou-se a tarifa atual praticada pela Companhia Paranaense de Energia, Copel, pois ela gera, transmite e distribui energia elétrica para praticamente todo o Estado. Considerou-se num primeiro instante a tarifa para um consumidor convencional B1 (fornecimento de tensão inferior a 2,3 kV), R\$/kWh 0,4908 (com impostos: ICMS e PIS/COFINS) e depois a tarifa para um consumidor industrial A1, R\$/kWh 0,28505 (com impostos: ICMS e PIS/COFINS), que é apenas para fornecimento de tensão superior a 230 kV porém possui o menor valor de tarifa para consumidores da área industrial fazendo com que o retorno do investimento apresentado para esta tarifa seja o máximo que um consumidor da área industrial irá encontrar. Para ambas as tarifas foi considerado um reajuste conservador de aumento de 8,5% ao ano. O reajuste tarifário é uma prática comum todo ano, no qual se observa a tarifa aumentar devido à infraestrutura energética necessitar de mais investimentos que não estão acompanhando o crescimento da demanda pela energia.

4.2 CÁLCULO DE RETORNO DE INVESTIMENTO

4.2.1 Custo total ao longo de 30 anos

Após a análise de todos os custos apresentados nas seções anteriores, pode-se chegar ao custo total dos sistemas fotovoltaicos ao longo de 30 anos, o qual se caracteriza pela soma dos valores do custo do investimento inicial, do custo de operação e manutenção do sistema, do custo da reposição dos inversores e do custo de oportunidade, chegando-se aos seguintes valores de custo médio total para cada sistema, apresentados na Tabela 23:

CUSTO TOTAL AO LONGO DE 30 ANOS (R\$)	
Potência do sistema (kWp)	Média
1kWp	92.315,12
2kWp	159.385,24
3kWp	196.233,60
4kWp	243.375,05
5kWp	280.795,04
10kWp	469.801,42
10k-20kWp	666.377,33
20k-40kWp	1.281.220,47
40k-80kWp	2.507.257,75
80k-160kWp	4.813.100,71
160k-300kWp	9.118.826,08
300k-720kWp	19.014.050,86
720k-1000kWp	27.984.545,40

Tabela 23 – Custo médio total ao longo de 30 anos acumulado
Fonte: Autoria própria (2014).

4.2.2 Economia ao longo de 30 anos

A economia obtida ao longo de 30 anos calcula-se a partir do custo evitado, ou seja, da soma da conta de luz que se deixou de pagar ao longo de cada ano por ter o SFV instalado. Para isso levou-se em consideração que toda a energia gerada nos sistemas FVs é consumida pelo consumidor. A base das contas partiu-se das tarifas atuais praticadas pela Copel. Fora

isto, também se considerou o reinvestimento deste custo evitado como custo de oportunidade, ou seja, pegar a quantia economizada em cada ano por não ter que pagar a energia gerada pelo SFV para a concessionária e aplicar essa quantia na poupança com rendimento de 0,5% ao mês. Os cálculos podem ser vistos resumidamente nos Anexos C e D para a tarifa B1 e nos Anexos E e F para a tarifa A1. As Tabela 24 e 25 mostram os resultados do custo evitado total acumulado ao longo dos 30 anos, reinvestido como custo de oportunidade, para cada tarifa utilizada.

Custo Evitado reinvestido (R\$)	Região					
	A	B	C	D	E	F
1kWp	170.697,36	163.822,80	155.831,44	147.840,09	139.848,73	131.857,38
2kWp	341.394,73	327.645,60	311.662,89	295.680,18	279.697,46	263.714,75
3kWp	512.092,09	491.468,40	467.494,33	443.520,26	419.546,20	395.572,13
4kWp	687.256,63	655.291,20	623.325,78	591.360,35	559.394,93	527.429,50
5kWp	859.070,78	819.114,00	779.157,22	739.200,44	699.243,66	659.286,88
10kWp	1.718.141,57	1.638.228,01	1.558.314,44	1.478.400,88	1.398.487,32	1.318.573,76
10k-20kWp	2.577.212,35	2.457.342,01	2.337.471,67	2.217.601,32	2.097.730,98	1.977.860,64
20k-40kWp	5.154.424,70	4.914.684,02	4.674.943,33	4.435.202,65	4.195.461,97	3.955.721,28
40k-80kWp	10.308.849,40	9.829.368,03	9.349.886,67	8.870.405,30	8.390.923,93	7.911.442,56
80k-160kWp	20.617.698,80	19.658.736,07	18.699.773,33	17.740.810,60	16.781.847,86	15.822.885,13
160k-300kWp	39.517.256,04	37.679.244,13	35.841.232,22	34.003.220,31	32.165.208,40	30.327.196,50
300k-720kWp	87.625.219,91	83.549.628,29	79.474.036,67	75.398.445,04	71.322.853,42	67.247.261,79
720k-1000kWp	147.760.174,76	140.887.608,49	134.015.042,22	127.142.475,95	120.269.909,69	113.397.343,42

Tabela 24 – Custo evitado acumulado em 30 anos, reinvestido como custo de oportunidade - Tarifa B1
Fonte: Autoria própria (2014).

Custo Evitado reinvestido (R\$)	Região					
	A	B	C	D	E	F
1kWp	99.142,76	95.149,94	90.508,48	85.867,02	81.225,56	76.584,10
2kWp	198.285,52	190.299,89	181.016,97	171.734,04	162.451,12	153.168,20
3kWp	297.428,28	285.449,83	271.525,45	257.601,07	243.676,68	229.752,30
4kWp	399.165,62	380.599,77	362.033,93	343.468,09	324.902,25	306.336,40
5kWp	498.957,02	475.749,72	452.542,41	429.335,11	406.127,81	382.920,50
10kWp	997.914,04	951.499,44	905.084,83	858.670,22	812.255,62	765.841,01
10k-20kWp	1.496.871,06	1.427.249,15	1.357.627,24	1.288.005,33	1.218.383,42	1.148.761,51
20k-40kWp	2.993.742,13	2.854.498,31	2.715.254,49	2.576.010,67	2.436.766,85	2.297.523,03
40k-80kWp	5.987.484,25	5.708.996,61	5.430.508,97	5.152.021,33	4.873.533,69	4.595.046,06
80k-160kWp	11.974.968,51	11.417.993,23	10.861.017,95	10.304.042,67	9.747.067,39	9.190.092,11
160k-300kWp	22.952.022,97	21.884.487,02	20.816.951,07	19.749.415,12	18.681.879,16	17.614.343,21
300k-720kWp	50.893.616,16	48.526.471,22	46.159.326,28	43.792.181,34	41.425.036,41	39.057.891,47
720k-1000kWp	85.820.607,63	81.828.951,47	77.837.295,30	73.845.639,13	69.853.982,96	65.862.326,79

Tabela 25 – Custo evitado acumulado em 30 anos, reinvestido como custo de oportunidade - Tarifa A1
Fonte: Autoria própria (2014).

4.2.3 Análise da viabilidade de um SFVCR nas regiões do Estado do Paraná

A análise da viabilidade foi feita com base no valor total investido ao longo de toda vida útil dos sistemas da Tabela 23 em relação a sua economia gerada das Tabelas 24 e 25.

Com isto, obteve-se uma relação de anos para se pagar o custo de investimento total utilizado para cada sistema ao longo de sua vida útil com as diferentes tarifas utilizadas.

A Figura 32 mostra a relação de cores padronizadas nas Tabelas 26 e 27. Foi utilizada uma escala de intervalos de anos para que o custo total da instalação seja retornável. Os valores entre 25 e 30 anos estão indicados na cor laranja mostrando que os respectivos SFVCR se pagariam quase no final de sua vida útil. Já os valores acima de 30 anos estão indicados na cor vermelha mostrando que os respectivos sistemas não se pagariam.



Figura 32 – Escala de cores para anos de retorno
Fonte: Autoria própria (2014).

Média	Região					
	A	B	C	D	E	F
1kWp	25	25	26	26	27	27
2kWp	23	24	24	25	25	26
3kWp	22	22	22	23	23	24
4kWp	21	21	22	22	23	23
5kWp	20	21	21	22	22	23
10kWp	19	19	20	20	21	21
10k-20kWp	18	19	19	20	20	21
20k-40kWp	18	18	19	19	20	20
40k-80kWp	18	18	19	19	20	20
80k-160kWp	18	18	18	19	19	20
160k-300kWp	17	18	18	19	19	20
300k-720kWp	17	17	18	18	19	19
720k-1000kWp	16	16	17	17	18	18

Tabela 26 – Anos para o retorno do investimento – Média dos cenários e tarifa B1
Fonte: Autoria própria (2014).

Média	Região					
	A	B	C	D	E	F
1kWp	30	30	31	31	31	31
2kWp	28	29	29	30	30	31
3kWp	27	27	27	28	28	29
4kWp	26	26	27	27	28	28
5kWp	25	26	26	26	27	28
10kWp	24	24	24	25	25	26
10k-20kWp	23	23	24	24	25	25
20k-40kWp	23	23	24	24	24	25
40k-80kWp	22	23	23	24	24	25
80k-160kWp	22	23	23	23	24	24
160k-300kWp	22	22	23	23	24	24
300k-720kWp	21	22	22	23	23	24
720k-1000kWp	20	21	21	22	22	23

Tabela 27 – Anos para o retorno do investimento – Média dos cenários e tarifa A1
Fonte: Autoria própria (2014).

Apurando os dados observou-se que um mesmo sistema dependendo de sua região tem tempo de retorno diferente, o que era esperado devido a diferença na sua produtividade anual observada no mapa da Figura 31 e na Tabela 16. Isto é claramente notado na Tabela 26, que mostra as regiões C, D, E e F para sistemas de 1kWp em laranja e para as demais regiões em amarelo.

Já na mesma tabela, o sistema mais atrativo é o sistema de 720k-1000kWp que apresenta um retorno de apenas 16 anos. Isto mostra que conforme maior a potência do sistema, pode-se ter um retorno mais rápido do valor total investido, o que também é evidenciado na Tabela 27.

5 CONCLUSÃO

A matriz energética brasileira sofre inúmeros desafios para suprir a demanda das futuras projeções de energia elétrica. Com isso, as fontes renováveis de energia devem se tornar cada vez mais comuns para complementar a geração de energia elétrica. Neste cenário, o sistema fotovoltaico torna-se uma fonte potencial.

Analisando os resultados pode-se verificar que o custo por potência instalada (R\$/Wp) de cada componente dos sistemas apresentados diminui conforme aumenta-se a potência, o que faz com que o custo total dos sistemas siga a mesma tendência. Esse decréscimo é mais acentuado para potências de até 10 kW, sendo que para as potências a partir disto o custo por potência instalada diminui em uma proporção menor.

Na maioria dos casos observados a maior parcela do custo total dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede são os módulos, principalmente conforme se aumenta a potência dos sistemas, chegando a 69% do custo total para potências entre 720 kW a 1 MW.

Tendo em vista o aumento das tarifas de energia elétrica para os próximos anos e utilizando como base a tarifa de energia elétrica para um consumidor convencional apresentada no trabalho (B1), observou-se que a instalação dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede apresenta-se economicamente viável em todo o Estado do Paraná. Conforme pode-se observar na Tabela 26, em todos os sistemas apresentados no trabalho e em todas as diferentes regiões do Estado, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede apresentaram um tempo para o retorno sobre o investimento menor que o tempo total de sua vida útil.

Já considerando a tarifa para um consumidor industrial apresentada no trabalho (A1), apenas os sistemas de menor potência não foram considerados economicamente viáveis e mesmo esses somente nas regiões de pior irradiação. Todos os sistemas a partir de 3 kWp apresentaram tempo para o retorno sobre o investimento menor que sua vida útil, conforme mostra a Tabela 27, fazendo com que a grande maioria dos sistemas apresentados sejam viáveis mesmo quando utilizada a tarifa industrial considerada.

Os menores tempos de retorno do investimento de cada sistema foram encontrados nos sistemas com maior potência, que apesar de possuírem um maior custo para o investimento inicial, apresentam um menor valor do custo em R\$/Wp. Conseqüentemente o custo da energia elétrica será menor e quando comparado com a tarifa de energia elétrica da

concessionária resultará em um maior custo evitado ao longo da vida útil do sistema, o que impacta diretamente em um menor tempo para o retorno do investimento.

Outro fator importante é a região do Estado onde o sistema será instalado. Como existe diferença de irradiação solar em cada região, um mesmo sistema pode gerar 30% a mais de energia elétrica em um ano na região A se comparada com a energia gerada na região F. Já para sistemas instalados na região B, que é a região com maior área no Estado, é possível gerar 24% a mais que a região F. Se compararmos a melhor região do Estado em termos de irradiação com a melhor região da Alemanha, que é o país com maior potência instalada em SFV do mundo, a diferença de energia elétrica gerada em um ano pode chegar a 48% a mais no Estado do Paraná do que a energia gerada na Alemanha. Ainda se compararmos a pior região do Estado do Paraná com a melhor região da Alemanha, pode-se verificar que a energia gerada em um ano no Estado do Paraná será de aproximadamente 14% a mais que a gerada na Alemanha.

Assim como a produção de energia elétrica varia em cada região, o tempo de retorno do investimento também se modifica. De acordo com a Tabela 26, sistemas instalados na região A podem chegar a ter um tempo de retorno do investimento até 15% menor que os mesmos sistemas instalados na região F.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, Odilon A. Camargo do; BROWER, Michael; ZACK John; SÁ, Antonio Leite de. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2014

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>>. Acesso em: 13 nov. 2013

_____. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2014

_____. **Matriz de Energia Elétrica**. 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/operacaocapacidadebrasil.asp>. Acesso em: 08 jan. 2014.

_____. **Resolução normativa n. 482**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 01 jan. 2014

_____. **Resolução normativa n. 493**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>>. Acesso em: 01 jan. 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NRB 11074-2011: Sistema Fotovoltaico – Classificação**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **Catálogo de normas**. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 01 fev. 2014.

BERMUDEZ, R. **Mapa de Empresas do Setor Fotovoltaico**. América do Sol. Florianópolis, 2013. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/fornecedores/>>. Acesso em: 15 out. 2013.

BEZUTTI, Natália. Eólica foi a primeira fonte da matriz espanhola de 2013. **Jornal da Energia**. São Paulo. 15 jan. 2014. Disponível em: <http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=15836&id_secao=9>. Acesso em: 09 jan. 2014.

_____. Jinko Solar vê demanda real de 300 MW no Brasil. **Jornal da Energia**. São Paulo. 06 jan. 2014. Disponível em: <http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=15763&id_secao=8> . Acesso em: 09 jan. 2014.

BMU – BUNDESMINISTERIUM FUER UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT. **Erneuerbare Energien in Deutschland Rückblick und Stand des Innovationsgeschehens**. Relatório final. Berlin, 2009a.

_____. **Innovation durch Forschung**. Relatório anual. Berlin, 2009b.

BRASIL. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Ministério de Minas e Energia - MME. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/menu/pde2022.html>>. Acesso em: 24 out. 2013.

BRASIL é o 14º país mais atrativo para energia renovável. **Jornal da energia**. São Paulo. 08 jan. 2014. Disponível em: <http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=15788&id_secao=2>. Acesso em: 09 jan. 2014.

BSW-Solar. BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT e.V.. **Entwicklung des deutschen PV-Marktes**: Auswertung und grafische Darstellung der Meldedaten der Bundesnetzagentur nach § 16 (2) EEG 2009. Berlin, 2013a. Disponível em: <http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/Grafiken/pdf/BNetz_Jan_bis_Sep_2013_kurz.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2013.

_____. **Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik)**. Berlin, 2013b. Disponível em: <http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/2013_2_BSW_Solar_Faktenblatt_Photo voltaik.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2013.

_____. BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT e.V.. **Solarstrom-Anlagen seit 2006 rund 66 % günstiger**. Berlin, 2013c. Disponível em: <http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/Grafiken/pdf/BSW_Preisindex_1304.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2013.

CEMIG. **Tecnologia de Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/ptbr/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Paginas/tecnologia_de_geracao_distribuida.aspx> Acesso em: 09 jan. 2014.

CEM Brasil. **Produtos e serviços.** Disponível em: <http://www.csembrasil.com.br/p/produtos_servicos>. Acesso em: 09 jan. 2014.

CHAIM, Omar Cheidde. **Análise de custo de fontes alternativas de energia.** 2011. 71 f. TCC (Graduação em Engenharia elétrica com ênfase em sistemas de energia e automação). Escola de engenharia elétrica de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-29032012-095846/>>. Acesso em: 29 out. 2013

CHINA constrói maior parque solar do mundo. **Ciclo Vivo.** São Paulo. 06 jan. 2014. Disponível em: <<http://ciclovivo.com.br/noticia/china-constroi-maior-parque-solar-do-mundo>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

COSTA, C. do V. **Políticas de Promoção de Fontes Novas e Renováveis para Geração de Energia Elétrica:** lições da experiência europeia para o caso brasileiro. 2006. 249 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

CSEM dá início a produção piloto de painéis solares orgânicos. Os painéis solares orgânicos consomem 20 vezes menos energia do que a tecnologia tradicional. **Associação de profissionais da Copel.** Curitiba. 15 jan. 2014. Disponível em: http://www.apccopel.org.br/?loc=107¬icia=2031#pt_not. Acesso em: 17 jan. 2014.

ELETOBRAS ELETRONUCLEAR. **O acidente nuclear na Central de Fukushima Daiichi.** Disponível em:

<<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Perguntasfrequentes/TemasgeraisoacidentenaCentraldeFukushima.aspx>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica EPE:** Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em: 26 set. 2013.

_____. **Balanco Energético Nacional 2013:** Ano base 2012. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf> Acesso em: 31 set. 2013.

_____. **Balanco Energético Nacional 2014:** Ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese2014.aspx>> Acesso em: 31 jul. 2014

ENERGIA através do Sol. **Reenergy Brasil: Somos a terra do Sol**, Fortaleza, n.2, p.45, outubro 2010. Disponível em: <<http://issuu.com/reenergy/docs/reenergy02>>. Acesso em: 13 set. 2013.

ENGENHARIA DO FUTURO. **Hidrelétrica Três gargantas**. Disponível em: <<http://engdofuturo.com.br/tresgargantas/>>. Acesso em: 16 jan. 2014

EÓLICA TECNOLOGIA. **Centrais eólicas**. Disponível em: <<http://www.eolica.com.br/home/pt/index.php>>. Acesso em: 12 jan. 2014

EPIA. EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. **Global Market Outlook: For Photovoltaics 2013-2017**. Brussels, 2013. Disponível em: <<http://www.epia.org/news/publications/>>. Acesso em: 11 out. 2013.

_____. **Global Market Outlook: For Photovoltaics 2014-2018**. Brussels, 2014. Disponível em: <<http://www.epia.org/news/publications/>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

EUROPEAN COMMISSION. **Global irradiation and solar electricity potential: Germany**. Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport. Disponível em: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_DE.png>. Acesso em: 12 jan. 2014.

EWEA. **The European offshore wind industry – key trends and statistics 2012**. European Wind Energy Association, 2013. Disponível em: <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/European_offshore_statistics_2012.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2014

FELIX, Gabriel. São Paulo ganha parque sustentável que vai gerar energia solar. **Ciclo Vivo**. São Paulo. 27 dez. 2013. Disponível em: <<http://ciclovivo.com.br/noticia/sao-paulo-ganha-parque-sustentavel-que-vai-gerar-energia-solar>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

FOEDERAL ERNEURBAR. **Installierte Leistung Photovoltaik**. Disponível em: <http://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/D/kategorie/solar/auswahl/183-installierte_leistun/sicht/diagramm/#goto_183>. Acesso em: 24 nov. 2013.

GIGANTES DO MUNDO. **As 10 maiores usinas nucleares do mundo**. Disponível em: <<http://gigantesdomundo.blogspot.com.br/2013/06/As-10-maiores-usinas-nucleares-do-mundo.html>>. Acesso em: 18 jan. 2014

GOETZBERGER, Adolf; HOFFMAN, Wirt V. U. **Photovoltaic Solar Energy Generation**. Freiburg: Springer, 2005.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos avançados 21 (59). São Paulo, 2006.

GOLDEMBERG, José. **Energia e Desenvolvimento Sustentável**. Blucher. 2010.

HACKER. **Turbinas hidráulicas**. Disponível em:
<http://www.hacker.ind.br/produtos_turbinas_francis_turbinas.php>. Acesso em: 16 jan. 2014

INEE. **GD e Cogeração**. Disponível em: < http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em: 12 jan. 2014.

INVESTIMENTO global em energia limpa cai 12% em 2013. **Jonal da Energia**. São Paulo. 16 jan. 2014. Disponível em: < <http://ciclovivo.com.br/noticia/renovaveis-fazem-portugal-economizar-850-milhoes-de-euros>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

IRENA. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Power Generation Cost in 2012: An Overview**. Bonn, 2013. Disponível em:
<http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Overview_Renewable%20Power%20Generation%20Costs%20in%202012.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2014

ITAIPU BINACIONAL. **Geração**. Disponível em:
<<http://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>. Acesso em: 16 jan. 2014

KROMA entra em geração com leilão solar de Pernambuco. Empresa negociou planta de 29,25 MWp cujo investimento está estimado inicialmente em R\$ 150 milhões. **Associação de Profissionais da Copel**. Curitiba. 09 jan. 2014. Disponível em: < http://www.apccopel.org.br/?loc=107¬icia=1999#pt_not>. Acesso em: 09 jan. 2014.

MARCIEL, Adriana. Copa 2014: Estádio nacional de Brasília terá instalação de usina solar. **Jornal da Energia**. São Paulo. 09 jan. 2014. Disponível em: < http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=15794&id_secao=8>. Acesso em 09 jan. 2014.

MASILI, Gustavo Santos; ESTEVES, Rodrigo José Gomes Alay. **Usina Nuclear**. Unicamp. Disponível em: < <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/nuclear/nuclear.htm>>. Acesso em: 18 jan. 2014

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas.** Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos. Brasília, 2009.

NEOSOLAR Energia. **Loja.** Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/loja/conector-tipo-mc4-par.html>>. Acesso em: 16 jan. 2014

PAMPLONA, Nicola. Eletrosul aposta em energia solar. **Economia IG.** São Paulo. 06 jan. 2014. Disponível em: < <http://economia.ig.com.br/empresas/2014-01-06/eletrosul-aposta-em-energia-solar.html>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

PEDUZZI, Pedro. Esgotamento do potencial hidrelétrico mudará prioridade para geração de energia. **Ecofinanças.** São Paulo. 07 nov. 2013. Disponível em: < <http://www.ecofinancas.com/noticias/esgotamento-potencial-hidreletrico-mudara-prioridades-para-geracao-energia>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 1ª Edição. São José dos Campos, 2006.

PEREIRA, Raquel da Silva. Energia e Desenvolvimento Sustentável. **Gestão \$ Regionalidade,** São Caetano do Sul, v. 27, n. 79, p. 124-126, jan-abr. 2011. Disponível em <http://seer.uscs.edu.br/index.php/revista_gestao/article/viewFile/1191/920>, Acesso em: 09 jan, 2014.

PLANO de Expansão de Energia. **Renergy Brasil: O futuro da nossa matriz energética,** Fortaleza, n.14, p.45, outubro 2010. Disponível em: <http://issuu.com/renergy/docs/renergy__14>. Acesso em: 14 set. 2013.

POMILIO, J. A. **Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica, Cap.1: ENERGIA ELÉTRICA E FONTES RENOVÁVEIS.** Unicamp, 2012. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/CAP1.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2013

PROJETO “A CARTA DO SOL”. **Relatório Técnico.** Rio de Janeiro: agosto. 2011. Disponível em: <<http://www.lima.coppe.ufrj.br/includes/pages/projetos/cartadosol/Relatorio%20Tecnico%20para%20a%20Carta%20do%20Sol.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2014.

RENOVÁVEIS fazem Portugal economizar 850 milhões de euros. **Ciclo vida**. São Paulo. 14 jan. 2014. Disponível em: <<http://ciclovivo.com.br/noticia/renovaveis-fazem-portugal-economizar-850-milhoes-de-euros>>. Acesso em: 11 jan. 2014

REN21. **RENEWABLES**: global futures report 2013. Paris, 2013. Disponível em: <http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gfr/REN21_GFR_2013.pdf> Acesso em: 04 set. 2013.

_____. **RENEWABLES 2014**: global status report. Paris, 2014. Disponível em: <<http://www.ren21.net/Portals/0/documents/e-paper/GSR2014/index.html>> Acesso em: 02 ago. 2014

RESENDE, Thales Jandrey. **Fontes alternativas de energia**. PET metrologia e automação, 2013. Disponível em: <<http://www.petma.ufsc.br/v3/wp-content/uploads/2013/04/Fontes-Alternativas-de-Energia.pdf>> Acesso em: 29 out. 2013

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública no Brasil. 1 ed. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004.

TIEPOLO, G. M.; URBANETZ JR, J.; CANGIOLIERI JR, O. **A Solar Photovoltaic Electricity Insert Source in the State of Paraná/Brazil**: An Analysis of Productive Potential. 22nd International Conference on Production Research. Foz do Iguaçu, 2013.

TIEPOLO, G. M.; CANGIOLIERI JR, O.; URBANETZ JR, J.; VIANA, T. PEREIRA, E. B. **Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no Estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha**. V Congresso Brasileiro de Energia Solar. Recife, 2014.

UM FUTURO COM ENERGIA SUSTENTÁVEL: ILUMINANDO O CAMINHO. São Paulo: FAPESP, 2010. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2014

URBANETZ, Jair Junior. **Sistemas fotovoltaicos conectados a rede de distribuição urbanas: Sua influência da qualidade de energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

USP. **Energia hidráulica**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Romanelli/leb244/Textos_Fonte_de_Potencia/Energia%20Hidraulica.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2014

WORLD ENERGY OUTLOOK. **International Energy Agency**, Paris: Capítulo 7, noviembre. 2012.

ANEXO A

Tabela A - Inversores

kWp	kW				
	1	3	5	10	20
1,47	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	-	-
3,18	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	-	-
5,05	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	R\$12590,55	-
10,10	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	R\$12590,55	R\$20263,50
20,05	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	R\$12590,55	R\$20263,50
40,26	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	R\$12590,55	R\$20263,50
80,05	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	R\$12590,55	R\$20263,50
160,10	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	R\$12590,55	R\$20263,50
301,20	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	R\$12590,55	R\$20263,50
726,00	R\$2938,48	R\$5321,24	R\$6643,16	R\$12590,55	R\$16851,90

Tabela B - Módulos

kWp	Wp		
	240Wp	250Wp	300Wp
1,47	R\$1181,45	R\$919,06	R\$978,15
3,18	R\$1141,53	R\$919,06	R\$977,90
5,05	R\$1106,25	R\$919,06	R\$977,90
10,10	R\$996,77	R\$912,50	R\$977,90
20,05	R\$996,77	R\$912,50	R\$977,90
40,26	R\$887,41	R\$906,25	R\$977,90
80,05	R\$887,41	R\$906,25	R\$977,90
160,10	R\$868,45	R\$893,75	R\$977,90
301,20	R\$810,36	R\$875,00	R\$977,90
726,00	R\$810,36	R\$875,00	R\$977,90

Tabela C - Instalação

kWp	Wp
	1,47
3,18	R\$3,17
5,05	R\$2,39
10,10	R\$1,85
20,05	R\$1,63
40,26	R\$1,57
80,05	R\$1,51
160,10	R\$1,45
301,20	R\$1,41
726,00	R\$0,84

Tabela D - Planilha dinâmica com diversos cenários

Potência (kWp) de-	Sistema Completo		Só Inversor		Módulos							
	pior cenário	melhor cenário	pior cenário	melhor cenário	240	250	300					
1,00	15,08	13,09	12,85	13,67	2,94	2,94	2,94	6,23	5,91	3,68	3,91	
2,00	13,08	11,16	10,91	11,72	2,94	2,66	2,80	4,83	5,32	3,68	3,68	
3,00	11,48	8,87	8,45	9,60	2,94	1,77	2,36	3,42	5,12	3,68	3,68	
4,00	10,62	8,16	7,91	8,90	2,94	1,66	2,30	2,83	4,85	3,68	3,68	
5,00	10,14	7,42	7,06	8,21	2,94	1,33	2,13	2,41	4,79	3,68	3,68	
10,00	7,83	6,79	6,44	7,02	1,33	1,26	1,29	1,86	4,65	3,68	3,68	
10k-20k	7,49	6,42	6,06	6,66	1,33	1,01	1,17	1,74	4,42	3,66	3,66	
20k-40k	7,03	6,26	5,89	6,40	1,26	1,01	1,14	1,60	4,17	3,65	3,65	
40k-80k	6,73	6,19	5,82	6,25	1,26	1,01	1,14	1,54	3,93	3,64	3,64	
80k-160k	6,20	6,12	5,76	6,02	1,01	1,01	1,01	1,48	3,70	3,63	3,63	
160k-300k	6,10	6,04	5,71	5,95	1,01	1,01	1,01	1,43	3,66	3,60	3,60	
300k-720k	5,68	5,64	5,40	5,58	1,01	1,01	1,01	1,13	3,50	3,54	3,50	
720k-1000k	5,00	4,88	4,76	4,88	0,84	0,84	0,84	0,66	3,38	3,50	3,38	
R\$/wp para cada sistema												
1kWp	15,08	11,48	10,62	10,14	7,83	7,49	7,03	6,73	6,20	6,10	5,68	5,00
Maior (R\$/wp)	12,85	10,91	8,45	7,06	6,44	6,06	5,89	5,82	5,76	5,71	5,40	4,76
Menor (R\$/wp)	13,67	9,60	8,90	8,21	7,02	6,66	6,40	6,25	6,02	5,95	5,58	4,88
Média (R\$/wp)	Média R\$/wp para Módulos											
Média (R\$/wp)	3,91	3,68	3,68	3,68	3,68	3,66	3,65	3,64	3,63	3,60	3,50	3,38
Média R\$/wp para Instalação												
Média (R\$/wp)	6,23	4,83	3,42	2,83	2,41	1,86	1,74	1,60	1,54	1,48	1,43	1,13
Média R\$/wp para Inversor												
Média (R\$/wp)	2,94	2,80	2,36	2,30	2,13	1,29	1,17	1,14	1,01	1,01	1,01	0,84

ANEXO B

Perda do rendimento de 0,65% ao longo de 30 anos.

ANO	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	20	30
Região	kWh/ano											
Sistema em kWp												
A	1kWp	2.136	2.108	2.081	2.054	2.027	2.001	1.975	1.950	1.924	1.899	1.887
	10k-20kWp	32.250	31.832	31.420	31.013	30.611	30.214	29.823	29.436	29.055	28.678	28.492
	160k-300kWp	494.500	488.092	481.768	475.525	469.363	463.282	457.278	451.353	445.505	439.732	436.874
	720k-1000kWp	1.849.000	1.825.041	1.801.393	1.778.051	1.755.011	1.732.270	1.709.824	1.687.668	1.665.800	1.644.215	1.633.528
B	1kWp	2.050	2.023	1.997	1.971	1.946	1.921	1.896	1.871	1.847	1.823	1.811
	10k-20kWp	30.750	30.352	29.958	29.570	29.187	28.809	28.435	28.067	27.703	27.344	27.167
	160k-300kWp	471.500	465.390	459.360	453.408	447.533	441.734	436.010	430.360	424.784	419.279	416.554
	720k-1000kWp	1.763.000	1.740.155	1.717.607	1.695.351	1.673.383	1.651.699	1.630.297	1.609.172	1.588.321	1.567.740	1.557.550
C	1kWp	1.950	1.925	1.900	1.875	1.851	1.827	1.803	1.780	1.757	1.734	1.723
	10k-20kWp	29.250	28.871	28.497	28.128	27.763	27.403	27.048	26.698	26.352	26.010	25.841
	160k-300kWp	448.500	442.688	436.952	431.290	425.702	420.186	414.741	409.367	404.062	398.827	396.234
	720k-1000kWp	1.677.000	1.655.270	1.633.821	1.612.651	1.591.754	1.571.129	1.550.770	1.530.676	1.510.842	1.491.265	1.481.572
D	1kWp	1.850	1.826	1.802	1.779	1.756	1.733	1.711	1.689	1.667	1.645	1.634
	10k-20kWp	27.750	27.390	27.036	26.685	26.339	25.998	25.661	25.329	25.001	24.677	24.516
	160k-300kWp	425.500	419.986	414.544	409.173	403.871	398.638	393.472	388.374	383.341	378.374	375.915
	720k-1000kWp	1.591.000	1.570.384	1.550.036	1.529.951	1.510.126	1.490.558	1.471.244	1.452.180	1.433.363	1.414.790	1.405.593
E	1kWp	1.750	1.727	1.705	1.683	1.661	1.640	1.618	1.597	1.577	1.556	1.546
	10k-20kWp	26.250	25.910	25.574	25.243	24.916	24.593	24.274	23.960	23.649	23.343	23.191
	160k-300kWp	402.500	397.285	392.137	387.055	382.040	377.090	372.203	367.380	362.620	357.921	355.595
	720k-1000kWp	1.505.000	1.485.499	1.466.250	1.447.251	1.428.497	1.409.987	1.391.717	1.373.684	1.355.884	1.338.315	1.329.615
F	1kWp	1.650	1.629	1.608	1.587	1.566	1.546	1.526	1.506	1.487	1.467	1.458
	10k-20kWp	24.750	24.429	24.113	23.800	23.492	23.187	22.887	22.590	22.298	22.009	21.866
	160k-300kWp	379.500	374.583	369.729	364.938	360.209	355.542	350.935	346.387	341.899	337.469	335.275
	720k-1000kWp	1.419.000	1.400.613	1.382.464	1.364.551	1.346.869	1.329.417	1.312.190	1.295.187	1.278.405	1.261.839	1.253.637

ANEXO C

Custo evitado ao longo de 30 anos em R\$ - Tarifa B1.

		Anos																													
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	20	30																		
A	Sistema em kWp	786	914	1.062	1.234	1.433	1.665	1.935	2.249	2.613	3.036	3.273	7.400																		
	1kWp	11.871	13.793	16.028	18.624	21.640	25.145	29.218	33.950	39.449	45.839	49.412	111.720																		
	10k-20kWp	182.018	211.500	245.756	285.562	331.814	385.559	448.008	520.572	604.890	702.864	757.651	1.713.036																		
	160k-300kWp	680.589	790.825	918.915	1.067.753	1.240.698	1.441.654	1.675.160	1.946.487	2.261.761	2.628.101	2.832.955	6.405.263																		
B	1kWp	755	877	1.019	1.184	1.376	1.598	1.857	2.158	2.508	2.914	3.141	7.102																		
	10k-20kWp	11.319	13.152	15.282	17.757	20.634	23.976	27.859	32.371	37.614	43.707	47.114	106.523																		
	160k-300kWp	173.552	201.662	234.326	272.280	316.381	367.626	427.170	496.360	576.755	670.173	722.411	1.633.359																		
	720k-1000kWp	648.934	754.042	876.175	1.018.090	1.182.991	1.374.601	1.597.246	1.855.953	2.156.563	2.505.863	2.701.189	6.107.344																		
C	1kWp	718	834	969	1.126	1.308	1.520	1.767	2.053	2.385	2.772	2.988	6.755																		
	10k-20kWp	10.766	12.510	14.537	16.891	19.627	22.806	26.500	30.792	35.780	41.575	44.816	101.327																		
	160k-300kWp	165.086	191.825	222.895	258.998	300.948	349.693	406.333	472.147	548.621	637.481	687.172	1.553.683																		
	720k-1000kWp	617.279	717.260	833.435	968.427	1.125.284	1.307.547	1.519.331	1.765.419	2.051.365	2.383.626	2.569.424	5.809.425																		
D	1kWp	681	791	919	1.068	1.241	1.442	1.676	1.948	2.263	2.630	2.834	6.409																		
	10k-20kWp	10.214	11.869	13.791	16.025	18.621	21.637	25.141	29.213	33.945	39.443	42.517	96.131																		
	160k-300kWp	156.620	181.988	211.465	245.716	285.515	331.760	385.495	447.934	520.486	604.790	651.932	1.474.007																		
	720k-1000kWp	585.623	680.477	790.695	918.764	1.067.577	1.240.493	1.441.417	1.674.884	1.946.167	2.261.389	2.437.659	5.511.506																		
E	1kWp	644	748	870	1.011	1.174	1.364	1.585	1.842	2.141	2.487	2.681	6.062																		
	10k-20kWp	9.662	11.227	13.046	15.159	17.614	20.467	23.782	27.634	32.110	37.311	40.219	90.935																		
	160k-300kWp	148.154	172.151	200.034	232.434	270.082	313.827	364.658	423.722	492.352	572.099	616.692	1.394.331																		
	720k-1000kWp	553.968	643.695	747.954	869.101	1.009.870	1.173.440	1.363.502	1.584.350	1.840.969	2.139.152	2.305.893	5.213.587																		
F	1kWp	607	706	820	953	1.107	1.286	1.495	1.737	2.018	2.345	2.528	5.716																		
	10k-20kWp	9.110	10.586	12.300	14.293	16.607	19.297	22.423	26.055	30.275	35.179	37.921	85.738																		
	160k-300kWp	139.688	162.314	188.604	219.152	254.648	295.894	343.820	399.509	464.218	539.407	581.453	1.314.655																		
	720k-1000kWp	522.313	606.912	705.214	819.438	952.163	1.106.386	1.285.588	1.493.816	1.735.770	2.016.915	2.174.128	4.915.667																		

ANEXO D

Custo evitado ao longo de 30 anos reinvestido como custo de oportunidade (R\$) – Tarifa B1.

Região	Sistema em kWp	Anos																													
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	20	30																		
A	1kWp	786	2.700	5.150	8.253	12.148	16.998	23.001	30.389	39.439	50.481	56.867	170.697																		
	10k-20kWp	11.871	40.759	77.755	124.609	183.407	256.640	347.269	458.816	595.462	762.167	858.588	2.577.212																		
	160k-300kWp	182.018	624.970	1.192.245	1.910.664	2.812.245	3.935.147	5.324.794	7.035.180	9.130.422	11.686.564	13.165.017	39.517.256																		
	720k-1000kWp	680.589	2.336.846	4.457.960	7.144.223	10.515.350	14.714.029	19.910.098	26.305.457	34.139.839	43.697.588	49.225.714	147.760.175																		
B	1kWp	755	2.591	4.943	7.921	11.658	16.314	22.074	29.165	37.851	48.448	54.577	163.823																		
	10k-20kWp	11.319	38.863	74.139	118.813	174.877	244.703	331.117	437.476	567.766	726.718	818.654	2.457.342																		
	160k-300kWp	173.552	595.902	1.136.792	1.821.796	2.681.443	3.752.117	5.077.129	6.707.963	8.705.751	11.143.003	12.552.690	37.679.244																		
	720k-1000kWp	648.934	2.228.156	4.250.613	6.811.934	10.026.264	14.029.655	18.984.047	25.081.948	32.551.939	41.665.142	46.936.146	140.887.608																		
C	1kWp	718	2.464	4.701	7.534	11.090	15.518	20.998	27.742	36.005	46.085	51.915	155.831																		
	10k-20kWp	10.766	36.967	70.522	113.017	166.346	232.767	314.965	416.136	540.070	691.268	778.719	2.337.472																		
	160k-300kWp	165.086	566.834	1.081.339	1.732.928	2.550.641	3.569.087	4.829.464	6.380.745	8.281.080	10.599.442	11.940.364	35.841.232																		
	720k-1000kWp	617.279	2.119.465	4.043.266	6.479.644	9.537.178	13.345.282	18.057.996	23.858.438	30.964.040	39.632.696	44.646.578	134.015.042																		
D	1kWp	681	2.338	4.460	7.148	10.521	14.722	19.921	26.320	34.158	43.721	49.252	147.840																		
	10k-20kWp	10.214	35.072	66.906	107.221	157.816	220.830	298.813	394.795	512.375	655.818	738.785	2.217.601																		
	160k-300kWp	156.620	537.765	1.025.885	1.644.060	2.419.838	3.386.057	4.581.799	6.053.527	7.856.410	10.055.881	11.328.038	34.003.220																		
	720k-1000kWp	585.623	2.010.775	3.835.919	6.147.355	9.048.092	12.660.908	17.131.945	22.634.928	29.376.141	37.600.250	42.357.010	127.142.476																		
E	1kWp	644	2.212	4.219	6.762	9.952	13.926	18.844	24.897	32.312	41.358	46.590	139.849																		
	10k-20kWp	9.662	33.176	63.289	101.426	149.285	208.893	282.661	373.455	484.679	620.369	698.851	2.097.731																		
	160k-300kWp	148.154	508.697	970.432	1.555.192	2.289.036	3.203.027	4.334.134	5.726.310	7.431.739	9.512.320	10.715.711	32.165.208																		
	720k-1000kWp	553.968	1.902.084	3.628.572	5.815.065	8.559.006	11.976.535	16.205.894	21.411.419	27.788.241	35.567.804	40.067.442	120.269.910																		
F	1kWp	607	2.085	3.978	6.375	9.384	13.130	17.767	23.474	30.466	38.995	43.928	131.857																		
	10k-20kWp	9.110	31.280	59.673	95.630	140.754	196.956	266.509	352.115	456.983	584.919	658.916	1.977.861																		
	160k-300kWp	139.688	479.629	914.979	1.466.324	2.158.234	3.019.997	4.086.470	5.399.092	7.007.068	8.968.759	10.103.385	30.327.196																		
	720k-1000kWp	522.313	1.793.394	3.421.225	5.482.776	8.069.920	11.292.161	15.279.843	20.187.909	26.200.342	33.535.358	37.777.874	113.397.343																		

ANEXO E

Custo evitado ao longo de 30 anos em R\$ - Tarifa A1.

		Anos																													
Região	Sistema em kWp	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	20	30																		
A	1kWp	457	531	617	716	832	967	1.124	1.306	1.518	1.763	1.901	4.298																		
	10k-20kWp	6.895	8.011	9.309	10.817	12.569	14.605	16.970	19.719	22.913	26.624	28.699	64.888																		
	160k-300kWp	105.718	122.841	142.738	165.857	192.721	223.936	260.208	302.354	351.326	408.231	440.051	994.948																		
	720k-1000kWp	395.293	459.319	533.715	620.162	720.610	837.327	972.950	1.130.540	1.313.654	1.526.428	1.645.409	3.720.242																		
B	1kWp	438	509	592	688	799	928	1.079	1.253	1.456	1.692	1.824	4.125																		
	10k-20kWp	6.574	7.639	8.876	10.314	11.984	13.925	16.181	18.802	21.847	25.385	27.364	61.870																		
	160k-300kWp	100.801	117.128	136.099	158.143	183.757	213.521	248.105	288.291	334.985	389.243	419.584	948.672																		
	720k-1000kWp	376.907	437.955	508.891	591.317	687.093	798.382	927.697	1.077.956	1.252.554	1.455.431	1.568.878	3.547.207																		
C	1kWp	417	484	563	654	760	883	1.026	1.192	1.385	1.610	1.735	3.923																		
	10k-20kWp	6.253	7.266	8.443	9.811	11.400	13.246	15.391	17.884	20.781	24.147	26.029	58.852																		
	160k-300kWp	95.884	111.414	129.460	150.429	174.794	203.105	236.002	274.228	318.645	370.256	399.116	902.395																		
	720k-1000kWp	358.522	416.592	484.067	562.472	653.576	759.437	882.443	1.025.373	1.191.454	1.384.434	1.492.347	3.374.173																		
D	1kWp	396	460	534	620	721	838	973	1.131	1.314	1.527	1.646	3.722																		
	10k-20kWp	5.933	6.894	8.010	9.307	10.815	12.567	14.602	16.967	19.715	22.909	24.694	55.834																		
	160k-300kWp	90.967	105.701	122.821	142.714	165.830	192.689	223.900	260.165	302.304	351.268	378.649	856.118																		
	720k-1000kWp	340.136	395.228	459.243	533.627	620.059	720.491	837.190	972.790	1.130.353	1.313.438	1.415.817	3.201.138																		
E	1kWp	374	435	505	587	682	792	921	1.070	1.243	1.445	1.557	3.521																		
	10k-20kWp	5.612	6.521	7.577	8.804	10.230	11.887	13.813	16.050	18.650	21.670	23.360	52.816																		
	160k-300kWp	86.049	99.987	116.182	135.000	156.866	182.274	211.797	246.102	285.963	332.281	358.181	809.842																		
	720k-1000kWp	321.750	373.864	434.419	504.783	586.543	681.546	791.936	920.207	1.069.253	1.242.441	1.339.286	3.028.104																		
F	1kWp	353	410	476	553	643	747	868	1.009	1.172	1.362	1.468	3.320																		
	10k-20kWp	5.291	6.148	7.144	8.301	9.646	11.208	13.024	15.133	17.584	20.432	22.025	49.798																		
	160k-300kWp	81.132	94.273	109.543	127.286	147.902	171.858	199.694	232.039	269.622	313.293	337.714	763.565																		
	720k-1000kWp	303.364	352.501	409.595	475.938	553.026	642.600	746.683	867.623	1.008.153	1.171.444	1.262.756	2.855.069																		

ANEXO F

Custo evitado ao longo de 30 anos reinvestido como custo de oportunidade (R\$) – Tarifa A1.

Região	Sistema em kWp	Anos																												
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	20	30																	
A	1kWp	457	1.568	2.991	4.794	7.055	9.873	13.359	17.650	22.907	29.320	33.029	99.143																	
	10kWp	4.596	15.782	30.107	48.249	71.017	99.373	134.465	177.657	230.567	295.116	332.451	997.914																	
	160k-300kWp	105.718	362.989	692.468	1.109.733	1.633.380	2.285.573	3.092.694	4.086.104	5.303.042	6.787.675	7.646.375	22.952.023																	
	720k-1000kWp	395.293	1.357.264	2.589.228	4.149.437	6.107.422	8.546.057	11.563.987	15.278.476	19.828.765	25.380.002	28.590.794	85.820.608																	
B	1kWp	438	1.505	2.871	4.601	6.771	9.475	12.821	16.939	21.984	28.139	31.699	95.150																	
	10kWp	4.383	15.048	28.707	46.005	67.713	94.751	128.211	169.394	219.843	281.390	316.988	951.499																	
	160k-300kWp	100.801	346.106	660.260	1.058.118	1.557.409	2.179.268	2.948.848	3.896.053	5.056.389	6.471.969	7.290.730	21.884.487																	
	720k-1000kWp	376.907	1.294.135	2.468.799	3.956.440	5.823.356	8.148.566	11.026.127	14.567.850	18.906.497	24.199.537	27.260.990	81.828.951																	
C	1kWp	417	1.431	2.731	4.376	6.441	9.013	12.196	16.113	20.912	26.766	30.153	90.508																	
	10k-20kWp	6.253	21.471	40.960	65.641	96.616	135.193	182.935	241.696	313.678	401.495	452.288	1.357.627																	
	160k-300kWp	95.884	329.223	628.052	1.006.502	1.481.438	2.072.962	2.805.002	3.706.001	4.809.735	6.156.263	6.935.084	20.816.951																	
	720k-1000kWp	358.522	1.231.007	2.348.370	3.763.443	5.539.289	7.751.075	10.488.267	13.857.223	17.984.228	23.019.072	25.931.185	77.837.295																	
D	1kWp	396	1.358	2.591	4.152	6.111	8.551	11.570	15.287	19.839	25.394	28.606	85.867																	
	10k-20kWp	5.933	20.370	38.859	62.275	91.661	128.260	173.554	229.301	297.592	380.906	429.094	1.288.005																	
	160k-300kWp	90.967	312.340	595.845	954.887	1.405.467	1.966.656	2.661.155	3.515.950	4.563.082	5.840.558	6.579.439	19.749.415																	
	720k-1000kWp	340.136	1.167.878	2.227.941	3.570.446	5.255.223	7.353.584	9.950.407	13.146.596	17.061.960	21.838.607	24.601.381	73.845.639																	
E	1kWp	374	1.285	2.451	3.927	5.780	8.088	10.945	14.460	18.767	24.021	27.060	81.226																	
	10k-20kWp	5.612	19.269	36.759	58.909	86.706	121.327	164.172	216.906	281.506	360.316	405.900	1.218.383																	
	160k-300kWp	86.049	295.456	563.637	903.271	1.329.496	1.860.350	2.517.309	3.325.899	4.316.429	5.524.852	6.223.794	18.681.879																	
	720k-1000kWp	321.750	1.104.750	2.107.512	3.377.449	4.971.157	6.956.093	9.412.547	12.435.969	16.139.692	20.658.141	23.271.577	69.853.983																	
F	1kWp	353	1.211	2.311	3.703	5.450	7.626	10.319	13.634	17.695	22.648	25.514	76.584																	
	10k-20kWp	5.291	18.168	34.658	55.543	81.752	114.394	154.791	204.512	265.420	339.727	382.705	1.148.762																	
	160k-300kWp	81.132	278.573	531.429	851.656	1.253.524	1.754.045	2.373.463	3.135.847	4.069.776	5.209.146	5.868.148	17.614.343																	
	720k-1000kWp	303.364	1.041.621	1.987.082	3.184.452	4.687.091	6.558.602	8.874.688	11.725.342	15.217.424	19.477.676	21.941.772	65.862.327																	