

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA – ÊNFASE ELETROTÉCNICA

BRUNA CAROLINE IZIDORO
GUSTAVO CARDOSO ORSI
LEANDRO RICARDO CORDEIRO

**ESTUDO DO PANORAMA NACIONAL PARA SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE APÓS A RESOLUÇÃO
482/2012 DA ANEEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

**BRUNA CAROLINE IZIDORO
GUSTAVO CARDOSO ORSI
LEANDRO RICARDO CORDEIRO**

**ESTUDO DO PANORAMA NACIONAL PARA SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE APÓS A RESOLUÇÃO
482/2012 DA ANEEL**

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

Orientador: Prof. Jair Urbanetz Junior, Dr.
Eng.

CURITIBA

2014

BRUNA CAROLINE IZIDORO
GUSTAVO CARDOSO ORSI
LEANDRO RICARDO CORDEIRO

Análise do Panorama Nacional para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Após a Resolução 482/2012 da ANEEL

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, 07 de agosto de 2014.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Industrial Elétrica Ênfase Eletrotécnica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Ma.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Industrial Elétrica Ênfase Eletrotécnica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Jair Urbanetz Junior, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Jair Urbanetz Junior, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gerson Máximo Tiepolo, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Henrique Karam Salata, Eng
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aos meus pais, Valdecir e Mariangela, pelo seu incentivo e amor, sem os quais teria sido muito difícil o meu caminhar.

À Bruna, Victória e Billy, por serem sempre um porto-seguro.

A Deus, minha mãe Márcia, meus falecidos avós e ao meu querido esposo Caio.

A Deus por me permitir essa conquista, a minha querida mãe Maria por ser um exemplo de vida e de fé, a minha esposa Karoline pelo incentivo e amor e a todos que de algum modo me apoiaram nesse caminho.

AGRADECIMENTO

Agradecemos a Deus, que nos permitiu chegar até aqui. Às nossas famílias e amigos, pelo auxílio e compreensão.

Agradecemos ao nosso orientador, o professor Jair Urbanetz Junior, pela grande oportunidade de trabalhar com o tema escolhido, por todos os ensinamentos e por ter dedicado horas de seus dias para nos ensinar e orientar quanto a melhor maneira de guiar nosso trabalho.

Aos professores da banca pelas contribuições dedicadas a melhoria deste trabalho.

“I’m a great believer in luck, and I find the harder I work the more I have of it.”

(Thomas Jefferson)

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

(Albert Einstein)

RESUMO

IZIDORO, Bruna C.; ORSI, Gustavo C.; CORDEIRO, Leandro R. **Estudo do panorama nacional para sistemas fotovoltaicos conectados à rede após a resolução 482/2012 da ANEEL**. 2014. 171 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo principal desenvolver um estudo do panorama nacional para sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) após da divulgação da resolução 482/2012 da ANEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso de sistemas de geração distribuída às redes de distribuição de energia elétrica. Para tanto, foi estudado o impacto que a nova resolução tem causado no setor fotovoltaico, bem como os tipos de incentivo ao desenvolvimento da geração de energia solar presentes no país. Como forma de análise do cenário atual, foi elaborado um comparativo do quadro nacional anterior e posterior à resolução, além de uma análise dos contrastes entre políticas adotadas por alguns países que utilizam sistemas semelhantes de incentivo e a política brasileira. São apresentadas brevemente algumas informações bibliográficas acerca dos tipos de sistemas fotovoltaicos, tecnologias existentes, e formas de estímulo ao desenvolvimento da geração de energia elétrica distribuída e renovável presentes no cenário mundial. Finalmente, foi desenvolvido um estudo de implantação de um SFCR em uma residência na região de Curitiba, apresentando as etapas do dimensionamento de um sistema fotovoltaico e também uma análise técnica e financeira para sua aplicação.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica. Energia solar. Energia solar fotovoltaica. Panorama nacional. Panorama mundial. Resolução normativa nº 482. *Net-Metering*. Sistema de compensação.

ABSTRACT

IZIDORO, Bruna C.; ORSI, Gustavo C.; CORDEIRO, Leandro R. Study of the national outlook for photovoltaic systems connected to the grid after the 482/2012 ANEEL resolution. 2014. 171 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

This course conclusion work aims to develop a study of the national outlook for photovoltaic systems connected to the grid after the disclosure of Resolution 482/2012 by ANEEL, which establishes the general conditions for access of distributed generation systems to the distribution electricity grid. Thus, the impact that the new resolution has caused to the photovoltaic sector, as well as the types of incentive to the development of solar power generation in the country were studied. In order to analyze the current scenario, a comparison of before and after the resolution was developed, along with an analysis of the contrasts between policies adopted by some countries that use similar systems of incentives and Brazilian policies. Some biographical information about the types of photovoltaic systems, existing technologies, and ways to encourage the development of distributed and renewable electric power generation in the present world scenario are briefly presented. Finally, a study of a photovoltaic system at a residence near Curitiba was developed, showing the steps of the design of a photovoltaic system and also a technical and financial analysis for its application.

Keywords: Photovoltaics. Solar energy. Solar Photovoltaics. National scene. World scene. Normative Resolution No. 482. Net-Metering. Compensation system.

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APE – Autoprodutores de Energia Elétrica

BC – *British Columbia*

BIG – Banco de Informações de Geração

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.

CELPE – Companhia Energética de Pernambuco

CEMIG – Companhia de Energia de Minas Gerais

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

COELBA – Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia

COPEL – Companhia Paranaense de Energia

CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

CSP – *Concentrated Solar Power*

EC - Comissão Européia

ER - Energia Renovável (ER)

FIT – *Feed-in Tariff*

IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento

ICMS – Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IDEAL – Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas da América Latina

IEE – Instituto de Eletrotécnica e Energia

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ITC - *Business Energy Investment Tax Credit*

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LabSolar - Laboratório de Energia Solar

LAERFTE - Lei De Aproveitamento De Energias Renováveis

LSF – Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos

MARCS - *Modified accelerated Cost-Recovery System*

NB – *New Brunswick*

OPA – *Ontario Power Authority*

PIE – Produtor Independente de Energia Elétrica

PIS – Programa de integração social

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

PV – *Photovoltaic*

REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

RPS - *Renewable Portfolio Standard*

SFCR – Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

SIN – Sistema Interligado Nacional

STC – Standard Test Conditions

SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

USP – Universidade de São Paulo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Irradiação solar	31
Figura 2 - Vista de painel, módulo e célula fotovoltaica	32
Figura 3 - Efeito Fotovoltaico.	34
Figura 4 - Módulos fotovoltaicos instalados em uma residência..	35
Figura 5 - Radiância Espectral	36
Figura 6 - Piranômetro	37
Figura 7 - Pireliômetro.....	38
Figura 8 - Heliômetro.....	38
Figura 9 - Mapa de irradiação solar global horizontal do Brasil.....	41
Figura 10 - Mapa de irradiação global no plano inclinado do Brasil	42
Figura 11 – Usina concentradora solar térmica PS10 (Planta Solar 10), em Sevilla, na Espanha.....	43
Figura 12 - Concentradores solares.	44
Figura 13 - Coletor solar térmico para aquecimento de água	45
Figura 14 – Configurações básicas de sistemas fotovoltaicos	46
Figura 15 - Componentes de um sistema fotovoltaico isolado	47
Figura 16 - SFI em Xapurí, no Acre	48
Figura 17 - Barco solar da UFSC	49
Figura 18 - Configurações de centrais fotovoltaicas com um (a) ou vários inversores (b).....	50
Figura 19 - Sistema fotovoltaico conectado à rede	51
Figura 20 - Diagrama do sistema híbrido da Vila de Araras, em Rondônia.....	52
Figura 21 - Produção de módulos fotovoltaicos por região em 2010	53
Figura 22 - Fabricação de módulos por tipos de tecnologia no ano de 2010	54
Figura 23 - Parcela de mercado dos 15 maiores produtores de painéis fotovoltaicos	55
Figura 24 – Tecnologia de painéis	56
Figura 25 - Células de silício poli-cristalino e mono-cristalino.	57
Figura 26 - Sistema fotovoltaico conectado à rede por meio de um inversor.....	59
Figura 27 - Configurações de um SFCR	60
Figura 28 - Diagrama de um sistema de aquisição de dados de um SFCR.....	61
Figura 29 - Diagrama de um sistema fotovoltaico com controlador de carga.....	63

Figura 30 - Suportes dos módulos	64
Figura 31 - Políticas de incentivo para energias renováveis em alguns países	69
Figura 32 - Capacidade fotovoltaica global em 2012	70
Figura 33 - Capacidade de Geração Fotovoltaica Total e Adicionada em 2013.	71
Figura 34 - Aumento do potencial fotovoltaico global.....	72
Figura 35 - Países com políticas de incentivo às fontes renováveis de energia em 2013.	72
Figura 36 - Países com políticas de incentivo às fontes renováveis de energia em 2005	73
Figura 37 - Capacidade fotovoltaica adicionada por estado no segundo trimestre de 2013	74
Figura 38 - Irradiação média diária no México	79
Figura 39 – Potência instalada de sistemas fotovoltaicos conectados a rede no Canadá.....	82
Figura 40 - Reajustes de incentivo na tarifa FIT em Ontário.....	83
Figura 41 - Tarifas do BC Hydro Standing Offer Program para diferentes regiões da British Columbia	86
Figura 42 - Representação do Selo Solar	95
Figura 43 – Selo do Projeto 50 Telhados.....	96
Figura 44 - Módulos fotovoltaicos e inversor atual (SB2500) do LABSOLAR	99
Figura 45 - Fachada do prédio de administração do IEE – USP, com os painéis instalados	100
Figura 46 - Módulos fotovoltaicos no prédio do laboratório de energia solar da UFRGS.....	101
Figura 47 - Vista do prédio do CEPEL no Rio de Janeiro.	102
Figura 48 - Sistema FV de 1,41 kWp da CELESC em Florianópolis.....	102
Figura 49 - Módulos fotovoltaicos na sede da ELETROSUL.....	103
Figura 50 - Sistema Fotovoltaico do Restaurante Lampião em Alagoas.....	104
Figura 51 - Sistema Fotovoltaico da UTE Norte Fluminense.	105
Figura 52 – Pituaju Solar.....	106
Figura 53 - Residência de Marcos Colle.	116
Figura 54 - Painéis instalados no telhado da residência do Ricardo Marcelino Santana.....	117
Figura 55 - Detalhe dos painéis fotovoltaicos.....	117

Figura 56 - Selo Solar emitido pelo Instituto Ideal para Ricardo.	118
Figura 57 - Painéis na residência de Roberto Chaves Castro.....	118
Figura 58 - Painéis solares do Núcleo Senai de Sustentabilidade.	119
Figura 59 – Unidade de demonstração do SENAI de Curitiba.	120
Figura 60 – Instalação Fotovoltaica no SPA Ventura.....	120
Figura 61 – Instalação de painéis no telhado da loja Art in Surf em Búzios – RJ. .	121
Figura 62 - Instalação dos módulos FV na Vila Isabel	122
Figura 63 - Módulos fotovoltaicos da empresa ELCO Engenharia LTDA	123
Figura 64 - Inversores do sistema fotovoltaico da empresa ELCO Engenharia LTDA	124
Figura 65 - SFCR da PGM.....	127
Figura 66 - Usina solar tanquinho.	127
Figura 67 - Módulos fotovoltaicos do novo Maracanã.....	129
Figura 68 – Imagem dos painéis Fotovoltaicos do Mineirão	130
Figura 69 – Imagem de satélite mostrando a residência escolhida para o estudo..	133
Figura 70 - Detalhe da fachada da residência escolhida para o projeto.....	134
Figura 71 - Disposição dos pontos mais próximos à residência.....	135
Figura 72 - Tela inicial do RADIASOL	136
Figura 73 - Interface de configuração do RADIASOL	137
Figura 74 - Diagrama simplificado do sistema fotovoltaico.	138
Figura 75 - Massa de ar (Air Mass - AM)	140
Figura 76 - Anúncio do painel solar ST240P – Sensotec.....	141
Figura 77 - Layout da instalação dos painéis na edificação.....	143
Figura 78 – Inversores homologados pela COPEL.	144
Figura 79 – Imagem do inversor KLNE Sunteams 1500, HOMOLOGADO PELA COPEL.....	145
Figura 80 – Dados técnicos do inversor KLNE 1500.....	146
Figura 81 – Dados do painel Sensotec ST240P escolhido.	147
Figura 82 – Recorte da tabela de métodos de referência da NBR5410.....	149
Figura 83 - Recorte da tabela de capacidade dos condutores	149
Figura 84 - Orçamento fornecida pela empresa Elco Engenharia LTDA.....	156
Figura 85 - Sistema fornecido pela empresa Solar Energy.	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - SFCR em operação até o ano de 2010 no Brasil.....	96
Tabela 2 - Banco de informações de geração fotovoltaica no Brasil.....	108
Tabela 3 - SFCR não cadastrados no Banco de Informações de Geração da ANEEL.	113
Tabela 4 - Dados mensais da geração do sistema fotovoltaico (verão, outono). ...	124
Tabela 5 - Dados mensais da geração do sistema fotovoltaico (Inverno, Primavera).	125
Tabela 6 - Resumo do relatório de compensação do mês de janeiro.	125
Tabela 7 - Relatório de geração do mês de janeiro.	126
Tabela 8 - Pontos de análise de irradiação solar	135
Tabela 9 - Níveis de irradiação horizontal por mês no ponto D (em kWh/m ² .dia) ..	136
Tabela 10 - Níveis de irradiação horizontal por estação do ano no ponto D (em kWh/m ² .dia).....	136
Tabela 11 - Níveis de irradiação diária no plano do telhado por mês (em kWh/m ² .dia)	137
Tabela 12 – Consumo mensal de eletricidade da residência (em kWh)	139
Tabela 13 – Geração diária média por mês (em kW/dia)	154
Tabela 14 – Geração média por mês (em kWh)	154
Tabela 15 – Comparativo entre geração estimada própria e consumo por mês (em kWh).....	154
Tabela 16 - Custos do sistema fotovoltaico.....	155
Tabela 17 - Dados dos sistema fotovoltaico da Solar Energy.	157

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual da potência fotovoltaica instalada por ano até abril de 2012.	98
Gráfico 2 - Crescimento dos SFCR no Brasil até abril de 2012.	99
Gráfico 3 - Distribuição das fontes geração elétrica atuais no Brasil.	107
Gráfico 4- Detalhe do crescimento dos SFCR no Brasil, de 2008 a julho de 2014.	115
Gráfico 5 - Média de irradiação solar diária nos meses de um ano.	138
Gráfico 6 – Comparacao entre geração estimada do SFCR e consumo da residência.....	154
Gráfico 7 - Custos percentuais do projeto de 1 kWp.....	156

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1.	TEMA	21
1.1.1.	Delimitação do tema	22
1.2.	PROBLEMA E PREMISSAS	22
1.3.	OBJETIVOS	23
1.3.1.	Objetivo Geral.....	23
1.3.2.	Objetivos específicos.....	23
1.4.	JUSTIFICATIVA	24
1.5.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
1.6.	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1.	ENERGIA FOTOVOLTAICA E TERMINOLOGIA.....	29
2.1.1.	Efeito Fotovoltaico	33
2.1.2.	Irradiação Solar	35
2.1.3.	Instrumentos de Medição de Irradiação Solar	37
2.1.4.	Fontes de Dados de Irradiação Solar	39
2.1.5.	Aplicações da Energia Solar.....	43
2.2.	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	45
2.2.1.	Sistemas Fotovoltaicos Isolados	46
2.2.2.	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede	49
2.2.3.	Sistemas Fotovoltaicos Híbridos	51
2.2.4.	Módulos Fotovoltaicos	52
2.2.5.	Tecnologias de Módulos Fotovoltaicos.....	55
2.2.6.	Inversores.....	58
2.2.7.	Condutores	62
2.2.8.	Controladores de Carga e Acumuladores.....	62

2.2.9.	Estrutura de Suporte	63
2.3.	Programas de incentivo às fontes renováveis DE ENERGIA.....	64
2.3.1.	O sistema de quotas.....	65
2.3.2.	O sistema de preços (<i>Feed-in Law</i>).....	66
2.3.3.	Net-Metering.....	67
3	PANORAMA MUNDIAL E BRASILEIRO.....	69
3.1.	Estados Unidos	73
3.1.1.	Estado Do Colorado	75
3.1.2.	Estado de Massachusetts.....	75
3.2.	Bélgica	77
3.3.	México.....	78
3.4.	Canadá	80
3.4.1.	Ontário.....	82
3.4.2.	Saskatchewan (SASK.)	84
3.4.3.	Alberta	84
3.4.4.	British Columbia	85
3.4.5.	Manitoba.....	86
3.4.6.	Québec.....	86
3.4.7.	New Brunswick	87
3.4.8.	Nova Scotia	87
3.5.	Panorama BRASILEIRO	87
3.5.1.	Incentivos Nacionais.....	88
3.5.2.	Panorama Pré Resolução 482/2012 da ANEEL	96
3.5.3.	Panorama Pós Resolução 482/2012 da ANEEL	106
4	ESTUDO PARA UM SFCR EM UMA RESIDÊNCIA NA REGIÃO DE CURITIBA	
	132	
4.1.	AVALIAÇÃO DA IRRADIAÇÃO INCIDENTE NA RESIDÊNCIA.....	133

4.1.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO..	138
4.1.1.	Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos	141
4.1.2.	Dimensionamento dos Inversores	143
4.1.3.	Definição dos Arranjos.....	145
4.1.4.	Dimensionamento dos Condutores	148
4.1.5.	Dimensionamento dos Dispositivos de Proteção.....	151
4.2.	PREVISÃO DE GERAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	153
4.3.	ORÇAMENTOS	155
4.3.1.	Levantamento de Preços.....	155
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	158
	REFERÊNCIAS.....	162
	ANEXO A	170
	ANEXO B	171
	ANEXO C	173

1 INTRODUÇÃO

A civilização atual caracteriza-se por um sistema imenso e desordenado de consumo de energia, onde todo o sistema de vida e produção que a sustenta baseia-se no fato de que esse consumo deve continuar como nos padrões atuais. O problema é que esse perfil de consumo tem como base diversas reservas não renováveis de energia e alguns ainda seguem uma tendência séria de não substituir os recursos utilizados atualmente (Souza, 1994).

Existem diversas fontes para geração de energia no mundo: hidrelétrica, gás natural, petróleo e derivados, carvão mineral, nuclear, biomassa, eólica, solar, geotérmica, maremotriz, biogás, entre outros (CCEE, 2013). Grande parte dessas fontes utilizadas pelo homem são provenientes, de alguma forma, do sol. Sejam os ciclos de evaporação e precipitação da água, que permitem o aproveitamento do potencial de rios; as correntes atmosféricas devido ao aquecimento do ar; o acúmulo de restos de vegetais e plantas que dão origem, ao longo do tempo, a certas formas de combustíveis como o petróleo ou gás natural, entre outras. É perceptível e óbvia a importância do sol na obtenção de energia (CRESESB, 2008).

Neste sentido, a energia elétrica é a mais versátil e nobre de todas as formas de energia, presta diversos serviços à humanidade, sendo difícil imaginar o planeta, atualmente, sem ela (Farret, 1999). Com o passar dos anos e com o surgimento de novas tecnologias, cada vez mais, países têm buscado estudar e utilizar fontes alternativas de energia como maneira de preservar o meio ambiente e garantir um futuro com energia elétrica prontamente disponível, caso alguns recursos já não sejam tão abundantes ou não apresentem mais potencial disponível para geração.

O sol é uma fonte perene, silenciosa, gratuita e não poluente de energia e é responsável por todas as formas de vida no planeta (Farret, 1999). Sua irradiação na superfície terrestre é suficiente para atender milhares de vezes o consumo mundial de energia, porém, ela não atinge de uma maneira uniforme a crosta terrestre. A humanidade tem como alicerce diversas reservas não renováveis de energia, sendo portanto, de suma importância que haja uma racionalização e diversificação quanto ao consumo e geração (Souza, 1994). Deste modo, é de grande interesse que a irradiação solar seja também aproveitada para a geração de

energia elétrica, contribuindo com as reais e futuras necessidades da civilização moderna (Souza, 1994).

Voltando a atenção ao potencial solar brasileiro, sabe-se que é um país privilegiado em termos de radiação solar, visto que está localizado próximo à linha do Equador. O potencial solar energético brasileiro chega a ser cinco vezes maior que o dos Estados Unidos e vastamente maior em relação a muitos países de primeiro mundo, tornando-se amplas as oportunidades de aproveitamento do sol (Farret, 1999). Alguns países têm uma quantidade consideravelmente menor de irradiação solar em relação ao Brasil e são grandes produtores de energia fotovoltaica. Na Alemanha, por exemplo, sua região mais ensolarada recebe um índice de radiação solar 40% menor que o índice da região menos ensolarada do Brasil (IBEAS, 2013). Embora possua condições climáticas menos favoráveis que a região brasileira, a Alemanha, utilizando recursos tecnológicos e mecanismos eficientes para incentivo à expansão da energia solar, tem apresentado uma capacidade de aproveitamento superior a do Brasil, e é, atualmente, um país bem sucedido no desenvolvimento dessa fonte de energia (IBEAS, 2013).

1.1. TEMA

Através das recentes mudanças divulgadas pela ANEEL em relação à troca de energia entre consumidor e concessionária, com a resolução 482/2012, no âmbito dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, torna-se viável e interessante um estudo com o intuito de mostrar qual o comportamento das concessionárias e dos consumidores/investidores em virtude das mudanças ocasionadas pela nova regulamentação. Em conjunto com esse estudo, é possível realizar um comparativo político, tecnológico e econômico entre o Brasil e alguns países mais experientes na produção de energia fotovoltaica, especialmente os que utilizam o *Net Metering*, sistema semelhante ao adotado no Brasil, a fim de propor maneiras de incentivar e impulsionar a geração da energia solar no Brasil.

1.1.1. Delimitação do tema

Baseando-se na comparação entre Brasil e outros países, como Alemanha e Itália, que são líderes em geração de energia fotovoltaica, bem como com outros países experientes na política do *Net-Metering*, foi realizada uma pesquisa com o objetivo de estudar qual o panorama atual do Brasil nesse sentido, quais são as principais questões políticas, tecnológicas e econômicas que diferem o Brasil de outros países no mundo em relação a esse tipo de energia, destacando-se as recentes regulamentações da ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica), que estabelecem as condições para a troca de energia entre consumidores com micro e minigeração e a concessionária, bem como o comportamento e visão das principais concessionárias e micro e minigeradores do país com relação às normas estabelecidas.

Observando como exemplo os países experientes em geração de energia fotovoltaica no mundo (especialmente aqueles com políticas de troca de energia semelhantes às brasileiras), pode-se, através de estudos e simulações, levantar quais os pontos positivos e negativos das formas de incentivo adotadas nesses países e, através disso, elaborar sugestões práticas que impulsionem e facilitem a utilização da energia solar no Brasil.

1.2. PROBLEMA E PREMISAS

Com as recentes mudanças divulgadas pela ANEEL na regulamentação nacional em relação à troca de energia entre geradores distribuídos e concessionárias, questões importantes podem ser elaboradas com o intuito de verificar o efeito das mudanças estabelecidas.

- Quais os resultados obtidos pelos países que já utilizam o sistema de *net metering*?
- Como era o cenário de geração fotovoltaica anterior à resolução 482?
- Qual a situação atual do país com relação à geração distribuída, especificamente a fotovoltaica? O que mudou após a resolução 482?
- Das medidas que levaram a resultados positivos em outros países, quais podem ser aplicadas no Brasil?

É esperado que as respostas encontradas possam contribuir com desenvolvimento do setor, apontando medidas que podem trazer resultados e também as perspectivas futuras do sistema escolhido.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar o panorama nacional de geração de energia através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede após a resolução 482/2012 da Aneel, comparativamente ao cenário nacional anterior à resolução e a outros países que utilizam o *Net Metering*.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar fundamentação teórica sobre as formas de incentivo ao desenvolvimento da utilização de energia fotovoltaica;
- Estudar a situação atual do Brasil com relação à geração fotovoltaica distribuída;
- Estudar formas de atuação de outros países com experiência no sistema de *Net Metering*;
- Avaliar quais formas de incentivo foram adotadas paralelamente ao *Net Metering* com êxito em outros países.
- Desenvolver o projeto de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica para uma residência na região de Curitiba, como forma de análise de viabilidade técnica e de custo no panorama atual;
- Identificar as vantagens e desvantagens da política atual brasileira através do estudo técnico da implantação do projeto.

1.4. JUSTIFICATIVA

O Brasil é um país com abundância de recursos naturais e recursos humanos. No setor da geração de energia elétrica, o país apresenta uma matriz diversificada, e com predominância de recursos renováveis (85% da oferta de energia, considerando-se as importações). Destaca-se a geração hidráulica, com 70,1% da oferta interna no ano de 2012 (EPE, 2013).

Levando-se em consideração a análise do mercado, os acontecimentos ligados à economia e à energia em 2012, o processo de transição demográfica que está se passando no país, a expectativa de crescimento das economias emergentes (China, Índia, Brasil, entre outras), a previsão de crescimento das indústrias de base, o desenvolvimento mais significativo de autoprodutores de energia elétrica em alguns segmentos da indústria (pessoa física, jurídica ou grupo de empresas autorizadas a produzir energia para consumo próprio, podendo também, sob autorização, comercializar o excedente), os ganhos com o aumento da eficiência energética, e outros fatores importantes, o EPE realizou um estudo, divulgado em 2012, da previsão de consumo e aumento da demanda energética no país para o horizonte de 2013 a 2022 (EPE, 2012) (DECRETO 2.003, 1996).

Relativamente à dinâmica populacional, estima-se um aumento da população de aproximadamente 13 milhões de pessoas até 2022, um consequente crescimento de 2,1% ao ano no número de domicílios. Além disso, no Brasil, mais de 40% da energia elétrica consumida, é proveniente de edificações residenciais, comerciais e públicas. Em edifícios de algumas capitais como o Rio de Janeiro, por exemplo, o ar condicionado chega a ser responsável por 50% do consumo de energia elétrica durante o verão (podendo chegar a até 70% em alguns edifícios envidraçados) (Rüther, 2004). Na indústria, é prevista uma elevação de 3,6% ao ano do consumo total de eletricidade dos grandes consumidores industriais, que em 2012 consumiram 100.412 GWh, isso aliado a um crescimento de 7% ao ano da sua geração própria de energia, que em 2012 atingiu 22.165 GWh. Em contraste aos valores de aumento de consumo, avalia-se uma redução de 5,8% do consumo total no país para o ano de 2022 devido ao aumento da eficiência energética. Calcula-se também um crescimento do PIB de 4,7% ao ano (EPE, 2012).

De acordo com as estimativas apresentadas pelo EPE no estudo supracitado, de 2013 a 2022, projeta-se um aumento na demanda de energia elétrica de 5,8% ao

ano para a classe comercial, seguida da classe residencial, com acréscimo de 4,3% ao ano, e finalmente, da classe industrial, com 3,4% ao ano. É importante observar que o crescimento total do consumo industrial, levando-se em consideração o aumento de 9% ao ano na geração própria de energia do setor, atinge, em média, 4,8% ao ano (EPE, 2012).

Ao observar o setor hidrelétrico, que detém a maior fatia da geração interna de energia no país, verificamos que as grandes centrais hidrelétricas, responsáveis pela maior parte da oferta de energia interna do país, localizam-se nas bacias do São Francisco (abrange principalmente o Nordeste e o Sudeste do país) e do Paraná, além de algumas unidades importantes na região norte do país. No entanto, os potenciais nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste já estão praticamente esgotados, sendo a bacia do Amazonas a que apresenta o maior potencial de aproveitamento ainda possível (ANEEL, 2008)

Neste ponto, além do esgotamento do potencial hídrico para a geração, entram em questão também os custos e problemas da transmissão de energia, principalmente para usinas que se encontram distantes dos centros consumidores. Trata-se de um problema já conhecido no nosso país, e que tende a se agravar com a estratégia de investimento do governo federal em geração na Amazônia. Entre os problemas da transmissão de energia estão os custos de manutenção e os riscos de eventuais acidentes que provoquem a interrupção temporária no fornecimento, podendo resultar em “apagões” (interrupções de longa duração). Ademais, existem as perdas de transmissão e distribuição (incluindo-se as perdas não técnicas), que no Brasil, segundo dados divulgados pela ANEEL (2004), chegaram a aproximadamente 20% (sendo em torno de 5% as perdas exclusivas de sistemas de transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) com tensão maior ou igual a 230 kV) valor superior em relação a diversos países, inclusive alguns com extensões territoriais proporcionais às nossas, como, por exemplo, os EUA (perdas em torno de 6%), China (7%), México e Canadá (8%) e Rússia, Austrália e África (11%) (Queiroz, 2010).

As perdas na transmissão e distribuição impactam no aumento da tarifa cobrada do consumidor, estimando-se para o ano de 2017, por exemplo, que o embate sobre a tarifa média seja da ordem de 5%, resultando numa cobrança de R\$ 4,7 bilhões por perda. E em relação à energia não faturada e aos impostos que não

serão recolhidos pelo governo, os cofres públicos deixarão de recolher R\$ 10 bilhões no mesmo ano (INTERNATIONAL RIVERS, 2012).

Com o objetivo de descongestionar os sistemas de geração em larga escala, alguns países têm incentivado a geração distribuída de energia, onde o consumidor pode gerar a sua própria energia elétrica ou parte dela. Uma das formas para geração própria de consumidores residenciais, comerciais ou industriais é através de painéis fotovoltaicos, que fazem a conversão da radiação solar em energia elétrica. Esta forma de geração distribuída (com painéis solares instalados no entorno de edificações urbanas) tem muito a contribuir para a redução de problemas relacionados à geração, distribuição e transmissão convencionais de energia, além de poder evitar a construção de mais usinas térmicas e novas usinas hidrelétricas. Os sistemas solares apresentam baixo impacto ambiental, utilizam uma fonte renovável e silenciosa de energia e podem ser amplamente utilizados no Brasil, um país bastante ensolarado por natureza, podem ser aplicados em meios urbanos, utilizando espaços não ocupados (como coberturas e telhados ou faces envidraçadas de edifícios), e permitem a integrar o ponto de consumo ao de geração, minimizando perdas (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Com o lançamento da Resolução 482 de 2012 pela ANEEL, que regulamenta e estabelece as condições para a troca de energia entre consumidor e concessionária, de modo que os sistemas de micro e mini geração possam ser inseridos na rede de distribuição de energia, e observando-se a tendência de aumento da demanda energética e necessidade de diversificação da matriz nacional, foi desenvolvido um estudo focado aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, observando, na situação atual, a percepção dos investidores, e a experiência dos países que trabalham com o *net metering* há mais tempo, observando as formas de incentivo adotadas e os pontos em que se obteve sucesso nestes países, de maneira a verificar quais atitudes poderiam ser tomadas pelo Brasil para que se obtenha uma evolução rápida no ramo de aproveitamento da energia solar. Pretende-se assim, por meio deste trabalho, auxiliar a inserção do nosso país no cenário de geração distribuída, que já é uma realidade em alguns lugares do planeta.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho foi desenvolvido em duas etapas principais. Em um primeiro momento, foi desenvolvida uma pesquisa explicativa e teórica de natureza aplicada. O método de obtenção de dados foi a pesquisa bibliográfica e documental, baseada em teses, dissertações, em *sites* governamentais e em documentos gerados por concessionárias e agências do setor elétrico. Em uma segunda etapa foi adotada uma pesquisa explicativa de natureza tecnológica para o desenvolvimento do projeto de um sistema fotovoltaico. Nessa etapa o método de obtenção de informações também será através de pesquisa bibliográfica.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho foi dividida da seguinte forma:

- Capítulo 1 - Introdução: nesse capítulo são descritos o tema do trabalho, sua estrutura, bem como os fatores que justificam e motivam essa pesquisa.
- Capítulo 2 – Energia Fotovoltaica: nesse capítulo foi desenvolvido o embasamento teórico sobre sistemas fotovoltaicos, as tecnologias comercialmente disponíveis, as principais aplicações e os sistemas de incentivo ao desenvolvimento do segmento fotovoltaico.
- Capítulo 3 – Panorama Mundial (com ênfase no brasileiro) da geração Fotovoltaica: este capítulo apresenta o panorama atual da geração de energia através de painéis solares no contexto mundial e nacional. Descreve também as principais implicações das recentes alterações na regulamentação referente ao sistema de troca de excedentes entre geradores e concessionárias assim como as medidas e resultados obtidos por países que adotaram o sistema de *Net metering*.
- Capítulo 4 – Viabilidade de implantação de um SFCR: esse capítulo apresenta o estudo técnico da implantação de um SFCR em uma residência na região de Curitiba, apresentando um estudo financeiro do sistema.

- Capítulo 5 – Conclusão: nesse capítulo são abordados os resultados da análise do projeto de implantação de um SFCR e uma descrição de medidas que podem trazer resultados positivos para o desenvolvimento desse setor no país, levando em conta o panorama atual e anterior à resolução 482/2012 da ANEEL e algumas experiências de outros países.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ENERGIA FOTOVOLTAICA E TERMINOLOGIA

A energia fotovoltaica é obtida pela conversão direta da irradiação solar em eletricidade, fenômeno denominado efeito fotovoltaico: princípio básico do funcionamento das células solares, caracterizado pelo surgimento de uma diferença de potencial nas extremidades de um material semicondutor devido à absorção da energia solar. Ele foi inicialmente descrito pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, famoso pelos seus estudos do espectro solar, magnetismo, eletricidade e ótica (SOLAREWORLD, 2013).

A princípio, não houve grande interesse no desenvolvimento dessa tecnologia, concentrando-se basicamente no setor de telecomunicações, que necessitava de fontes de energia para equipamentos instalados em localidades remotas, distantes de fontes convencionais. Também foi utilizado durante a “corrida espacial”, onde a geração fotovoltaica foi, e continua sendo, a melhor forma de geração para sistemas espaciais (satélites e naves espaciais), mostrando-se uma forma leve e relativamente barata de garantir eletricidade para longos períodos de permanência no espaço. Além desses setores, não houve grande desenvolvimento da energia solar até a crise energética de 1973, e, posteriormente, na década de 90, do desenvolvimento de maiores preocupações mundiais com problemas ambientais (CRESESB, 2013).

Existem diversos termos técnicos referentes à energia solar. A norma NBR ABNT 10899 de 2006 tem por objetivo definir os termos relativos à conversão fotovoltaica. São citados brevemente abaixo alguns termos definidos nas normas. Na sequência, os conceitos mais relevantes estão descritos em maiores detalhes:

- Irradiância solar (**G**): é a taxa na qual a radiação do sol incide em uma superfície, por uma unidade de área. Normalmente é medida em W/m^2 , e trata-se de uma média de potência por área;
 - Irradiância direta (G_{DIR}): É a irradiância que incide diretamente em uma superfície, sem ter sofrido interferências do meio (reflexão, difusão ou absorção). Pode ser normal ou horizontal à superfície;

- Irradiância difusa (G_{DIF}): potência radiante do sol, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, com exceção da irradiação direta. Trata-se da parcela de irradiância solar que é espalhada ou refletida na atmosfera terrestre;
- Irradiância global (G_{HOR}): potência radiante solar recebida por uma unidade de área em uma superfície horizontal, igual a soma das irradiâncias direta e difusa;
- Irradiância do albedo (G_{ALB}): fração da energia radiante solar, recebida em uma unidade de área, devido à refletância do meio onde está instalado um dispositivo;
- Irradiância total: potência radiante total do sol, incluindo-se as componentes direta, difusa e de albedo, recebida por uma superfície com inclinação qualquer.
- Irradiação solar: é a irradiância solar integrada em um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia. Medido em Wh/m^2 ou J/m^2 , e simbolizado por I quando a irradiância é integrada no tempo de uma hora ($Wh/m^2.h$) ou H quando é integrada no período de um dia ($Wh/m^2.dia$). Trata-se de uma medida de energia por área;
 - Irradiação direta (I_{dir} ou H_{dir}): irradiância direta integrada em um intervalo de tempo especificado. Trata-se da parcela que atinge diretamente a superfície terrestre, sem sofrer reflexão, difusão ou absorção, equivalendo a cerca de 25% da radiação total;
 - Irradiação difusa (I_{dif} ou H_{dif}): irradiância difusa integrada em um intervalo de tempo especificado. É parcela de radiação solar que é espalhada ou refletida na atmosfera, sendo responsável pela claridade do céu durante o dia e pela iluminação de áreas que não recebem a radiação direta do sol;
 - Irradiação global (I_{hor} ou H_{hor}): irradiância global integrada em um intervalo de tempo especificado;
 - Irradiação total (I_{tot} ou H_{tot}): irradiância total integrada em um intervalo de tempo especificado;

A Figura 1 exemplifica-se os diversos tipos de irradiação, ilustrando como cada um ocorre.

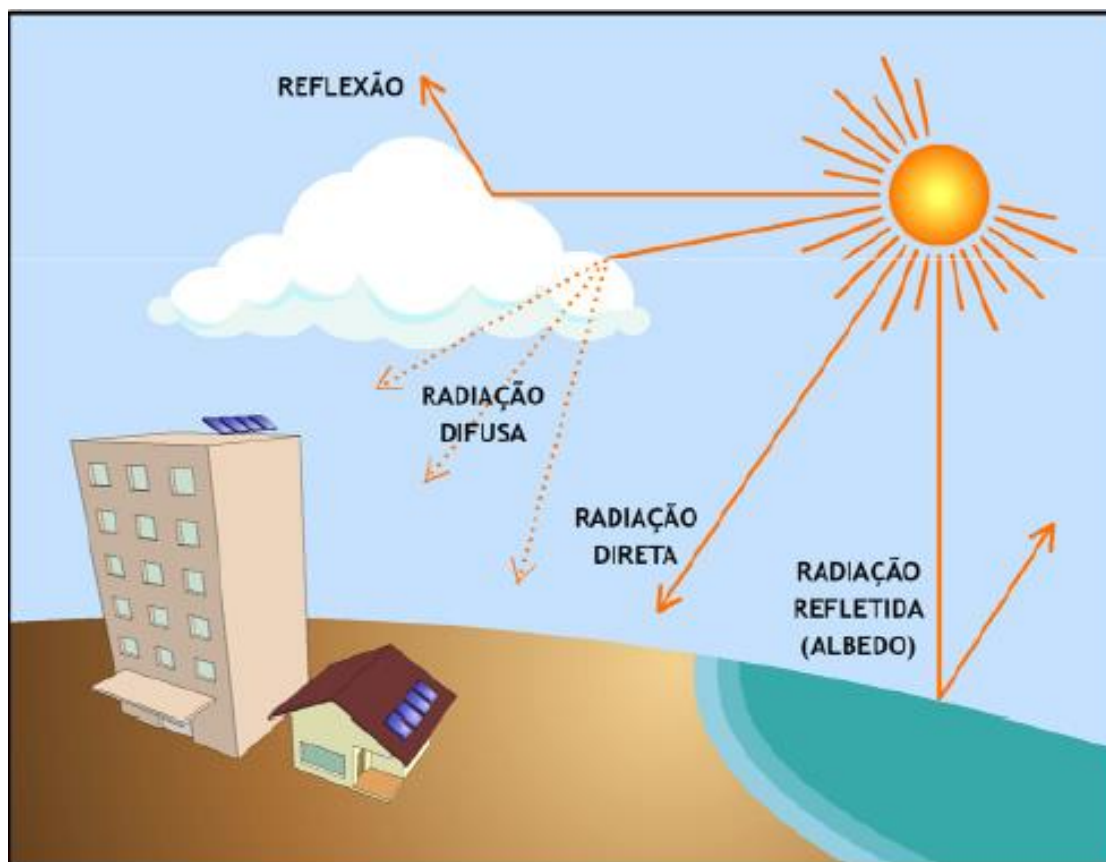


Figura 1 - Irradiação solar
Fonte: URBANETZ JUNIOR, 2013.

- Ângulo de incidência: ângulo entre o raio solar incidente (direção do sol) e a normal à superfície que recebe o raio solar;
- Ângulo azimutal do sol: ângulo entre o norte geográfico e a projeção do raio solar (direção do sol) no plano horizontal;
- Ângulo zenital: ângulo de vértice no observador, formado pelas semi-retas definidas pela direção do sol e a vertical.
- Célula fotovoltaica ou célula solar: conversor de energia solar elementar, desenvolvido para realizar a conversão direta da energia solar em energia elétrica;
- Módulo fotovoltaico: unidade constituída por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente para gerar energia;
- Painel fotovoltaico: combinação de um ou mais módulos interligados eletricamente, constituindo uma estrutura única;

- Arranjo fotovoltaico: um ou mais painéis fotovoltaicos ligados de forma a garantir uma única saída de corrente elétrica;
- Sistema fotovoltaico: é o conjunto de elementos necessários para geração de energia solar. Além do arranjo fotovoltaico, são necessários equipamentos de controle, supervisão, proteção, condicionamento e, certas vezes, armazenamento de energia. Bem como a fiação, estrutura e suporte da instalação;
- Concentrador solar: é um tipo de construção que utiliza elementos óticos para refletir e concentrar a luz solar em um ponto (normalmente nos painéis solares);

A **Figura 2** exemplifica a diferença entre módulo, painel e célula fotovoltaica.



Figura 2 - Vista de painel, módulo e célula fotovoltaica
Fonte: URBANETZ JUNIOR, 2010.

2.1.1. Efeito Fotovoltaico

Utilizando determinados materiais, particularmente os semicondutores, a energia solar é convertida em energia elétrica. Destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico: no efeito termoelétrico, ocorre uma diferença de potencial através da junção de dois metais em condições específicas. No efeito fotovoltaico, os fótons contidos na energia do sol são convertidos em energia elétrica, através das células solares (ANEEL, 2013). A conversão de energia solar em energia elétrica em materiais semicondutores ocorre quando os fótons contidos na energia proveniente do sol incidem em um material semicondutor com determinadas características elétricas específicas (junção p-n ou p-i-n), de modo que, a energia de uma parcela dos fótons excite elétrons no semicondutor, e os elétrons, por sua vez, originam uma diferença de tensão e possivelmente uma corrente elétrica (RÜTHER, 2004).

As células fotovoltaicas são fabricadas com materiais semicondutores, esses materiais têm características intermediárias entre os condutores e os isolantes. A partir de um processo conhecido como dopagem obtêm-se dois tipos de materiais, um com elétrons livres (cargas negativas), chamados de tipo n (dopagem do fósforo); ou um material oposto, com falta de elétrons e com cargas positivas, tipo p (dopagem do boro). Assim, a célula fotovoltaica é formada por uma camada de material tipo p justaposta a uma camada de material tipo n (junção p-n), e quando é exposta a luz, a energia dos fótons da luz do sol permite que elétrons presentes na camada p consigam passar para a camada n, gerando um potencial negativo no material n (excesso de elétrons) e um potencial positivo no material p (devido às lacunas criadas pela saída dos elétrons), e a barreira de potencial mantém os elétrons afastados das lacunas, de maneira a se desenvolver uma diferença de potencial nas extremidades do semicondutor, onde, se estabelecido um circuito externo, haverá circulação dos elétrons devido ao campo elétrico existente (URBANETZ, 2013) (ELETROSUL, 2013). É o que ocorre caso fios ligados a uma carga forem colocados nas extremidades desse material semicondutor: haverá um fluxo de corrente elétrica, fazendo com que os elétrons retornem para a camada p, reiniciando o processo enquanto houver incidência de radiação solar. Assim, a luz do sol fornece energia para impulsionar os elétrons em um único sentido, estabelecendo uma corrente elétrica contínua. A Figura 3 mostra simplificada

como ocorre o efeito fotovoltaico: percebe-se a exemplificação de um elétron deixando a camada p (gerando uma lacuna) e dirigindo-se à camada n, bem como o estabelecimento da corrente elétrica que permite alimentar a lâmpada ao retornar os elétrons para a camada p (ELETROSUL, 2013).

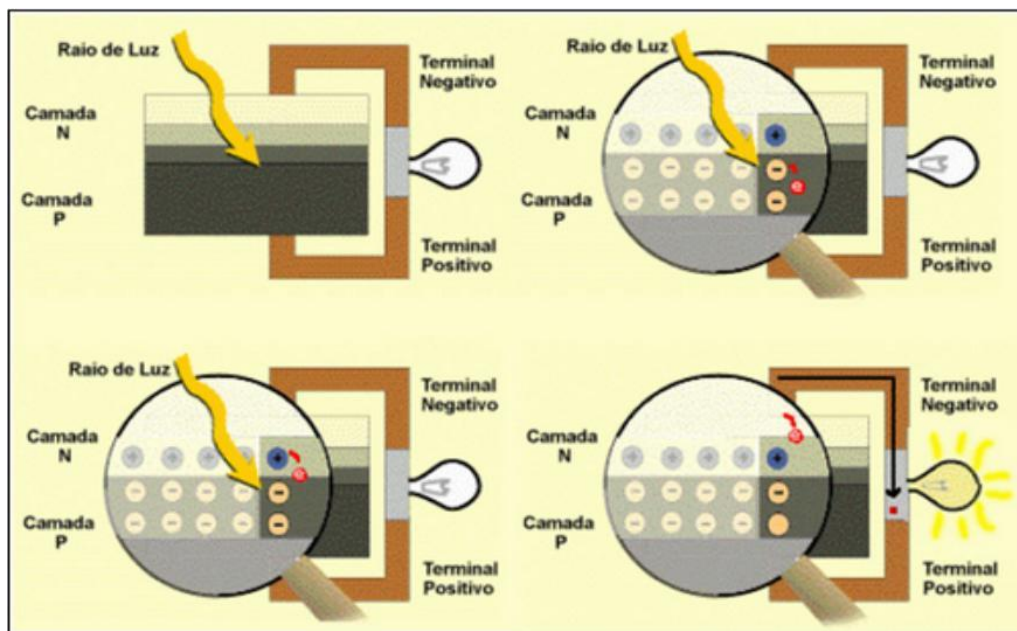


Figura 3 - Efeito Fotovoltaico.
Fonte: ELETROSUL, 2013.

Como as células fotovoltaicas possuem individualmente níveis baixos de tensão e corrente, é necessário fazer a conexão de várias células em série e/ou paralelo de modo que se possa ajustar os níveis de tensão e corrente da maneira desejada. Fazendo a ligação apropriada das células será constituída a estrutura do módulo fotovoltaico.

Para o melhor rendimento possível dos módulos (Figura 4), é necessário que o local da instalação seja estudado para que se possa conhecer a incidência de radiação solar ali presente e qual será o melhor ponto de instalação dos módulos. É preciso verificar qual a melhor orientação geográfica (norte, sul, leste ou oeste) e inclinação dos módulos em relação ao sol. Como regra geral, sistemas instalados no hemisfério sul obteriam maior rendimento se orientados para o norte a uma inclinação próxima a latitude do local (ELETROSUL, 2013).

A energia elétrica gerada pelos módulos tem saída em corrente contínua, e através de um conjunto de inversores de frequência, pode ser transformada em corrente alternada em níveis desejados de tensão e frequência, podendo assim, ser conectada à rede elétrica de distribuição. Esses inversores devem fornecer energia

elétrica dentro de um nível de qualidade adequado e são responsáveis por permitir que o módulo opere em seu ponto de máxima potência. Além disso, com o objetivo de manter a rede segura, evitando acidentes, esses inversores tem a capacidade de garantir que o sistema seja desligado, caso a rede elétrica não esteja energizada (ELETROSUL, 2013).



**Figura 4 - Módulos fotovoltaicos instalados em uma residência.
Fonte: ECOCASA, 2013.**

2.1.2. Irradiação Solar

Dois dados são de grande valia para reforçar a importância e a utilidade da energia solar para o mundo: a cada ano, a energia solar que atinge a atmosfera é de $1,52 \cdot 10^{18}$ kWh; por outro lado, o consumo primário de energia no mundo em 2010 foi de $1,40 \cdot 10^{14}$ kWh. Observa-se que a energia primária consumida pelo mundo todo representa aproximadamente 0,01% da radiação solar incidente. Uma hora de energia solar que incide sobre todo o planeta, equivale ao consumo de energia elétrica mundial de um ano (ABINEE, 2012).

No decorrer do transporte de toda essa energia proveniente da radiação solar, sabe-se que parte dela é perdida, devido a diversas razões, como fatores

espaciais (altitude, latitude), temporais (estações do ano) condições atmosféricas variadas (chuvas, nebulosidades, partículas liberadas por “queimadas”, etc).

O sol pode ser visto como um enorme reator a fusão nuclear, operando à temperatura de 100.000.000 °C e localizado a uma distância média de 150.000.000 km da terra. É possível fazer a estimativa do quanto de irradiação que atinge a camada superior da atmosfera e da quantidade que chega à superfície terrestre. A Figura 5 representa esta proporção para cada comprimento de onda, supondo que o sol está presente e o céu sem nuvens.

No topo da atmosfera terrestre, a irradiação é de, em média, 1353 W/m² (valor denominado constante solar). Quando passa pela atmosfera a irradiação solar sofre atenuações do meio, como absorção (por moléculas de O_3 , que absorve uma parcela do espectro ultravioleta, e H_2O e CO_2 , que absorvem a radiação infravermelha) e espalhamento devido ao ar, vapor d'água e poeira, de modo que, ao chegar à superfície terrestre, a irradiação é da ordem de 1000 W/m² (ao meio dia solar, em um dia sem nuvens) (URBANETZ JUNIOR, 2010) (RÜTHER, 2004) (COGEN, 2012).

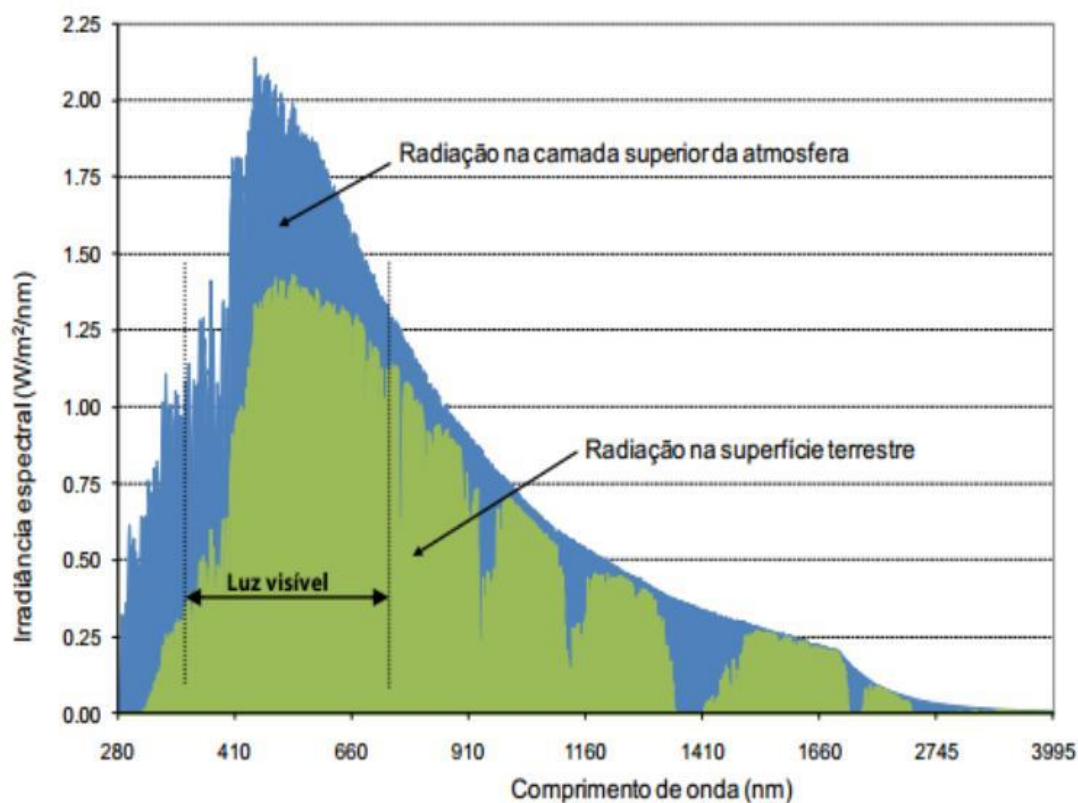


Figura 5 - Radiação Espectral
Fonte: COGEN, 2012

2.1.3. Instrumentos de Medição de Irradiação Solar

Para desenvolver estudos solarimétricos, são necessárias estações de medição e alguns equipamentos específicos nos locais onde se deseja conhecer as condições de clima e atmosfera. Os dados obtidos pelos equipamentos são, em geral, tratados, qualificados e analisados sob a coordenação de centros de pesquisa e meteorológicos, como, por exemplo, o LabSolar (Laboratório de Energia Solar) e o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Com um histórico de medidas solares, torna-se possível uma análise técnica e econômica para sistemas fotovoltaicos na região estudada. Deste modo, destacam-se alguns equipamentos importantes de medição de parâmetros solares: o piranômetro (Figura 6), o pireliômetro e o heliógrafo ou heliômetro.

Os piranômetros medem a radiação global, podem utilizar uma termopilha, que realiza a medição da diferença de temperatura entre duas superfícies (uma branca e outra preta), igualmente iluminadas. As superfícies sofrem expansões diferentes, o que provoca uma diferença de potencial proporcional à irradiância solar. Estes equipamentos podem também utilizar uma célula fotovoltaica de silício para fazer a medição, neste caso, normalmente, são menos precisos, no entanto, têm o custo reduzido em comparação aos de termopilha (CRESESB, 2006).

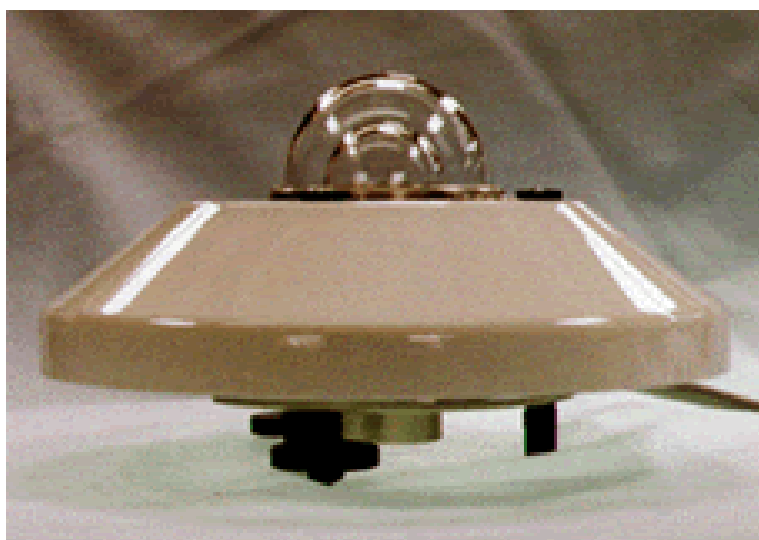


Figura 6 - Piranômetro.
Fonte: CRESESB, 2006.

Os pireliômetros (Figura 7) são equipamentos que medem a radiação direta do sol sobre uma superfície. Eles possuem uma abertura e uma câmera escura, que focaliza o disco solar para que os raios atinjam diretamente o sensor. Ele acompanha o movimento do sol ao longo do dia (CRESESB, 2006).



Figura 7 - Pireliômetro.
Fonte: SONDA, INPE, 2002.

O heliômetro (Figura 8) registra a duração da incidência de raios solares ao longo de um período (um dia ou um ano, por exemplo). É constituído por uma esfera de cristal que focaliza os raios solares em uma fita fotossensível (CRESESB, 2006).



Figura 8 - Heliômetro.

2.1.4. Fontes de Dados de Irradiação Solar

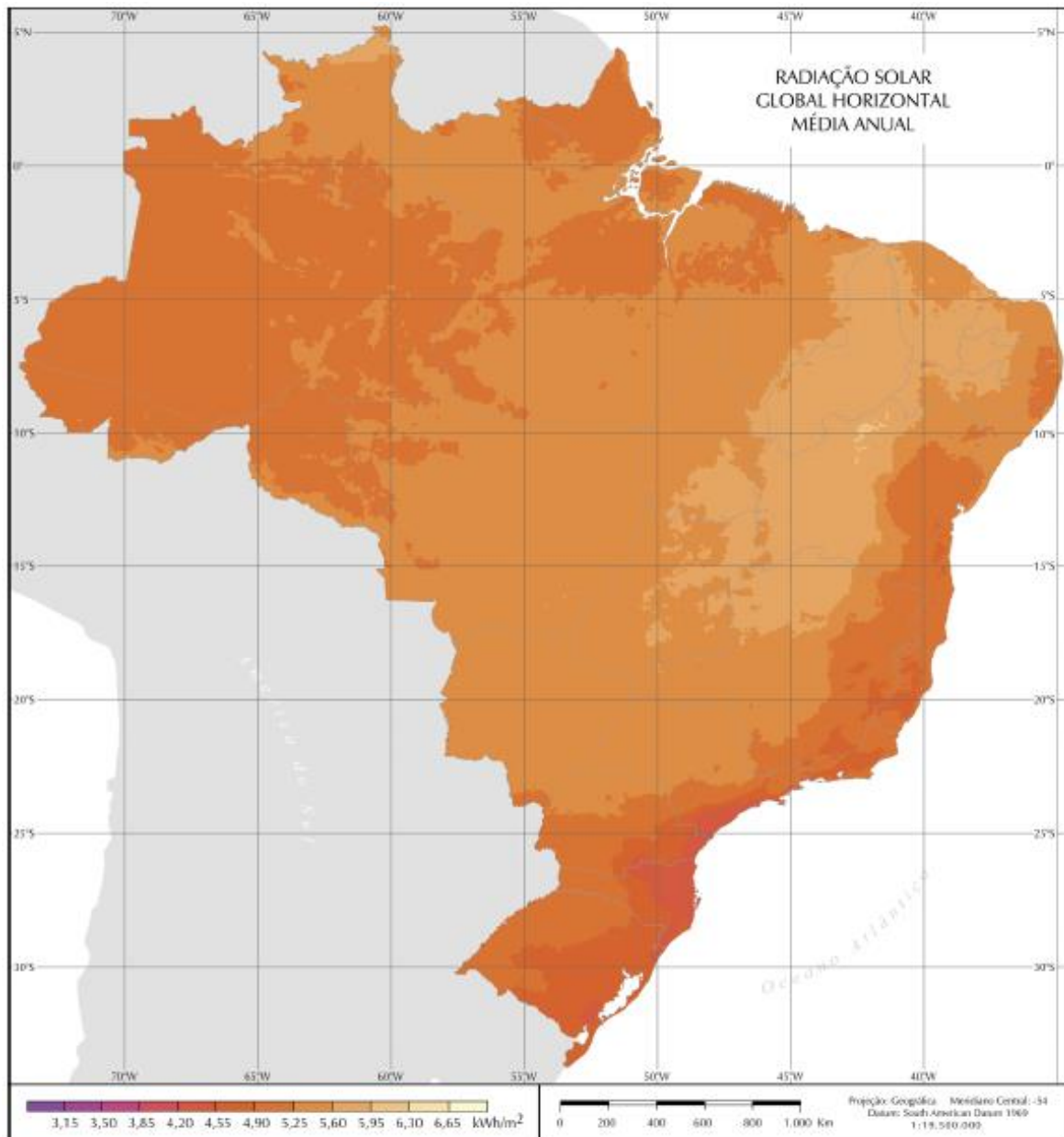
No Brasil, o Atlas de Irradiação Solar do Brasil e o Atlas Solarimétrico do Brasil foram alguns dos estudos pioneiros de avaliação do potencial solar existente. O primeiro foi desenvolvido pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em conjunto com o LabSolar (Laboratório de Energia Solar) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 1998. O segundo foi uma iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) juntamente com o CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) e a CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco) em 2000.

Em 2006 foi publicado o Atlas Brasileiro de Energia Solar, um trabalho iniciado em 2001 e executado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e outros órgãos públicos com o auxílio do LabSolar e de diversos laboratórios solares brasileiros. Este atlas é parte do escopo do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), que conta com um banco de dados de informações globais, obtidas com o auxílio de várias organizações ao redor do mundo, sobre potenciais de energia solar e eólica, bem como informações climáticas em geral (OPENEI, 2014) (PEREIRA *et al.*, 2006).

O Atlas Brasileiro de Energia Solar tem como objetivo fornecer uma fonte de informações confiável sobre os potenciais eólico e solar brasileiros. Foi elaborado a partir de uma extensa base de dados proveniente de imagens de satélites e de dados obtidos em superfície terrestre a partir de estações de medição. Utilizou-se uma composição de imagens de satélites do período de 1995 a 2005, estas imagens foram qualificadas e tratadas para extração das informações relevantes. Por outro lado, as informações terrestres foram obtidas através de 95 estações de medição dispostas no território brasileiro e submetidas a um rigoroso controle de qualidade. Com as informações finais desse banco de dados, foi desenvolvido um mapeamento do fluxo de radiação solar que incide no território brasileiro (PEREIRA *et al.*, 2006).

Deste modo, o Atlas Brasileiro de Energia Solar, possibilitou, dentre outros produtos, a criação de mapas impressos e digitais, em alta resolução, da irradiação solar no Brasil. Estes mapas têm sido usados em projetos e estudos relativos ao aproveitamento do potencial solar no país, como, por exemplo, neste trabalho, no projeto de um SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) na região de Curitiba.

As Figura 9 e Figura 10 mostram os mapas do Brasil representando as médias anuais de irradiação solar global horizontal e no plano inclinado. A irradiação global horizontal é referente à incidência de irradiação em uma superfície horizontal enquanto que a irradiação no plano inclinado refere-se à irradiação recebida por uma superfície inclinada, com inclinação igual à latitude local, com orientação para o equador (URBANETZ, 2012). Para efeito de comparação, confrontando-se os potenciais brasileiro e alemão, com base nos dados de irradiação média do projeto SWERA, comprova-se que as áreas de menor incidência de irradiação no Brasil (1642 a 1715 kWh/m².ano) recebem mais energia solar do que as regiões de maior ocorrência na Alemanha (1100 a 1150 kWh/m².ano), que destaca-se por ser atualmente o país que mais gera energia elétrica fotovoltaica no mundo (URBANETZ, 2012).



**Figura 9 - Mapa de irradiação solar global horizontal do Brasil.
Fonte: Pereira et al. (2006).**

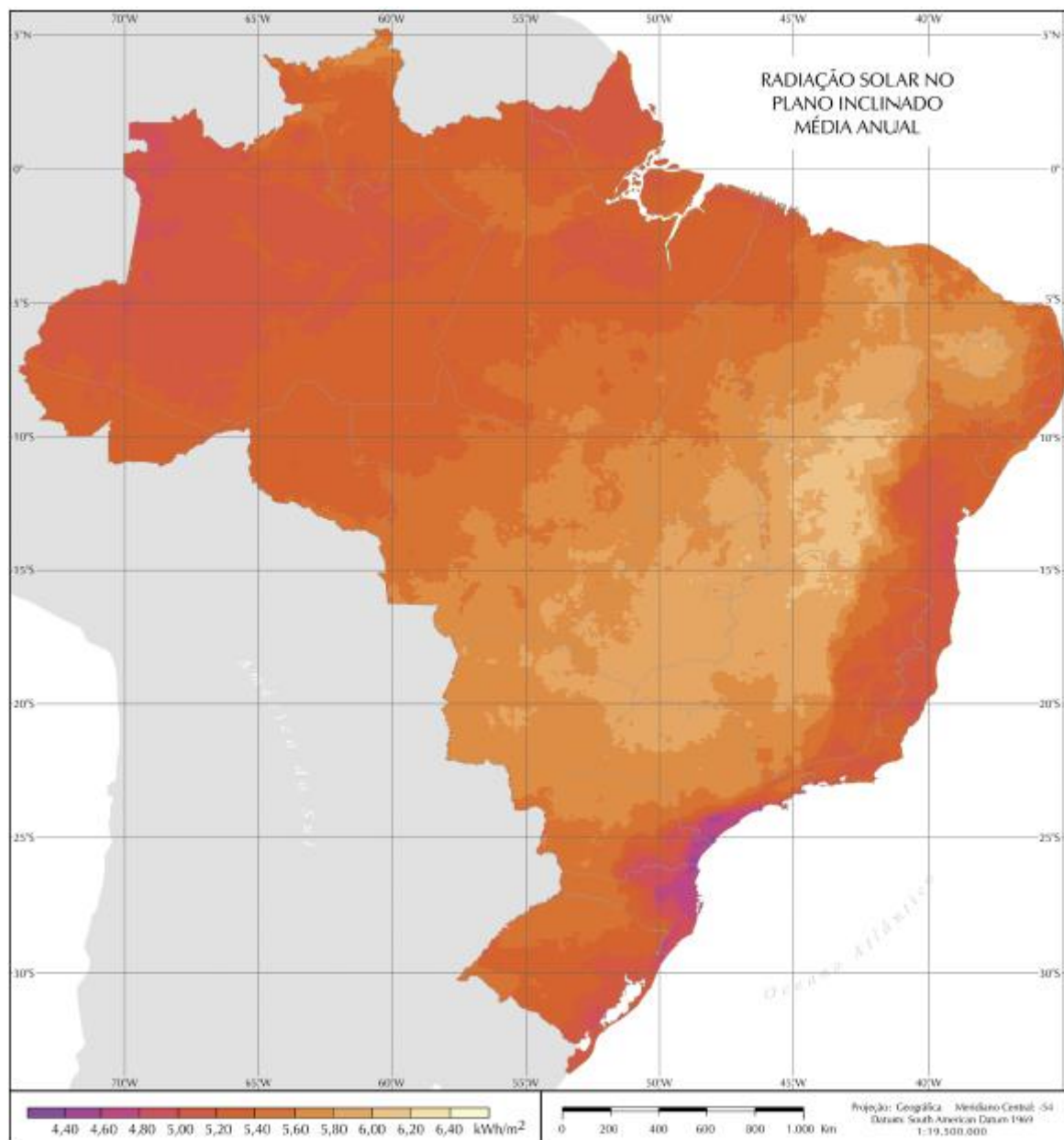


Figura 10 - Mapa de irradiação global no plano inclinado do Brasil.
Fonte: Pereira et al. (2006).

Para obter valores de irradiação em superfícies com inclinações diferentes da latitude local, é possível utilizar o *software* RADIASOL. Este programa foi desenvolvido pela UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), e calcula valores horários, diários e mensais de irradiação em superfícies específicas, com base em informações fornecidas pelo usuário, como ângulo de inclinação, desvio azimutal do norte, horários do nascer e do pôr do sol, entre outros.

O programa efetua os cálculos da intensidade da irradiação solar em superfícies inclinadas através de um elevado número de operações aritméticas,

trigonométricas e de distribuição temporal e espacial da irradiação solar. Para tanto, utiliza modelos matemáticos disponíveis na literatura ou desenvolvidos pelos seus autores. Além disso, o programa também utiliza as informações do banco de dados do projeto SWERA.

2.1.5. Aplicações da Energia Solar

A energia solar pode ser aproveitada de diferentes maneiras, de acordo com a tecnologia utilizada. É bastante utilizada no aquecimento de água através de coletores solares térmicos, na geração indireta de eletricidade por meio de concentradores de calor, ou ainda, por geração direta de eletricidade com a utilização de módulos fotovoltaicos convencionais. A Figura 11 mostra uma usina solar térmica que gera energia ao direcionar os raios solares em um reservatório de água, gerando o vapor que irá promover a movimentação de turbinas acopladas a geradores. A Figura 12, por outro lado, apresenta concentradores que direcionam os raios para um módulo fotovoltaico, que gera energia devido à diferença de potencial que surge em seus terminais ao ser submetido à irradiação solar. (URBANETZ JUNIOR, 2013).



**Figura 11 – Usina concentradora solar térmica PS10 (Planta Solar 10), em Sevilla, na Espanha.
Fonte: CLIMAP, 2014**



Figura 12 - Concentradores solares.
Fonte: ALTERNATIVE ENERGY INFO, 2014.

Uma das utilizações mais comuns da energia proveniente do sol é o aquecimento de água. A operação simplificada é apresentada na Figura 13 e ocorre da seguinte maneira: a água proveniente de um reservatório alimenta os coletores solares, na medida em que a água esquenta nos coletores solares, ela sobe pelas suas colunas, seguindo a tubulação e se depositando na parte superior do reservatório. Como a água mais fria possui maior densidade, ela flui para a parte inferior do reservatório, e passa a alimentar os coletores em um novo ciclo (UNESP, 2013). Esse processo é realizado através da convecção da água e usualmente os coletores são posicionados nos telhados das residências.

convencional, podendo ser sistemas geradores descentralizados de pequeno porte (geração residencial e comercial em edificações urbanas, por exemplo) ou plantas de geração centralizada de grande porte. Nestes casos, a energia gerada pode ser injetada na rede, e ela, pode ser vista como o elemento armazenador, uma vez que a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede. Este sistema apresenta algumas vantagens importantes: produtividade elevada (toda a energia gerada pelos módulos é utilizada) e não há a necessidade de um banco de baterias (que geralmente apresentam baixa vida útil dentre os elementos de um sistema fotovoltaico). Além disso, é baixa a probabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede causar o fenômeno denominado ilhamento (quando parte da rede elétrica é desconectada do restante do sistema da concessionária, no entanto, continua energizada por um ou mais geradores distribuídos, formando um sistema elétrico isolado) (URBANETZ JUNIOR, 2010) (URBANETZ JUNIOR, 2013) (Câmara, 2011).

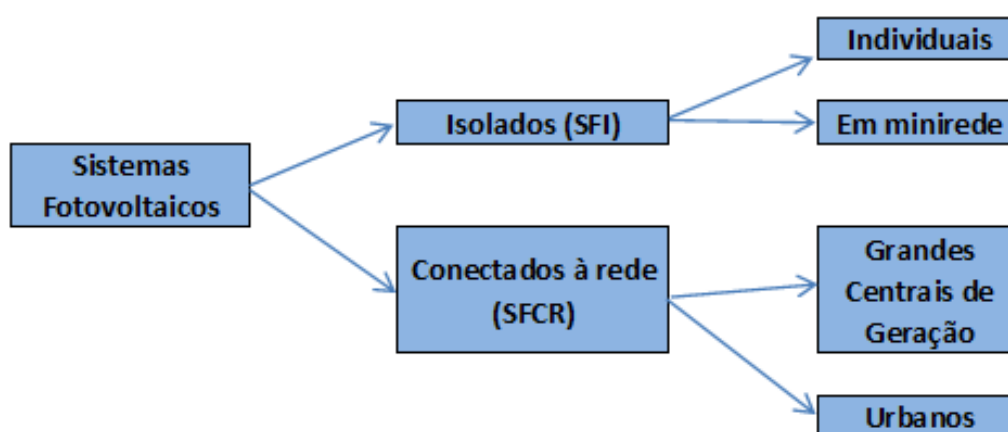


Figura 14 – Configurações básicas de sistemas fotovoltaicos.
 Fonte: adaptado de URBANETZ JUNIOR, 2010.

2.2.1. Sistemas Fotovoltaicos Isolados

Os sistemas fotovoltaicos isolados têm necessidade de armazenar parte da energia elétrica que foi gerada e não consumida no mesmo instante com o objetivo de utilizar essa reserva em momentos em que a irradiação solar esteja baixa, como em dias nublados ou chuvosos, e durante a noite. Para isso, são utilizados bancos de baterias e equipamentos de controle de carga/descarga. Para evitar que falte energia, os bancos de baterias devem ser superdimensionados, tendo em vista que

nos períodos críticos, onde ocorre baixa incidência solar, também pode haver alto consumo de energia. Esse tipo de instalação tende a desperdiçar uma quantidade maior de energia na forma de calor (perdas de carga e descarga das baterias), principalmente nos períodos de verão, em que a geração pode superar o consumo. É possível observar maiores detalhes na Figura 15, onde estão representados esquematicamente os componentes de uma instalação fotovoltaica isolada (ABINEE, 2012).

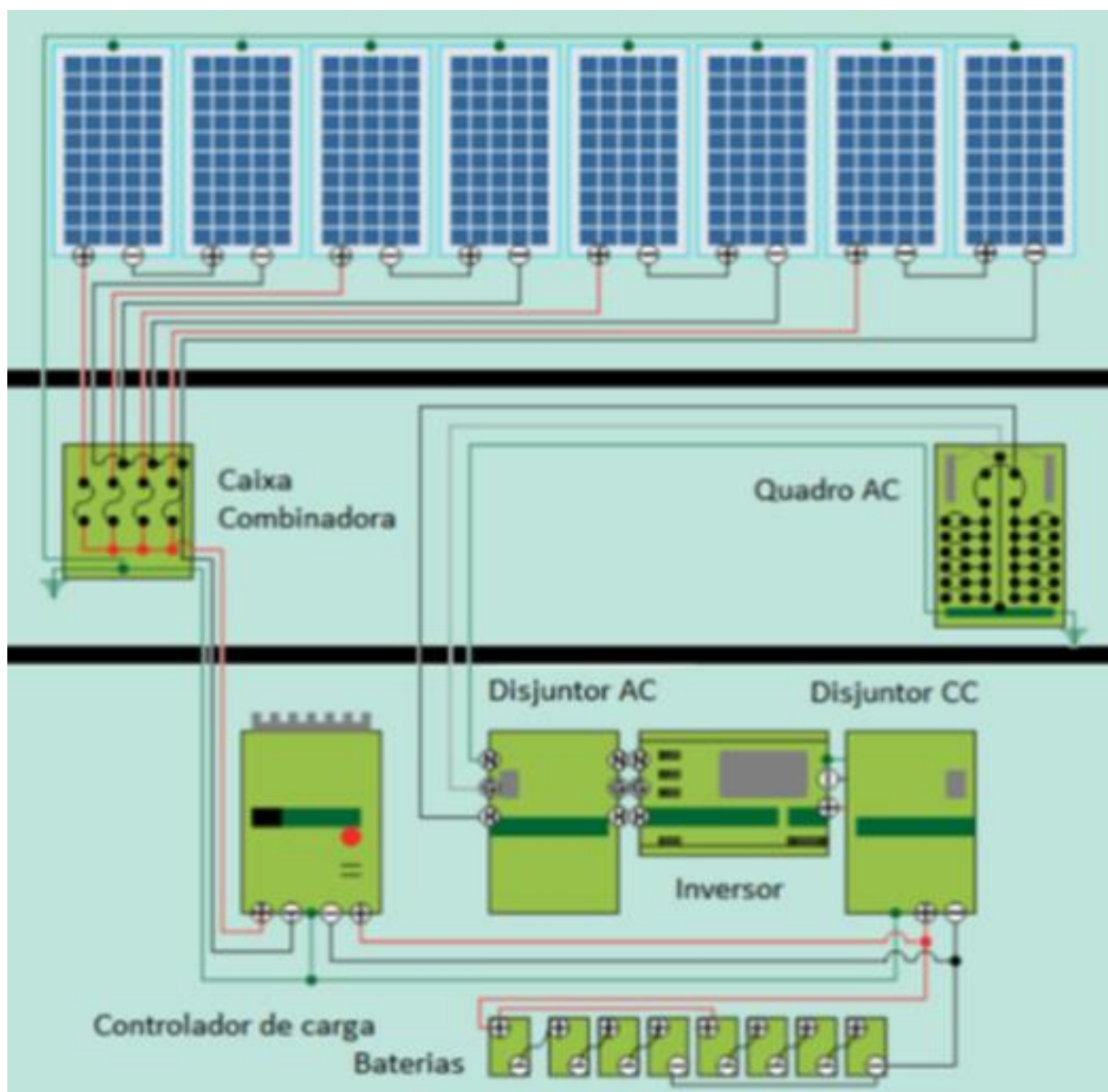


Figura 15 - Componentes de um sistema fotovoltaico isolado.
Fonte: COGEN, 2012.

Estes sistemas, como já observado, são utilizados em situações em que estender a rede elétrica convencional até um local de difícil acesso, ou muito distante, torna os custos muito elevados, principalmente se a demanda de energia

for baixa. Por esta razão algumas pequenas comunidades distantes de grandes centros consumidores (residências ou instalações como postos de saúde remotos) podem ser mais facilmente atendidas por meio de sistemas isolados. Podem ainda ser utilizados em estações de rádio (antenas), sistemas de bombeamento de água, sistemas de monitoramento da qualidade da água, de dessalinização da água, sinalização, entre outros (SALAMONI, 2010). Um exemplo pode ser observado na Figura 16, em um uma comunidade em Xapurí, no Acre, onde foram instalados SFI com três módulos em algumas residências, totalizando 255 kWp para cada uma delas.



**Figura 16 - SFI em Xapurí, no Acre.
Fonte: URBANETZ JUNIOR, 2013.**

Outra utilização possível de sistemas isolados é em bens de consumo que integram na sua estrutura pequenos painéis fotovoltaicos, permitindo o carregamento de dispositivos eletrônicos em CC. Exemplos são mochilas e equipamentos de acampamento com estruturas fotovoltaicas acopladas, disponibilizados no mercado por vários fabricantes. Existem também veículos elétricos assistidos por um sistema fotovoltaico (que auxilia na carga das suas

baterias), como o barco solar da UFSC, mostrado na Figura 17, utilizado na competição Frisian Solar Challenge, em 2010, vencedor de diversos prêmios.

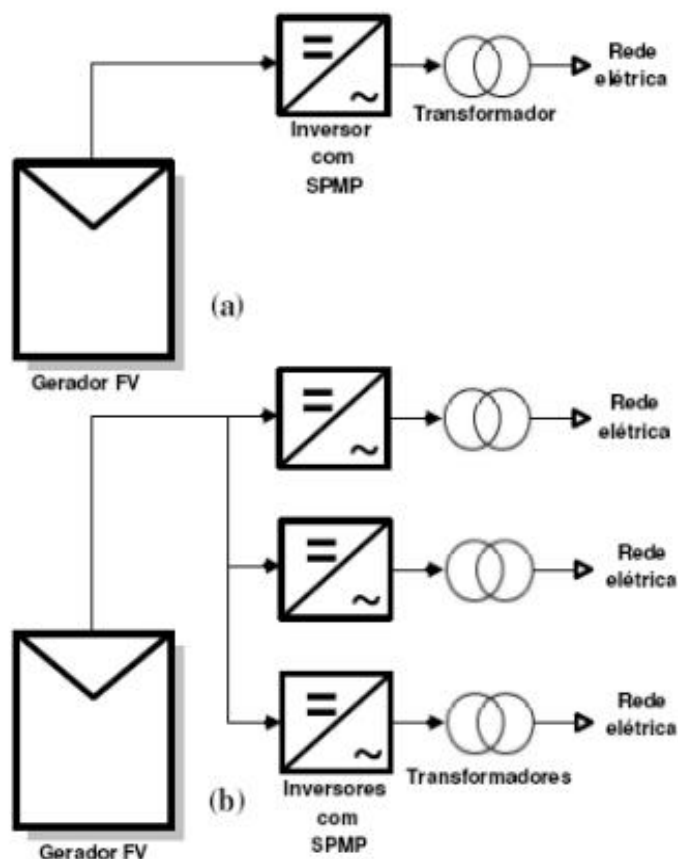


**Figura 17 - Barco solar da UFSC.
Fonte: URBANETZ JUNIOR, 2013.**

2.2.2. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Segundo Rüther, é possível classificar os sistemas fotovoltaicos conectados à rede de acordo com o tipo de instalação: se integrados às edificações ou centralizados. Os sistemas integrados utilizam a estrutura de prédios e residências para sua fixação, normalmente em meios urbanos, estes sistemas são denominados geradores distribuídos. Os sistemas centralizados constituem usinas solares convencionais, geralmente mais afastados dos centros urbanos.

Uma grande central fotovoltaica fornece potência à rede elétrica por meio de um ou mais inversores e transformadores, como mostrado no esquema da Figura 18. Esses sistemas utilizam inversores comutados pela rede para evitar a operação isolada, e, em geral, são equipamentos com seguidor de ponto de máxima potência (SPMP) (Câmara, 2011).



**Figura 18 - Configurações de centrais fotovoltaicas com um (a) ou vários inversores (b).
Fonte: Markvart, 1994**

A geração distribuída, por outro lado, é constituída por módulos montados diretamente nas edificações (inclusive como recurso estético em alguns casos), como por exemplo: cobertura de estacionamentos, áreas livres, telhados de residências, edifícios envidraçados (há a possibilidade de se substituir painéis de vidro por painéis FV semitransparentes), entre outros. Semelhantemente, a energia fotovoltaica alimenta a rede elétrica através de inversores CC/CA, conectados à rede distribuição em baixa tensão. Esse sistema geralmente está presente em residências e pequenos comércios (Câmara, 2011).

Na Figura 19 pode-se visualizar os elementos que envolvem a instalação de painéis fotovoltaicos interligados à rede. Observa-se os módulos onde ocorre a transformação de radiação solar em energia elétrica, o inversor, a rede elétrica de distribuição, os medidores de energia e outros equipamentos de uso final de energia elétrica (Câmara, 2011).

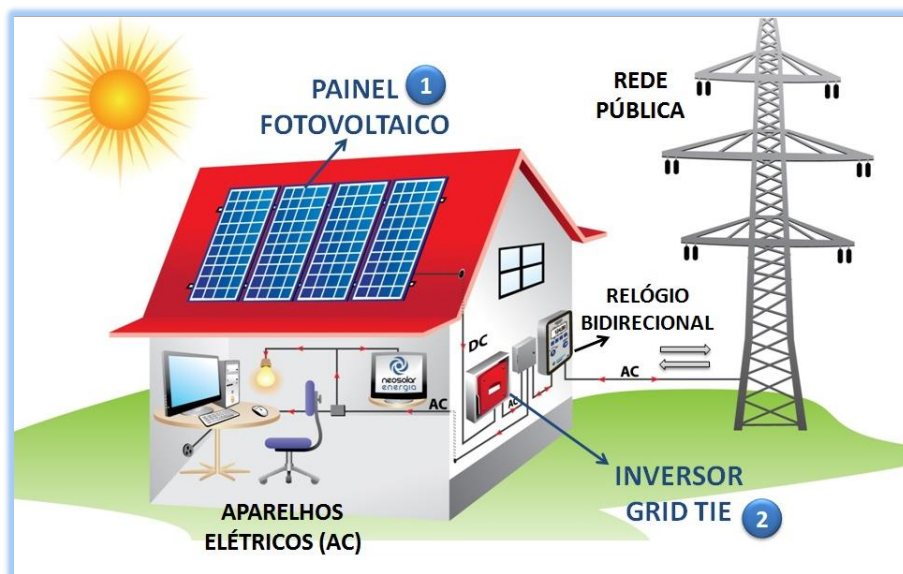


Figura 19 - Sistema fotovoltaico conectado à rede
Fonte: NEOSOLAR, 2013.

Segundo Câmara (2011), os SFCR possuem diversas vantagens em comparação aos sistemas isolados, tais como:

- Perdas minimizadas, pois a energia é produzida junto à carga;
- A produção de energia elétrica otimiza a utilização o espaço, em vista de que a instalação é interligada às edificações;
- Os investimentos em linhas de transmissão e distribuição são reduzidos;
- Vantagem para instalações comerciais, onde a energia produzida coincide com o horário comercial de trabalho e maior consumo;
- Melhor qualidade de energia;
- Fonte inesgotável de energia, além de ser uma energia limpa e silenciosa.

2.2.3. Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Os sistemas híbridos utilizam duas ou mais fontes de energia para alimentar suas cargas, uma delas sendo o gerador FV. Estes sistemas podem ou não ter um banco de baterias, e exigem uma unidade de controle capaz de as diversas fontes de energia. Um exemplo é o sistema da Vila de Araras, Nova Marmoré, em Rondônia. Esta usina forneceu energia de 2001 a 2011 à região, até a chegada da rede pública convencional. Composto por 320 módulos solares (a-Si) e três geradores a diesel (dois para geração e um para reserva), o painel solar

proporcionava uma redução considerável no consumo de diesel, principalmente nos momentos de alta incidência, em que somente um gerador era ativado para servir como referência de tensão para os inversores do sistema FV. Na Figura 20 é apresentado um diagrama com a montagem dos geradores solar e diesel conectados ao barramento CA. (URBANETZ JUNIOR, 2013).

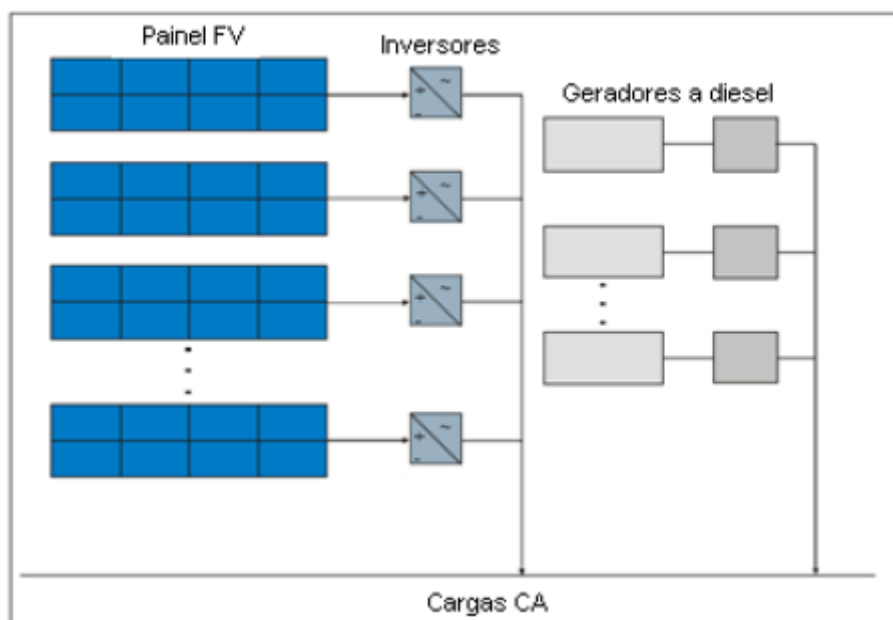


Figura 20 - Diagrama do sistema híbrido da Vila de Araras, em Rondônia.
Fonte: URBANETZ JUNIOR, 2010.

Como já foi observado, os sistemas fotovoltaicos são compostos por módulos, inversores de frequência, dispositivos de proteção e manobra, sistemas de fixação e suporte dos módulos, condutores e, caso necessário, baterias e controladores de carga. Na sequência são explicados alguns destes equipamentos mais detalhadamente.

2.2.4. Módulos Fotovoltaicos

A tensão de circuito aberto de cada célula fotovoltaica é pequena, ficando entre 0,5 V a 0,6 V para as células de silício cristalino. Para produzir um módulo de silício cristalino de 60 V, por exemplo, seriam necessárias 120 células de 0,5 V conectadas em série. O número de módulos é definido através da potência que se deseja atingir, dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais escolhidos (RÜTHER, 2004). A tensão e corrente resultantes através da ligação dos

módulos devem ser definidas observando a faixa de operação dos inversores e demais elementos do projeto de um sistema de geração solar.

Os módulos solares são a base do sistema gerador, no entanto, o processo de fabricação das células solares é complexo, e somente alguns países detêm as tecnologias para sua produção. A Figura 21 apresenta a produção de células por regiões no ano de 2010. Naquele ano, a China dominou o mercado, apresentando 59% do total produzido. Esta superioridade se deu devido a incentivos locais para o desenvolvimento do setor (disponibilidade de grandes reservas de capital de baixo custo dos bancos chineses), proporcionando aumento na capacidade de produção e redução dos custos de fabricação. De fato, um número crescente de fabricantes de outras regiões (EUA, Europa e Japão) têm empregado produtores de módulos solares chineses, e depois vendido os equipamentos produzidos sob suas marcas, frequentemente sem tornar públicas essas informações (MEHTA, 2011).

Produção de módulos fotovoltaicos por região em 2010

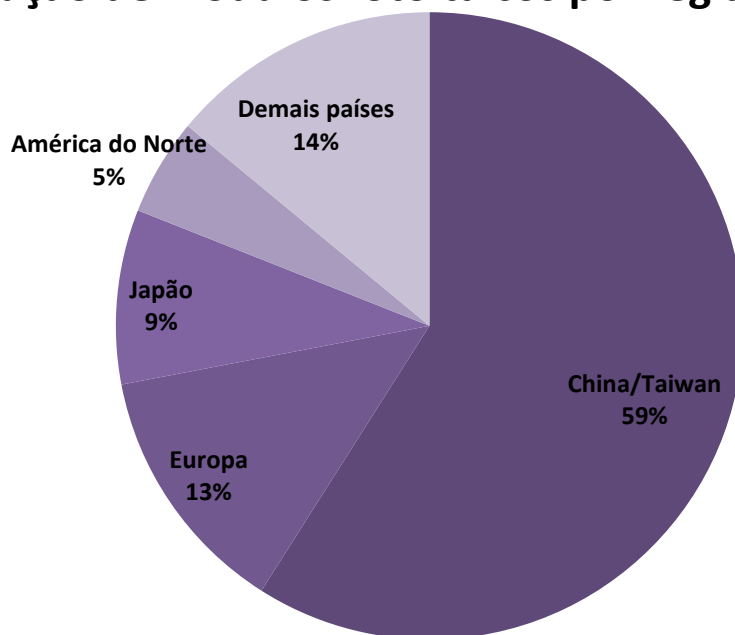


Figura 21 - Produção de módulos fotovoltaicos por região em 2010.
Fonte: adaptado de MEHTA, 2011.

Existem diferentes alternativas de tecnologias de filmes fotovoltaicos disponíveis atualmente. Para aplicações terrestres, as tecnologias mais utilizadas são as de silício cristalino (c-Si), silício amorfo (a-Si:H ou a-Si), o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos de disseleneto de cobre (gálio) e índio

($CuInSe_2$ ou CIS e $Cu(InGa)Se_2$ ou CIGS). O silício cristalino é a tecnologia mais tradicional atualmente, sendo a única dentre as citadas que utiliza lâminas cristalinas mais espessas (da ordem de 300 a 400 μm), sendo que as demais tecnologias utilizam filmes finos (películas fotovoltaicas com espessura da ordem de 1 μm) (RÜTHER, 2004).

No ano de 2010, o silício cristalino liderou o mercado (87% dos painéis fotovoltaicos fabricados), obtendo uma parcela ainda maior de que em 2009 (77% do total). Os filmes finos, por sua vez, apresentaram um decréscimo de produção em 2010 (de 17% em 2009 para 13% em 2010), fato que não ocorria desde 2005, e que é atribuído à expansão da capacidade de produção de fabricantes (principalmente chineses e taiwaneses) de painéis de silício cristalino, além de um ambiente com o preço do silício poli cristalino estável. O Figura 22 apresenta as proporções de tipos de células fabricadas no ano de 2010.

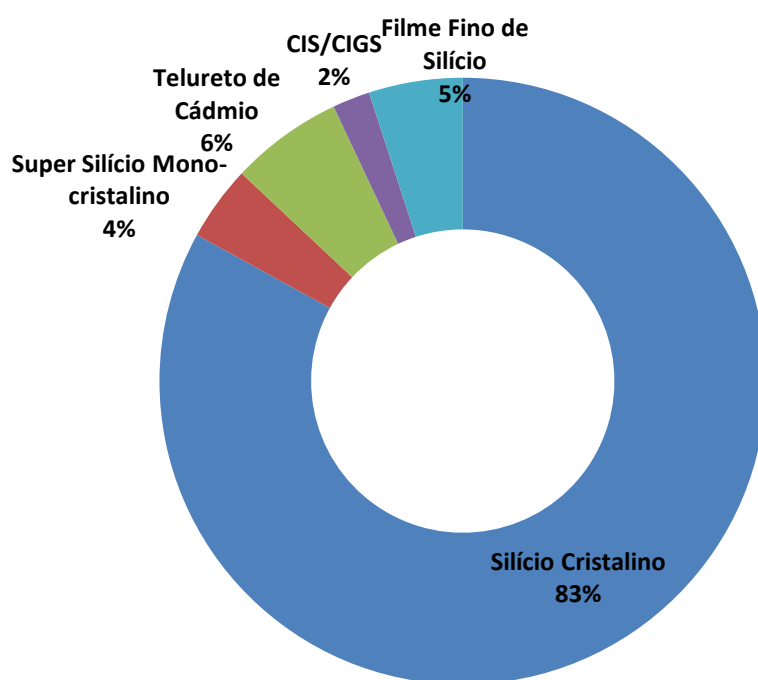


Figura 22 - Fabricação de módulos por tipos de tecnologia no ano de 2010
 Fonte: adaptado de MEHTA, 2011.

O Figura 23 expõe as parcelas de mercado dos 15 maiores fabricantes de módulos solares no mundo, no ano de 2012, de acordo com o relatório de 2013 do *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*, (REN21), que levou em conta para a classificação os 35,5 GW de potência total em painéis fotovoltaicos produzidos em 2012 (REN21, 2013).

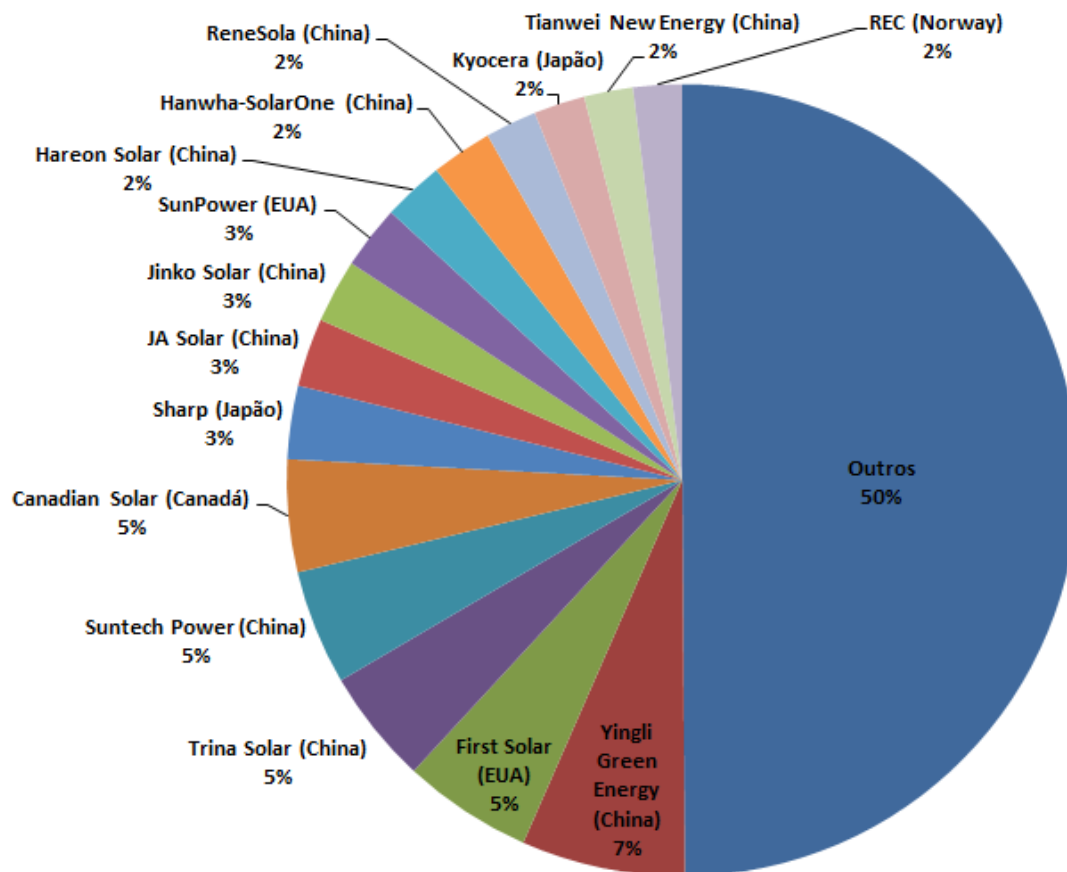


Figura 23 - Parcela de mercado dos 15 maiores produtores de painéis fotovoltaicos
 Fonte: adaptado de REN21, 2013.

2.2.5. Tecnologias de Módulos Fotovoltaicos

Como citado, os materiais mais utilizados para fabricação das células fotovoltaicas são o silício monocristalino, policristalino e os chamados filmes finos. (ABINEE, 2012). Na Figura 24 são mostrados os três tipos de módulos de diferentes tecnologias.

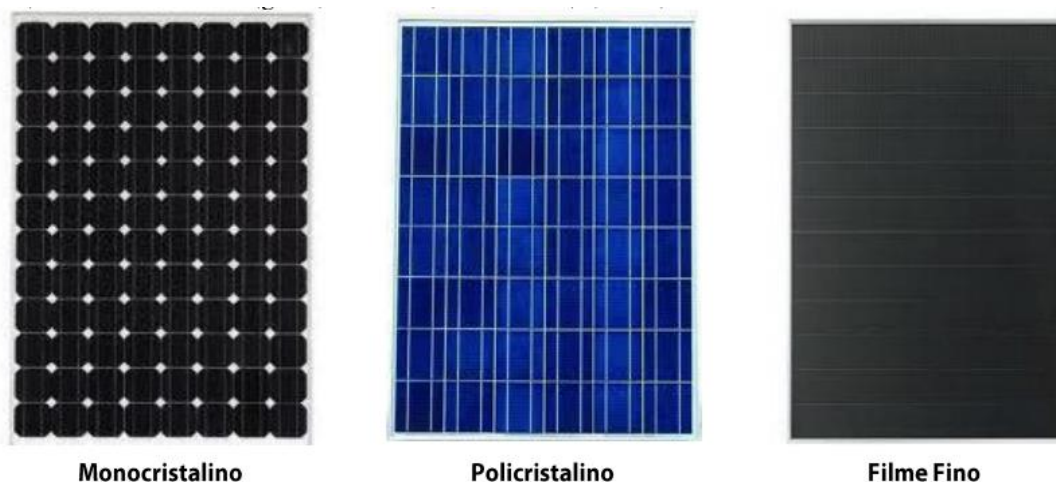


Figura 24 – Tecnologias de painéis.
Fonte: COGEN, 2012

2.2.5.1. Silício Mono-Cristalino (m-Si)

Este tipo de célula fotovoltaica representa a primeira geração, tradicional e de grande escala de produção a nível comercial. Esta tecnologia se consolidou no mercado devido a sua robustez e confiabilidade, todavia, o seu custo elevado apresenta um obstáculo e as possibilidades de reduzi-lo já foram praticamente esgotadas.

O custo alto é proveniente da complexidade de fabricação destas células, que requerem que o silício fundido utilizado seja de alta pureza (99,99% a 99,9999% de silício), além de altas temperaturas (da ordem de 1400 °C) e velocidades de produção mais baixas que as demais tecnologias. Deste modo, sua fabricação dispense muita energia, e o tempo para que o módulo possa gerar a energia utilizada na sua confecção (*energy payback time*) tende a ser maior.

O seu rendimento elétrico é relativamente elevado, até 23% em laboratório (RÜTHER, 2004) (Portal Energia, 2011).

2.2.5.2. Silício Poli-Cristalino (p-Si)

Sua produção não demanda tanta energia, portanto, as células policristalinas têm um custo inferior (o processamento e a perfeição cristalina é menor em comparação com o silício mono-cristalino). No entanto, apresentam um rendimento elétrico inferior (obtendo-se até 18% em laboratório). Esta redução de rendimento é causada por imperfeições no entorno de grãos ou cristais existentes nas células,

devido ao sistema de fabricação. A Figura 25 mostra duas células, de silício mono-cristalino e poli-cristalino (RÜTHER, 2004) (Portal Energia, 2011).

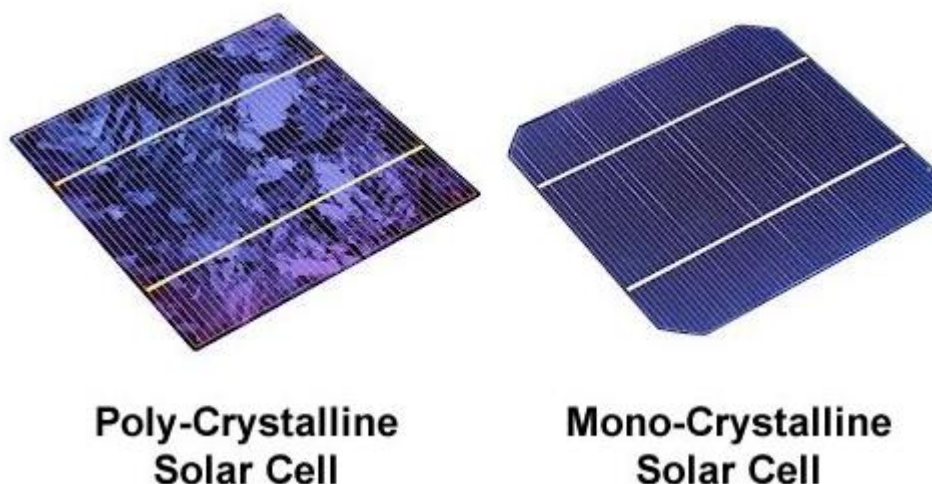


Figura 25 - Células de silício poli-cristalino e mono-cristalino.
Fonte: SILICONSOLAR, 2014.

2.2.5.3. Silício Amorfo Hidrogenado (a-Si)

Comparadas com as células de silício cristalino, as de filme fino são uma alternativa mais barata, no entanto, apresentam menor eficiência de conversão. Sua eficiência varia de 6% a 12%. A tecnologia mais recente desenvolvida, CIGS, já demonstrou maior eficiência, chegando a 20% para célula e 16% para o módulo (ABINEE, 2012).

Na fabricação do filme fino, o material semiconductor é depositado em uma fina camada sobre um substrato de vidro lâminas de aço. Através de processos alternados de deposição, as células de filme fino são conectadas diretamente sobre o substrato, usualmente em condições de vácuo (ABINEE, 2012).

Segundo Rütther, 2004, o a-Si foi primeiramente empregado em células solares na década de 70, como a primeira opção de célula de filme fino comercialmente viável. Sua utilização se mostrou ideal para calculadoras, relógios e outros equipamentos de baixo consumo, uma vez que este tipo de filme apresenta uma resposta espectral mais próxima ao azul no espectro eletromagnético da luz, de modo a ser bastante eficiente sob iluminação artificial (lâmpadas fluorescentes, por exemplo). Além disso, a sua tecnologia de fabricação permite a utilização de materiais mais baratos (substratos como o vidro, aço inox, entre outros) e versáteis

(flexíveis, leves, resistentes e semitransparentes), além de proporcionar uma aparência estética mais atraente, razão pela qual este tipo de filme tem sido escolhido para aplicações arquitetônicas diversas (em substituição à cobertura de telhados e fachadas de vidro, por exemplo).

O a-Si apresenta ainda mais alguns atraentes, como o *energy pay-back time*, relativamente curto, o custo de fabricação, e a boa performance sob altas temperaturas (as demais tecnologias apresentam uma perda de performance quando a temperatura do ambiente aumenta) (RÜTHER, 2004).

2.2.5.4. Telureto de Cádmio (CdTe)

O telureto de cádmio também é um filme fino, já utilizado em pequenos dispositivos eletrônicos há mais de uma década. Ele apresenta uma coloração marrom/azul escuro, sendo um atrativo estético em comparação às células de silício cristalino. Sua eficiência é, em geral, maior que a do silício amorfo hidrogenado (a-Si) e sua fabricação, assim como a do silício amorfo hidrogenado, apresenta custos relativamente baixos para produção em grande escala. No entanto, a baixa abundância dos elementos envolvidos na sua estrutura, bem como a toxicidade do cádmio são alguns obstáculos (RÜTHER, 2004).

2.2.5.5. Disseleneto de Cobre (Gálio) e Índio (CIS e CIGS)

Assim como os filmes finos anteriores, este também é uma película delgada, apresentando uma ótima aparência estética e grande potencial de atingir altos níveis de eficiência. Todavia, assim como o telureto de cádmio (CdTe), os elementos de sua composição são mais raros e tóxicos.

Entre os filmes finos, o filme de CIGS é o que apresenta melhores rendimentos fotovoltaicos (RÜTHER, 2004).

2.2.6. Inversores

Os inversores têm como objetivo converter um sinal elétrico CC produzido pelos módulos em sinal elétrico CA, adequando-se assim a tensão gerada para a conexão com rede elétrica convencional, com frequência e formato de onda mais

próximos possíveis da tensão da rede, no caso dos sistemas interligados (Figura 26). Alguns inversores oferecem serviços de medição com envio de dados por rádio ou cabo para um servidor e deste para a internet (ABINEE, 2012).

Os inversores são especificados de acordo com o local a ser utilizado, se conectado à rede ou em um Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI). Os inversores de SFCR são ligados em paralelo com a rede elétrica convencional, de modo que parâmetros como o formato de onda e a frequência da rede sejam referências para o equipamento e as duas formas ondas de tensão (a tensão CA gerada e a da rede) devem estar em fase para que ocorra o paralelismo entre os geradores. Se houver interrupção no fornecimento de energia convencional, o inversor deve detectar a ausência de tensão na rede e desativar-se automaticamente, evitando desta forma o efeito do ilhamento. Este monitoramento pode ser feito, por exemplo, pela análise da tensão e da frequência da rede, ou pelas variações na sua impedância. A Figura 26 apresenta um esquema com as ligações do inversor em um sistema fotovoltaico conectado à rede (URBANETZ JUNIOR, 2010).

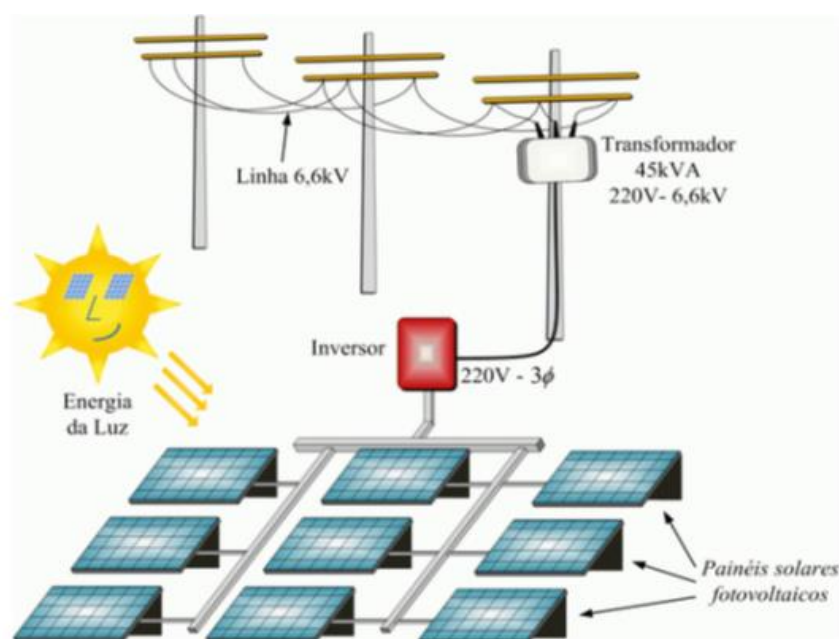


Figura 26 - Sistema fotovoltaico conectado à rede por meio de um inversor.
Fonte: UFJF, 2013.

No caso de SFI, o inversor gera uma saída senoidal independentemente de referências de tensão externas, normalmente a partir da energia em CC recebida

por um banco de baterias, que acumula a energia recebida dos painéis fotovoltaicos.

Um ponto importante a se observar em sistemas fotovoltaicos é o ponto de operação dos módulos solares. Eles possuem uma região de operação ótima denominada de ponto de máxima potência (*Maximum Power Point, MPP*), onde a potência fotogerada (produto da tensão pela corrente) atinge o seu valor máximo. Este parâmetro depende da temperatura em que se encontra o módulo e da irradiância que incide sobre ele. Normalmente há uma função de busca de MPP incorporada nos inversores de SFCR e nos controladores de carga de SFI. Deste modo, de acordo com Urbanetz, 2010, em sistemas conectados à rede, existem basicamente 4 configurações (Figura 27) entre inversores e módulos, apresentados na figura 24.

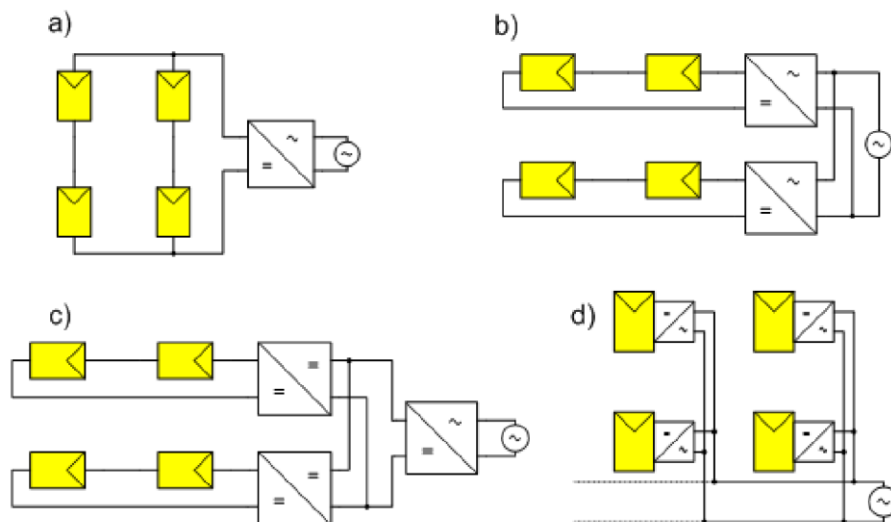
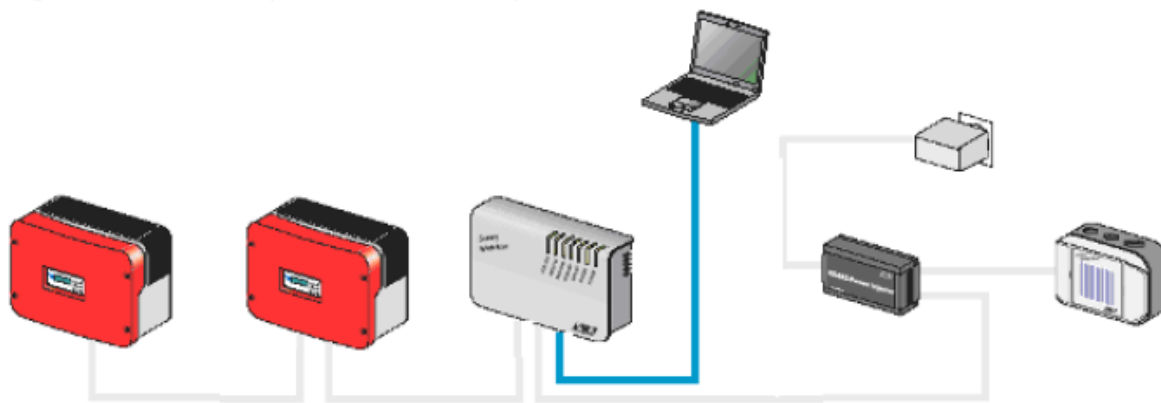


Figura 27 - Configurações de um SFCR.
Fonte: URBANETZ JUNIOR, 2010.

A Figura 27a mostra a configuração denominada inversor central, onde as séries (*strings*) de módulos são ligadas em paralelo e ligadas ao inversor, trata-se de uma montagem simples e barata, que, no entanto, inibe a busca do MPP para cada série de módulos. A Figura 27b expõe a configuração de um inversor por série de módulos, é mais custosa, uma vez que utiliza mais de um inversor, no entanto, apresenta redução de perdas e permite que em cada série mantenha seu MPP. Na Figura 27c observa-se o arranjo de inversor *multi-string*, em que o inversor possui mais de um circuito de busca de MPP, de maneira a permitir que cada série possa ser instalada em orientações e inclinações diferentes. A Figura 27d, finalmente,

chamada de módulo CA, mostra a utilização de um inversor por módulo, colocando cada um dos módulos no seu melhor ponto de operação (MPP) e um alto custo.

Segundo Urbanetz, 2010, estes equipamentos podem agregar outras funções além da conversão da energia CC em CA. Alguns atuam como filtros ativos de rede, podem corrigir o fator de potência e controlar a potência reativa (mantendo o fator de potência entre valores especificados de fator de potência capacitivo e indutivo). Além disso, muitos equipamentos oferecem a possibilidade de monitoramento de parâmetros como temperatura dos módulos fotovoltaicos, nível de irradiância, potência instantânea (kW), energia acumulada em um intervalo de tempo (kWh), energia injetada na rede, entre outros. Para tanto, são utilizados outros equipamentos periféricos, muitas vezes do mesmo fabricante dos inversores, que são responsáveis por monitorar e enviar os dados dos inversores para uma interface de comunicação com o usuário. Na Figura 28 é mostrado um sistema FV com monitoração, onde os inversores e sensores de irradiância e temperatura são conectados através de uma placa de comunicação (interface RS485) a uma central de monitoramento, que, por sua vez, comunica-se com o usuário através de um computador.



**Figura 28 - Diagrama de um sistema de aquisição de dados de um SFCR.
Fonte: URBANETZ JUNIOR 2010.**

2.2.7. Condutores

O dimensionamento dos cabos é feito com o objetivo de reduzir as perdas de potência nas instalações por conta da distância entre as cadeias dos módulos fotovoltaicos e o inversor. No lado CC, os cabos geralmente têm seção transversal pequena, entre 2,5 mm² e 10 mm². Entre os módulos, inversores e o quadro, devem existir esquemas de proteção, tais como: chaves seccionadoras, disjuntores, entre outros. Estes são empregados para proteger e isolar o sistema fotovoltaico para atividades relacionadas a reparos e manutenções (ABINEE, 2012).

As caixas combinadoras permitem a inclusão de dispositivos de segurança por cadeia de módulo, possibilitando manutenções em determinadas partes do sistema (ABINEE, 2012).

2.2.8. Controladores de Carga e Acumuladores

Controladores são dispositivos eletrônicos que operam em corrente contínua, com a função de administrar a carga e a descarga das baterias. Normalmente utilizados em sistemas isolados, controlam a geração de energia fotovoltaica, armazenando-a nas baterias durante o dia e descarregando as bateria para consumo durante a noite (ABINEE, 2012). Os controladores de carga podem, assim como os inversores, realizar a função de buscar o ponto de máxima potência (MPP) de um sistema FV, melhorando seu desempenho (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Na Figura 29 observa-se um diagrama da montagem de um sistema fotovoltaico isolado (SFI), onde os painéis são interligados a um controlador de carga. O controlador, por sua vez, é conectado ao banco de baterias e ao inversor. É importante observar que o banco de baterias de um sistema fotovoltaico pode ter sua vida-útil reduzida se alguns cuidados especiais não forem observados (tensões mínima e máxima, de flutuação, de equalização, entre outros), e o controlador de cargas é o equipamento que normalmente controla estes parâmetros.

Existem diferentes tipos deste equipamento, alguns mais simples, consistindo basicamente de uma chave, que abre ou fecha de acordo com a tensão obtida nas baterias; outros controladores que alimentam as baterias por meio de uma corrente pulsada, mantendo valores de tensão constante por meio de modulação por largura

de pulso (*Pulse Width Modulator*, PWM); ou ainda, controladores com buscador de ponto de máxima potência (MPPT), em geral, de melhor eficiência.

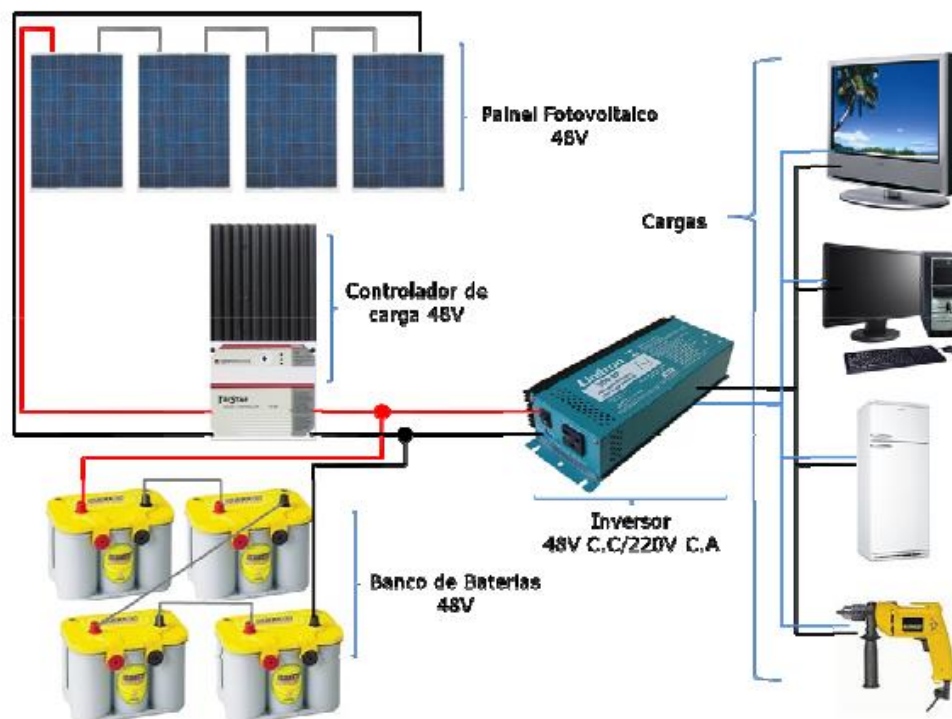


Figura 29 - Diagrama de um sistema fotovoltaico com controlador de carga.
Fonte: URBANETZ JUNIOR, 2013.

Os acumuladores (ou baterias), por outro lado, tem a função de armazenar a energia gerada. São normalmente baterias estacionárias, de chumbo-ácido, com tensões usuais de 12 V, 24 V ou 48 V. Devem ser instalados em locais secos, limpos e ventilados (o aumento da temperatura reduz sua vida útil). Baixas temperaturas podem resultar em reduções de eficiência, e alguns modelos podem emitir gases quando utilizados (URBANETZ JUNIOR, 2010).

2.2.9. Estrutura de Suporte

As estruturas que suportam os módulos fotovoltaicos (Figura 30) normalmente são feitas de metal: alumínio anodizado ou aço inox. Servem para a fixação dos módulos no local da instalação, podendo ser no telhado ou no solo ou na fachada de edificações (ABINEE, 2012).



Figura 30 - Suportes dos módulos.
Fonte: ABINEE, 2012.

Em grandes usinas, esses suportes podem ser projetados para serem acoplados a dispositivos que acompanham o movimento do sol, com o objetivo de maximizar a geração de energia (ABINEE, 2012).

2.3. PROGRAMAS DE INCENTIVO ÀS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

As pesquisas sobre fontes renováveis de energia começaram a tomar corpo a partir da década de 70, devido às crises do Petróleo (caracterizadas pelo aumento significativo de preço do barril, devido a fatores diversos). No entanto, somente perto da década de 90, quando as questões ambientais passaram a ter maior impacto, quando termo “desenvolvimento sustentável” passou a ser pauta nas questões políticas, é que se iniciou um processo de introdução efetiva dessas novas fontes no mercado (COSTA, 2006).

A utilização excessiva de energia produzida através da queima de combustíveis fósseis é apontada como um dos fatores para a elevação da temperatura média do planeta, e conseqüentes alterações observadas na natureza (altas concentrações de certos tipos de gases na atmosfera e o efeito estufa). Aliado a isso, as usinas nucleares são bastante polêmicas em todo o mundo, devido aos riscos de acidentes nucleares, como o mais recente, em Fukushima, no Japão, e o problema do descarte dos resíduos radioativos do processo de fissão nuclear utilizado. (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Preocupados, portanto, com o meio ambiente e com o crescimento contínuo da demanda energética, os governos de alguns países desenvolveram ao longo do tempo programas de incentivo às fontes renováveis de energia, com o objetivo de tornar os novos meios de geração economicamente competitivos com os atuais, diversificando suas matrizes energéticas, e diminuindo a dependência de fontes não renováveis e menos ecológicas. Esperando-se que, ao se tornarem competitivas no mercado, tais fontes de energia não precisem mais de incentivos governamentais.

Neste ponto, podem-se citar algumas ações importantes para incentivo: estímulo de ações voluntárias (por meio da educação e informação disponibilizadas às pessoas), através de imposições de normas ambientais e impostos energéticos e por suporte direto. Sendo o uso combinado delas importante para se obter sucesso na popularização das fontes renováveis de energia. Cabe distinguir os conceitos de suporte direto e indireto: o primeiro se refere a medidas governamentais que incentivam o uso de fontes renováveis, o segundo, a fatores externos, mas que promovem impactos positivos no desenvolvimento destas fontes (SALAMONI, 2009); (COSTA, 2006).

2.3.1. O sistema de quotas

Neste sistema, o governo normalmente estipula metas para a futura potência instalada e geração de energia, delimitando um percentual mínimo que deverá ser proveniente de fontes renováveis. Existem dois modelos básicos deste sistema:

- *Renewable Portfolio Standarts* ou RPS;
- *Tendering Systems* ou TS;

No RPS, também chamado de *Renewable Energy Standarts*, estipula-se a meta de energia que deve ser gerada através de fontes renováveis (tende a aumentar a cada ano), os distribuidores de energia então devem passar a obter uma parcela da sua energia dos geradores de fontes renováveis de energia (FRE) certificados, devendo apresentar ao final do processo comprovação do cumprimento das metas, estando sujeitos a penalidades, caso contrário. Para tanto, os produtores independentes de energia recebem “certificados verdes” pela energia “verde” que fornecem, esses créditos, que funcionam como forma de comprovante do cumprimento do objetivo traçado pelo governo, podem então ser negociados ou

vendidos às empresas ou outros interessados, para *marketing* ou pela preocupação com o meio ambiente em si. O RPS é, portanto, um sistema mais complexo, em que o gerador de fontes renováveis tem que lidar com dois mercados diferentes, aquele interessado nos “certificados verdes”, e o outro relacionado à venda de energia (SALAMONI, 2009); (COSTA, 2006).

Já no *tendering system* (TS), o governo estipula a quota de geração de fontes renováveis e o preço do kWh gerado. Os produtores então submetem suas propostas, como uma licitação, para os contratos de energia do governo, sendo o vencedor aquele que apresentar o menor preço. A diferença então, entre o preço dado pelo produtor e o preço de mercado da energia é custeada pelo governo, e para tanto, demanda um valor de investimento mais alto normalmente, por parte do governo.

Uma vantagem desse tipo de incentivo de quotas é a sua maior previsibilidade: como se delimita que determinado tipo de tecnologia para energia renovável será necessário para futura expansão, o futuro do mercado é certo para os fabricantes e investidores daquele tipo de tecnologia. Nota-se a diferença do sistema *Feed-in*, em que o governo estipula o preço pago pela energia proveniente de fontes renováveis, todavia, a quantidade de fontes renováveis instaladas será determinada pela dinâmica de mercado, enquanto que no sistema de quotas, o governo é quem estipula quanto da energia gerada deverá ser de fontes renováveis, deixando, entretanto, que o mercado determine seus preços (SALAMONI, 2009); (COSTA, 2006).

2.3.2. O sistema de preços (*Feed-in Law*)

O sistema de preços trabalha com uma tarifa prêmio, estipulada pelo governo, operando da seguinte maneira: o gerador independente de energia tem o direito de ser conectado à rede de distribuição da concessionária e ter o seu excedente de energia comprado pela mesma, normalmente por valores estipulados pelo governo, que tendem a ser maiores do que aqueles praticados no mercado em geração convencional. O pagamento da tarifa prêmio é garantido por um período de tempo, regulamentado por normas do governo, e ela tende a ser maior para pequenos geradores independentes em alguns países, de modo a estimular a geração distribuída. A tarifa costuma ser maior também no início da implantação dos

programas de incentivo, proporcionando um estímulo maior no princípio, e diminui conforme determinada fonte renovável atinge maior competitividade no mercado ou os objetivos traçados pelo governo inicialmente.

Obviamente, a operação tem um custo, que é distribuído entre os usuários finais da energia através de encargos aplicados por kWh de energia convencional consumida, encargos destinados às empresas de serviço público (que compram energia verde) ou ainda encargos destinados à compra de crédito de carbono, podendo ser uma combinação dos anteriores também. (SALAMONI, 2009)

Observa-se que os países com maior sucesso na introdução de sistemas renováveis, e especificamente no âmbito deste trabalho, de energia fotovoltaica, utilizam sistemas de incentivo similares ao *feed-in*. Como exemplo pode-se citar a Alemanha, que atualmente possui cerca de 34 gigawatts instalados, e tem por objetivo chegar a 52 gigawatts, valor este em que prevê que não mais será necessário o sistema *feed-in* para que a energia fotovoltaica seja economicamente viável. E as estatísticas comprovam tais previsões: os custos em novas instalações caíram cerca de 85% desde 2010; no ano de 2013, estima-se que a expansão de novas instalações caia para 2500 a 3500 megawatts, sendo em torno de 300 a 350 megawatts instalados mensalmente. Comparativamente com os três anos anteriores, que obtiveram mais de 7000 megawatts instalados anualmente, a queda é prevista, pois com ela, houve uma redução considerável na tarifa prêmio paga (redução de aproximadamente dois terços nos últimos anos, 30% só em 2012). A queda de 40% a 50% de novas instalações fotovoltaicas (devida à redução da tarifa-prêmio ao longo dos anos) está dentro dos planos definidos, e é esperada pelo governo, para a transformação do sistema energético alemão, que acredita que em torno de 2017/2018 a energia proveniente do sol será independente das tarifas prêmio, e competitiva com as demais fontes sem a necessidade de incentivos governamentais. (BMU, 2013).

2.3.3. Net-Metering

O *Net-Metering* é uma variação do sistema de preços, na qual os consumidores também podem instalar sistemas de FRE nas suas propriedades e vender o excedente de energia para a concessionária. Neste caso, entretanto, a

energia é vendida a preço de mercado, caracterizando efetivamente uma troca de energia entre concessionária e consumidor-gerador, na qual, em determinados casos o produtor independente de energia recebe por todo kWh gerado ou recebe créditos quando sua geração supera seu consumo. É como se a tarifa-prêmio fosse aproximadamente igual ao valor de mercado da energia. (SALAMONI, 2009); (SEIA, 2013). Este sistema, portanto, apresenta uma das formas de incentivo mais simples, incentiva-se a utilização de fontes renováveis e da geração distribuída de energia sem a necessidade de se valer de muitos recursos públicos para tal.

Essa forma de incentivo não apresenta tantas vantagens quanto o sistema de preços ou de quotas, fato apoiado pelos resultados apresentados pelos relatórios anuais do REN21, que comprova que a política de incentivo que tem apresentado resultados mais expressivos é a do *feed-in-law*. Cabe a cada país, portanto, de acordo com a sua preocupação ambiental e sua necessidade de fontes alternativas e renováveis de energia determinar qual forma de incentivo mais adequada ao seu caso (REN21, 2013).

Existem variações diversas nas políticas de *net-metering* de cada país, ou mesmo entre diferentes estados de um país. Em certos casos, para suscitar maiores investimentos, o governo atua como patrocinador na compra de equipamentos para geração solar, eólica, de biomassa, pequenas centrais hidrelétricas ou outras. Ou, em outros casos, além do sistema de compensação, em algumas regiões existem políticas híbridas de incentivo, que misturam o *net-metering* com outras políticas existentes. Na sequência serão apresentados alguns exemplos de países ao redor do globo que adotam métodos que possuem algumas semelhanças ao sistema de compensação brasileiro.

Na Figura 31, adaptado do relatório Renewables 2013: Global Status Report, observa-se as políticas de incentivo utilizadas em alguns dos principais países investidores em energia fotovoltaica, além do Brasil e dos países estudados com maior ênfase neste trabalho (que de alguma forma utilizam o *net-metering*).

País	Políticas de incentivo			Incentivos Fiscais				Financiamento Público	
	<i>Feed-in-tariff</i>	<i>Renewable Portfolio Standards - RPS</i>	<i>Net-metering</i>	Subvenção econômica	Investimento ou créditos nos impostos de produção	Redução em impostos de vendas, de consumo de energia, emissão de CO ₂ , e outros	Pagamento pela produção de energia	Investimento público, empréstimos e financiamentos	Licitação pública
Alemanha	•			•	•	•	•	•	
Itália	•	•	•	•	•	•		•	•
Estados Unidos	○	○	○	•	•	•	•	•	•
China	•	•		•		•	•	•	•
Japão	•	•	•	•	•			•	
Espanha	•		•	•	•	•		•	
França	•			•	•	•		•	•
Bélgica		○	○		•			•	•
Austrália	○			•				•	
República Tcheca	•			•	•	•		•	
México			•		•			•	•
Canadá	○	○	○	•	•	•		•	•
Brasil			•		•	•		•	•

- Indica política de nível nacional
- Indica política estadual ou de província

Figura 31 - Políticas de incentivo para energias renováveis em alguns países
Fonte: REN21, 2013.

3 PANORAMA MUNDIAL E BRASILEIRO

Neste capítulo são abordados alguns países que possuem semelhanças com o sistema de incentivo brasileiro. Na maior parte deles, o *net metering* está associado a outras formas de incentivos ao desenvolvimento da geração fotovoltaica e outras fontes renováveis. Também foi estudado o panorama brasileiro, antes e depois da resolução 482/2012 da ANEEL.

É importante ressaltar que alguns países, como a Alemanha, China, Itália, Espanha e Japão, são grandes investidores no desenvolvimento da geração de energia fotovoltaica, e em geral, utilizam o sistema de tarifa-prêmio para o desenvolvimento do setor. Segundo o REN21, 2013, os maiores mercados de

energia solar fotovoltaica em 2012 foram: Alemanha, Itália, China, Estados-Unidos e Japão. Eles são também os líderes em capacidade total instalada, conforme o Figura 32.

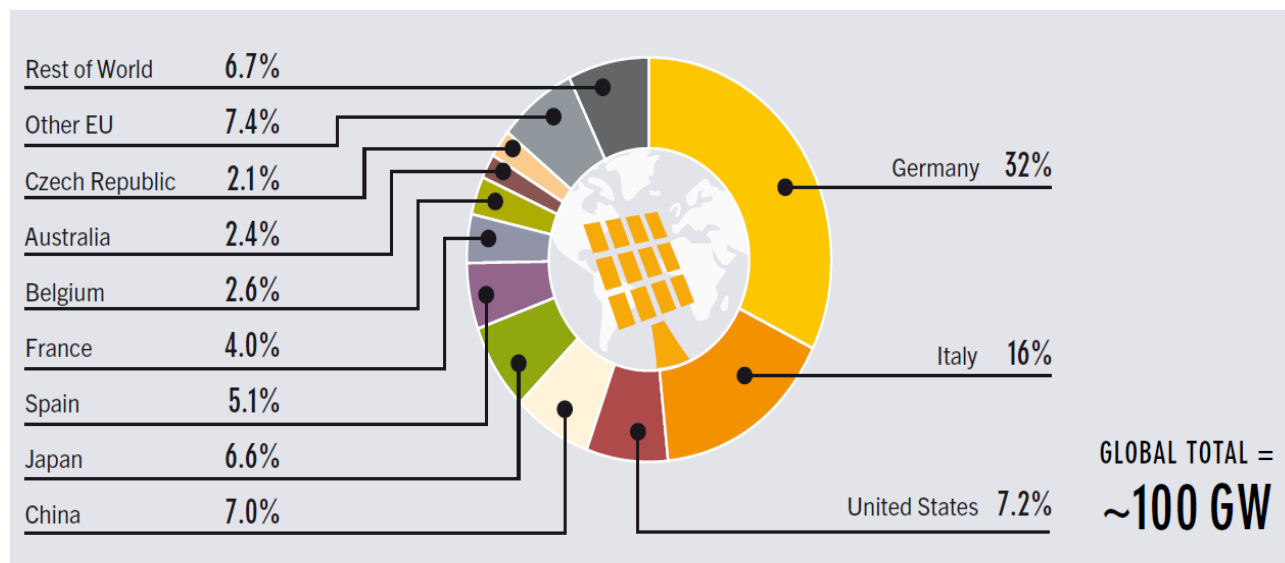


Figura 32 - Capacidade fotovoltaica global em 2012.
Fonte: REN21, 2013

A potência global de geração fotovoltaica era de aproximadamente 100 GW em 2012. Somente no ano de 2012, o continente europeu adicionou 16,9 GW de sistemas fotovoltaicos à sua matriz energética. Já em 2013 a potência atingiu o patamar de 139 GW instalados, foram adicionados 39 GW no ano, sendo 12,9 GW apenas na China (33% do total adicionado), 6,9 GW no Japão (aproximadamente 18%), 4,8 GW nos Estados Unidos (12%), 3,3 GW na Alemanha (8%), 1,5 GW na Itália (4%) e quantidades menores em outros países, conforme observa-se no Figura 33. Deste modo, em 2013 o cenário mundial de geração solar modificou-se ligeiramente, com maiores investimentos na China e no Japão, sendo que os dez maiores investidores, em ordem decrescente de capacidade total instalada, passaram a ser: Alemanha, China, Itália, Japão, Estados Unidos, Espanha, França, Reino Unido, Austrália e Bélgica (REN21, 2014).

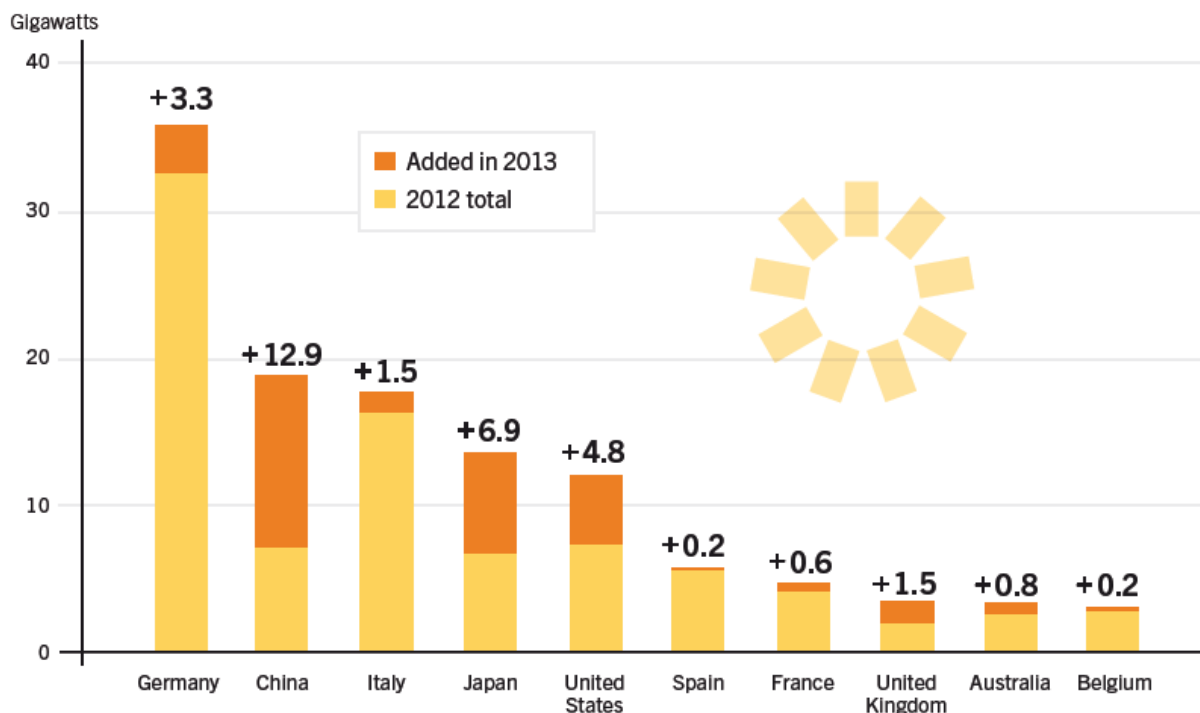


Figura 33 - Capacidade de Geração Fotovoltaica Total e Adicionada em 2013.
Fonte: REN21, 2014

A Alemanha despontou no mercado de energia fotovoltaica a partir da década de 90, quando se propôs a se tornar um dos países com maior capacidade fotovoltaica instalada, com programas como *One Thousand Rooftop* e depois *Hundred Thousand Rooftop*. Houve o financiamento por parte do governo, e com o passar dos anos, como já observado, a tarifa-prêmio tem apresentado uma tendência esperada de decaimento, e a expectativa é de que o sistema *feed-in* seja substituído pelo *net-metering* brevemente. Outros países aplicaram projetos semelhantes, como o Real Decreto 661/2007 na Espanha (que fez com que 3,13 GWp fossem instalados de 2007 a 2008, levando o governo a estabelecer o Real Decreto 1578/2008, que limitou novas instalações a até 500 MWp ao ano) e o *Sunshine* no Japão. Deste modo, a partir da década de 90 houve um crescimento global expressivo do setor fotovoltaico (observado na Figura 34), desenvolvimento que se deve às diversas formas de incentivo adotadas pelos países, em especial o *feed-in* (REN21, 2013).

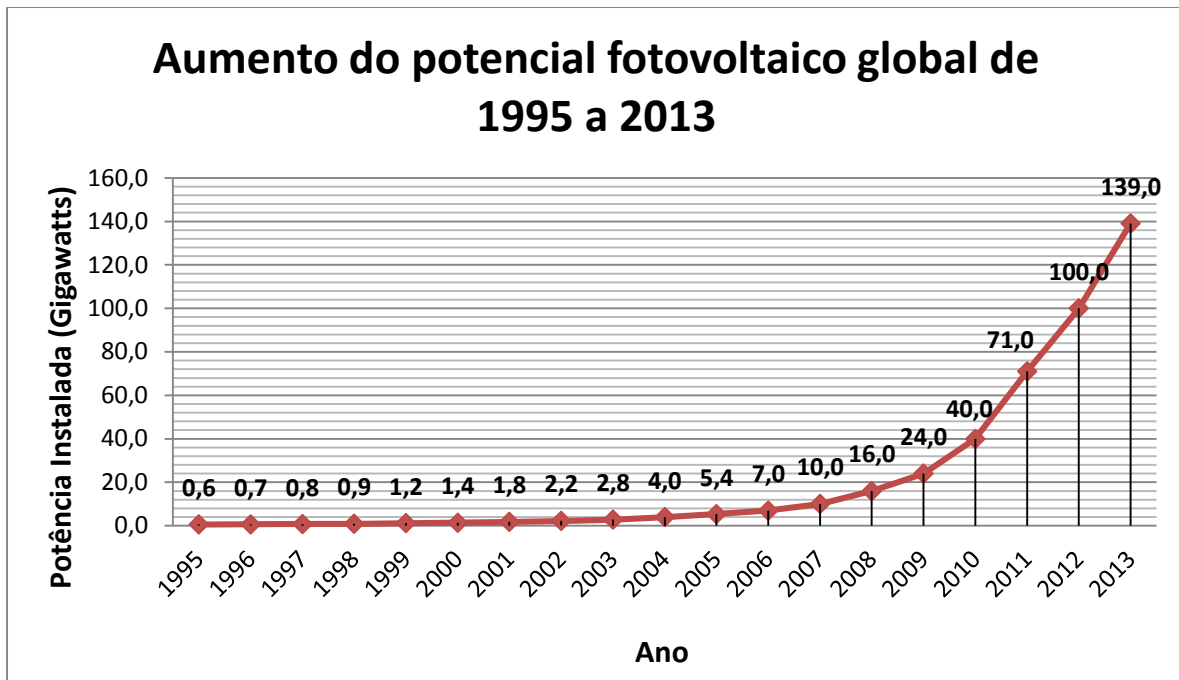


Figura 34 - Aumento do potencial fotovoltaico global.
 Fonte: adaptado de REN21, 2014.

A Figura 35 e a Figura 36 fazem um comparativo entre os países com políticas de incentivo às energias renováveis no início de 2013 e em 2005. Este aumento de incentivos global justifica o crescimento, do setor fotovoltaico e outras fontes renováveis.

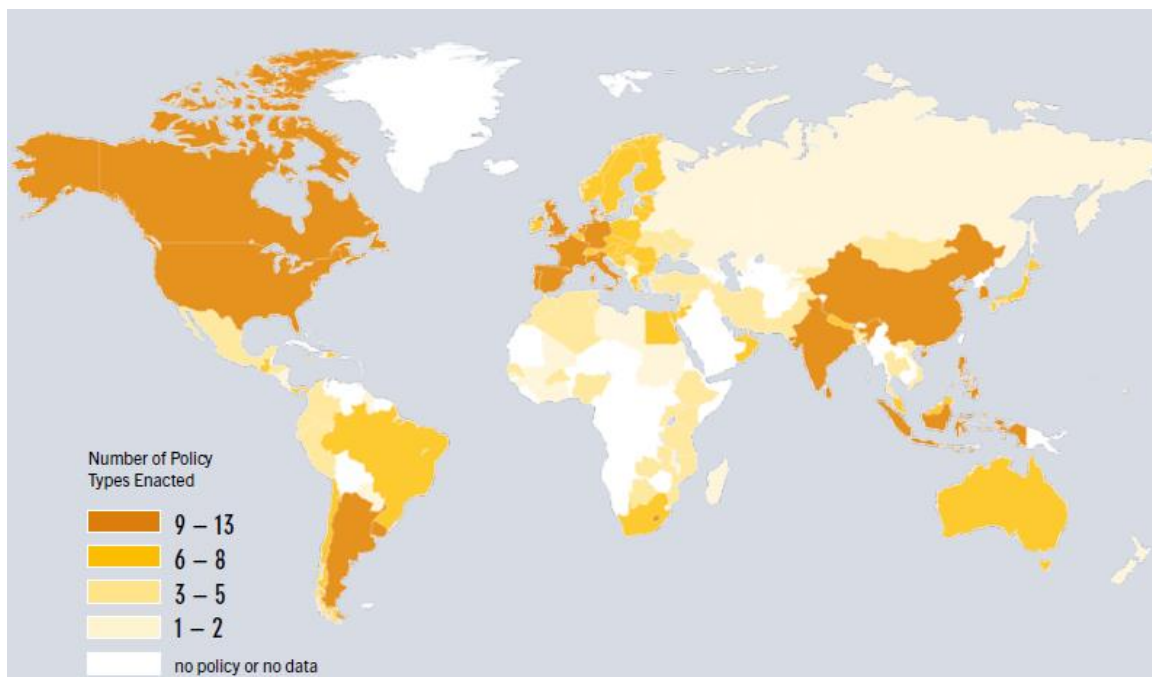


Figura 35 - Países com políticas de incentivo às fontes renováveis de energia em 2013.
 Fonte: REN21, 2013.

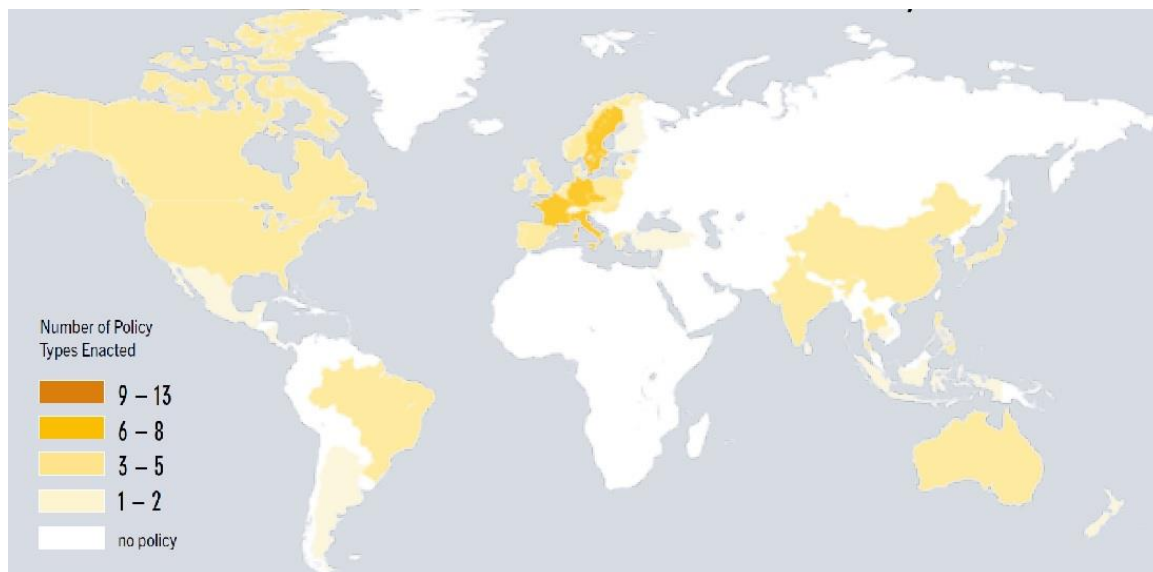


Figura 36 - Países com políticas de incentivo às fontes renováveis de energia em 2005.
 Fonte: adaptado de REN21, 2013.

Na sequência, são apresentados alguns países pesquisados que possuem políticas de incentivo semelhantes às brasileiras. Na maioria utilizam o *net metering* associado a outras formas de estímulo.

3.1. ESTADOS UNIDOS

Nos Estados Unidos vários estados utilizam o sistema de *net metering*, em paralelo a outros incentivos governamentais, como forma de estímulo para a inserção de energia elétrica a partir de fontes renováveis. As regras aplicadas para a medição e troca de energia variam entre os estados, sendo que cada um possui características particulares. As variações da regulamentação dependem de fatores como o tipo de cliente atendido, capacidade de geração do sistema, tipo do sistema de geração, período e forma de tratamento dos créditos de energia, etc (DSIRESOLAR, 2013). O mercado de energia solar norte americano está em pleno crescimento, previa ter ao final de 2013 mais de 10 GW de capacidade instalada, e atingiu este patamar (SEIA, 2013). São aproximadamente 6100 empresas no mercado gerando mais de 119 mil empregos (SEIA, 2013). Somente no segundo trimestre de 2013 foram instalados 832 MW em geradores fotovoltaicos, com a previsão de chegar 4400 MW de potência fotovoltaica e ainda 900 MW de potência solar concentrada (CSP) (SEIA, 2013).

Alguns dos incentivos governamentais são: *Modified Accelerated Cost-Recovery System* (MACRS): este programa é aplicável aos setores comercial, industrial e de agricultura, nos quais pode-se recuperar parte dos investimentos em energias renováveis, inclusive a fotovoltaica, através de bônus de depreciação (DSIRE, 2013). *Business Energy Investment Tax Credit* (ITC): é um programa que oferece créditos de impostos para sistemas de aproveitamento de energia renovável, inclusive sistemas fotovoltaicos, aplicável aos setores comercial, industrial, de agricultura e de *utility*. No caso de sistemas fotovoltaicos o crédito é limitado a 30% dos investimentos (DSIRE, 2013). *Residential Energy Conservation Subsidy Exclusion*: aplicável ao setor residencial com um subsídio de 100% para instalação ou alteração das instalações de forma que reduza o consumo de energia elétrica ou gás natural. Há também programas exclusivos para o setor de construção civil.

O aumento da capacidade instalada em cada estado americano pode ser verificado na Figura 37.

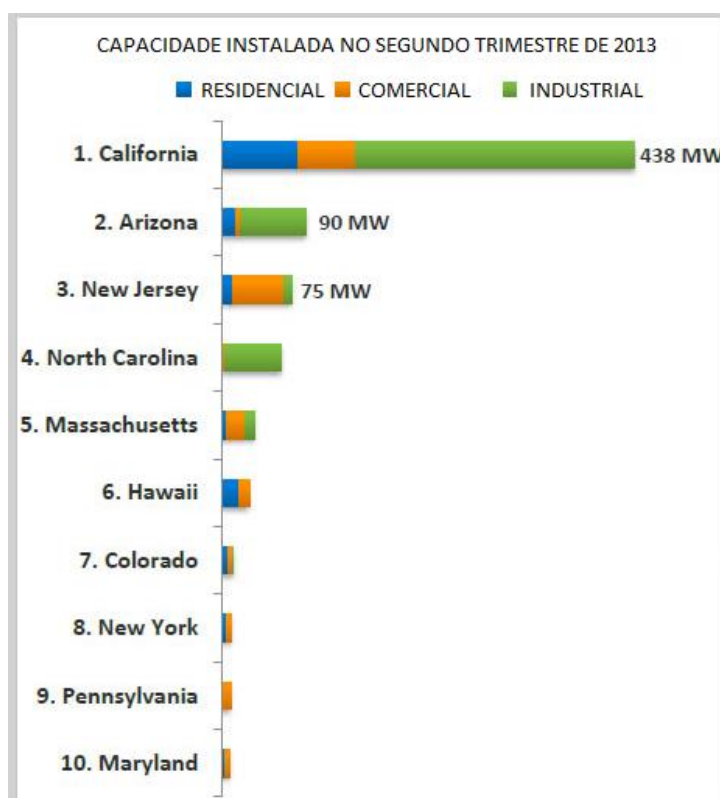


Figura 37 - Capacidade fotovoltaica adicionada por estado no segundo trimestre de 2013.
Fonte: SEIA, 2013.

De um modo geral os estados americanos utilizam mais de um sistema de incentivo, sendo muito comum a aplicação simultânea de dois dos seguintes

sistemas: sistema de certificados verdes (*SRECs*), Sistema de quotas (*RPS*) e o sistema de tarifa prêmio (*Feed in tariff*). Poucos estados como *Nebraska* e *Wyoming* não adotaram esses sistemas de incentivo, e logo estão entre os estados com menor desenvolvimento do segmento (NREL, 2013).

3.1.1. Estado do Colorado

O estado do Colorado possui vários programas de incentivo para o desenvolvimento do segmento de energia solar. Um dos meios utilizados é o *Renewable Portfolio Standards* (RPS), que impõe metas de compra ou venda de energia renovável às empresas geradoras (*utility*), e já conta com 298 MW instalados e 341 empresas da cadeia que geram 3600 empregos (SEIA, 2013). Possui também programas exclusivos para o financiamento de projetos de energias renováveis, que oferecem descontos para instalação de sistemas fotovoltaicos. Há programas específicos em cada cidade, o que resulta em grande variação de cenários para o investimento no segmento. O estado do Colorado é considerado como o estado que possui uma das melhores políticas de medição e troca de energia. Nesse estado o sistema de *net metering* é aplicável tanto para geradores residenciais, comerciais e industriais, tendo limites de potência para a instalação (DSIRE, 2012). A energia excedente é convertida em créditos que serão abatidos na próxima fatura do cliente. Caso o consumo seja menor que a produção de energia, após 12 meses o cliente tem a opção de vender para a concessionária a um preço menor que o do varejo ou pode deixar que os créditos permaneçam por tempo indeterminado (DESIRE, 2013).

3.1.2. Estado de Massachusetts

O incentivo ao uso de energia fotovoltaica em Massachusetts teve seu primeiro programa no ano de 2001, no entanto a aceleração do seu desenvolvimento ocorreu em 2007 quando o governo anunciou uma meta de 250 MW até o ano de 2017 (MCEC, 2013). Desde então ocorreu um aumento considerável do número de empresas do segmento de energia solar, sendo atualmente 274 em operação, gerando aproximadamente 8400 empregos (SEIA, 2013). Apenas no ano de 2012 foram instalados 133 MW de energia fotovoltaica,

resultando em uma capacidade atual de 311 MW (SEIA,2013). Um aspecto importante do desenvolvimento do segmento é que o preço médio de um sistema residencial caiu 5% em 2012 no estado e 11% na media nacional (SEIA, 2013).

Principais programas de incentivo a sistemas fotovoltaicos foram:

- *Massachusetts Renewable Portfolio Standard (RPS)*: impõe às concessionárias um percentual mínimo de geração de energia através de fonte renovável. Esse percentual resulta em certificados de energia renovável, os quais são exigidos para a comprovação da situação da geradora em relação ao RPS (DESIRE, 2013). Esses certificados podem ser comprados para suprir as necessidades legais da companhia (DESIRE, 2013).
- *Alternative energy and energy conservation patent exemption*: oferece dedução de imposto sobre compra ou venda ou arrendamento de patente, desde que seja benéfico para o estado sobre o aspecto de eficiência energética e desenvolvimento de energia alternativa, também de venda ou locação de materiais fabricados em *Massachusetts*. Aplicável ao setor comercial, 100% de dedução por 5 anos. Há uma derivação desse plano para patentes pessoais.
- *Local Option – Energy revolving loan fund*: programa de financiamento de melhorias em eficiência energética e utilização de energia renovável. Aplicável aos setores comercial, residencial e industrial. O projeto de melhoria deve ser auditado para verificar a elegibilidade do mesmo.
- *Residential Renewable Energy income tax credit*: permite a dedução do imposto de renda de 15% do investimento, limitado a US\$ 1000,00 para consumidores residenciais investirem em sistemas de geração de energia a partir de fontes renováveis. Valido a partir de 1975. Elegível para consumidores residenciais, industriais e comerciais.
- *Renewable Energy Property Tax Exemption*: isenta dos impostos sobre a propriedade por um período de 20 anos para aqueles que investirem em sistemas de suprimento de energia através de fontes renováveis.

3.2. BÉLGICA

A matriz energética da Bélgica em relação à geração de energia elétrica é fortemente dependente da energia nuclear (WNA, 2013). No ano de 2012 a produção total de energia elétrica foi de 78,6 TWh, sendo que foram 40,3 TWh a partir de fonte nuclear, 20,6 TWh a partir de gás natural e 1,7 TWh de fonte solar (WNA, 2013). O restante da energia elétrica foi gerada a partir de fontes eólicas, hidráulicas, biocombustíveis, térmicas, outras de menor representatividade além de uma pequena parcela de importação (WNA, 2013). De acordo com a diretiva 2009/28/EC da Comissão europeia (EC), os países membros devem se submeter ao plano de ação da comissão de energia renovável. O plano define como metas que a participação de energias renováveis na matriz seja: de 13% no consumo final bruto, de 12% participação no aquecimento e refrigeração, 21% na geração de energia elétrica e 10 % da energia utilizada em transporte (IEA, 2013). Sendo assim, para incentivar a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis a Bélgica adotou diversas medidas, entre as quais estão o sistema de compensação para produtores de pequeno porte, um sistema de certificados de energia renovável (*green certificates*), além de incentivos fiscais federais, subsídios para as empresas e prêmios para pessoas físicas (NREAP, 2010). É importante ressaltar que a Bélgica é dividida em três regiões, Flemish, Walloon e Brussels, e para cada uma delas há particularidades nos sistemas de incentivo. A meta para o governo belga é de que 13% da energia total bruta seja gerada a partir de fontes renováveis até o ano de 2020, sendo 20,9 % da geração elétrica a partir dessas fontes (NREAP, 2010). No final do ano de 2012 a capacidade de geração dos sistemas fotovoltaicos atingiu a marca de 2,6 GW na Bélgica, um aumento de 83% em relação ao ano de 2011 (ILIAS, 2013). Com essa geração 2,8 % do consumo total de energia elétrica é obtida através de energia renovável solar (BEETZ, 2013).

A Bélgica trabalha com um sistema de certificados verdes: nesse sistema, aquele que produz energia elétrica a partir de fontes renováveis pode receber certificados verdes (*green certificates*), aos quais é garantido um preço mínimo e ainda um preço específico para geração com células fotovoltaicas (NREAP, 2010). Cada certificado corresponde a 1000 kWh, para a região de Flemish, gerado a partir de fontes renováveis e pode ser comercializado entre os produtores de energia. No entanto, nesse sistema as concessionárias tem uma obrigação de geração mínima

de energia a partir dessas fontes, uma meta que é comprovada com o número de certificados obtidos, seja pela produção de energia ou comercialização com outros produtores (VREG, 2013). Outras medidas do plano de ação nacional de energia renovável da Bélgica que interferem no desenvolvimento do seguimento fotovoltaico são: redução de impostos para investimentos em energia renovável, contemplando investimento em residências, créditos para financiamento, prêmios para instalação de infraestrutura no campo de energia renovável (ER), alteração dos custos de conexão de fontes de energia renovável, inclusão obrigatória de energias renováveis em algumas construções, subsídios para construções inovadoras, simplificação de tramites administrativos e permissões, prioridade para a conexão de fontes de ER, regulamentação técnica para conexão descentralizada, declaração simples para conexão de plantas de pequeno porte, desenvolvimento de *smart grids*, sistema de certificação de instaladores, campanhas de informação e publicidade, programas de treinamento para instaladores, promoção de seminários técnicos, guias de boas práticas e incentivo ao desenvolvimento de estudos para resolução de dificuldades técnicas.

3.3. MÉXICO

A matriz energética do México é suprida basicamente por petróleo e gás natural, restando menos de 10% para as demais fontes energéticas. A autonomia energética do país tem decrescido nos últimos anos, levando-o a iniciar um processo de transição da matriz energética, com foco na diversificação das fontes e redução dos impactos ambientais. O México possui um grande potencial de energia solar com índices diários de 4,7 a 6,3 kWh/m² (Figura 38). Em 2011 a capacidade instalada de painéis fotovoltaicos era de 18,5 MW, gerando 8794,4 MWh por ano, sendo que quase toda essa geração desconectada da rede (EXTENDA, 2011).

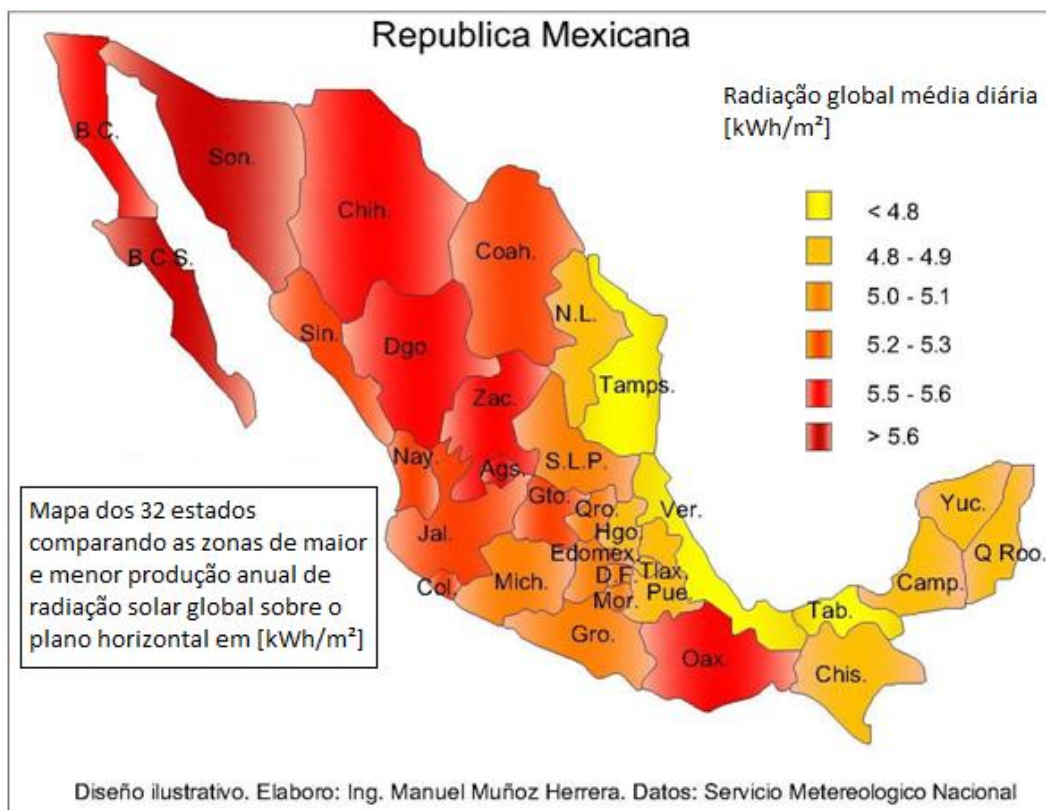


Figura 38 - Irradiação média diária no México.
Fonte: adaptado de PESCO, 2013.

O desenvolvimento desse segmento se deu nas regiões rurais, nas quais o fator econômico justifica a implantação dessa tecnologia. Há uma previsão de aumento da capacidade fotovoltaica instalada até 2026, sendo prevista a adição de 1170 MW a partir de geração distribuída, 752 MW a partir da modalidade de auto abastecimento e 6 MW provenientes de serviço público (PER, 2012).

Para incentivar o desenvolvimento da utilização de energias renováveis, o governo mexicano estabeleceu em 2008 um marco regulatório específico alterando e criando leis, regulamentos, políticas e normas (PER, 2012). Em 2008 criou a Lei de Aproveitamento de Energias Renováveis (LAERFTE), de forma a regular o aproveitamento dessas fontes. Em 2009 criou um programa especial, o qual impõe metas de geração a partir de fontes renováveis, além de ações para informar, desenvolver mecanismos de aproveitamento, investir em infraestrutura, estender o serviço de energia elétrica até comunidades remotas, entre outras medidas. Dentre as metas está a de que em 2024 a energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis, corresponda a no máximo 65% da participação na matriz elétrica (PER, 2012).

Ainda há outros incentivos como as metas de redução de emissões de gases acordadas no Protocolo de Kioto, alguns requisitos do Plano Nacional de Desenvolvimento, o Programa de Hipoteca Verde da INFONAVIT que concede crédito adicional para compra de residências com tecnologias ecológicas que diminuam o consumo energético, Projeto de Serviços integrals de Energia que promove o atendimento de comunidades remotas com energia elétrica proveniente de fontes renováveis, leis estatais relacionadas a outras questões como: ambientais e desenvolvimento social, mas que solicitam a utilização de fontes renováveis de energia e ainda programas para fontes específicas que não a solar (PER, 2012). Em relação à conexão com a rede a LAERFTE prevê a formulação de contratos para conexão de sistemas de pequeno, médio e grande porte. No caso da cogeração de pequeno porte é estabelecido um limite de potência de 30 kW e tensões de 1000 V, ou de 10 kW para cogeneradores residenciais. O excedente da energia gerada é tratada no sistema de compensação (semelhante ao *net metering*), ou seja, permanece como crédito que pode ser utilizado posteriormente (PER, 2012, p. 64).

3.4. CANADÁ

O Canadá está entre os países que mais investem em energias renováveis no planeta. Nos últimos quatro anos, o setor de energia fotovoltaica canadense tem experimentado investimentos significativos. Junto com o setor industrial, empresas e governos envolvidos nos projetos, esse investimento tem gerado lucros significativos, benefícios ambientais, além de disponibilizar diversas vagas de emprego em todo o país (CANSIA, 2013).

O desenvolvimento financeiro canadense em relação à energia fotovoltaica só tem crescido. Em 2011 os lucros com esse investimento foram em torno de 584 milhões de dólares, já em 2012, quase dobrou, ficando em torno de 1026 milhões de dólares (CANSIA, 2012) (CANSIA, 2013).

Os números em relação à geração de energia solar também estão em ascensão, apenas em 2012 houve um adicional de 268,29 MW instalados, acumulando-se um valor total de 759 MW. Nesse mesmo ano, comparado ao ano de 2011, a produção de módulos fotovoltaicos aumentou em 142%, os quais são produzidos para suprir exclusivamente o mercado canadense. (CANSIA, 2013).

Além da geração de energia fotovoltaica que busca abastecer casas, indústrias entre outros, existem diversos ramos de pesquisas em que os centros de pesquisa canadenses estão buscando desenvolver diversos produtos, tais como equipamentos eletrônicos que dispensam tomadas por serem equipados com placas fotovoltaicas.

O mercado de energia solar conectada à rede foi responsável por 34% do total de vendas de energia solar no Canadá em 2008 e atingiu quase 100% em 2012. Do sistema conectado à rede, 33% da capacidade instalada foi para aplicações residenciais e de edificações, 67% em várias instalações no solo centralizadas (CANSIA, 2013). As aplicações fora da rede geralmente não são subsidiadas, eles são tratados como aplicações autônomas, que compreendem um painel fotovoltaico como o único gerador ou como um sistema híbrido combinados com uma pequena turbina eólica ou gerador a diesel. Estes sistemas são geralmente localizados remotamente. (CANSIA, 2013).

Os métodos de compra e venda de energia entre clientes e geradores em alguns momentos podem se tornar problemáticos. Existem diferentes técnicas e estratégias de contabilidade para manter o controle de quanto um cliente deve ou quanto lhe é devido, algumas dessas estratégias são mais atraentes do que outras do ponto de vista tanto do cliente como do gerador ou do utilitário.

Na Figura 39, pode-se observar a potência instalada em cada uma das províncias canadenses que tem sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Entre as maiores, destacam-se Ontário, com uma potência instalada significativamente maior, 759,4 MW, seguido de Alberta com 2,18 MW, British Columbia (B.C.) com 2,05 MW e Saskatchewan (Sask.) com 1,12 MW instalados.

Observando outras medidas de apoio provinciais e territoriais, pode ser esperado um aumento considerável na capacidade de fotovoltaica nos territórios do noroeste canadense sob sua nova estratégia solar, e continuação do crescimento em todas as regiões onde os programas de *net metering* existem, junto com a diminuição dos preços e demais incentivos.

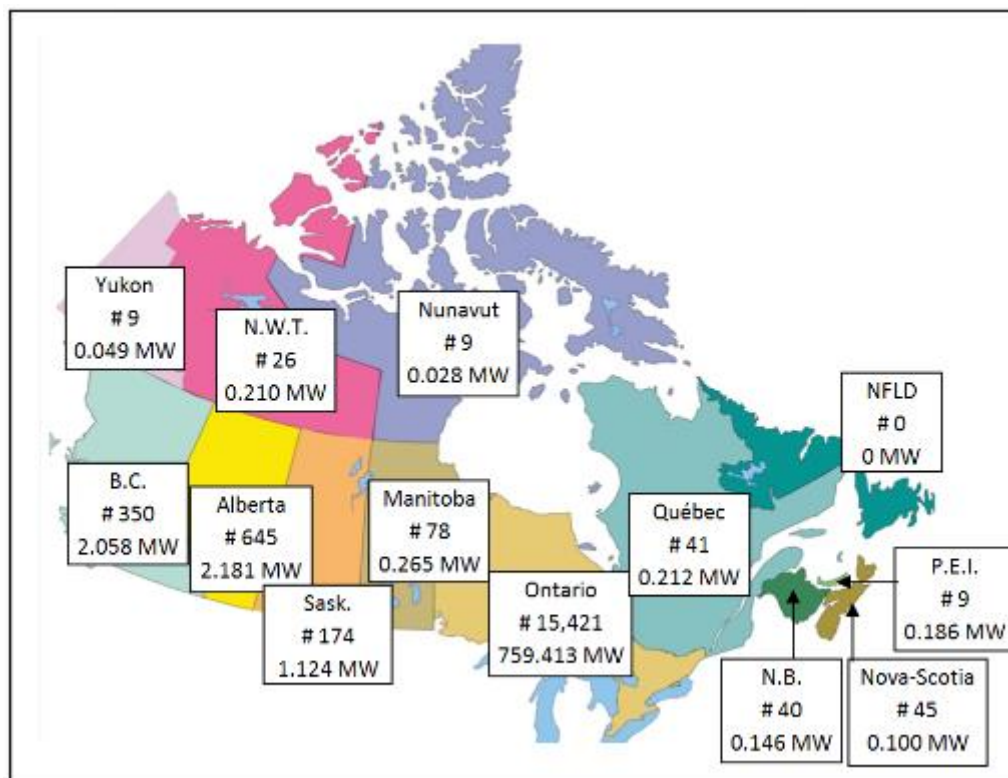


Figura 39 – Potência instalada de sistemas fotovoltaicos conectados a rede no Canadá.
Fonte: CANSIA, 2013

3.4.1. Ontário

Os maiores investimentos em fotovoltaica estão em Ontário, a segunda maior província canadense. Ontário utiliza o *Feed-In Tariff* (FIT), gerido pelo *Ontario Power Authority* (OPA), programa que garante preços para eletricidade gerada a partir de fontes renováveis. Nesse programa, os proprietários de painéis fotovoltaicos fazem um contrato de 20 anos com a OPA para receber um preço fixo pela eletricidade gerada (CANSIA, 2013).

Em 2012, a revisão do FIT resultou em uma tabela de preços ajustada e um novo sistema de pontos para a comunidade, visando incentivar a participação indígena no desenvolvimento de projetos. Os custos do sistema foram diminuídos, as tarifas foram reduzidas entre aproximadamente 10% a 31% para instalações em telhados e 12% a 31% para instalações feitas diretamente no solo (CANSIA, 2013).

Em 2012 foi criado um Plano de Energia em Longo Prazo, com o apoio do programa FIT. Esse programa de incentivo estabelece uma diminuição dos preços de energia de acordo com a quantidade de energia gerada em cada instalação.

Através de denominações já estabelecidas pelo programa FIT, geradores de energia solar tem descontos nas suas tarifas de acordo com os critérios em que se enquadram. Existem três tipos de unidades geradoras:

- *Micro* FIT: Projetos que geram 10 kW ou menos;
- *Small* FIT: Projetos que geram entre 10 kW e 500 kW;
- *Large* FIT: Projetos que geram acima de 500 kW.

Esses tipos de geradores também podem ser enquadrados nas categorias Solar Rooftop, onde os módulos fotovoltaicos são instalados nos telhados e Solar Groundmount, instalações no solo. Outras mudanças no programa incluem um sistema de pontos para *Small* FIT e *Large* FIT, para incentivar municípios, cooperativas e comunidades indígenas nos projetos. A Figura 40 mostra os preços do programa FIT, antes e após o reajuste e de acordo com o tipo de sistema gerador (CANSIA, 2013).

Tipo de instalação	Tamanho do Projeto	Preço original FIT (¢/kWh)	Novo preço FIT (¢/kWh)	% Mudança em relação a FIT original
Instalação no telhado	≤ 10 kW	80.2	54.9	-31.5%
	>10 ≤ 100 kW*	71.3	54.8	-23.1%
		<250 kW		
	>100 ≤ 500kW*	63.5	53.9	-15.1%
		>250 ≤ 500kW		
>500 kW	53.9	48.7	-9.6%	
Instalação no solo	≤ 10 kW	64.2	44.5	-30.7%
	>10 kW ≤ 500 kW*	44.3	38.8	-12.4%
	>500 kW ≤ 5 MW*	44.3	35.0	-21.0%
	> 5 MW*		34.7	-21.7%

Figura 40 - Reajustes de incentivo na tarifa FIT em Ontário.
Fonte: CANSIA, 2013.

3.4.2. Saskatchewan (SASK.)

A energia gerada através de sistemas fotovoltaicos em Sask ainda está em crescimento, e para incentivar o progresso dessa energia renovável, Sask utiliza alguns de incentivos de geração de energia renovável. Os principais são:

Net metering: permite que os pequenos produtores individuais, residências e empresas, que tem instalações com capacidade de até 100 kW, possam entregar a geração excedente para a rede, fazendo assim uma troca de energia com a concessionária. O programa prevê o financiamento de até 35% dos custos de capital, com limite de até US\$ 35.000,00 e inclui equipamentos, custos de instalação, aplicação e interconexão (CANSIA, 2012). O balanço de energia geral indica o que foi gerado e o que foi consumido no mês de referência, caso a unidade geradora forneceu energia à rede, a fatura virá com um saldo positivo na quantidade de energia fornecida e esse valor deverá ser utilizado nos próximos 12 meses. Caso esse saldo não seja utilizado até esse prazo, os créditos serão zerados (SaskPower, 2014).

Green Options Partner Program: a empresa *SaskPower* implementou esse programa, o qual permite que médios produtores de energia limpa (100 kW a 10 MW) vendam a sua produção de eletricidade (CANSIA, 2012).

Small Power Producers Program: a *SaskPower* também criou um programa para os pequenos produtores de energia (até 100 kW), que permite que eles vendam a energia de volta para a *SaskPower*. Nesse programa, clientes são responsáveis pelo custo de capital inicial de geração do sistema, porém a eletricidade produzida em excesso é paga e esse valor pago aumenta 2% ao ano (CANSIA, 2012).

3.4.3. Alberta

O *net metering* foi introduzido em Alberta através do *Alberta Utilities Commission*, que dá aos consumidores do estado oportunidade de produzir energia através de sistemas de mini geração (menor ou igual a 1 MW) e vender qualquer excesso de energia enviado à rede de distribuição.

Existe ainda o *Solar PV Equipment Pilot Program*: criado em 2012 para atender aos agricultores. Os produtores agrícolas com renda bruta anual de US\$ 10.000 ou mais, eram elegíveis para participar do programa.

Finalmente, há um programa denominado *ENMAX Generate Choice Home Solar Program*, em que sistemas solares são pagos e mantidos pela concessionária ENMAX e clientes participantes tem que pagar apenas uma taxa inicial e taxa de aluguel mensal para participar.

3.4.4. British Columbia

British Columbia (BC) conta com diferentes opções de aproveitamento energias renováveis, como hidráulica e eólica, sendo que estas são mais baratas do que a energia proveniente do sol, além disso, 90% da energia utilizada em BC é verde e livre de carbono, portanto, não é interessante para essa província trabalhar com a tarifa *feed-in*. Há três programas de incentivo utilizados na província de British Columbia:

BC Hydro Net Metering: esse sistema de incentivo foi aprovado em maio de 2004. Clientes conectados à rede de distribuição da *BC Hydro* podem compensar seu consumo de eletricidade quando utilizadas fontes limpas de energia (solar, eólica, marémotriz, hidráulica, etc). No caso da energia fotovoltaica, esse sistema é aplicado para potências instaladas menores ou iguais a 50 kW. Qualquer excesso de energia gerada poderá ser compensado no período de doze meses. No final do período, o excedente de geração injetada no sistema de distribuição da *BC Hydro* poderá ser pago de acordo com a tarifa de *net metering*, atualmente de 8,16 cents/kWh, ou será descontado de tarifas futuras (CANSIA, 2012).

FortisBC Net Metering: muito similar ao *BC Hydro net metering*, esse programa foi aprovado em setembro de 2009. Esse sistema também é aplicado a potências instaladas menores ou iguais a 50 KW, nele o excesso de energia é pago de acordo com a tabela de preço de eletricidade atual.

BC Hydro Standing Offer Program: esse programa foi criado para incentivar a criação de projetos de energia fotovoltaica em menor escala. Para aplicar-se ao programa, o projeto tem que ser inferior a 15 MW e atender a uma série de outros requisitos, sendo proveniente de energia limpa. As tarifas desse plano de incentivo

variam de acordo com a localidade dentro da província de BC, como pode ser visto no Figura 41, a seguir.

Além disso, 50% do valor do contrato é reajustado a cada ano através do *Consumer Price Index* (IPC). Os preços diferenciados refletem no valor esperado da energia para o sistema de energia elétrica de BC e os custos relativos associados com a transmissão de energia para os centros de carga de BC na *Lower Mainland* e *Vancouver Island*.

Região do ponto de injeção	Preço Base (2010 \$ / MWh)
Vancouver Island	\$102.25
Lower Mainland	\$103.69
Kelly/Nicola	\$97.02
Central Interior	\$99.26
Peace Region	\$94.86
North Coast	\$96.17
South Interior	\$98.98
East Kootenay	\$102.18

Figura 41 - Tarifas do BC Hydro Standing Offer Program para diferentes regiões da British Columbia.

Fonte: CANSIA, 2012.

3.4.5. Manitoba

A concessionária *Manitoba Hydro* atua com o *net metering* para sistemas conectados à rede até 10 MW, a energia excedente é comprada pela *Manitoba Hydro* de acordo com as taxas atuais.

3.4.6. Québec

Quebec utiliza dois sistemas de incentivo: *Net Metering Rate Option*, válido para geradores fotovoltaicos de até 50 kW. Oferece troca de energia com a rede, e para participar, os geradores devem ser consumidores residenciais, fazendeiros ou pequenos empresários. Os geradores têm até 24 meses para acumular créditos de excessos de energia gerada, após esse prazo, não poderão mais fazer a compensação do excedente. O *Operational Assistance Program* oferece subsídios para projetos que reduzam o uso de combustíveis fósseis através de geradores fotovoltaicos. É válido para instalações em edifícios, setores industriais, agrícolas e comerciais.

Projetos solares fotovoltaicos podem candidatar-se para ter até 75% dos custos totais do projeto subsidiados, até um máximo de US\$ 300.000,00 Este programa foi lançado em março de 2012, com um orçamento de US\$ 7 milhões para os projetos solares.

3.4.7. New Brunswick

Estado atua com o *Net Metering*, que inclui geradores fotovoltaicos de até 100 kW para residências. Qualquer excesso de crédito é zerado em março do próximo ano.

Possui ainda um incentivo denominado *Embedded Generation Tariff*: aplica-se a projetos entre 100 e 3000 kW e oferece uma opção para gerar e vender energia para a concessionária *NB Power*.

3.4.8. Nova Scotia

O *net metering* é aplicado até 1 MW. A unidade geradora tem doze meses para utilizar seus créditos excedentes, caso existam.

3.5. PANORAMA BRASILEIRO

Inicialmente, as principais aplicações de sistemas fotovoltaicos no Brasil foram voltadas ao setor de telecomunicações, à eletrificação rural, serviços públicos, ao bombeamento de água e para estudo e pesquisa. Até 2010 maioria dos SFCRs estava instalada em universidades e centros de pesquisa, como forma de estudo e análise dos benefícios e viabilidade da tecnologia solar no Brasil, situação completamente diferente da existente em alguns países desenvolvidos, onde, devido às políticas públicas adotadas, já existia a implantação em larga escala de sistemas fotovoltaicos. Até 2012, existiam 58 sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em operação no Brasil, com o equivalente a aproximadamente 2006 kWp instalados. A maior parte destes sistemas não tinham utilização comercial, apenas experimental (URBANETZ JUNIOR, 2010) (JANIZZI, 2009).

As maiores barreiras de mercado existentes até então eram (JANUZZI, 2009):

- Custos elevados, e conseqüente falta de interesse em pagar pela implantação dos sistemas, pois não existiam meios mais baratos;
- Falta de subsídios voltados para sistemas conectados à rede e em larga escala, como já existiam em outros países;
- Falta de regulamentação para instalações conectadas à rede;
- Em geral, praticamente todo o material e equipamentos necessários eram importados;
- Falta de organização na legalização para implantar o sistema.

A radiação média anual brasileira é um dos fatores importantes que justifica o desenvolvimento do mercado de energia fotovoltaica no país, além disso, pode-se observar a entrada de empresas nacionais e estrangeiras nesse setor, tanto para produção de módulos, quanto para montagem dos mesmos.

Como já foi exposto, existem várias políticas de incentivos que impulsionam a geração distribuída de energia fotovoltaica. Esses programas têm como objetivo encorajar a geração fotovoltaica de modo a atingir a escala necessária para competir com outras fontes de geração de energia (COGEN, 2012).

A seguir são apresentados os incentivos brasileiros à geração solar fotovoltaica e outras formas renováveis.

3.5.1. Incentivos Nacionais

3.5.1.1. Programa Luz Para Todos

O Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), criado em 1994, promoveu a aquisição de sistemas fotovoltaicos por meio de licitações internacionais. Foram instalados aproximadamente 5 MWp em torno de 7000 comunidades no Brasil. O PRODEEM foi incorporado ao programa Luz Para Todos com o objetivo de fornecer eletricidade para todas as comunidades remotas do país. De acordo com o relatório da administração da Eletrobrás de 2009, ao todo foram instalados 2046 sistemas fotovoltaicos desde 2004 (COGEN, 2012).

3.5.1.2. Chamada Nº 013/2011 da ANEEL

A partir de 2011, com a crescente queda dos preços dos sistemas fotovoltaicos, a ANEEL se propôs a assumir uma postura mais proativa na elaboração de uma regulamentação mais adequada para o setor, com o objetivo de por fim à algumas barreiras existentes na implantação dos sistemas fotovoltaicos em território brasileiro. Em agosto de 2011, a ANEEL, através de uma chamada pública, definiu a geração fotovoltaica como estratégia e elaborou um escopo para projetos de pesquisa e desenvolvimento.

Em agosto de 2011 a ANEEL tornou pública a chamada Nº. 013/2011 “Arranjos técnicos e comerciais para a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira”. Objetivando pesquisas e desenvolvimento na área de projetos fotovoltaicos.

Na introdução do chamado público da ANEEL, foram apresentados alguns objetivos gerais a serem buscados pelos projetos de P&D, descritos a seguir:

- *Facilitar a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira;*
- *Viabilizar economicamente a produção, instalação e monitoramento da geração solar fotovoltaica para injeção de energia elétrica nos sistemas de distribuição e/ou transmissão;*
- *Incentivar o desenvolvimento no país de toda a cadeia produtiva da indústria solar fotovoltaica com a nacionalização da tecnologia empregada;*
- *Fomentar o treinamento e a capacitação de técnicos especializados nesse tema em universidades, escolas técnicas e empresas;*
- *Estimular a redução de custos da geração solar fotovoltaica com vistas a promover a sua competição com as demais fontes de energia;*
- *Propor e justificar aperfeiçoamentos regulatórios e/ou desonerações tributárias que forneçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica, assim como o aumento da segurança e confiabilidade no suprimento de energia.*

A partir dessa chamada, a ANEEL procurou expor quais seriam os desafios a serem enfrentados com o objetivo de fortalecer e ampliar a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos no Brasil (ANEEL, 2011).

3.5.1.3. Resolução 482/2012 da ANEEL

No Brasil, com a resolução 482/2012 da ANEEL, tem-se atualmente um sistema de compensação de energia, semelhante ao *net-metering*. A resolução define o sistema de compensação como um arranjo em que os consumidores com micro geração ou mini geração injetam energia ativa na rede de distribuição, cedendo-a à concessionária local, posteriormente essa energia é compensada através do consumo dessa unidade consumidora ou outra do mesmo titular, e desta vez é cedida pela concessionária. A energia gerada pelo consumidor abate a energia consumida proveniente da distribuidora, e caso seja maior que o consumo, o saldo positivo tem validade por 36 meses, podendo também ser utilizada em outra unidade consumidora do mesmo titular (que possua o mesmo CPF ou CNPJ, junto ao ministério da fazenda) e que esteja dentro da mesma área de concessão da unidade geradora. Na sequência é feita uma breve descrição dos termos mais relevantes da nova resolução.

A ANEEL define micro geração como unidade geradora com potência instalada de até 100 kW e mini geração com potência acima de 100 kW e menor ou igual a 1 MW, sendo a fonte proveniente de geração eólica, hidráulica, solar, biomassa ou cogeração qualificada (geração combinada de energia térmica e mecânica, geramente convertida em parte ou totalmente em energia elétrica) (ANEEL, 2012).

No capítulo 2 da resolução são definidos os termos para o acesso dos consumidores/geradores aos sistemas de distribuição de energia. As concessionárias receberam um prazo de 240 dias a partir da data de publicação da resolução (17 de abril de 2012) para adequar seus sistemas comerciais e elaborar e disponibilizar ao público suas próprias normas técnicas a respeito do acesso de micro e mini geração distribuída com base nos termos definidos no módulo 3 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) e em normas internacionais como complemento.

Fica definido ainda que para os geradores de micro e mini geração não se faz necessária a celebração de contratos em que sejam caracterizados como centrais geradoras, mas somente um Acordo Operativo (acordo celebrado entre acessante/minigerador e acessada/concessionária, que descreve as

responsabilidades, atribuições e o relacionamento técnico do ponto de conexão e das instalações de conexão) para mini geradores e um termo de Relacionamento Operacional, semelhante ao anterior, para micro geradores. Para unidades consumidoras do grupo B (designação da ANEEL para consumidores atendidos em tensão abaixo de 2,3 kV) a potência instalada de geração fica, à princípio, limitada à carga instalada no local. Para consumidores do grupo A (com fornecimento de 2,3 kV a 230 kV, ou inferior a 2,3 kV para sistema subterrâneo de distribuição) a potência instalada é limitada à demanda contratada. Todavia, os consumidores dos grupo B e A podem solicitar aumento da carga instalada e aumento da demanda contratada, respectivamente, se desejarem instalar geração com potência superior aos limites especificados

Se um consumidor gerador desejar aumentar a potência de geração instalada ou realizar a conexão de nova unidade consumidora/geradora na rede de distribuição, serão válidas regras de participação financeira do consumidor definidas em regulamento específico, no qual ficaram estabelecidos os valores que o consumidor deverá arcar. Todavia, custos de ampliações e reforços no sistema de distribuição da concessionária, devidos à conexão do consumidor com micro geração ou mini geração devem ser arcados pela própria concessionária (ANEEL, 2012).

No terceiro capítulo são apontados os requisitos para adesão ao sistema de compensação e as características do faturamento das unidades consumidoras que injetam energia na rede. Explica-se que a energia ativa injetada na rede pelo consumidor será cedida como forma de empréstimo, garantindo um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida dentro de 36 meses.

Relativamente ao faturamento, deverá ser observado o seguinte: o consumo de energia ativa a ser cobrada do consumidor deverá ser a diferença entre a energia consumida e a injetada na rede pelo sistema gerador do consumidor, e quando o excedente não for utilizado na cobrança atual, a distribuidora deverá descontá-lo nas cobranças dos meses seguintes. Caso um consumidor possua mais de uma unidade consumidora passível de ter seu consumo de energia compensado pelos créditos que possui, cabe ao consumidor definir a ordem de prioridade de compensação de suas propriedades, devendo, no entanto, a unidade geradora ser a primeira a ter seu consumo compensado. Para que isso seja possível, as diferentes

propriedades devem ser atendidas pela mesma concessionária e possuírem o mesmo titular responsável (possuidor do mesmo CPF ou CNPJ).

Créditos resultantes que não forem utilizados após 36 meses da data de faturamento expirarão e serão revertidos em benefício da modicidade tarifária (esforço governamental para assegurar a menor tarifa possível ao consumidor). O mesmo se aplica após o encerramento da relação contratual que existe entre o consumidor e a concessionária, após o final do contrato, quaisquer créditos de energia ativa restantes serão igualmente revertidos em benefício da modicidade tarifária.

Ressalta-se ainda que as informações referentes ao saldo positivo que o consumidor possuir para utilizar em futuras cobranças deverá estar contido na fatura de energia, em quilowatt-hora (kWh), bem como o total de créditos que irão expirar no próximo ciclo. Além disso, quando uma unidade consumidora for atendida em tensão primária de distribuição e tiver os equipamentos de medição na tensão secundária, será deduzida da energia ativa injetada na rede por essa unidade, as perdas referentes à transformação (ANEEL, 2012).

O capítulo 4 trata da medição de energia elétrica, definindo que os custos de adequação do sistema de medição para tornar possível a troca de energia entre consumidor e concessionária são de responsabilidade do consumidor, significando que este deverá pagar a diferença entre o custo dos componentes do sistema de medição requerido (medidor bidirecional) para o sistema de compensação e o custo do sistema de medição convencional (medidor unidirecional) utilizado em unidades consumidoras do mesmo nível de tensão, observando-se sempre as especificações de medição contidas no PRODIST, que determina que a instalação deve ser feita pela distribuidora, e esta deve cobrar do interessado os custos de adequação.

Instalados os equipamentos e realizada a adequação do medidor, cabe então à concessionária a responsabilidade de operação e manutenção do sistema, inclusive se for necessária a sua substituição. Além disso, a adequação do sistema deve ser feita pela distribuidora dentro do prazo definido para vistoria e ligação das instalações, e a compensação deve ter início assim que for aprovado o ponto de conexão (ANEEL, 2012).

No capítulo 5 são expressas as responsabilidades do consumidor em caso de dano ao sistema elétrico da distribuidora ou de outros consumidores devido ao seu sistema de geração própria conectado à rede. Nesta situação, se o consumidor

utilizar um sistema de geração própria sem conhecimento e aprovação da concessionária, e o sistema causar danos, a distribuidora tem o direito de cobrar a instalação de equipamentos corretivos na unidade consumidora, dentro de um prazo especificado, ou então, o pagamento das obras corretivas necessárias no sistema elétrico. Além disso, o consumidor fica sujeito a ressarcir a distribuidora por eventuais indenizações por danos a equipamentos elétricos de consumidores próximos que tenham sido, comprovadamente, prejudicados pela geração própria irregular daquele consumidor em questão. O descumprimento das responsabilidades citadas por parte do consumidor o sujeita a ter o fornecimento de energia suspensa para sua unidade consumidora.

Para consumidores gerando energia elétrica nas suas propriedades sem observar as normas e padrões locais, situação considerada como de risco iminente às pessoas, bens materiais e ao funcionamento do sistema elétrico, a concessionária deve suspender imediatamente o fornecimento de energia ao referido consumidor, informando-o, por escrito, e com entrega da informação comprovada, o motivo da suspensão. Obviamente, caso seja comprovada a irregularidade de uma instalação com mini ou micro geração, os créditos gerados não poderão ser utilizados no sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2010).

Finalmente: é de responsabilidade da concessionária a coleta de dados dos consumidores\geradores, e determina-se como aprovadas as revisões do PRODIST com adições referentes ao acesso de mini e micro geração distribuída ao sistema elétrico geral (ANEEL, 2012).

3.5.1.4. Resolução 517/2012 da ANEEL

A resolução 517, de dezembro de 2012, altera e adiciona algumas considerações na resolução 482. Aprimora a definição de alguns termos, como “sistema de compensação de energia elétrica”, por exemplo, anulando a primeira definição dada pela 482 e tornando válida uma mais completa. São adicionadas informações relativas aos valores de potências instaladas para micro e minigeradores, limitando-os inicialmente à carga instalada, para consumidores atendidos em tensões abaixo de 2,3 kV (grupo B), ou à demanda contratada, para consumidores do grupo A. Fala-se ainda dos encargos e responsabilidades da

conexão de novas unidades geradoras à rede, da adesão ao sistema de compensação e seu funcionamento, do faturamento de energia e de como ocorrerá o abatimento no consumo, explicando-se também as possibilidades de compensação em meses subsequentes caso necessário, ou ainda em outras unidades consumidoras do mesmo titular. Finalmente, a nova norma trata do sistema de medição de energia, seus custos, especificações técnicas e os responsáveis pela sua instalação (ANEEL, 2012).

As alterações definidas na resolução 517 foram previamente citadas acima, no tópico referente à resolução 482, uma vez que na elaboração deste trabalho foi considerada a versão mais atual da resolução 482, que já inclui o texto da 517.

3.5.1.5. Selo Solar

O Selo Solar (Figura 42) é uma forma de incentivo e de divulgação da energia solar. Foi desenvolvido em conjunto pelo Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas para a América Latina (Ideal) e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com o apoio da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável. A ideia já existe há mais tempo na Alemanha, onde o certificado *Grüner Strom Label* (ou *Green Electricity Label*), criado em 1998, certifica mais de 120 produtos de energia limpa, e já foi obtido por grandes empresas, que compram ou investem de alguma forma em energias limpas (SELO SOLAR, 2014) (GRÜNER STROM LABEL, 2014).

O objetivo é incentivar novos projetos de produção de energia renovável no país, e alertar as pessoas sobre a origem da energia elétrica que consomem. Além disso, para empresas que geram ou compram energia fotovoltaica o Selo pode funcionar como um certificado verde, valorizado nos dias de hoje para a divulgação e publicidade. O selo é concedido a empresas, instituições públicas e privadas, e proprietários de edificações que consumirem um valor mínimo estipulado de energia elétrica fotovoltaica (SELO SOLAR, 2014).



Figura 42 - Representação do Selo Solar.
Fonte: SELO SOLAR, 2014.

3.5.1.6. Projeto 50 Telhados

O projeto 50 Telhados (Figura 43) foi lançado com o objetivo de divulgar a geração de energia elétrica distribuída a partir da Energia Solar.

Esse projeto é coordenado pelo Instituto Ideal e tem o apoio da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável. O objetivo é instalar 50 geradores fotovoltaicos de 2 kWp cada por cidade, e em pelo menos vinte cidades brasileiras. Deste modo, cada cidade precisa ter pelo menos 50 telhados fotovoltaicos (ou 100 kWp de potência total) até o final de 2014, que devem ser instalados por empresas cadastradas no projeto. Estas cidades então se tornarão referências na utilização de energia solar (Instituto Ideal, 2014).

De acordo com o Instituto Ideal, já existem 13 municípios que fazem parte desse projeto, são eles: Campo Grande (MS), Curitiba (PR), Ribeirão Preto (SP), São José do Rio Preto (SP), Rancharia (SP), Cuiabá (MT), Búzios (RJ), Rio de Janeiro (RJ), Niterói (RJ), Florianópolis (SC), Santa Cruz do Sul (RS), Venâncio Aires (RS) e Lajeado (RS). As participantes da execução do projeto são: Solarize, Solar Energy, Araxá Solar, Prátil, Brasil Choice e Solled (Instituto Ideal, 2014).

Segundo a gerente de projetos do Ideal, responsável pelo 50 telhados, houve uma grande procura de empresas instaladoras que gostariam de levar o projeto para suas cidades. Isso demonstra a grande força do projeto, o que pode ajudar a alavancar o mercado fotovoltaico no país (Instituto Ideal, 2014).

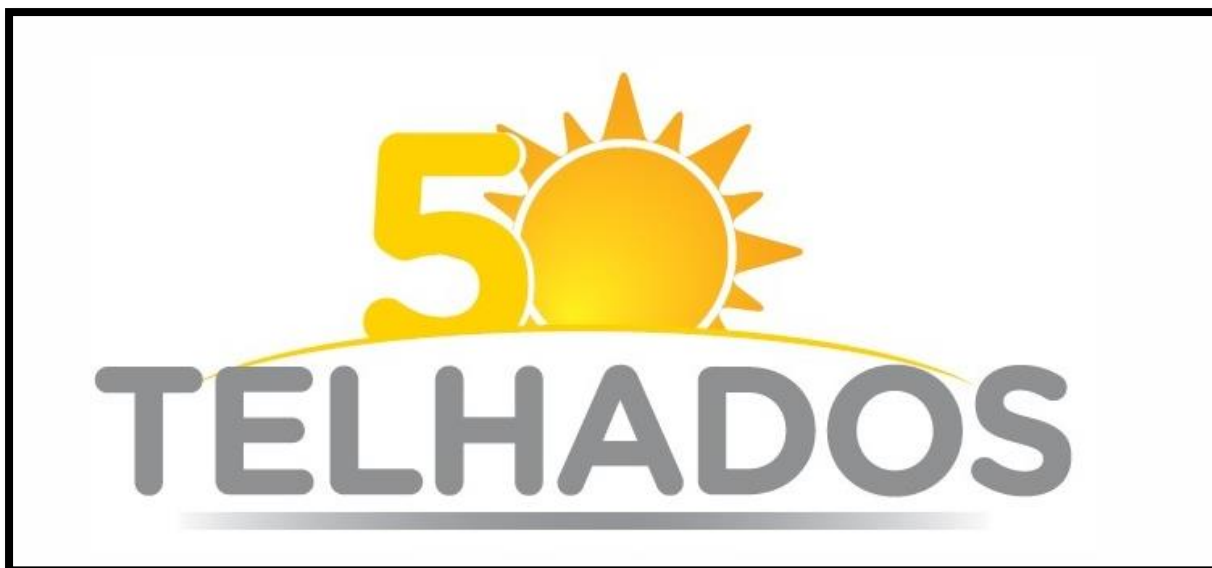


Figura 43 – Selo do Projeto 50 Telhados.
Fonte: Solar Energy, 2014.

3.5.2. Panorama Pré Resolução 482/2012 da ANEEL

Antes da resolução da 482/2012 da ANEEL, a maior parte dos sistemas fotovoltaicos no país estavam em universidades, centros de pesquisa e em empresas atuantes na área de energia elétrica. Esses sistemas tinham, em sua maioria, propósitos científicos e não comerciais (URBANETZ JUNIOR, 2010). A Tabela 1 apresenta os sistemas fotovoltaicos conectados à rede de que se tinham notícia no Brasil até abril de 2012, quando foi lançada a resolução 482 da ANEEL. São destacados (**) os SFCR que já se encontram cadastrados no Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL até julho de 2014. Na sequência, alguns dos SFCR desta tabela são descritos mais detalhadamente (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Tabela 1 - SFCR em operação até o ano de 2010 no Brasil

Sistema FV	Cidade	Ano	Potência Instalada (kWp)
LABSOLAR/UFSC	Florianópolis - SC	1997	2,02
LSF - IEE/USP	São Paulo - SP	1998	0,75
Centro de Convivência/UFSC	Florianópolis - SC	2000	1,10
LSF - IEE/USP**	São Paulo - SP	2001	12,30
CEPEL	Rio de Janeiro - RJ	2002	16,32
Intercâmbio Eletromecânico - IEM	Porto Alegre - RS	2002	3,00

Sistema FV	Cidade	Ano	Potência Instalada (kWp)
CELESC/UFSC	Florianópolis - SC	2003	1,40
CELESC/UFSC	Lages - SC	2004	1,40
CELESC/UFSC	Tubarão - SC	2004	1,40
Centro de Cultura e Eventos/UFSC	Florianópolis - SC	2004	10,24
Laboratório de Energia Solar/UFRGS	Porto Alegre - RS	2004	4,80
Escola Técnica de Pelotas	Pelotas - RS	2004	0,85
LSF - IEE/USP**	São Paulo - SP	2004	3,00
Laboratório de Sementes/CEMIG/UFSC	Belo Horizonte - MG	2005	3,15
FAE/UFPE	Recife - PE	2005	1,28
Clínica Harmonia	São Paulo - SP	2005	0,90
UFJF	Juiz de Fora - MG	2006	31,70
Casa Eficiente/Eletrosul/UFSC	Florianópolis - SC	2006	2,25
LH2 - UNICAMP/CPFL	Campinas - SP	2006	7,50
PUC-MG	Belo Horizonte - MG	2006	2,05
EFAP - Univercemig	Sete Lagos - MG	2006	3,00
Greenpeace**	São Paulo - SP	2007	2,80
Restaurante Lampião/UFPE	Piranhas - AL	2007	1,50
CEFET-MG	Belo Horizonte - MG	2007	3,24
Residência Particular	Recife - PE	2007	1,00
GEDAE/UFPA	Belém - PA	2007	1,58
Residência Particular	São Paulo - SP	2008	2,87
Solaris**	Leme -SP	2008	1,04
MotorZ/Grupo Zeppini/UFSC	São Bernardo do Campo - SP	2008	2,45
Fundição Estrela/Grupo Zeppini/UFSC	São Bernardo do Campo - SP	2008	14,69
Dígitro/ELETROSUL/UFSC	São José - SC	2009	2,60
ELETROSUL/UFSC	Florianópolis - SC	2009	11,97
Colégio de Aplicação/TRACTEBEL/UFSC	Florianópolis - SC	2009	1,99
Hospital Universitário/TRACTEBEL/UFSC	Florianópolis - SC	2009	1,99
Aeroporto Hercílio Luz/TRACTEBEL/UFSC	Florianópolis - SC	2009	2,12
Posto BR	Rio de Janeiro - RJ	2009	1,12
C&C	São Paulo - SP	2009	2,00
COELBA	Salvador - BA	2009	3,12
Condomínio Pedra Branca/UFSC	Palhoça - SC	2010	6,40
FAE/UFPE	Recife - PE	2010	3,30
Residência Particular	Belo Horizonte - MG	2010	3,57
Loja Honda	São Paulo - SP	2010	1,20
Loja Honda	Manaus -AM	2010	2,00
Banco do Brasil	Rio de Janeiro - RJ	2010	5,00
Edifícios Residenciais Gafisa	Rio de Janeiro - RJ	2010	6,00
Matriz Coca-Cola	Rio de Janeiro - RJ	2010	10,00
Edifício Governamental	Brasília - DF	2010	1,00
Du Pont	São Paulo - SP	2010	2,00
Alliance Seguros	São José do Rio Preto - SP	2010	2,00
Alliance Seguros	Ribeirão Preto - SP	2010	2,00
Alliance Seguros	Porto Alegre - RS	2011	2,00

Sistema FV	Cidade	Ano	Potência Instalada (kWp)
UNIOESTE	Cascavel - PR	2011	11,40
UFPA	Belém - PA	2011	2,80
Embaixada da Itália**	Brasília - DF	2011	50,00
MPX Tauá**	Tauá - CE	2011	1000,00
UTE Norte Fluminense	Macaé - RJ	2011	320,00
Escritório Verde - UTFPR	Curitiba - PR	2011	2,10
Pituaçu Solar**	Salvador - BA	2012	404,80
Total.: 58 usinas		Total	2006,06 kWp

Usina** – Usina cadastrada no Banco de Informações de Geração da ANEEL

Fonte: Adaptado de URBANETZ, 2010 e GUIMARÃES et al, 2011.

Observa-se que o desenvolvimento dos sistemas solares no Brasil foi mais expressivo especialmente a partir de 2010, quando entraram em operação alguns sistemas fotovoltaicos residenciais e de empresas que não estão ligadas ao setor de energia, e, principalmente, quando foram ativadas algumas usinas de maior escala, como a MPX Tauá (com 1000 kWp), UTE Norte Fluminense (320 kWp) o estádio Pituaçu Solar (404,80 kWp). Nota-se também, que 1473,74 kWp da potência total instalada até abril de 2012 consta no Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL, resultando em uma potência de 532,32 kWp que ainda não foi cadastrada neste banco de informações.

No Gráfico 1 é mostrado o percentual da potência total instalada por ano até abril de 2012.

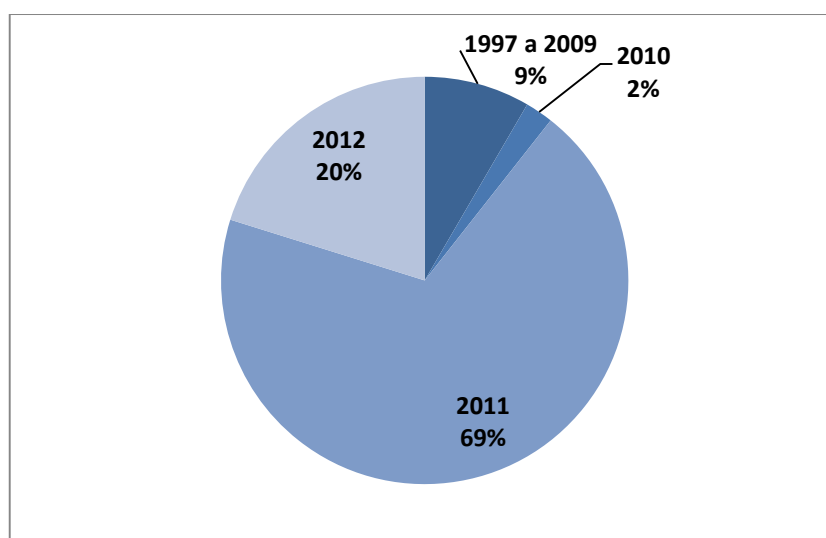


Gráfico 1 - Percentual da potência fotovoltaica instalada por ano até abril de 2012.

Fonte: os autores, 2014.

No Gráfico 2 observa-se o desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos no Brasil até abril de 2012, com as potências adicionadas anualmente representadas pelas barras azuis e o total acumulado ilustrado pela linha vermelha.

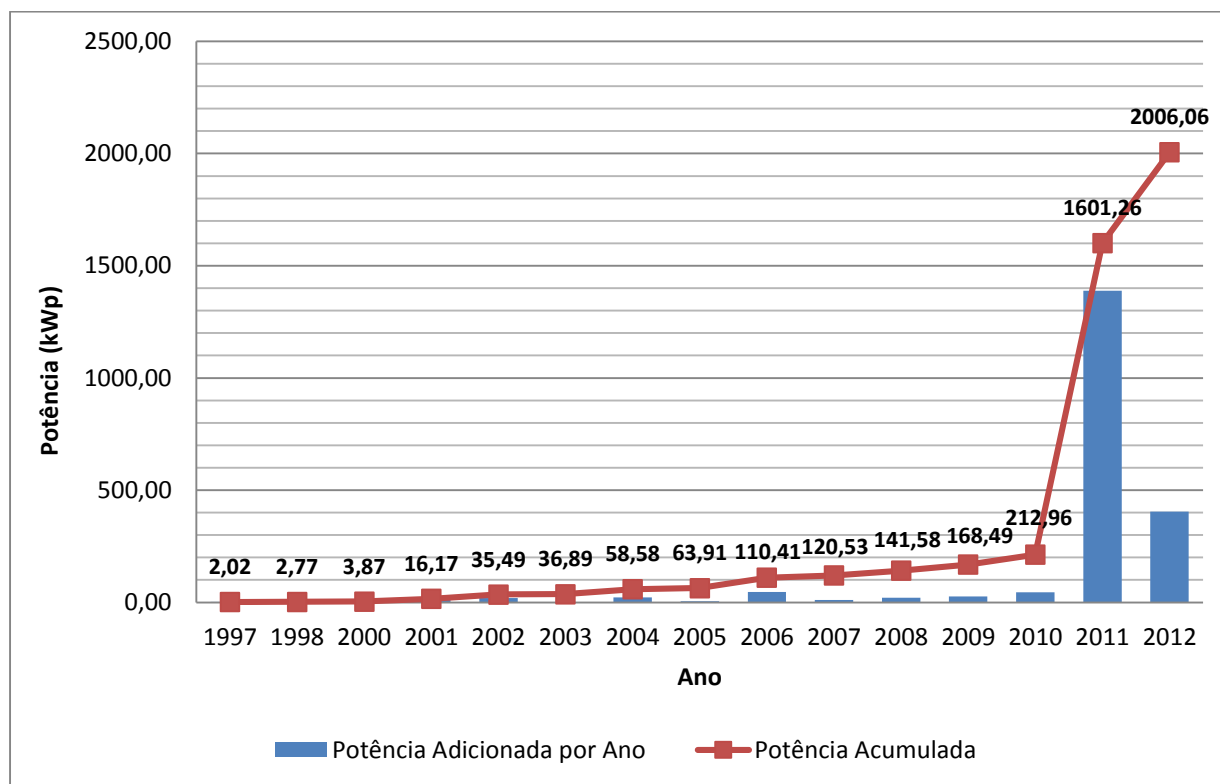


Gráfico 2 - Crescimento dos SFCR no Brasil até abril de 2012.
 Fonte: adaptado de URBANETZ JUNIOR, 2010 e GUIMARÃES et al, 2011.

Na sequência são apresentados, como exemplos, alguns dos SFCR construídos no Brasil até abril de 2012.

3.5.2.1. LABSOLAR/UFSC – Florianópolis - SC

O primeiro SFCR instalado no Brasil foi o do LABSOLAR, da UFSC (Figura 44) montado no bloco B do departamento de engenharia mecânica da UFSC no ano de 1997.



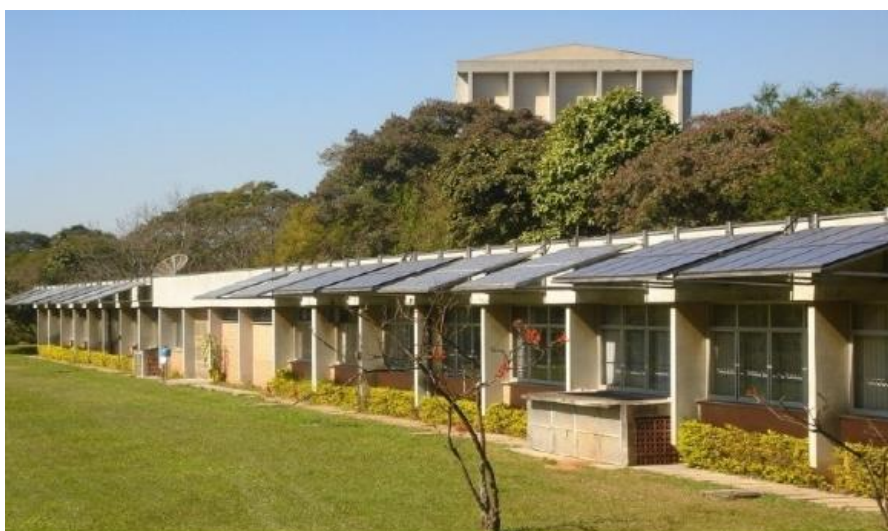
Figura 44 - Módulos fotovoltaicos e inversor atual (SB2500) do LABSOLAR.
 Fonte: adaptado de URBANETZ JUNIOR, 2010.

Composto a princípio de 68 módulos de silício amorfo (a-Si) que totalizam 2,11 kWp e 4 inversores WÜRTH com 650 W cada. Depois de algumas modificações para atualização dos inversores, que foram substituídos por um SMA SB2500, e o painel fotovoltaico passou a gerar 2,02 kWp. Conta atualmente com uma central de monitoramento que permite a aquisição de dados como geração, irradiância, e temperatura dos módulos (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Nos anos seguintes novas instalações foram feitas na Universidade de São Paulo (USP), no prédio do centro convivência da UFSC, no telhado do prédio do Centro De Pesquisa De Energia Elétrica (CEPEL), na empresa Intercâmbio Eletromecânico (IEM), na empresa Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), entre outras.

3.5.2.2. LSF - IEE/USP – São Paulo - SP

No Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (LSF – IEE – USP), foi instalado em 1998 em sistema com 0,75 kWp, composto por 10 painéis SIEMENS de c-Si e um inversor de 700 W. Em 2001, outro sistema foi instalado, na fachada do prédio de administração do IEE/USP, inicialmente com 6,3 kWp, que passou a 12,3 kWp em 2003. Na Figura 45 observa-se a fachada do prédio com os painéis (URBANETZ JUNIOR, 2010).



**Figura 45 - Fachada do prédio de administração do IEE – USP, com os painéis instalados.
Fonte: adaptado de URBANETZ JUNIOR, 2010.**

3.5.2.3. Laboratório de Energia Solar - UFRGS – Porto Alegre - RS

No Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) também há um sistema fotovoltaico conectado a rede. O sistema foi instalado em 2004, com 4,8 kWp de potência instalada e inversores SMA, ele possui um quadro de conexões do lado CC que permite uma reconfiguração rápida do sistema, possibilitando que se façam ensaios em outros modelos de inversores com facilidade. A Figura 46 mostra a fachada do prédio do Laboratório de Energia Solar com os painéis.



**Figura 46 - Módulos fotovoltaicos no prédio do laboratório de energia solar da UFRGS.
Fonte: adaptado de URBANETZ,2010.**

3.5.2.4. CEPEL – Rio de Janeiro – RJ

Além das universidades, alguns centros de pesquisa e algumas concessionárias também instalaram sistemas FV. O Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) do grupo Eletrobras, do Rio de Janeiro, instalou em dezembro de 2002, na sua sede, um sistema com 204 módulos de c-Si (da marca BP SOLAR, cada um com 80 Wp), totalizando 16,32 kWp (Figura 47).



**Figura 47 - Vista do prédio do CEPEL no Rio de Janeiro.
Fonte: adaptado de URBANETZ JUNIOR, 2010.**

3.5.2.5. CELESC – SC

A empresa Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (CELESC), em conjunto com a equipe do LABSOLAR da UFSC, instalou sistemas fotovoltaicos conectadas à rede de distribuição em Florianópolis em 2003, e em Lages e Tubarão em 2004, cada um com um total de 1,41 kWp, compostos por filme fino flexível de silício amorfo (a-Si), colados sobre uma superfície curva. A Figura 48 mostra a vista do sistema instalado na sede da CELESC, em Florianópolis.



**Figura 48 - Sistema FV de 1,41 kWp da CELESC em Florianópolis.
Fonte: adaptado de URBANETZ JUNIOR, 2010.**

3.5.2.6. ELETROSUL – Florianópolis - SC

A companhia ELETROSUL, do grupo Eletrobras, instalou em 2006, em conjunto com as equipes do LABSOLAR e CELESC, uma casa eficiente, na sua sede em Florianópolis. Este sistema possui 2,25 kWp com 30 módulos de silício multi-cristalino (m-Si), que ocupam uma área de 21 m², e utiliza inversores WÜRTH com 1500 W.

A ELETROSUL possui ainda uma usina no pátio do estacionamento (Figura 49) da sua sede em Florianópolis, projetada pelas equipes do LABSOLAR e o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) e instalado pela equipe da empresa SOLARTERRA. Entrou em operação em fevereiro de 2009 com um total de 11,97 kWp instalados (módulos de filme fino flexível de silício amorfo) em uma área de aproximadamente 200 m². Atualmente a geração de energia desta planta solar é absorvida pelo consumo do prédio da empresa e estima-se que a energia gerada por ano seja equivalente ao consumo de anual de 6,4 residências típicas do sul do país (URBANETZ JUNIOR, 2010) (ELETROSUL, 2014).



Figura 49 - Módulos fotovoltaicos na sede da ELETROSUL.
Fonte: ELETROSUL, 2014.

3.5.2.7. SFCR Comerciais

Até o ano de 2010, existiam poucos SFCR que não fossem instalados em centros de pesquisa ou universidades, com objetivos acadêmicos e não meramente comerciais. Alguns sistemas comerciais destacam-se nesse pequeno grupo, como o

sistema FV da clínica Harmonia, instalado em 2005 pela empresa SOLARIS, em São Paulo, que conta com 900 Wp instalados (12 módulos), e o sistema solar do Restaurante Lampião, em Alagoas, que possui 1,5 kWp em 12 painéis dispostos no formato de um peixe (Figura 50). O objetivo do SFCR do restaurante é suprimir cerca de 50% do seu consumo de energia elétrica.

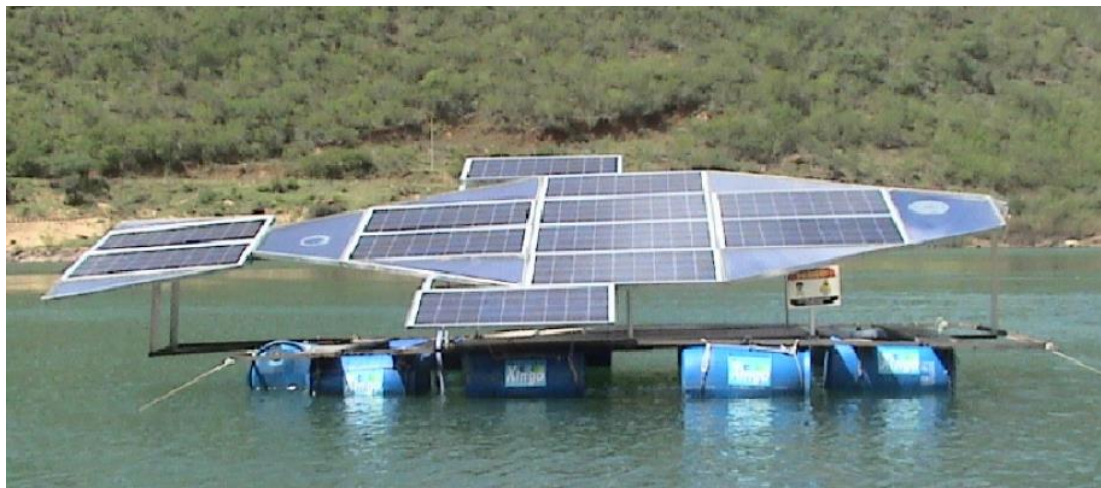


Figura 50 - Sistema Fotovoltaico do Restaurante Lampião em Alagoas.
Fonte: URBANETZ JUNIOR, 2010.

As empresas MotorZ e Fundação Estrela, ambas do grupo Zeppini, em São Bernardo do Campo, possuem SFs. A primeira tem uma instalação com módulos de filmes finos (a-Si), e um total de 2,45 kWp. A Fundação Estrela, por sua vez, possui um sistema com 117 módulos de filme fino flexível (ocupam uma área de 233 m²), que podem gerar até 14,69 kWp. Ambas contam com sistemas de aquisição de dados, em que os inversores se comunicam com unidades de monitoramento, possibilitando a aquisição de dados como potência instantânea (kW), energia acumulada e cedida à rede (kWh), irradiância e temperatura dos módulos, entre outros (URBANETZ JUNIOR, 2010).

3.5.2.8. UTE Norte Fluminense

Em 2011 a companhia Usina Termelétrica Norte Fluminense instalou um sistema de geração fotovoltaica de 320 kWp como forma de reduzir as emissões de CO₂ e suprir o consumo de energia dos seus edifícios. A Figura 51 mostra as instalações solares da empresa (EDF Norte Fluminense, 2014).



Figura 51 - Sistema Fotovoltaico da UTE Norte Fluminense.

3.5.2.9. Pituauçu Solar – Pituauçu - BA

O SFCR Pituauçu Solar, localizado em Pituauçu, na Bahia, chamado pelo nome de Estádio Governador Roberto Santos, recebeu o Selo Solar do instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas da América Latina (IDEAL), este selo que reconheceu o projeto Pituauçu Solar como o primeiro estádio da América Latina a utilizar o sistema de geração fotovoltaica (SECOM, 2013).

Inaugurado em abril de 2012, no Projeto Pituauçu Solar foram instalados 400 kWp de potência na cobertura e nos estacionamentos do estádio (Figura 52). Esse investimento foi financiado pela COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia) e participação do Fundo Nacional de Eficiência Energética, gerido pela ANEEL (SECOM, 2013).

Foi investido nessa instalação, um total de R\$ 5,5 milhões. Contou com o apoio institucional do Instituto IDEAL, apoio técnico da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) GmbH e teve a coordenação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (SECOM, 2013).

Além de ser autossuficiente em eletricidade, o Pituauçu Solar abastece alguns edifícios públicos. Foi divulgado pelo governo do Estado que os painéis solares

proporcionaram, entre abril de 2012 e setembro de 2013, uma economia global da ordem de R\$ 222 mil (SECOM, 2013).



Figura 52 – Pituáçu Solar.
Fonte: América do Sol, 2014.

3.5.3. Panorama Pós Resolução 482/2012 da ANEEL

A resolução 482/2012 da ANEEL abriu novos horizontes para a geração fotovoltaica no Brasil, é a primeira resolução voltada para formas de geração distribuída no país, estabelecendo condições para troca de energia entre sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição, instituindo o sistema de compensação, semelhante ao *net metering* no sistema de energia brasileiro. Na perspectiva de especialistas, esta legislação vai impulsionar o avanço da energia solar no país, segundo o texto Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira, publicado pela EPE:

Hoje o entendimento é que a geração distribuída está mais próxima da viabilidade comparativamente à centralizada, já sendo inclusive viável em alguns casos. No entanto, não é objetivo da análise comparar a competitividade deste tipo de energia, ainda incipiente no país, com outras fontes que já possuem uma maturidade significativa, mas sim, caso se opte pela promoção desta tecnologia, discutir a melhor forma de incentivos capazes de facilitar sua inserção (EPE, 2012).

A área de energia solar fotovoltaica passa por um momento de crescimento, conta com um número crescente de projetos, tendo apresentado um impulso no primeiro trimestre de 2012. As concessionárias têm direito a um desconto de 80% em impostos pagos para distribuir eletricidade gerada pelo sol. Além disso, projetos

da área podem recorrer a empréstimos com taxas mais baixas que as normais (APIMEC, 2012).

Segundo a ANEEL, o Brasil possui atualmente 3.332 empreendimentos de geração de energia elétrica instalados, totalizando 130,5 GW de potência instalada, distribuída de acordo com a porcentagem exposta no gráfico 3. Percebe-se que a porcentagem correspondente à geração solar ainda é muito inferior em relação às demais formas de geração, no entanto, ao examinar a Tabela 2, referente aos empreendimentos de geração fotovoltaica instalados atualmente, entende-se que o número de geradores solares não é inexpressivo, todavia, grande parte são mini e micro geradores, com potências instaladas inferiores a 1 MW, de forma que este tipo de geração apresenta, normalmente, um caráter de geração distribuída (com exceção de algumas usinas solares de maiores potências). Segundo a ANEEL, 2014, a potência fotovoltaica fiscalizada no Brasil é de 11.287 kW, fornecida por um total de 164 usinas, sendo 15.287 kW a potência outorgada das usinas solares em operação atualmente. Além disso, há ainda uma potência de 30.000 kW de empreendimentos outorgados que ainda não iniciaram a sua construção. A Tabela 2 lista um total de 148 sistemas fotovoltaicos em operação, portanto, de acordo com os dados da própria ANEEL, alguns geradores fotovoltaicos ainda não foram adicionados a esta tabela. (ANEEL, 2014).

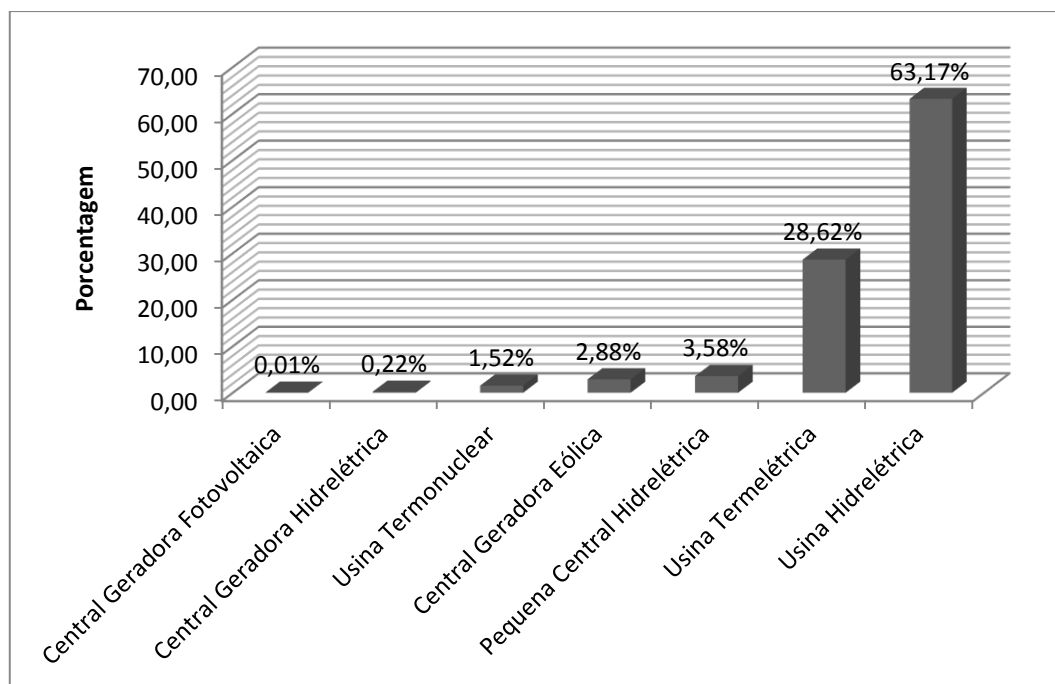


Gráfico 3 - Distribuição das fontes geração elétrica atuais no Brasil.
Fonte: adaptado de ANEEL, 2014.

O ponto de partida tomado para pesquisa do panorama atual brasileiro de geração fotovoltaica foi o Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL. A lista dos SF, adaptada na Tabela 2, mostra as usinas fotovoltaicas instaladas atualmente no Brasil, fornecendo dados referentes à potência fiscalizada (potência considerada a partir da primeira operação comercial), destino da energia, local da usina (município) e proprietários.

O destino da energia neste caso pode ser registrado como mini ou micro gerador de acordo com a resolução 482/2012, ou apenas registrado como uma usina geradora solar (que não se enquadra na resolução 482) (ANEEL, 2014) (DECRETO 2.003, 1996). Na coluna destino, observa-se os geradores registrados operando, sendo REG referente a geradores registrados, e REG-RN482 os geradores trocando energia com a rede elétrica de acordo com a resolução 482/2012.

Tabela 2 - Banco de informações de geração fotovoltaica no Brasil.

Sistema FV	Município	Pot.Fiscalizada (kW)	Destino
Araras - RO	Nova Mamoré - RO	20,48	REG
Tauá	Tauá - CE	1000,00	REG
IEE	São Paulo - SP	12,26	REG
UFV IEE/Estacionamento	São Paulo - SP	3,00	REG
Embaixada Italiana Brasília	Brasília - DF	50,00	REG
PV Beta Test Site	Barueri - SP	1,70	REG
Pituaçu Solar	Salvador - BA	404,80	REG
Aeroporto Campo de Marte	São Paulo - SP	2,12	REG
Tanquinho	Campinas - SP	1082,00	REG
Silva Neto I	Florianópolis - SC	1,70	REG
PGM	Uberlândia - MG	6,58	REG-RN482
Solaris	Leme - SP	1,04	REG
Ilha Grande	Humberto de Campos - MA	30,87	REG
Volpato	Curitiba - PR	0,46	REG
Ilto Antonio Martins	Campo Grande - MS	2,30	REG-RN482
Hiran Sebastião Meneguelli Filho	Campo Grande - MS	2,30	REG-RN482
João Eudes Meireles da Silva	Campo Grande - MS	2,30	REG-RN482
Ricardo Marcelino Santana	Campo Grande - MS	2,30	REG-RN482
José Rizkallah Júnior	Campo Grande - MS	2,30	REG-RN482
Lúcio Dodero Reis	Campo Grande - MS	11,04	REG-RN482
Eros Roberto Grau	Tiradentes - MG	22,03	REG-RN482

Sistema FV	Município	Pot.Fiscalizada (kW)	Destino
Pedro Bernardes Neto	Uberlândia - MG	29,60	REG-RN482
João Bosco de Almeida	Camaragibe - PE	3,48	REG-RN482
Helena Guimarães de Rezende	Uberlândia - MG	2,12	REG-RN482
Tecidos Miramontes	Uberlândia - MG	3,29	REG-RN482
Marco Aurélio Soares Martins	Nova Lima - MG	26,90	REG-RN482
Danilo Maximiliano Marcon	Andradas - MG	3,12	REG-RN482
Eduardo Carvalhaes Nobre	Brumadinho - MG	3,57	REG-RN482
Algar Telecom	Uberlândia - MG	3,29	REG-RN482
Sistema Híbrido de Geração de Energia Elétrica da Ilha dos Lençóis Parte 2	Cururupu - MA	21,06	REG
Isabelle de Loys	Rio de Janeiro - RJ	1,60	REG-RN482
Ana Portilho	Rio de Janeiro - RJ	2,00	REG-RN482
Sandra Nunes	Rio de Janeiro - RJ	8,00	REG-RN482
Luíz Otávio Felício Marques	Fortaleza - CE	2,50	REG-RN482
Paulo Bormann Zero	Rio de Janeiro - RJ	12,60	REG-RN482
Francisco Almir Miranda	Campo Grande - MS	2,30	REG-RN482
Eloy Vargas	Corumbá - MS	2,30	REG-RN482
Rubenilton Gonçalves	Lauro de Freitas - BA	2,40	REG-RN482
Elayne de Amorim Dias	Rio de Janeiro - RJ	5,06	REG-RN482
Sol Moradas Salitre e Rodeadouro	Juazeiro - BA	2103,00	REG
Seltec Soluções Elétricas e Tecnológicas	Teófilo Otoni - MG	3,50	REG-RN482
Mauro de Oliveira Cavalcante	Campo Grande - MS	3,22	REG-RN482
Metalnox	Fortaleza - CE	11,52	REG-RN482
Greenpeace Brasil	São Paulo - SP	2,80	REG-RN482
Mario de Souza Miranda	Fortaleza - CE	2,40	REG-RN482
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (Reitoria)	Natal - RN	44,00	REG-RN482
Paulo Sérgio de Moraes	Natal - RN	2,60	REG-RN482
José Ivanildo de Oliveira	Natal - RN	5,00	REG-RN482
Eduardo de Araújo Gomes	Pinhais - PR	2,00	REG-RN482
Elco	Curitiba - PR	8,64	REG-RN482
Senai	Curitiba - PR	2,00	REG-RN482
Getúlio Hoffmann de Oliveira	Sapucaia do Sul - RS	2,16	REG-RN482
Johannes Kissel	Cachoeiras de Macacu - RJ	0,24	REG-RN482
Valéria Santos	Serra - ES	2,00	REG-RN482
Arena Pernambuco	São Lourenço da Mata - PE	967,00	REG-RN482

Sistema FV	Município	Pot.Fiscalizada (kW)	Destino
IMT Sistema Híbrido Parte 2	Boituva - SP	0,26	REG
Antonio Carlos Nascimento	Bauru - SP	4,08	REG-RN482
Cabral & Klein Clínica Médica e de Psicologia	Campo Grande - MS	2,40	REG-RN482
Nelson Paulo	Cascavel - PR	3,00	REG-RN482
Master Solar	Cascavel - PR	1,00	REG-RN482
Antônio Carlos Lellis	Pompéu - MG	4,80	REG-RN482
Guederson Andrei Maciel	Arroio do Meio - RS	1,10	REG-RN482
Cires Canisio Pereira	Uberlândia - MG	2,12	REG-RN482
Simone Araújo	Maracanaú - CE	1,23	REG-RN482
Carlos Alberto Biesuz	Concórdia - SC	3,80	REG-RN482
Luiz Augusto Marchi	Florianópolis - SC	6,24	REG-RN482
Péricles de Freitas Druck	Florianópolis - SC	2,45	REG-RN482
Escola Estadual de Ensino Básico Roberto Schutz	Rancho Queimado - SC	6,20	REG-RN482
Bruver CRC Consultoria Representação e Comércio Ltda	Criciúma - SC	2,50	REG-RN482
Marcelo Colle	Videira - SC	1,50	REG-RN482
Prefeitura de Rancharia	Rancharia - SP	2,00	REG-RN482
Prefeitura de Urussanga	Urussanga - SC	1,41	REG-RN482
Leila Maria Fróes	Ribeirão Preto - SP	3,06	REG-RN482
Paulo Cezar Coelho Tavares	Campinas - SP	5,39	REG-RN482
Paulo Sérgio Pinto	Campinas - SP	7,35	REG-RN482
Fuvantes	Lajeado - RS	2,30	REG-RN482
Mônica Fantin	Florianópolis - SC	3,06	REG-RN482
Márcia Duarte Eschholz	Florianópolis - SC	2,80	REG-RN482
Anália Susana Córdoba	Florianópolis - SC	1,96	REG-RN482
Indústria Becker	São José de Mipibu - RN	153,95	REG-RN482
Rodrigo Jerônimo de Araújo	Natal - RN	7,00	REG-RN482
Zélio Gonçalves	Salvador - BA	4,40	REG-RN482
Valdineize Ribeiro Duarte	Serra - ES	1,61	REG-RN482
Adelar Antonio Gattermann Junior	Ponta Grossa - PR	1,50	REG-RN482
Adelino Raul Casaril	Ponta Grossa - PR	1,50	REG-RN482
Tarcizio Meurer	Francisco Beltrão - PR	2,00	REG-RN482
João Jair Roma	Itu - SP	5,76	REG-RN482
Nova Aurora	Tubarão - SC	3068,23	REG
Sérgio Duarte	Belo Horizonte - MG	2,90	REG-RN482

Sistema FV	Município	Pot.Fiscalizada (kW)	Destino
Escola Municipal Paulo Freire	Armação de Búzios - RJ	4,80	REG-RN482
Escola Municipal Darcy Ribeiro	Armação de Búzios - RJ	4,80	REG-RN482
Escola Municipal Nicomedes Vieira	Armação de Búzios - RJ	4,80	REG-RN482
Mateus Afonso Chaves	Resende - RJ	2,08	REG-RN482
Luiz Alberto Garcia	Uberlândia - MG	19,27	REG-RN482
Flavio Malagoli Buiatti	Uberlândia - MG	2,12	REG-RN482
Marcelo Francisco Cenni	Belo Horizonte - MG	5,39	REG-RN482
Instituto Vigotski Educação Cultura	Uberlândia - MG	2,12	REG-RN482
Daniel Augusto Lopes Secches	São José dos Campos - SP	1,50	REG-RN482
Carlos Eduardo Tiusso	Brasília - DF	2,82	REG-RN482
Daniel Giovani Ferronato	Lajeado - RS	0,50	REG-RN482
Alex Paulo Mottin	Lajeado - RS	1,00	REG-RN482
Stephane Peree	Salvador - BA	3,00	REG-RN482
Carlos Charack Linhares	Curitiba - PR	3,00	REG-RN482
Roni Carlos Temp	Foz do Iguaçu - PR	1,50	REG-RN482
Giuseppe Valicenti	Campo Grande - MS	1,92	REG-RN482
Jeremias Demito	Araguaína - TO	13,00	REG-RN482
Maria Candida de Oliveira	Campo Grande - MS	0,72	REG-RN482
Elias Biz	Urussanga - SC	1,41	REG-RN482
Durval Sombini Filho	Indaiatuba - SP	10,30	REG-RN482
Complexo Maracanã Entreterimento	Rio de Janeiro - RJ	360,00	REG-RN482
Carlos Henrique Medeiros Senna	Rio de Janeiro - RJ	4,00	REG-RN482
Frontera Gestão e Comércio Internacional	Eusébio - CE	3,12	REG-RN482
João Cláudio Torres Saraiva	Eusébio - CE	3,18	REG-RN482
Edmar Teixeira Guimarães	Belo Horizonte - MG	0,46	REG-RN482
Euler Carvalho Cruz	Belo Horizonte - MG	2,88	REG-RN482
Guisepe Sarti Rangel	Sete Lagoas - MG	2,30	REG-RN482
Pedro Pedron	Eusébio - CE	3,12	REG-RN482
SPAventura Hotelaria e Eventos	Ibiúna - SP	38,64	REG-RN482
Estância Hidromineral Santa Rita de Cássia	Rancho Queimado - SC	28,80	REG-RN482
Associação Jorge Lacerda	Capivari de Baixo - SC	66,52	REG-RN482
Eco Sistema de Paisagismo	Aquiraz - CE	3,50	REG-RN482
Pousada Brasita	Caucaia - CE	2,88	REG-RN482
EIM	Fortaleza - CE	18,70	REG-RN482
José Eduardo da Silva Alves	Jaguaribe - CE	2,45	REG-RN482
Nord Electric	Chapecó - SC	5,00	REG-RN482
Associação Antônio Vieira	Florianópolis - SC	20,00	REG-RN482

Sistema FV	Município	Pot.Fiscalizada (kW)	Destino
Zélia de Azevedo Sampaio	Rio de Janeiro - RJ	1,60	REG-RN482
André Inácio Horn	Lajeado - RS	2,00	REG-RN482
Isaque Volnei Kramer	Lajeado - RS	2,88	REG-RN482
Thiago de Souza Lima	Monte Alto - SP	2,35	REG-RN482
Cobertura Estacionamento P1 - Renault	São José dos Pinhais - PR	19,60	REG
MEGAWATT SOLAR	Florianópolis - SC	1015,28	REG
Pedro Roberto Ferrão Pereira	Santa Cruz do Sul - RS	2,16	REG-RN482
Andreia Weiss	São Borja - RS	3,84	REG-RN482
Ronei Pappen	Santa Cruz do Sul - RS	4,80	REG-RN482
Ricardo Kaufmann	Santa Cruz do Sul - RS	0,92	REG-RN482
Bruno Rondinella	Campinas - SP	1,53	REG-RN482
Juliano Carvalho Dantas	Natal - RN	5,04	REG
Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais - APAE	Morro da Fumaça - SC	9,00	REG-RN482
Cooperativa Fumacense de Eletricidade - CERMOFUL	Morro da Fumaça - SC	1,65	REG-RN482
Projeto Tamar	Florianópolis - SC	0,97	REG-RN482
Renê Reiter	Blumenau - SC	1,70	REG-RN482
IFRN	Ceará-Mirim - RN	88,00	REG-RN482
Claudio Pereira Guimarães Junior	Uberlândia - MG	2,12	REG-RN482
Silvano Romano Dario Silvi	Barueri - SP	4,86	REG-RN482
Carlos Eduardo de Andrade	Rio de Janeiro - RJ	11,52	REG-RN482
Trunci & Trunci	Curitiba - PR	8,34	REG-RN482
Solar Alto do Rodrigues	Alto do Rodrigues - RN	100,00	REG
Total: 148 Usinas		Potência Total: 11.221,47 kW	

REG – Registro

REG–RN482 – Registro de micro e mini geradores de acordo com a Resolução Normativa 482/2012

Fonte: adaptado de ANEEL, 2014.

A Tabela 2 lista um total de 148 usinas cadastradas na ANEEL, em operação no Brasil, totalizando uma potência fiscalizada de 11.221,47 kW. Todavia, a usina de Araras, no município de Nova Mamoré, estado de Rondônia, uma mini rede isolada com geração híbrida solar e diesel, já se encontra desativada devido à chegada da rede elétrica convencional ao local. Além disso, existem outros SFCR em operação que ainda não foram cadastrados pela ANEEL, e, portanto, não estão

na Tabela 2, além de diversos outros sistemas em análise pelas concessionárias de energia, prestes a entrar em operação.

Um exemplo são os SFCR no estado do Paraná. De acordo com Urbanetz, 2014, e com a concessionária COPEL, existem atualmente 46,8 kWp de potência instalados e em operação no estado (quatorze usinas), na maioria residenciais, e todos instalados a partir de 2011, a maior parte no ano de 2014. Todavia, três destas usinas ainda não foram incluídas no banco de informações da ANEEL, o escritório verde da UTFPR, ativo desde 2011 em Curitiba, e duas residências (em operação desde 2014), em Maringá e Foz do Iguaçu (um total de 10,5 kWp não cadastrado).

Somente neste estado, existem ainda quatorze sistemas fotovoltaicos em análise para entrada em operação, o equivalente a uma potência total de 65,5 kWp. Destes quatorze sistemas em análise, doze são residenciais (34,1 kWp) e dois são de empresas (31,5 kWp) (URBANETZ, 2014).

A Tabela 3 apresenta os SFCR instalados após a divulgação da Resolução 482/2012 (abril de 2012), de que se tem notícia, e que ainda não constam no Banco de Informações de Geração fotovoltaica da ANEEL, e, no entanto, já estão ativos.

Tabela 3 - SFCR não cadastrados no Banco de Informações de Geração da ANEEL.

Sistema FV	Cidade	Ano	Potência Instalada (kWp)
Roberto Chaves Castro	Belém - PA	2013	1,61
Vila Isabel	Rio de Janeiro - RJ	2013	4,60
Art in Surf	Búzios - RJ	2014	1,68
Batalhão Aeronáutico	Rio de Janeiro - RJ	2014	1,68
Igor Pereira	Campo Grande - MS	2014	2,30
José Roberto Carneiro	São Pedro da Aldeia - RJ	2014	2,40
Cátia Urbanetz	Campo Grande - MS	2014	2,40
Elmo Ribeiro	São Gonçalo - RJ	2014	2,30
Edifício Corpus	Rio de Janeiro - RJ	2014	6,72
Guilherme Saraiva	Rio de Janeiro - RJ	2014	3,36
Ibraim Godoy	Campo Grande - MS	2014	5,28
Irineu Miguel	Campo Grande - MS	2014	2,40
Jonas Soares da Silva	Guapimirim - RJ	2014	1,68
Mauro Airton	Belém - PA	2014	1,68
Paulo Roberto	Corumbá - MS	2014	3,36
Pedro Peres	Niterói - RJ	2014	2,40
Silvio Barros	Maringá - PR	2014	2,40

Sistema FV	Cidade	Ano	Potência Instalada (kWp)
Univates	Lajeado - RS	2014	2,30
William Alves Bruno	Rio das Ostras -RJ	2014	4,32
AMPA - Produtores de Algodão	Cuiabá - MT	2014	11,50
Residência Particular	Foz do Iguaçu - PR	2014	6,00
Mineirão Solar	Belo Horizonte - MG	2014	1420,00
Total:			1492,37

Fonte: adaptado de SOLAR ENERGY, 2014; URBANETZ, 2014; CEMIG, 2013.

Além destes SFCR recentemente colocados em operação, existem ainda os sistemas fotovoltaicos instalados anteriormente à resolução que ainda não constam no banco de informações da ANEEL, conforme foram apresentados na Tabela 1.

Deste modo, levando-se em consideração os dados do Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL (Tabela 2), bem como os SFCR instalados antes e após o lançamento da resolução 482/2012 e que ainda não foram cadastrados no BIG, estima-se que a potência total de geração fotovoltaica no Brasil até julho de 2014 (data em que foi encerrada a pesquisa deste trabalho), é de aproximadamente 13,2 MW. O **Erro! Fonte de referência não encontrada.** demonstra o crescimento dos SFCR após o lançamento da resolução 482/2012. Observa-se um crescimento expressivo nos dois anos e três meses entre o lançamento da resolução (em abril de 2012) e julho de 2014, um total de aproximadamente 11 MW instalados somente neste período (85% do total instalado no país de 1997 a 2014).

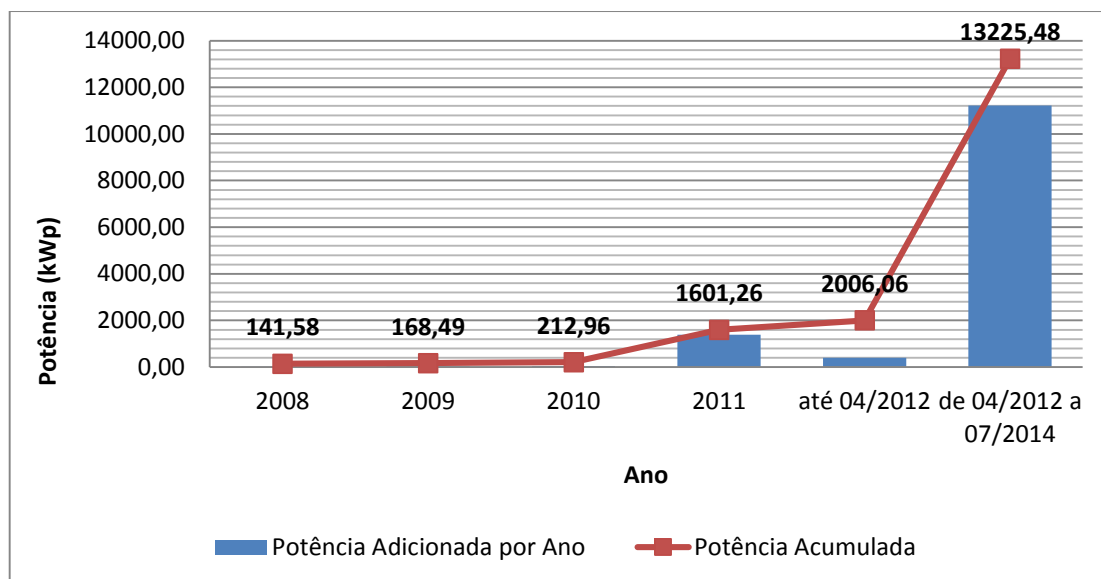


Gráfico 4- Detalhe do crescimento dos SFCR no Brasil, de 2008 a julho de 2014.

Fonte: adaptado de ANEEL, 2014; URBANETZ, 2014; SOLAR ENERGY, 2014; CEMIG, 2014.

Na sequência são citados, como exemplos, alguns empreendimentos fotovoltaicos residenciais e cooperativos instalados recentemente (após o lançamento da resolução 482/2012) e conectados à rede, alguns dos quais ainda não estão cadastrados no BIG pela ANEEL.

3.5.3.1. Empreendimentos Fotovoltaicos Residenciais

A seguir são apresentadas informações de alguns micro geradores fotovoltaicos instalados pela empresa Solar Energy. Estes SFCR foram instalados após a resolução 482/2012 da ANEEL, e estão operando de acordo com o sistema de compensação.

1. Marcelo Colle – Videira – SC

Microgeração operando desde 2014 juntamente com a Celesc, possui 1,61 kWp instalados (Figura 53) e utiliza um inversor modelo Solar 200. Segundo o proprietário, sua intenção é incentivar as formas renováveis de energia. (SOLAR ENERGY, 2014).



**Figura 53 - Residência de Marcos Colle.
Fonte: SOLAR ENERGY, 2014.**

2. Ricardo Marcelino Santana – Campo Grande – MS

Sistema fotovoltaico residencial de 2,3 kWp, instalado em uma residência (Figura 54), gerando em torno de 300 kWh por mês, instalado no telhado da



residência (

Figura 55) do proprietário e operando em conexão com a rede pública desde abril de 2013, utiliza um inversor Solar 300, de 2300 W. Ricardo está bastante satisfeito com a geração própria, já conta com 500 kWh de crédito com a concessionária local para utilizar nos próximos 36 meses, tendo em vista que sua produção de energia atualmente é maior que o consumo. Neste caso, o proprietário

deve arcar somente com os custos da tarifa mínima (tarifa de disponibilidade do sistema) e afirma que sua economia estimada de energia tem sido de 90% (RICARDO MARCELINO SANTANA, 2014) (SOLAR ENERGY, 2014). Ainda na Figura 56 verifica-se o selo emitido pelo instituto ideal para o proprietário do sistema.



**Figura 54 - Painéis instalados no telhado da residência do Ricardo Marcelino Santana.
Fonte: adaptado de SOLAR ENERGY, 2014.**



**Figura 55 - Detalhe dos painéis fotovoltaicos.
Fonte: RICARDO MARCELINO SANTANA , 2014.**



Figura 56 - Selo Solar emitido pelo Instituto Ideal para Ricardo.
Fonte: RICARDO MARCELINO SANTANA, 2014.

3. Roberto Chaves Castro – Belém – PA

A instalação de Roberto ainda não está cadastrada na ANEEL, seu sistema microgerador (Figura 57) entrou em operação em outubro de 2013, contando com uma potência de 1,61 kWp (SOLAR ENERGY, 2014).



Figura 57 - Painéis na residência de Roberto Chaves Castro.
Fonte: SOLAR ENERGY, 2014.

3.5.3.2. Empreendimentos Fotovoltaicos Cooperativos

1. Núcleo SENAI de Sustentabilidade – Curitiba -PR

Na cidade de Curitiba o Núcleo SENAI de Sustentabilidade é uma iniciativa do SENAI do Paraná para desenvolver e promover instalações ecologicamente corretas e viáveis economicamente. As instalações são equipadas com tecnologias sustentáveis como paredes de *woodframe* (sistema de construção que utilizam perfis leves de madeira de reflorestamento), sistema de reaproveitamento da água da chuva nos telhados, utilização de materiais compostos de resíduos de madeira e plástico (madeira ecológica), projeto de arquitetura sustentável (buscando otimizar a quantidade de luz natural que a construção recebe) e geração fotovoltaica (Figura 58) de energia (SENAI-PR, 2014).

A potência outorgada de geração fotovoltaica é de 2,3 kW, e o sistema está conectado à rede e operando desde outubro de 2013, desde então já gerou 1320 kWh de energia (SOLAR ENERGY, 2014).



Figura 58 - Painéis solares do Núcleo Senai de Sustentabilidade.
Fonte: SOLAR ENERGY, 2014.

O SENAI já promove em diversas unidades ao redor do país, cursos práticos para capacitação em instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados ou não à rede elétrica. Os cursos em geral visam apresentar os fundamentos teóricos para geração de energia solar, identificar formas de ligação de módulos fotovoltaicos, conhecer os principais equipamentos de um projeto de geração de energia solar, entre outros, de modo a prover a indústria de pessoas qualificadas para trabalhar nessa área desde a implementação do programa governamental Luz Para Todos. (FIEP, 2009) (CREA-DF, 2013) (CRESESB, 2013).

O SENAI possui também outros centros de geração fotovoltaica que permitem a divulgação dessa tecnologia bem como locais para treinamentos e cursos. Essas instalações, no entanto, são sistemas isolados, como o que podemos observar na Figura 59.



**Figura 59 – Unidade de demonstração do SENAI de Curitiba.
Fonte: CRESESB, 2010.**

2. SPA Ventura

Esse empreendimento tem como identidade a sustentabilidade. Um de seus investimentos foi instalar em sua estrutura 38,64 kWp em módulos fotovoltaicos (Figura 60). Esse sistema está conectado à rede da concessionária CETRIL, no estado de São Paulo (SOLAR ENERGY, 2014).

Segundo Daniela Haberkorn, funcionária do SPA, a iniciativa foi tomada não só pela compensação de energia oferecida pela REN 482/12, mas também por exercer a responsabilidade sustentável (SOLAR ENERGY, 2014).



**Figura 60 – Instalação Fotovoltaica no SPA Ventura.
Fonte: SOLAR ENERGY, 2014.**

3. Art in Surf - Búzios – RJ

A loja Art in Surf no Rio de Janeiro também instalou 1,68 kWp de potência, a qual troca energia com a concessionária AMPLA (SOLAR ENERGY, 2014).

Essa instalação (Figura 61) ainda não está inscrita na lista de geradores fotovoltaicos da ANEEL.



**Figura 61 – Instalação de painéis no telhado da loja Art in Surf em Búzios – RJ.
Fonte: SOLAR ENERGY, 2014.**

4. Vila Isabel – Rio de Janeiro – RJ

Um projeto, denominado Juventude Solar, realizado pelo *Greenpeace* no Centro Comunitário Lídia dos Santos, na Vila Isabel, teve como objetivo capacitar jovens sobre a importância da energia solar. Os jovens acompanharam a instalação de 4,6 kWp de potência em módulos fotovoltaicos (Figura 62), que estão conectados à rede da concessionária Light e proporcionam economia na conta de luz do centro comunitário (GREENPEACE, 2014) (SOLAR ENERGY, 2014).

Sua instalação ainda não consta na lista de geradores fotovoltaicos da ANEEL.



**Figura 62 - Instalação dos módulos FV na Vila Isabel.
Fonte: SOLAR ENERGY, 2014.**

5. Edifício Corpus – Rio de Janeiro – RJ

O Edifício Corpus instalou 6,72 kWp em potência. O sistema está conectado à rede elétrica da concessionária Light no Rio de Janeiro, e ainda não foi cadastrado no banco de informações da ANEEL (SOLAR ENERGY, 2014).

6. ELCO Engenharia – Curitiba - PR

A ELCO Engenharia de Montagens Ltda. foi fundada em 1977, inicialmente atuando com obras e projetos da área de engenharia elétrica. Atualmente atua em diversas áreas incluindo as áreas de sistemas de potência, manutenção, operação de sistemas industriais e ainda conta com uma diretoria específica na área de

energias alternativas. Para o desenvolvimento de tecnologias e soluções na geração de energia, a ELCO conta com um laboratório para experimentação e monitoração de sistemas de geração. Dois sistemas de geração tem sido alvo dos estudos: um sistema híbrido, desconectado da rede, formado por um gerador eólico e células fotovoltaicas, totalizando 2500 W de capacidade e um sistema fotovoltaico, conectado à rede (Figura 63), formado por um conjunto de módulos fotovoltaicos com potência instalada de aproximadamente 9 kWp. Para a monitoração e avaliação do desempenho das unidades geradoras foi instalado também uma estação meteorológica, com a qual obtém-se informações como velocidade e direção do vento, umidade do ar, radiação solar, temperatura e pressão atmosférica. O setor de Desenvolvimento de Energias Alternativas conta atualmente com três funcionários (CHINVELSKI, 2014) (ELCO, 2014).



**Figura 63 - Módulos fotovoltaicos da empresa ELCO Engenharia LTDA .
Fonte: os autores, 2014.**

O SFCR da ELCO utiliza três inversores do fabricante Xantrex (Figura 64), de 3,3 kW, homologados pela COPEL para operação conectada à rede de distribuição (CHINVELSKI, 2014).



**Figura 64 - Inversores do sistema fotovoltaico da empresa ELCO Engenharia LTDA .
Fonte: os autores, 2014.**

De acordo com o relatório de geração do ano de 2013, disposto nas tabelas 4 e 5, o sistema fotovoltaico gerou entre 537,7 kWh e 1003,6 kWh de energia em cada mês, sendo que manteve a produção energética mensal acima de 700 kWh na maior parte do ano. No mês de outubro ocorreu a maior geração mensal do sistema alcançando 1003,6 kWh gerados, tendo também o maior tempo de operação mensal do sistema nesse mês.

Tabela 4 - Dados mensais da geração do sistema fotovoltaico (verão, outono).

	VERÃO			OUTONO		
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Geração de Energia						
Energia Gerada (kWh)	716,03	537,47	591,57	938,34	783,14	576,18
Energia Média Gerada/Dia (kWh)	32,55	31,62	25,72	31,28	25,26	19,21
Geração Máxima/Dia (kWh)	50,06	48,87	54,22	47,41	45,11	37,99
Energia Acumulada (kWh)	2.640,31	3.177,78	3.769,35	4.707,68	5.490,83	6.067,01
Pico de Geração Instant. (kW)	10,03	10,03	10,03	10,03	8,76	8,19
Tempo						
Tempo de Geração	254:38:25	156:38:35	225:02:53	315:38:35	299:32:01	272:29:36
Tempo Médio de Geração/Dia	12:07:33	11:11:20	11:15:09	10:53:03	09:59:04	09:23:47
Tempo Máximo de Geração/Dia	13:04:09	12:28:18	13:16:00	13:00:27	10:42:08	10:12:47

Fonte: adaptado de ELCO, 2014.

Tabela 5 - Dados mensais da geração do sistema fotovoltaico (Inverno, Primavera).

	INVERNO			PRIMAVERA		
	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Geração de Energia						
Energia Gerada (kWh)	747,87	822,27	778,57	1.003,60	823,16	783,16
Energia Média Gerada/Dia (kWh)	24,12	27,41	26,85	32,37	27,44	32,63
Geração Máxima/Dia (kWh)	39,97	43,79	88,97	47,69	50,29	47,42
Energia Acumulada (kWh)	6.814,88	7.637,15	8.415,71	9.419,31	10.242,47	11.025,63
Pico de Geração Instant. (kW)	9,29	10,00	9,99	10,01	10,01	10,00
Tempo						
Tempo de Geração	301:39:24	313:20:06	303:20:47	364:35:38	330:02:28	309:33:21
Tempo Médio de Geração/Dia	09:43:51	10:26:40	10:50:02	11:45:40	11:22:51	12:53:53
Tempo Máximo de Geração/Dia	10:34:38	11:06:20	11:42:01	12:34:12	12:53:35	13:20:42

Fonte: adaptado de ELCO, 2014.

O faturamento ocorre primeiramente sobre o valor de energia consumido e de acordo com a classe à qual o consumidor pertence. Nesse caso a classe do consumidor é a B3 comercial, na qual são cobrados os impostos PIS, COFINS E ICMS, além de custos como o da iluminação pública. Na sequência é descontado o valor referente à energia injetada no sistema elétrica pelo consumidor. No relatório resumido da tabela 6, estão dispostos os valores relativos ao consumo e a compensação de energia do mês de janeiro de 2014.

Tabela 6 - Resumo do relatório de compensação do mês de janeiro.

ELCO - ENGENHARIA DE MONTAGENS LTDA					Tarifa B3 (Comercial)		
Período	Energia Consumida (kWh)	Tarifa	PIS	COFINS	ICMS	Importe de consumo	Energia Injetada (kWh)
01/14	5298	263,55	0,008	0,037	0,29	1396,29	107
CUSTO DE DISPONIBILIDADE DO SISTEMA ELÉTRICO (kWh)						100	
Energia compenada	Saldo do mês (kWh)	Saldo Acumulado (kWh)	Valor faturado	Valor compensação		Valor a pagar (ref. Energia Elétrica)	
107	0	0	2.099,68	28,20		2.071,48	

Fonte: adaptado de ELCO, 2014.

Verifica-se na tabela 7 que durante o primeiro mês do ano de 2014 o sistema fotovoltaico gerou 965,93 kWh, conseqüentemente a empresa deixou de pagar R\$ 316,00 além de injetar 107 kWh de energia na rede. Com uma breve análise das tabelas 4 e 5 constata-se a geração total do ano de 2013 foi de aproximadamente 9101kWh, fato que revela uma economia anual de aproximadamente R\$ 3350,00.

Tabela 7 - Relatório de geração do mês de janeiro.

	JAN
GERAÇÃO DE ENERGIA	
Energia Gerada (kWh)	965,93
Energia Diária Média Gerada (kWh)	37,15
Geração Diária Máxima (kWh)	48,75
Energia Acumulada (kWh)	11.991,56
Pico de Geração Instantânea (kW)	10,01
TEMPO	
Tempo de Geração	310:53:07
Tempo Médio de Geração/Dia	12:26:07
Tempo máximo de Geração/Dia	13:04:48
DADOS METEOROLÓGICOS	
Temperatura Média (°C)	23,72
Temperatura Máxima (°C)	32,23
Umidade do Ar Média (%)	64,04
Umidade do Ar Máxima (%)	97,54
Velocidade Média do Vento (m/s)	1,76
Velocidade Máxima do Vento (m/s)	10,73
Radiação Solar Média (W/m ²)	418,72
Radiação Solar Máxima (W/m ²)	1.340,08

Fonte: adaptado de ELCO 2014.

7. PGM Sistemas

Um dos primeiros sistemas fotovoltaicos conectados a rede registrados pela ANEEL está instalado na empresa de software PGM Sistemas. Com 28 módulos de 235 Wp e dois inversores THEIA de 3,8 kW, o sistema tem 6,58 Wp de potência instalada e entrou em operação em dezembro de 2013 (PGM,2014). A Figura 65 contém imagens do sistema instalado.



**Figura 65 - SFCR da PGM.
Fonte: PGM, 2014**

8. Usina Solar Tanquinho

Instalada na cidade de Campinas em São Paulo, a usina Tanquinho (Figura 66) entrou em operação no primeiro trimestre de 2013. Com esse investimento a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) tem por objetivo incentivar o uso dessa tecnologia, aumentar o conhecimento e estimular o desenvolvimento dessa cadeia. A usina tem aproximadamente 1,1 MW instalados, sendo cerca de metade das células de silício amorfo monocristalino e a outra metade de silício policristalino.



Figura 66 - Usina solar tanquinho.

3.5.3.3. Estádios Solares

Com a chegada da copa do mundo ao Brasil, investidores visando o aproveitamento do potencial energético do país projetaram sistemas fotovoltaicos para alguns estádios brasileiros (América do Sol, 2013).

1. Novo Maracanã

Um dos grandes símbolos do futebol brasileiro, o estádio municipal do Maracanã, no Rio de Janeiro, ganhou um sistema de geração fotovoltaica em sua cobertura. O governo estadual e a Light anunciaram uma parceria nos primeiros dias de 2012 para implantar o projeto Maracanã Solar (América do Sol, 2012).

O projeto Maracanã Solar, foi inaugurado no dia 08/05/2014, se tornando um estádio com referência em sustentabilidade. Os painéis solares foram instalados em sua cobertura (Figura 67), possuem um espaço útil de 2.380 m², com capacidade para instalação de 1.552 módulos, permitindo potência de cerca de 360 kWp, equivalente ao consumo de 240 residências e mais de 2.560 toneladas de CO₂ evitados na atmosfera (RIO LIGHT, 2014).

A usina de energia solar foi criada através do consórcio Maracanã Solar, em uma parceria formada entre a Light Esco (empresa do Grupo Light que comercializa energia e projetos de eficiência energética) e a EDF-Electricité de France, e com o apoio do Governo do Estado do Rio (Canal Energia, 2013).

Segundo Marco Antonio Donatelli, superintendente executivo da Light Esco:

O Maracanã Solar é um marco na inserção da energia solar na matriz energética estadual, em função da sua importância na promoção de fonte energética irrestrita, limpa e gratuita. A Light Esco, em parceria com a EDF e o Governo estadual, abre nova frente de atuação em seu portfólio para soluções energéticas sustentáveis.

O maracanã, de acordo com a regulamentação 482/12 da ANEEL, utilizará o sistema de compensação de energia (Canal Energia, 2013). Essa instalação tornou-se um marco na história da sustentabilidade brasileira, dando assim, o pontapé inicial para que outras obras similares sejam realizadas.



**Figura 67 - Módulos fotovoltaicos do novo Maracanã.
Fonte: O GLOBO, 2014.**

2. Mineirão Solar

Para comemorar o Ano da Alemanha no Brasil, o estádio Mineirão ganhou uma Usina Solar Fotovoltaica. O Estádio Governador Magalhães Pinto, conhecido como Mineirão, foi o primeiro estádio sede da Copa do Mundo de 2014 a possuir uma usina fotovoltaica. O projeto inicial partiu do instituto Ideal, juntamente com a UFSC, e foi executado pela CEMIG, com autorização da ANEEL (AMERICA DO SOL, 2014) (CEMIG, 2013).

Para esse empreendimento, houve o financiamento de 80% da obra através de fundos do Banco de Desenvolvimento da Alemanha, Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Sua potência instalada é de 1,42 MWp, e possui cerca de 6.000 módulos fotovoltaicos instalados sobre cobertura do estádio (Figura 68). Toda a energia gerada será injetada na rede da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e 10% dessa energia é utilizada para suprir as necessidades do estádio (CEMIG, 2013).

Segundo o presidente da CEMIG, Djalma Bastos de Moraes, essa obra no Mineirão ressalta o compromisso da companhia com seus três principais pilares: sustentabilidade econômica, ambiental e social. Essa iniciativa, que foi inspirada em estádios europeus, e visa, também, promover a eficiência energética nos estádios mineiros (CEMIG, 2013).



**Figura 68 – Imagem dos painéis Fotovoltaicos do Mineirão.
Fonte: Portal da Copa, 2014.**

3. Usina Solar Arena Pernambuco

Primeiro sistema de geração de energia solar fotovoltaico a entrar em operação no estado, a usina solar da Arena Pernambuco, na região metropolitana de Recife, foi inaugurada no dia 11 de dezembro de 2013. A Usina Solar São Lourenço tem potência instalada de aproximadamente 1 MWp, capacidade suficiente para gerar 1.500 MW/h por ano, equivalente ao consumo de seis mil habitantes. A unidade será responsável por até 30% da energia consumida pelo estádio que será sede de cinco jogos da Copa do Mundo no Brasil (Portal da Copa, 2013).

Em parceria com o Grupo Neoenergia, por meio da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e a construtora responsável pela obra, o investimento custou cerca de R\$ 10 milhões e conta com 3.652 painéis solares.

Através do sistema de compensação de energia, a energia produzida é entregue ao sistema elétrico do estádio e o que não for utilizado pela arena será injetado na rede de distribuição da CELPE.

A instalação dessa usina faz parte da Chamada 013/2011 – já citada - da ANEEL. O projeto executivo e a instalação da usina solar fotovoltaica foram construídos sob responsabilidade da Gehrlicher Ecoluz Solar do Brasil, uma

associação entre a brasileira Ecoluz Participações e a alemã Gehrlicher AG (Portal da Copa, 2013).

4 ESTUDO PARA UM SFCR EM UMA RESIDÊNCIA NA REGIÃO DE CURITIBA

Diversos fatores devem ser observados para a construção de um sistema de geração solar integrado a uma estrutura. Há necessidade de se avaliar o tipo de edificação onde será instalado o equipamento, a forma de integração a estrutura existente, se a estrutura é suficientemente resistente ao peso, a tecnologia de montagem a ser utilizada e a tecnologia do filme fotovoltaico (URBANETZ JUNIOR, 2013).

Além destes, existem outros fatores a ser considerados na integração de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Os sistemas, muitas vezes, podem ter uma função dupla de gerar eletricidade e proporcionar um elemento arquitetônico diferenciado. Deve ser observado também se a superfície onde se planeja instalar os painéis é sujeita a sombreamento parcial ou total durante o dia: a pequena sombra de uma antena, poste, galhos de árvore ou chaminé, por exemplo, pode prejudicar o rendimento do sistema. Em determinadas condições, uma célula parcialmente sombreada pode até atuar como uma carga para o sistema, sujeitando-a a um aquecimento em excesso, o que pode finalmente causar a perda do módulo (efeito denominado *hot spot*). Geradores fotovoltaicos tem uma performance ótima quando iluminados homoganeamente em sua totalidade - dependendo da tecnologia dos filmes solares, este efeito pode ser mais ou menos significativo (RÜTHER, 2004).

Finalmente, é importante conhecer a qualidade da energia elétrica no ponto onde será feita a conexão à rede de distribuição local, pois anomalias na qualidade de energia da rede elétrica pública podem causar a rejeição da rede pelo inversor, impedindo o seu funcionamento. Por outro lado, após a implantação de um ou mais geradores solares, com o aumento da magnitude da geração fotovoltaica ao longo do tempo, torna-se importante observar a influência desse tipo de geração sobre os parâmetros de qualidade da rede (URBANETZ JUNIOR, 2010).

Neste trabalho, o objetivo foi avaliar os custos de implantação de um sistema fotovoltaico integrado a uma residência, de modo a suprir a sua demanda média de energia. Observando para tanto, qual a potência a ser instalada, as variações de

acordo com alguns dos tipos de tecnologia disponíveis, o retorno financeiro da conexão à rede, entre outros.

4.1. AVALIAÇÃO DA IRRADIAÇÃO INCIDENTE NA RESIDÊNCIA

O estudo foi feito para uma residência na região metropolitana de Curitiba, especificamente no município de Araucária. Com o auxílio do software Google Earth, foi possível localizar as coordenadas geográficas da residência (latitude e longitude), bem como avaliar o desvio do plano do telhado da residência com relação ao norte geográfico. Na Figura 69 é possível observar a imagem de satélite da residência, bem como a direção do norte geográfico.



**Figura 69 – Imagem de satélite mostrando a residência escolhida para o estudo.
Fonte: adaptado de Google Earth, 2014).**

A residência está localizada nas coordenadas $25,57^\circ$ de latitude sul e $49,40^\circ$ de longitude oeste, conforme mostra a figura 69. Na Figura 70 é mostrada o detalhe da residência, onde observa-se o telhado escolhido para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, este telhado apresenta um desvio de $40,08^\circ$ em relação ao

norte geográfico e recebe uma quantidade maior de radiação solar do que as suas demais faces.



Figura 70 - Detalhe da fachada da residência escolhida para o projeto
Fonte: os autores, 2014.

Com o auxílio do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, que fornece informações pontuais de irradiação solar de 10 em 10 km ao longo do território brasileiro, foi possível delimitar uma área na qual a residência escolhida para o projeto estivesse contida. Na Figura 71 observa-se a localização dos quatro pontos obtidos a partir do Atlas e da casa. Os pontos ABCD, descritos na Tabela 8, formam um quadrado de área de 10 km² e pelo próprio *Google Earth* foi possível medir as distâncias da casa até cada um dos pontos, sendo o ponto D mais próximo à residência, com uma distância de 5,54 km.

Tabela 8 - Pontos de análise de irradiação solar

Ponto	Longitude	Latitude	Distância da Residência
A	-49,47	-25,52	12,0km
B	-49,47	-25,61	8,75km
C	-49,37	-25,52	5,89km
D	-49,37	-25,61	5,54km

Fonte: adaptado de INPE & LABSOLAR, 2008

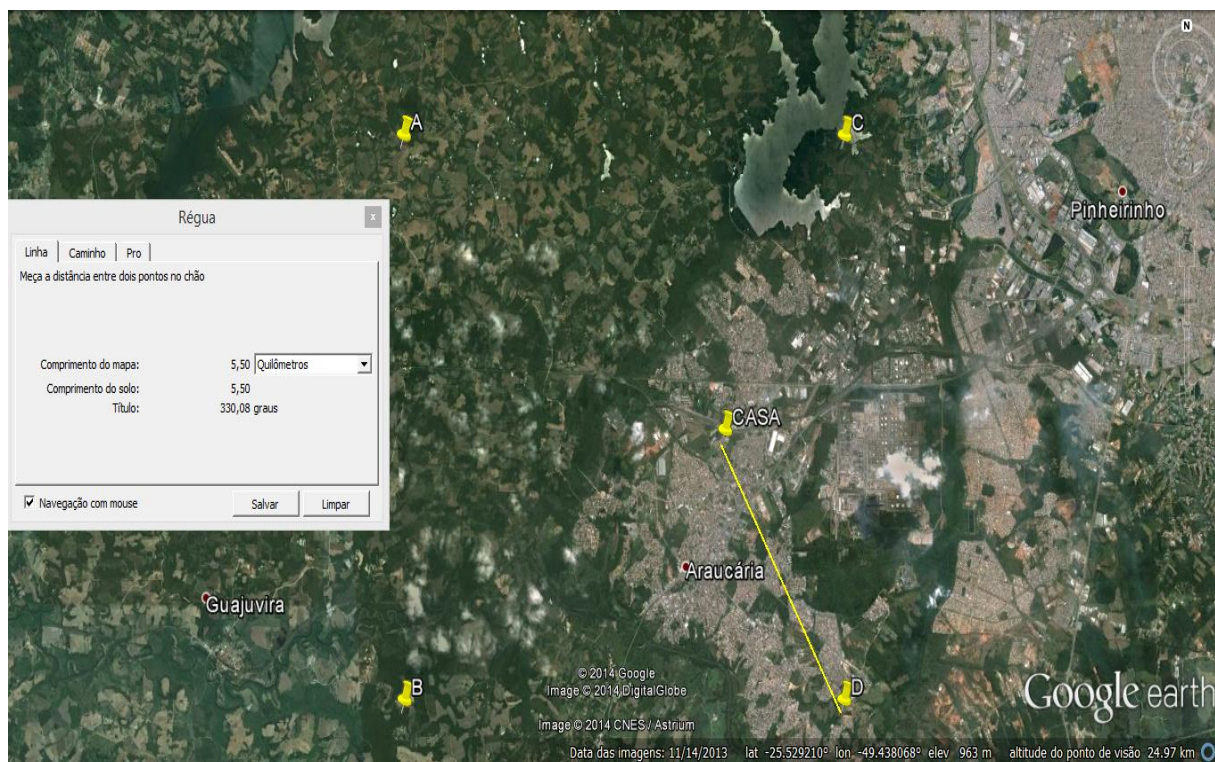


Figura 71 - Disposição dos pontos mais próximos à residência
Fonte: adaptado de Google Earth, 2014

Deste modo, as informações de irradiação utilizadas para o projeto serão as fornecidas pelo banco de dados do projeto SWERA para o ponto D, conforme a

Tabela 9. Estas informações são referentes às médias de irradiação horizontal obtidas ao longo de 10 ou mais anos (média histórica), e fornecem os valores de irradiação em kWh/m².dia. A média anual para o ponto D é de 4,62 kWh/m².dia (PEREIRA *et al.*, 2006).

Tabela 9 - Níveis de irradiação horizontal por mês no ponto D (em kWh/m².dia)

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
5,77	5,42	4,96	4,09	3,27	3,04	3,24	4,17	4,30	5,09	6,12	5,95

Fonte: adaptado de INPE & LABSOLAR, 2008

A Tabela 10 fornece os valores médios de irradiação por estações do ano no ponto D.

Tabela 10 - Níveis de irradiação horizontal por estação do ano no ponto D (em kWh/m².dia)

Primavera	Verão	Outono	Inverno
5,17	5,72	4,11	3,48

Fonte: adaptado de INPE & LABSOLAR, 2008

Com base nos dados obtidos, de localização geográfica (latitude e longitude) e de irradiação global horizontal, foi criada uma estação chamada de CASA no programa RADIASOL, conforme se observa na Figura 72, que apresenta a tela de interface inicial do programa com estes dados já informados. Observa-se que o programa faz uma aproximação do valor da longitude, utilizando o valor de 49,00° ao invés de 49,40°.



Figura 72 - Tela inicial do RADIASOL

Fonte: adaptado do Software RADIASOL –UFRGS, 2014.

Para obtenção dos dados de irradiação no plano do telhado, foram configurados os parâmetros de ângulo de inclinação e desvio azimutal do norte. O ângulo de inclinação do telhado da residência é de aproximadamente 31° em relação ao plano horizontal, e o desvio azimutal do norte geográfico é de aproximadamente 40° a leste. O programa então calcula os níveis de irradiação no

plano do telhado através de rotinas de cálculos que determinam o efeito da inclinação da superfície do telhado na recepção dos raios solares (UFRGS, 2014). Os valores produzidos foram os que constam na Tabela 11.

Tabela 11 - Níveis de irradiação diária no plano do telhado por mês (em kWh/m².dia)

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
5,48	5,28	5,06	4,41	3,67	3,58	3,79	4,70	4,48	5,05	5,82	5,60	4,74

Fonte: adaptado de RADIASOL, 2014

Na Figura 73 é mostrada a interface de configuração do RADIASOL para o projeto, onde também é apresentado um gráfico da variação da irradiação diária ao longo do ano no plano do telhado.

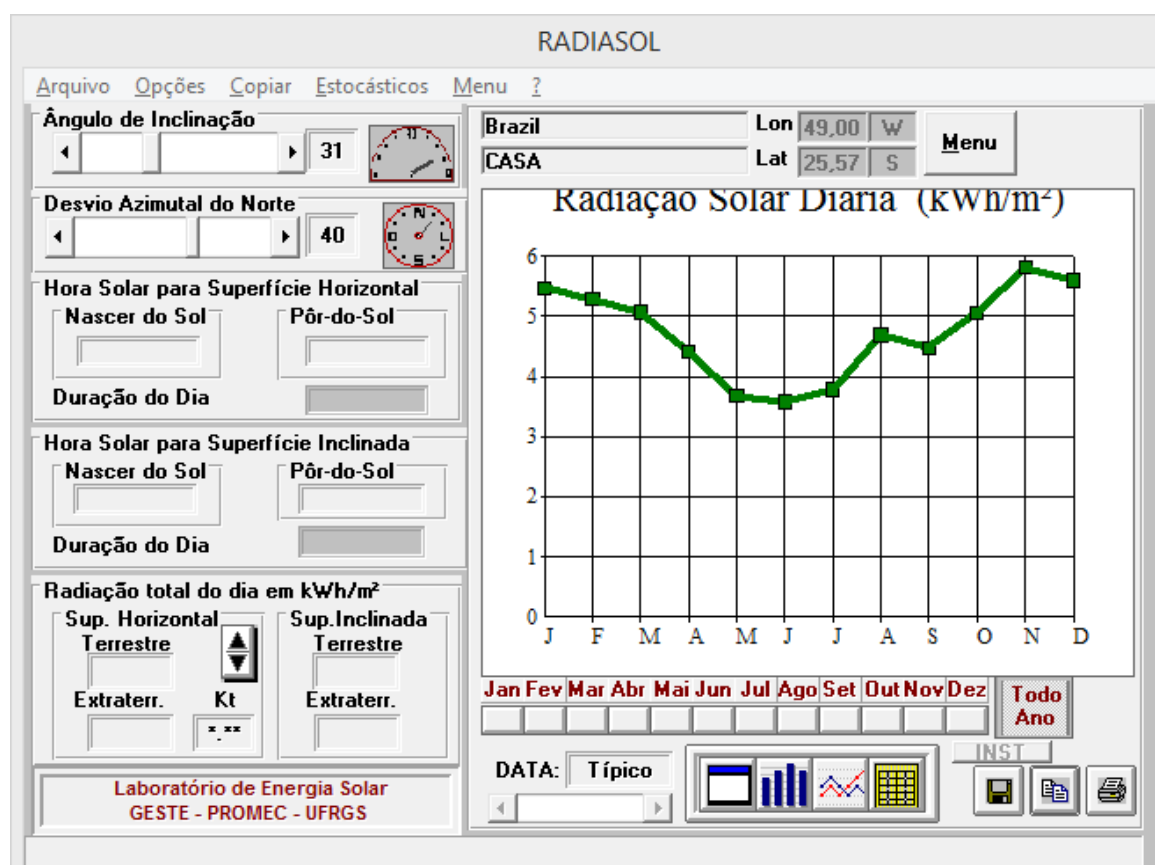


Figura 73 - Interface de configuração do RADIASOL
 Fonte: adaptado do software RADIASOL – UFRGS, 2014

O Gráfico 5 apresenta com maior detalhe a média de irradiação diária na superfície do telhado ao longo do ano.

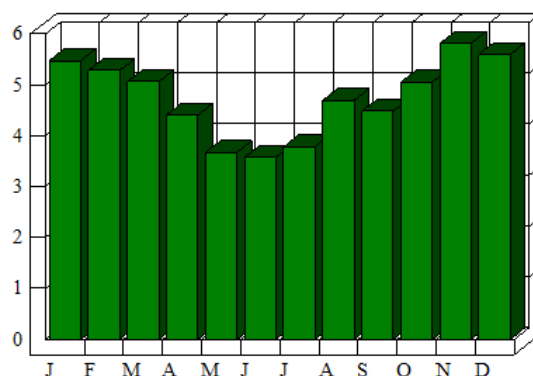
Radiação Solar Diária (kWh/m²)

Gráfico 5 - Média de irradiação solar diária nos meses de um ano
 Fonte: adaptado do software RADIASOL – UFRGS, 2014

4.1. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico é formado por diversos componentes: condutores, inversores, painéis fotovoltaicos, disjuntores, dimensionar um sistema fotovoltaico consiste em determinar as características de todos esses elementos. A Figura 74 apresenta o diagrama simplificado de um sistema fotovoltaico.

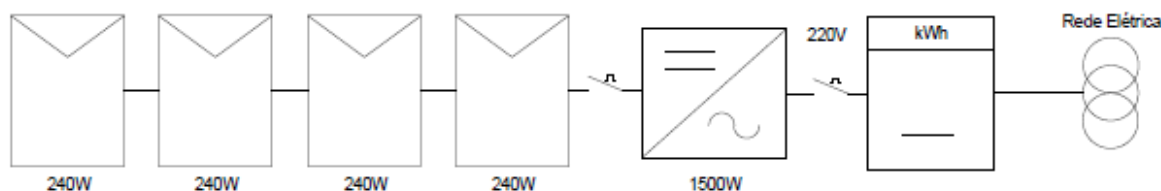


Figura 74 - Diagrama simplificado do sistema fotovoltaico.
 Fonte: os autores, 2014.

O dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaico pode ser iniciado por um levantamento da estimativa do consumo diário, mensal ou anual de energia (kWh/dia, kWh/mês e kWh/ano). Para tanto, basta uma sequência de faturas de energia de doze meses ou um quadro de previsão de cargas/consumo (no caso de edificações novas). Com estas informações, procede-se à definição do percentual do consumo que se deseja suprir pelo sistema solar, da área a ser coberta pelos painéis fotovoltaicos ou do capital que se queira investir, de maneira a avaliar a dimensão do sistema solar a ser projetado (URBANETZ, 2013).

A partir destes dados calcula-se então a quantidade de módulos, e com os valores de irradiação solar, a potência de pico que estes módulos poderão desenvolver. Na sequência podem ser dimensionados condutores e demais

equipamentos, como o inversor, os dispositivos de manobra, proteção e medição, sistemas de aquisição de dados, estrutura física e aterramento. Finalmente, faz-se uma estimativa do custo final do sistema (URBANETZ, 2013).

Para a residência estudada, foram obtidos os dados de consumo em kWh ao longo de um ano, vide Tabela 12. O consumo médio mensal é de 151,83 kWh, sendo que a instalação elétrica da residência é bifásica a três condutores, pertencente ao grupo B (unidades consumidoras com fornecimento de tensão inferior a 2,3 kV), de modo que a tarifa de disponibilidade do sistema elétrico (valor em moeda corrente equivalente) é de 50 kWh. Sendo assim, a média mensal de consumo com base neste ano analisado, subtraindo-se a tarifa mínima (de disponibilidade) é de 101,83 kWh, e o projeto fotovoltaico foi elaborado para suprir essa quantidade de energia (ANEEL, 2010).

Tabela 12 – Consumo mensal de eletricidade da residência (em kWh)

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
115	142	139	136	134	175	140	156	165	158	206	156	151,83

Fonte: os autores, 2014

Para dimensionar a potência dos módulos em Wp, foi utilizada a equação 1 (URBANETZ, 2013).

$$P_{fv} = \frac{E.G}{H_{tot.PR}} (Wp) \quad (1)$$

Onde:

- **P_{fv}** é a potência dos módulos fotovoltaicos a serem instalados (Wp);
- **E** é a energia elétrica diária média gerada pelo sistema (Wh/dia);
- **G** é a irradiância solar nas condições de teste padrão (STC – *Standart Test Conditions*). Nestas condições, considera-se a irradiância de 1000 W/m², a temperatura da célula de 25 °C e a massa de ar AM = 1,5 (*Air Mass*), que é razão entre o caminho ótico percorrido pelos raios solares através da atmosfera e o caminho vertical percorrido no zênite solar (o sol incide verticalmente sobre o local), valores usuais desta constante são 0 (extraterrestre), 1 (quando o sol está no zênite). A Figura 75 exemplifica o conceito de AM;
- **H_{tot}** é a irradiação diária média na superfície do painel (Wh/m².dia);

- **PR** é a *performance ratio* do SFCR, uma medida da qualidade do sistema fotovoltaico. Baseia-se na relação entre o fornecimento de energia elétrica real e o fornecimento teórico, trata-se de uma proporção entre a energia que realmente está disponível para consumo (após as perdas inerentes ao sistema) e o valor total gerado. É dada em porcentagem, e normalmente é um valor entre 0,7 a 0,8 (URBANETZ, 2013).

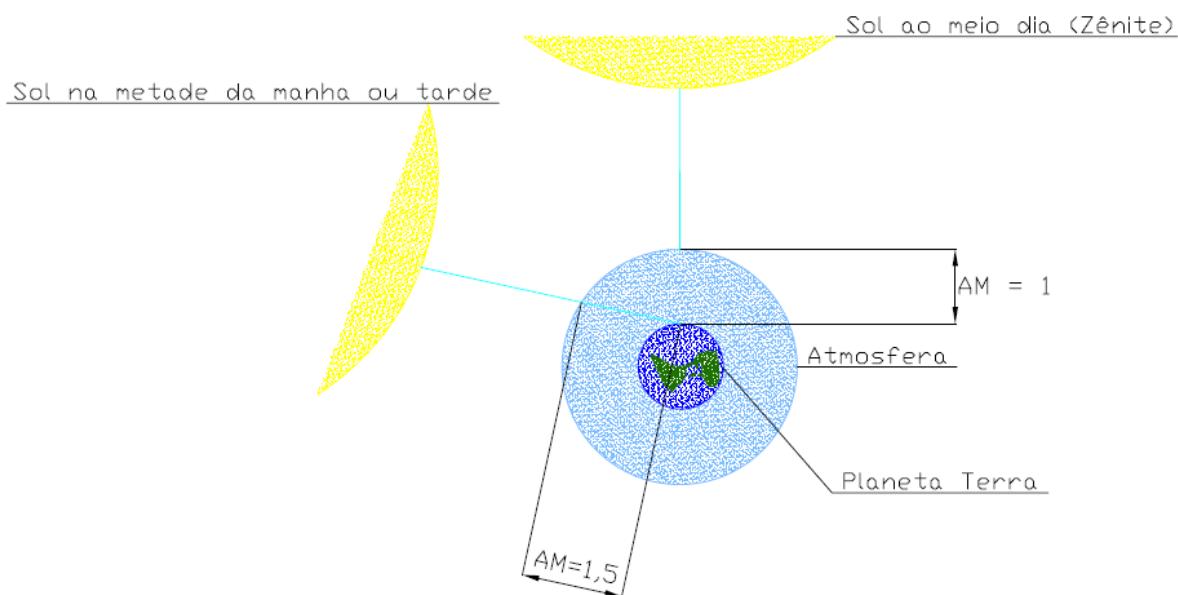


Figura 75 - Massa de ar (Air Mass - AM)
Fonte: os autores, 2014.

Para obter o valor de **E** (equação 2), foi utilizado o consumo médio mensal da residência no ano observado (Tabela 12), deduzindo-se a tarifa de disponibilidade e dividindo o resultado pelo número de dias em um mês.

$$E = \frac{\text{Média Mensal} - \text{Tarifa Mínima}}{30} = \frac{151,83 - 50}{30} = 3,394 \text{ (kWh/dia)} \quad (2)$$

O valor da irradiação diária média no plano do telhado foi obtido com o auxílio das informações de irradiação global horizontal do Atlas Brasileiro de Energia Solar aplicadas ao programa RADIASOL, que forneceu os valores de irradiação no plano inclinado desejado conforme a tabela 11 (4,742 kWh/m².dia). E finalmente, o valor adotado para a *performance ratio* foi uma aproximação, de 0,75.

Desta forma, a equação 3 apresenta o resultado obtido:

$$Pfv = \frac{3394 \text{ (W.h/dia)} \cdot 1000 \left(\frac{W}{m^2}\right)}{4742 \left(\frac{Wh}{m^2.dia}\right) \cdot 0,75} = 954,39 \text{ Wp} = 0,95 \text{ kWp} \quad (3)$$

4.1.1. Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

De acordo com a potência obtida, de aproximadamente 0,95 kWp, procedeu-se à pesquisa de alguns painéis fotovoltaicos que possam atender uma demanda semelhante. O primeiro modelo escolhido foi o painel do fabricante chinês *Sensotec (ST240P)*, módulo de silício policristalino homologado pelo Inmetro (classificado com índice de eficiência energética “A”, portanto, entre os mais eficientes), de potência máxima de 240 Wp em condições de teste (STC – Standard Test Conditions). O anexo A é um catálogo com algumas informações deste módulo, e na Figura 76 nota-se um anúncio do próprio fabricante deste painel, com o valor de R\$ 979,00. Outros fornecedores também foram pesquisados (Minha Casa Solar, e no site de anúncios Mercado Livre), e os preços encontrados foram de R\$ 979,00 a R\$ 999,00.



Figura 76 - Anúncio do painel solar ST240P – Sensotec
Fonte: Sensotec, 2014.

A área requerida pelos módulos é dada em função da potência instalada e da eficiência dos módulos (URBANETZ, 2013).

$$A = \left(\frac{P_{fv}}{Eff} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

- **A** é a área (m²);
- **P_{fv}** é a potência dos módulos (kWp);
- **Eff** é a eficiência da tecnologia do módulo.

A eficiência do módulo ST240P é dada pelo fabricante, e igual a 14,78%.

$$A = \left(\frac{0,95 \text{ (kWp)}}{14,78\%} \right) \cdot 100 \cong 6,4 \text{ m}^2 \quad (5)$$

Este painel fornece 240 Wp em condições de teste, deste modo, agregando-se quatro módulos é obtida uma potência de 960 Wp, próxima a potência de 954,39 Wp necessária. Segundo o fabricante, área de cada painel é de 1,65 x 0,99 m, totalizando 6,5 m² de área total, o que confirma o cálculo da área realizado.

Foi analisado também um módulo de silício mono-cristalino. Neste caso, foi escolhido o modelo HIT-240HDE4 de 240 Wp, da Sanyo, indústria de eletrônicos japonesa. Este módulo apresenta uma eficiência de 17,3%, e seus dados podem ser vistos no Anexo B.

Para esta tecnologia, a área necessária para suprir a demanda desejada é:

$$A = \left(\frac{0,95 \text{ (kWp)}}{17,3\%} \right) \cdot 100 \cong 5,5 \text{ m}^2 \quad (6)$$

Esta área equivale a aproximadamente quatro módulos HIT-240HDE4, cada um com 1,38 m²

Um terceiro tipo de painel foi estudado, desta vez um módulo de filme fino, mais especificamente de disseleneto de cobre, gálio e índio ($Cu(InGa)Se_2$), ou simplesmente CIGS. O modelo adotado foi o GE-CIGS150 (homologado pelo Inmetro, com classificação energética "A"), da *General Electric Company*, empresa multinacional Americana. Este modelo apresenta uma eficiência inferior a dos anteriores, de 12,2%, e pode fornecer até 150 Wp em condições de teste (STC), conforme informações do catálogo no anexo C. Não foi encontrado à venda no Brasil, no entanto, nos Estados Unidos, um fornecedor cobra o valor de \$ 225,00 por módulo (FREECLEANSOLAR, 2014).

A Figura 77 apresenta o *layout* da instalação dos painéis sobre o telhado da edificação.

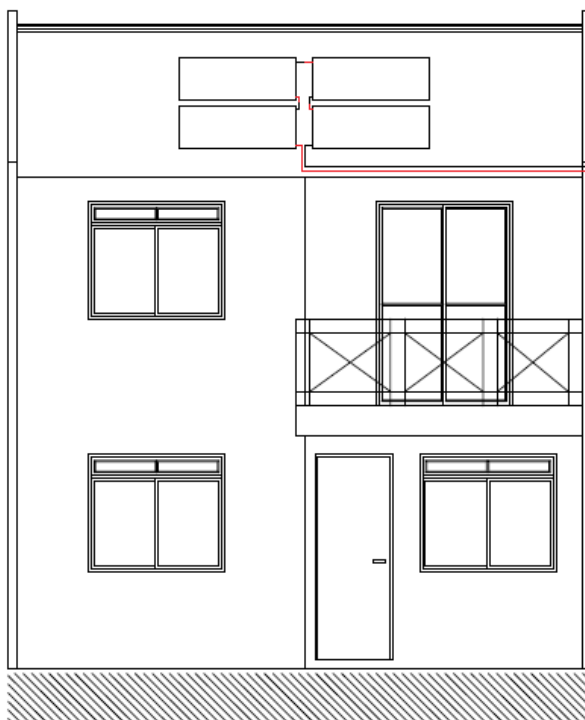


Figura 77 - Layout da instalação dos painéis na edificação.
Fonte: os autores, 2014.

4.1.2. Dimensionamento dos Inversores

Os inversores são utilizados em sistemas fotovoltaicos para transformar a energia gerada de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Apresentam as seguintes características (Urbanetz, 2012):

- Construídos para operar em paralelo com a rede elétrica;
- Toda energia fotogerada é injetada na rede elétrica;
- Apresentam elevada eficiência, maior que 94%;
- Possuem função de busca de máxima potência (MPPT);
 - Tensão constante;
 - Perturbação e observação;
 - Condutância incremental, entre outros.
- Possuem sistema “anti-ilhamento”. Esse sistema garante que, caso a energia da rede caia, o sistema PV pare de gerar, evitando que haja injeção de energia na rede elétrica;
- Diversas certificações internacionais. Ainda não existem selos do INMETRO para inversores.

Os parâmetros utilizados para a escolha do inversor do projeto foram:

- Este equipamento deve estar homologado pela COPEL (Figura 78);
- Suas características técnicas devem ser compatíveis com as características gerais do sistema;
- Buscar cotações nacionais, já com o preço final.

Fabricante	Modelo	Potência (kWp)
Advanced Energy	PV Powered - PVP2000	2,0
B&B Power	SF 1600TL/3000TL/5000TL	1,6/3,0/5,0
Chint Power	CPS SCE 1.5KTL/2KTL/3KTL/4KTL-O/4.6KTL-O	1,5/2,0/3,0/4,0/4,6
CP Eletrônica	INVSOL 1000	1,0
Enphase Energy	M215	0,27
Fronius	IG Plus 25/30/35/50/55/60V-1	2,6/3,0/3,5/4,0/5,0/6,0
Ginlong	GCI-3K-W	3,0
iEnergy	GT260	0,23
KLNE	Sunteams 1500/2000/3000/4000/5000	1,5/2,0/3,0/4,0/5,0
Outback Power	GTFX2524*/GTFX3048*/GVFX3524*/GVFX3648*	2,5/3,0/3,5/3,6
Power-One	Aurora Trio-20.0TL-OUTD/Trio-27.6TL-OUTD	20,0/27,6
SAJ	Sununo TL1.5K/2K/3KA/3KB/4KA/4KB/5K	1,5/2,0/3,0/3,3/4,0/4,4/5,0
Santerno	M Plus 1300E/2600E/3600/3600E/4300/4300E/5300/6400/7800	1,0/2,0/2,8/2,8/3,3/3,3/4,1/4,9/6,0
Schneider	Conext TX2800NA/TX3300NA/TX3800NA/TX5000NA	2,8/3,3/3,8/5,0
SMA	Sunny SMC 4600A/5000A/6000A/7000HV	4,6/5,0/6,0/7,0
Steca	Stecagrid 2020	2,0
Xantrex	GT2.5/3.0/3.3/3.8/4.0/5.0	2,5/3,0/3,3/3,8/4,0/5,0

Figura 78 – Inversores homologados pela COPEL.

Fonte: COPEL, 2014.

Foi escolhido o inversor KLNE Sunteams 1500 (Figura 79), com o custo de R\$ 4.725,59.

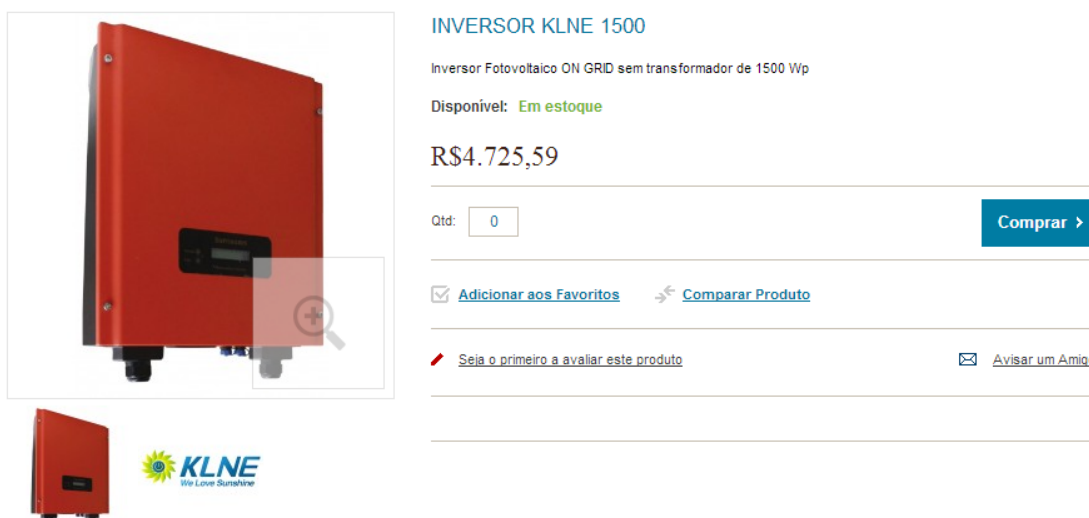


Figura 79 – Imagem do inversor KLNE Sunteams 1500, HOMOLOGADO PELA COPEL.
Fonte: Loja Sices Brasil, 2014.

4.1.3. Definição dos Arranjos

Os quatro módulos serão ligados em série, portanto, será necessário o uso de apenas um inversor. Através dos dados técnicos do inversor KLNE 1500 (Figura 80) e do módulo Sensotec ST240P (Figura 81), foram realizados cálculos para analisar os valores de tensão e corrente do sistema.

$$V_{m\acute{a}x} = n * V_{oc}$$

Onde:

- $V_{m\acute{a}x}$ = Tensão Máxima;
- n = número de módulos em série;
- V_{oc} = Tensão de circuito aberto do painel.

$$V_{m\acute{a}x} = 4 * 37,2 = 148,8 V$$

$$V_{mp(inv)} = n * V_{mp}$$

Onde:

- $V_{mp(inv)}$ = Tensão de operação ótima do inversor;
- V_{mp} = Tensão de operação ótima do painel.

$$V_{mp(inv)} = 4 * 30,4 = 121,6 V$$

$$I_{m\acute{a}x} = n_p * I_{sc}$$

Onde:

- $I_{m\acute{a}x}$ = Corrente máxima;
- n_p = número de paralelos do circuito;
- I_{cc} = Corrente de curto circuito do painel.

$$I_{m\acute{a}x} = 1 * 8,37 = 8,37 A$$

$$P_{dc} = n_{tp} * P_{m\acute{a}x}$$

Onde:

- P_{dc} = Potência DC;
- n_{tp} = número total de módulos ligados ao inversor;
- $P_{m\acute{a}x}$ = Potência total do módulo.

$$P_{dc} = 4 * 240 = 960 Wp$$

$$P_{tot} = n_t * P_{m\acute{a}x}$$

Onde:

- P_{tot} = Potência total;
- n_t = número total de módulos da instalação;

$$P_{tot} = 4 * 240 = 960 Wp$$

Sunteams 1500	
Entrada CC	
Máxima Potência CC	1750W
Máxima Tensão CC	450V
Faixa de tensão total MPPT	110-430V
Faixa de tensão ótima MPPT	200V-360V
Máxima corrente de entrada	9A
Enrolamento ondulado CC	< 5%
Número de rastreadores	1
Monitoramento falha de aterramento	Sim
Proteção inversões polaridade	Diodo de curto circuito
Sunteams 1500	
Saída CA	
Máxima Potência CA	1650W
Potência nominal CA	1500W
Total Harmonic Distorsion CA	< 3%
Faixa de tensão CA	180V-280V
Frequência nominal CA	60Hz±5HZ
Fator de Potência	1
Teste de curto circuito	Sim

Figura 80 – Dados técnicos do inversor KLNE 1500.

Fonte: Loja Sices Brasil, 2013.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS							
Módulo	ST210P (60)	ST215P (60)	ST220P (60)	ST225P (60)	ST230P (60)	ST235P (60)	ST240P (60)
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	36.2V	36.3V	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V
Tensão de Operação Ótima (Vmp)	28.1V	28.1V	29.0V	29.0V	29.8V	30.1V	30.4V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	8.08A	8.08A	8.15A	8.23A	8.26A	8.33A	8.37A
Corrente Operacional Ótima (Imp)	7.48A	7.48A	7.60A	7.76A	7.72A	7.81A	7.89A
Eficiência do Módulo	12.93%	13.22%	13.55%	13.97%	14.17%	14.46%	14.78%
Máxima Potência em STC (Pm)	210Wp	215Wp	220Wp	225Wp	230Wp	235Wp	240Wp
STC: Irradiância 1000W/m ²	Temperatura do Módulo: 25°C			AM=1.5			
Temperatura Operação -40°C / +80°C	Máxima Tensão do Sistema: 1000VDC						

Figura 81 – Dados do painel Sensotec ST240P escolhido.
Fonte: Sensotec, 2014.

Pode-se observar que, de acordo com os cálculos, a $V_{mp(inv)}$ (tensão de operação ótima do inversor) ficou abaixo do valor especificado na folha de dados do inversor (Figura 80). Nos cálculos foi obtida uma $V_{mp(inv)}$ de 121,6 V, porém a faixa encontrada na folha de dados do inversor é de 200 – 360 V. Isso significa que o inversor não vai operar em sua faixa de tensão ótima, diminuindo a eficiência do sistema fotovoltaico. No entanto, o sistema funcionará normalmente, visto que a faixa de tensão para funcionamento do inversor é de 110 – 430 V.

A $V_{mp(inv)}$ de 121,6 V calculada está fora da faixa especificada na folha de dados devido à baixa potência do sistema fotovoltaico dimensionado. O sistema de 1 kWp de potência contém apenas 4 módulos de 240 kW cada, resultando em uma tensão muito baixa, que fica fora da faixa de tensão ótima de operação do inversor. Porém, os equipamentos escolhidos não afetam o sistema, apenas não operam com 100% de sua capacidade.

Para que a $V_{mp(inv)}$ ficasse mais próxima de sua faixa especificada, o ideal seria utilizar um inversor com potência próxima a 1 kW, potência definida no projeto. No entanto, não encontrou-se à venda no mercado nacional um inversor que, além dessa característica, também estivesse homologado pela COPEL, dificultando o dimensionamento.

4.1.4. Dimensionamento dos Condutores

4.1.4.1. Critério da Ampacidade no lado CC

Para conhecer a corrente máxima que os condutores do lado CC devem suportar utiliza-se a corrente indicada na folha de dados dos painéis fotovoltaicos, a forma como esses painéis são arranjados e o método de instalação. Nesse projeto os painéis serão todos colocados em série, então se adota a corrente de operação ótima do painel escolhido (Figura 81) como corrente de projeto. Tendo-se a corrente de projeto pode-se então calcular a corrente corrigida, considerando os fatores de correção de temperatura e de agrupamento por meio da seguinte equação:

$$I_c = \frac{I_p}{FCT * FCA}$$

- I_c = Corrente corrigida
- I_p = Corrente de projeto
- FCT = Fator de correção de temperatura
- FCA = Fator de correção de agrupamento

$$I_c = \frac{7,89}{1,0 * 1,0} = 7,89A$$

O fator de correção de temperatura é selecionado considerando que os condutores estão sujeitos a temperatura ambiente de 30°C, dessa forma esse fator é considerado unitário respeitando as definições da norma brasileira de instalações elétricas de baixa tensão (NBR5410). O fator de correção de agrupamento é selecionado considerando que haverá apenas um circuito em cada eletroduto, e de acordo com a NBR5410 o fator é considerado unitário sob essas condições. A instalação desses condutores em eletroduto aparente condiz com o método de referência “B1” da tabela 33 da NBR5410 e está disposta na Figura 82.



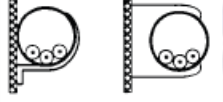
Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1

Figura 82 – Recorte da tabela de métodos de referência da NBR5410.
Fonte: NBR5410, 2004

Tendo o método de instalação e a corrente corrigida calculada, utiliza-se a tabela de capacidade de condução dos condutores descrita na NBR5410 (Figura 83) para definir qual será a área da seção mínima que deverá ser utilizada.

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: EPR ou XLPE

Temperatura no condutor: 90°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61

Figura 83 - Recorte da tabela de capacidade dos condutores
Fonte: NBR5410, 2004

A seção mínima a ser utilizada de acordo com a Figura 83 é de 0,5 mm², no entanto a NBR5410 estabelece que a seção mínima que pode ser utilizada em circuitos de força é de 2,5 mm².

4.1.4.2. Queda de tensão

O critério de queda de tensão limita a secção dos condutores e não pode ultrapassar 4% em circuitos terminais (URBANETZ, 2014, pg.9). A seguinte equação será utilizada para o cálculo da queda de tensão, considerando o condutor seleccionado no critério da ampacidade.

$$\Delta V = \frac{2 * l * P * 0,0178}{V^2 * S_{cond}}$$

- l = Comprimento do condutor (m)
- P = Potência total do circuito (W)
- V = Tensão do barramento CC (V)
- S_{cond} = Área de secção transversal do condutor (mm²)

$$\Delta V = \frac{2 * 18 * 960 * 0,0178}{(30,4 * 4)^2 * 2,5} = 0,016\%$$

O cálculo da queda de tensão foi obtido considerando-se um comprimento de 18m dos condutores e a tensão de operação óptima dos painéis fotovoltaicos (Figura 81). Com uma variação de potencial menor do que 4% a secção de 2,5mm² escolhida atende ao critério de queda de tensão. Devido a possibilidade de temperaturas altas próximas as células fotovoltaicas, selecciona-se o condutor com isolamento do tipo XLPE.

Em relação aos condutores do lado CA deve-se observar os mesmos critérios adotados para os condutores CC.

4.1.4.3. Critério da Ampacidade para o lado CA

A corrente de projeto pode ser calculada a partir da potência máxima do inversor escolhido, por meio da seguinte equação. A potência do inversor está disponível na folha de dados técnicos do inversor (Figura 80) e a tensão da rede foi considerada como tensão de operação.

$$I_p = \frac{P}{V}$$

- I_p = Corrente de projeto (A)
- P = Potência do inversor (W)

- V = Tensão de operação (V)

$$I_p = \frac{1500}{220} = 6,81A$$

A corrente corrigida será considerada igual a corrente de projeto, pois o condutor CA terá um comprimento mínimo para interligar o inversor a rede. Considerando o método de “B1” de instalação e utilizando a tabela da Figura 83 verifica-se que o condutor de 0,5 mm² de secção atende a capacidade de corrente requerida, no entanto condutor selecionado tem secção de 2,5 mm² por ser a secção mínima permitida para circuitos de força de acordo com a NBR5410/2004.

4.1.4.4. Queda de Tensão

A queda de tensão prevista nos condutores CA pode ser calculada por meio da seguinte equação.

$$\Delta V = \frac{2 * l * P * 0,0178}{V^2 * S_{cond}}$$

- l = Comprimento do condutor (m)
- P = Potência do circuito (W)
- V = Tensão no barramento CA (V)
- S_{cond} = Secção do condutor (mm²)

$$\Delta V = \frac{2 * 3 * 1500 * 0,0178}{220^2 * 2,5} = 0,001\%$$

Foi considerado para o cálculo que: o comprimento do condutor é 3 metros, a potência do circuito é a potência do inversor descrita nos dados da Figura 80 e que a tensão do barramento CA é a tensão de operação da rede. Dessa forma a seleção do condutor de secção de 2,5 mm² atende aos critérios de ampacidade e queda de tensão.

4.1.5. Dimensionamento dos Dispositivos de Proteção

4.1.5.1. Proteção do lado CC

Por uma questão de segurança todos os condutores vivos devem ser protegidos contra sobre corrente e curto circuito. Além desse fato há a necessidade de dispositivos de seccionamento de forma a permitir a manutenção no inversor. As seguintes premissas normativas devem ser atendidas no dimensionamento de dispositivos de proteção contra sobrecarga.

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45I_z$$

- I_b = Corrente de projeto
- I_n = Corrente nominal ou de ajuste do dispositivo de proteção
- I_z = Capacidade de condução dos condutores
- I_2 = Corrente de atuação ou de fusão, respectivamente para disjuntores ou fusíveis

Considerando que o método de referência da instalação é o “B1” (Figura 82) e que os condutores possuem secção de 2,5 mm² e isolação de XLPE verifica-se que a corrente suportada pelos condutores deve ser se 31 A de acordo com exigência normativa (Figura 83). Dessa forma a escolha do disjuntor deve atender as seguintes equações.

$$7,89 \leq I_n \leq 31$$

$$I_2 \leq 1,45 * 31$$

$$8 \leq 1,45 * 31$$

Com uma corrente de atuação (I_2) de 8 ampéres o dispositivo de proteção garante a operação do circuito sem atuação indevida e ainda atende ao critério anteriormente descrito. Dessa forma foi escolhido o disjuntor do fabricante SIEMENS modelo 5SY4 208-7, o qual atende aos requisitos, com corrente nominal de 8 A, capacidade de interromper correntes de curto de até 10 kA e tensão nominal de 220 VCC.

4.1.5.2. Proteção do lado CA

De modo semelhante os critérios de coordenação entre as proteções de sobre-corrente e curto-circuito devem ser utilizados para o dimensionamento da proteção do lado CA. A corrente de projeto calculada previamente é de 6,81 A e

considerando o mesmo método de referência na instalação “B1” verifica-se na tabela da figura Figura 83 que o condutor de 2,5 mm² deve ter capacidade de conduzir a corrente de 31 A sem que haja aquecimento excessivo.

$$6,81 \leq I_n \leq 31$$

$$I_2 \leq 1,45 * 31$$

$$10 \leq 1,45 * 31$$

Com uma corrente de atuação de 10 A o disjuntor selecionado é o modelo 5SX2 110-6 do fabricante SIEMENS com capacidade de interrupção de 3 kA e com tensão nominal de 250VCA.

4.2. PREVISÃO DE GERAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Após a escolha dos modelos dos painéis e inversores procedeu-se aos cálculos de previsão de geração de energia elétrica mensal do sistema. Para tanto, trabalha-se com valor de E (geração média diária de energia) na equação 7, de modo a se obter a geração média diária de energia em função da potência do conjunto de módulos fotovoltaicos (P_{fv}), da irradiância (G) em condições padrão de teste (STC), da irradiação diária média na superfície dos painéis (H_{tot}) e da *performance ratio* (PR) adotada:

$$E = \frac{P_{fv} \cdot H_{tot} \cdot PR}{G} \quad (Wh/dia) \quad (7)$$

A partir dos dados de irradiação diária da Tabela 11 é possível calcular a quantidade de energia que será gerada diariamente pelo sistema. Como a irradiação diária média do ano é de 4,74 kWp/m².dia, a geração diária média, portanto, é de:

$$E = \frac{0,96(kWp) \cdot 4,74 \left(\frac{kWp}{m^2 \cdot dia} \right) \cdot 0,75}{1 \left(\frac{kW}{m^2} \right)} \quad (8)$$

$$E = 3,41 \text{ kW/dia} \quad (9)$$

Semelhantemente, a média diária de geração de energia elétrica para o sistema em cada mês pôde ser calculada. Sendo assim, a Tabela 13 mostra a previsão de geração diária do sistema projetado.

Tabela 13 – Geração diária média por mês (em kW/dia)

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
3,95	3,80	3,64	3,18	2,64	2,58	2,73	3,38	3,23	3,64	4,19	4,03	3,41

Fonte: os autores, 2014

A Tabela 14 apresenta a geração estimada total por mês, com base nos dados da Tabela 13 e no número de dias de cada mês.

Tabela 14 – Geração média por mês (em kWh)

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
122,31	106,44	112,94	95,26	81,91	77,33	84,59	104,90	96,77	112,72	125,71	124,99	103,81

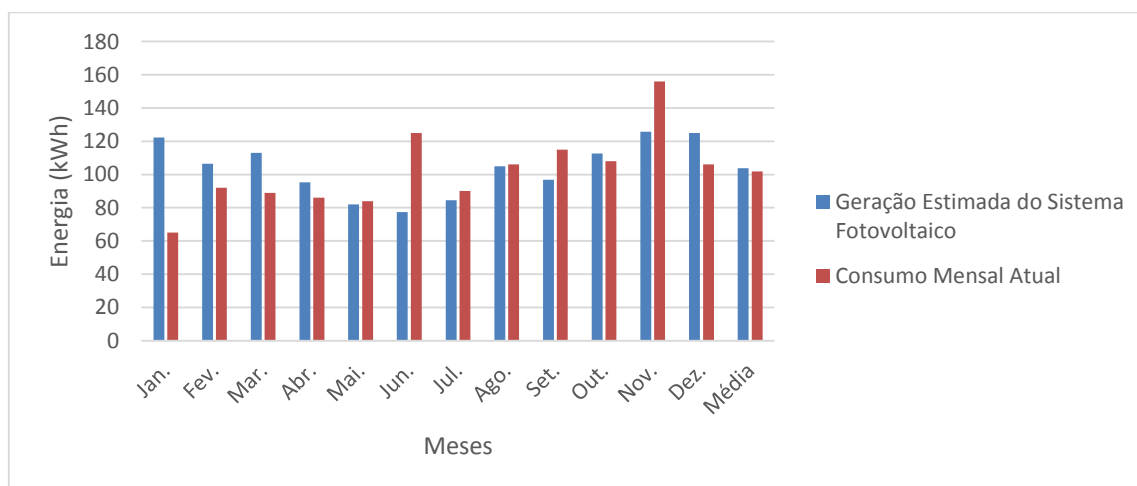
Fonte: os autores, 2014

Na Tabela 15 e no Gráfico 6 foi feito um comparativo da energia consumida no ano de referência adotado (subtraindo-se a tarifa de disponibilidade, equivalente a 50 kWh) e a energia gerada pelo sistema de 960 kWp projetado.

Tabela 15 – Comparativo entre geração estimada própria e consumo por mês (em kWh)

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
Geração estimada do sistema fotovoltaico												
122,31	106,44	112,94	95,26	81,91	77,33	84,59	104,90	96,77	112,72	125,71	124,99	103,81
Consumo mensal medio												
65	92	89	86	84	125	90	106	115	108	156	106	101,83

Fonte: os autores, 2014

**Gráfico 6 – Comparação entre geração estimada do SFCR e consumo da residência.**

Fonte: os autores, 2014.

4.3. ORÇAMENTOS

4.3.1. Levantamento de Preços

Os custos dos sistemas fotovoltaicos (Tabela 16) são um fator decisivo para o desenvolvimento desse setor e os principais componentes que constituem os custos são o inversor, os painéis, condutores, suportes, dispositivos de fixação e dispositivos de proteção. De acordo com Rütther, 2004 esses custos vêm sendo reduzidos desde o início dos anos 90.

De acordo com os equipamentos pesquisados, serão utilizados 4 módulos fotovoltaicos modelo SENSOTEC ST240P no valor de R\$ 979,00 cada, 1 inversor modelo KLNE 1500 no valor de R\$ 4.725,59, totalizando R\$ 8.641,59.

Segundo RÜTHER (2004), baseando-se em um programa alemão, chamado 100 Roofs Program, podem-se considerar os custos dos componentes complementares da instalação - BOS – Balance of Systems - (cabos, conectores, estruturas de fixação, proteções, etc.) somados com a mão-de-obra da instalação sendo 25% dos custos totais do projeto.

Tabela 16 - Custos do sistema fotovoltaico

CUSTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO			
ITEM	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	FONTE
Inversor KLNE 1500w	1	R\$ 4.725,59	SICES,2014
Painel fotovoltaico Sensotec 240p	4	R\$ 979,00	SENSOTEC,2014
INSTALAÇÃO E COMPONENTES COMPLEMENTARES	1	25% do valor total	RUTHER,2004
PREÇO TOTAL		R\$	11.522,12

Fonte: Os Autores,2014

Para o projeto de 1 kWp em questão, foram calculados todos os custos referentes a componentes complementares e instalação. O gráfico 7 representa em porcentagem os custos de cada parte do projeto.

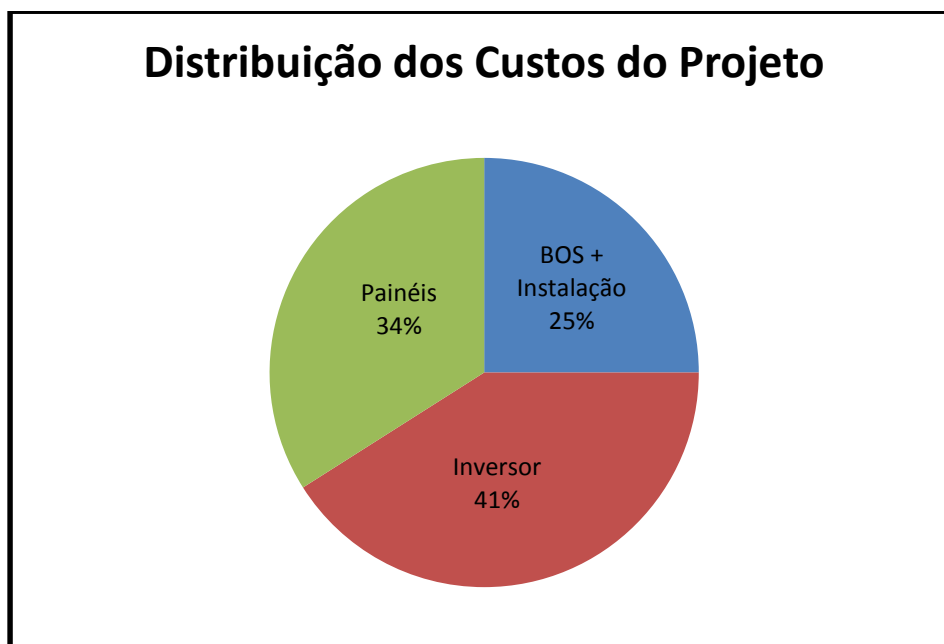


Gráfico 7 - Custos percentuais do projeto de 1 kWp.
Fonte: Adaptado de RÜTHER (2004).

Além do levantamento de custos do projeto foram feitos orçamentos de sistemas semelhantes oferecidos pelas empresas ELCO engenharia e Solar Energy respectivamente. As informações fornecidas pela Elco estão dispostas na Figura 84.

CLIENTE: GUSTAVO ORSI OBRA: SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA RESIDÊNCIA LOCAL: CURITIBA										ELCO		REV A 17/06/14
Item	Descrição	un	qtde	Preços unitários (R\$)			Preço total (R\$)		Preço total (R\$)			
				material	MO	Total	material	MO				
SISTEMA 1 kW							R\$ 5.884,20	R\$ 5.132,34	R\$ 11.016,54			
01 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS												
1.1	Painel solar fotovoltaico policristalino 250Wp, rendimento 15,20%. Homologado pelo INMETRO, classificação A.	pç	4	814,91	150,25	965,16	3.259,64	600,99	3.860,63			
1.2	Parafuso cabeça sextavada, rosca total, aço inox, M6x40mm, com uma porca e duas arruelas.	pç	20	0,53	0,78	1,31	10,60	15,68	26,28			
1.3	Porca losangular ϕ 1/4"	pç	20	1,76	0,20	1,96	35,20	3,92	39,12			
02 INVERSORES												
2.1	Inversor trifásico para conexão "grid-tie" de sistemas fotovoltaicos na rede de energia, potência nominal de saída 1,6kW. Certificado pela COPEL	pç	1	1.540,25	1.959,75	3.500,00	1.540,25	1.959,75	3.500,00			
03 CABEAMENTO												
3.1	Cabo de cobre isolamento XLPE, 0,6/1kV, resistente a UV, para sistemas fotovoltaicos, bitola 4mm ²	m	40	3,64	3,14	6,78	145,60	125,42	271,02			
3.2	Cabo de cobre, 0,6/1kV, XLPE, resistente a UV, para aterramento, cor verde 6mm ²	m	4	5,14	3,66	8,80	20,56	14,63	35,19			
3.3	Cabo de cobre, 0,6/1kV, isolamento EPR, bitola 6mm ²	m	10	2,02	5,75	7,77	20,20	57,49	77,69			
3.4	Cabo de cobre nú 25mm ²	m	20	8,33	7,84	16,17	166,60	156,78	323,38			
3.5	Conector para cabos de sistemas fotovoltaicos, tipo MC4	par	1	35,10	7,84	42,94	35,10	7,84	42,94			
3.6	Terminal pré isolado tipo olhal para cabo 6mm ²	pç	4	0,33	0,39	0,72	1,32	1,57	2,89			
04 INFRAESTRUTURA												
4.1	Perfis de alumínio	m	26	17,29	37,89	55,18	449,54	985,10	1.434,64			
4.2	Eletroduto	m	24	7,80	43,11	50,91	187,20	1.034,75	1.221,95			
4.3	Miscelâneas de fixação	vb	1	2,03	44,84	46,87	2,03	44,84	46,87			
05 APOIO												
5.1	Miscelâneas	vb	1	10,36	123,58	133,94	10,36	123,58	133,94			
5.2	Locação de equipamentos	vb	1									
5.3	Canteiro de obras	vb			2.925,00	2.925,00						
Total							5.884,20	5.132,34	11.016,54			

Figura 84 - Orçamento fornecida pela empresa Elco Engenharia LTDA.
Fonte: ELCO,2014

O segundo orçamento foi fornecido pela empresa Solar Energy, o qual tem uma potência 2,4 kWp, potência mínima comercializada pela empresa. A Figura 85 apresenta os principais componentes do sistema de geração fotovoltaico.

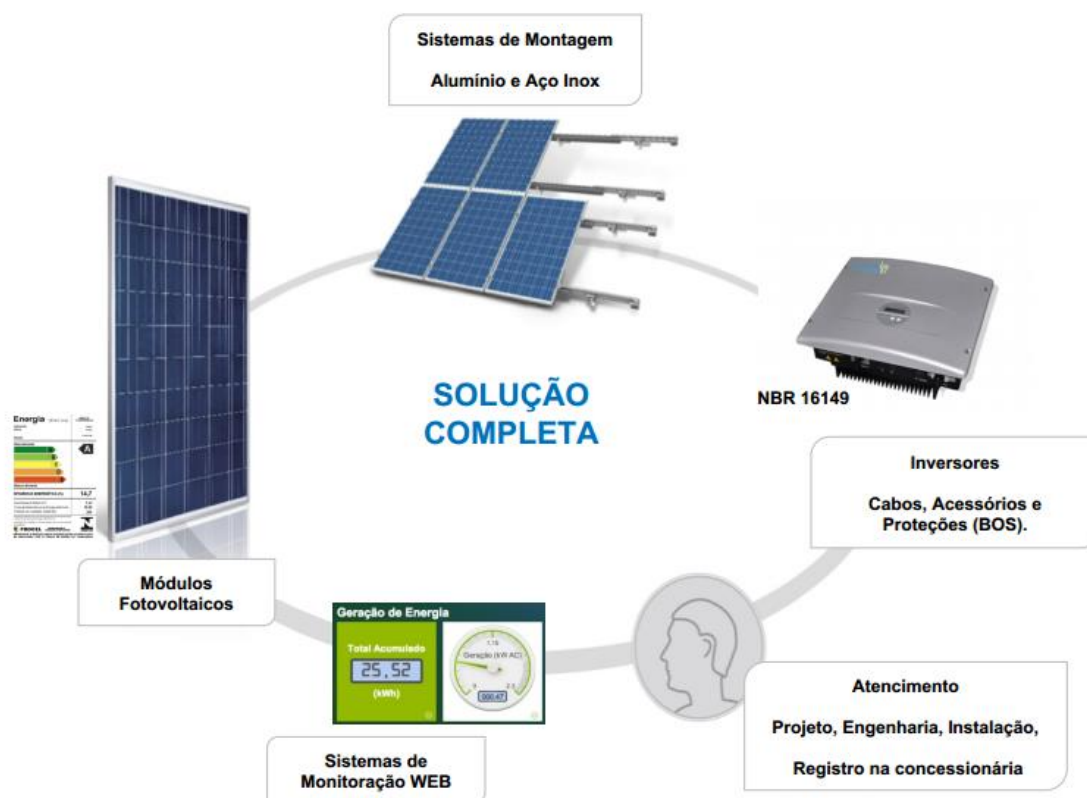


Figura 85 - Sistema fornecido pela empresa Solar Energy.
Fonte: SOLAR ENERGY, 2014

O sistema fornecido pela Solar Energy foi cotado pelo valor de R\$ 20.856,00, valor substancialmente maior que os demais orçamentos. Isso deve-se ao fato do aumento de potência citado, que resultou no maior número de painéis fotovoltaicos, no aumento da potência do inversor e na mudança da quantidade e das características dos elementos complementares. A descrição do sistema está disponível na Tabela 17.

Tabela 17 - Dados dos sistema fotovoltaico da Solar Energy.

Descrição do Gerador Solar Fotovoltaico	Unidade	Quantidade
Média de Energia Gerada – Simulação realizada no software PVSYST V.5.68	kWh/mês	315
Quantidade estimada de painéis	Unid.	10
Área utilizada	m ²	17
Peso distribuído dos painéis sobre a estrutura	kg	210
Inversor Grid Tie 2k	Unid.	1
Monitoração WEB		Opcional

Fonte: SOLAR ENERGY, 2014.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da pesquisa realizada neste trabalho de conclusão de curso, foi possível atingir o objetivo principal e os objetivos específicos propostos. O objetivo principal foi estudar e compreender como se desenvolveu o setor fotovoltaico brasileiro após a Resolução 482/2012 da ANEEL. Para obter bons parâmetros de comparação, foram realizadas pesquisas em busca de países que utilizam o *net metering*, sistema semelhante ao de compensação de energia do Brasil, e também em busca dos países que mais se desenvolveram no setor de energia solar. Além disso, foi feita uma análise do panorama brasileiro anterior à resolução.

Pode-se verificar que alguns estados ou províncias dos Estados Unidos e Canadá, utilizando a política de compensação de energia, muitas vezes aliada a outros incentivos, obtiveram bons resultados no setor fotovoltaico. Algumas províncias canadenses, como Saskatchewan, Alberta e British Columbia, no Canadá, por exemplo, utilizam o *net metering* e outros estímulos, como deduções de impostos e custos de projetos solares subsidiados pelo governo, e alcançaram crescimentos anuais de instalações favoráveis e bom desenvolvimento na indústria e no mercado. No entanto, foi observado que os lugares que obtiveram resultados mais expressivos utilizando o *net metering* foram aqueles que associaram esse sistema a outros programas de incentivo, como o sistema de quotas, exemplos são os estados de Massachusetts e do Colorado, nos Estados Unidos, que apresentaram no segundo trimestre de 2013 a quinta e sétima maiores potências adicionadas. Ainda assim, é evidente que o sistema de preços (*feed-in-tariff*) ainda se destaca como a forma de incentivo mais robusta dentre as observadas, como prova, basta observar os estados norte-americanos da Califórnia, que adicionou somente no segundo trimestre de 2013 438 MW de potência fotovoltaica (348 MW a mais que o Arizona, segundo estado que mais adicionou potência neste período nos Estados Unidos), e de Ontário, no Canadá, com uma potência instalada muito superior aos demais estados canadenses. Países como a Alemanha e a Itália também utilizam o *feed-in*, e apresentam alguns dos maiores potenciais solares do mundo.

No cenário nacional, antes da resolução 482/12 da ANEEL já existiam sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil, a maioria buscando suprir necessidades energéticas em locais isolados através do Programa Luz para Todos, com o sistema

de geração *off-grid*. Os sistemas conectados à rede existiam predominantemente em universidades, instituições de ensino e pesquisa, e empresas do setor elétrico, e formavam um total de 58 usinas, com capacidade de cerca de 2 MW. Em de 2011, através da chamada 013/2011 da ANEEL iniciou-se oficialmente a primeira investida fotovoltaica no país. Essa chamada refere-se ao programa de P&D do governo para estimular o crescimento da geração de energia elétrica através da energia solar no Brasil, neste mesmo ano, observou-se a entrada de algumas usinas solares de maiores potências. Como resultado da chamada 013/2011, no ano de 2012 foi divulgada a RES 482/2012 da ANEEL, que regulamenta a troca de energia de micro e mini geradores fotovoltaicos com a rede de energia elétrica das concessionárias, o sistema de compensação brasileiro.

A partir da RES 482/2012 a pesquisa desenvolvida mostrou que começaram a surgir diversos empreendimentos fotovoltaicos em todo o país: muitos deles residenciais e corporativos. Observou-se também um crescimento no número de empresas do setor de projetos fotovoltaicos em todo território nacional. Surgiram também outros incentivos governamentais, como empréstimos a juros reduzidos e subsídios para concessionárias que distribuem energia oriunda do sol, além de interesse de outros países em investir em fontes alternativas de energia no território brasileiro, e incentivos não governamentais, como o Selo Solar e o 50 telhados (selos de qualidade para quem gera energia limpa e programas de incentivo que visam aumentar a potência fotovoltaica instalada em cidades brasileiras). O Programa 50 telhados, por exemplo, coordenado pelo instituto Ideal, tem obtido êxito nas cidades brasileiras e muita procura de empresas que trabalham com instalação de geradores fotovoltaicos, o que tem aumentado a expectativa dos responsáveis pelo programa em todo o país.

Observou-se também que nem todos os SFCR fazem parte do Banco de Informações de Geração (BIG) fotovoltaica da ANEEL ainda. Uma das razões para este fato, provavelmente, é a entrada constante de SFs em operação em diversos estados brasileiros. Conforme foi observado, somente no Paraná existem quatorze SFCR em análise pela COPEL, uma potência total de 65 kWp prestes a ser conectada à rede (que caracteriza cerca de 140% da potência atualmente instalada, de aproximadamente 47 kWp). Durante a realização da pesquisa, que se encerrou em julho de 2014, observou-se que tanto o BIG da ANEEL quando as informações

de empresas que atuam no setor de projetos solares (como a Solar Energy) foram atualizados, e incluídos novos SFCR recentemente instalados.

Deste modo, ao final desta pesquisa, foi contabilizada uma potência fotovoltaica total de cerca de 13,2 MW instalada e conectada à rede através de geradores distribuídos por todo território brasileiro, sendo grande parte desses geradores residenciais, instalados após a RES 482/2012. Esta potência caracteriza um salto de cerca de 11,2 MW instalados no período de aproximadamente dois anos entre a divulgação da resolução 482, em abril de 2012, e a data de encerramento deste trabalho, em julho de 2014, o que equivale a cerca de 85% de toda a capacidade solar instalada no país desde o primeiro SFCR a entrar em operação, em 1997, na UFSC.

É necessário observar também o advento da copa do mundo, realizada no Brasil no ano de 2014, em decorrência da qual alguns estádios brasileiros, em parceria com bancos e empresas da Alemanha e concessionárias de energia brasileiras, instalaram usinas fotovoltaicas em suas estruturas, visando divulgar mundialmente a utilização de fontes alternativas de energia. O Maracanã, Pituacú Solar, Mineirão e a Arena Pernambuco fazem parte desses projetos, que adicionaram cerca de 3,1 MW de capacidade fotovoltaica ao cenário nacional.

Sendo assim, é possível observar que o sistema de compensação estabelecido no Brasil com a Resolução 482, apesar de não apresentar um incentivo robusto como o *feed-in* ou mesmo o sistema de quotas, utilizados em outros países, tem se mostrado eficiente, contribuindo para a adesão de diversos consumidores à geração distribuída de energia, conforme observado pela grande entrada de sistemas fotovoltaicos em operação, especialmente residenciais e corporativos, de pequenas potências instaladas (que se incluem nas definições de mini e micro geradores da resolução).

Além disso, houve um crescimento considerável do número de empresas trabalhando com a instalação de painéis e inversores no Brasil, o que contribuiu com a geração de empregos na área. O Brasil atualmente não tem o domínio das tecnologias de produção de painéis solares e não fabrica inversores nacionais. Deste modo, observam-se oportunidades de empreendimentos de desenvolvimento de produtos nacionais e de importação de produtos estrangeiros (o que já vem ocorrendo).

Sabe-se que há empresas interessadas em desenvolver inversores nacionais, o que pode elevar o interesse de pessoas que queiram investir em fotovoltaica no país, há também fábricas que montam painéis solares no Brasil. No entanto, ainda não é possível fazer um orçamento para um projeto fotovoltaico com produtos 100% nacionais. As taxas de juros para importados são elevadas e um simples sistema de 1 kW de potência não custa menos de R\$ 10.000,00, como pode-se perceber no projeto de instalação fotovoltaica realizado nesse trabalho. Além disso, o INMETRO ainda não abriu a portaria que possibilita os laboratórios autorizados a realizarem testes em inversores nacionais, o que inviabiliza a comercialização desses equipamentos no país.

A compensação de energia apresentada pela resolução 482/2012 certamente tem despertado o interesse da população brasileira, principalmente aquelas que apresentam consciência sustentável e perceberam que as usinas hidrelétricas futuramente não vão conseguir assumir a crescente demanda de energia elétrica brasileira. No entanto, baseando-se em países de sucesso em geração fotovoltaica e analisando o potencial solar brasileiro, conclui-se também que o setor fotovoltaico pode ser ainda mais desenvolvido com programas de incentivo mais específicos, é possível citar alguns: preços de importação reduzidos para equipamentos de energia renovável, incentivos para a produção de inversores e módulos fotovoltaicos no Brasil, maior divulgação da importância da geração de energia limpa no país e menor burocracia para instalação de geradores fotovoltaicos conectados à rede nas concessionárias brasileiras.

REFERÊNCIAS

ABINEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Proposta para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Disponível em:

<http://www.cogen.com.br/Solar/Biblioteca_Virtual/Proposta_fotovoltaic_empresas_v10.pdf>. Acesso em dezembro de 2013.

América do Sol. **Estádios Solares**. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/estadios-solares/>>. Acesso em fevereiro de 2014.

América do Sol. **Mineirão Solar**. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/mineirao-solar/>>. Acesso em fevereiro de 2014.

ALTERNATIVE ENERGY INFO. **Frito Lay Plant goes near net zero in energy use**. Disponível em: <<http://www.alt-energy.info/solar-power/frito-lay-plant-goes-near-net-zero/>>. Acesso em julho de 2014.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. Ed. ANEEL. Brasília - DF. 2008.

ANEEL. **BIG – Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=12&fase=3>>. Acesso em junho de 2014.

ANEEL. **Chamada N. 013/2011. Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”**. ANEEL. Brasília - DF. 2011.

ANEEL. **Resolução Normativa N. 414**. ANEEL. Brasília - DF. 2010.

ANEEL. **Resolução Normativa N. 482**. ANEEL. Brasília - DF. 2012.

ANEEL. **Resolução Normativa N. 517**. ANEEL. Brasília - DF. 2012.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.** ANEEL. 2012.

APIMEC – ASSOCIAÇÃO DOS ANALISTAS E PROFISSIONAIS DE INVESTIMENTO DO MERCADO DE CAPITAIS. Disponível em: <http://www.apimec.com.br/apimecNE/show.aspx?id_canal=2177&id_materia=35312>. Acesso em fevereiro de 2014.

BRASIL. **Decreto N. 2.003, de 10 de Setembro de 1996 : Regulamenta a Produção de Energia Elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor.** D.O. DE 11/09/1996, P. 17917.

CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** Lavras – MG. 2011. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/monografia-Carlos-Fernando-Camara.pdf>>. Acesso em janeiro de 2014.

Canal Energia. Disponível em: <http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Especial_Meio_Ambiente.asp?id=96633>. Acesso em fevereiro de 2014.

CANSIA – CANADIAN SOLAR INDUSTRIES ASSOCIATION. **Sector Profile for Solar Photovoltaics in Canada.** 2013. Disponível em: <http://www.cansia.ca/sites/default/files/policy_and_research/sectorprofile_solarphotovoltaicscanada.pdf>. Acesso em janeiro de 2014.

CANSIA – CANADIAN SOLAR INDUSTRIES ASSOCIATION. **National Survey Report of PV Applications in Canada 2012.** Disponível em: <http://www.cansia.ca/sites/default/files/201306_cansia_2012_pvps_country_report_long.pdf> Acesso em dezembro de 2013.

CAVALIERO, C. K. N. et al. **Electricity Generation: regulatory mechanisms to incentive renewable alternative energy sources in Brazil**. UNICAMP. Campinas - SP. 2005.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/Usina-Solar-do-Mineirao.aspx>>. Acesso em fevereiro de 2014.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Relacionamento Operacional Para a Microgeração Distribuída - Adesão ao Sistema de Compensação de Energia**. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/0988192f92c9fbc703257a8a0044051b/\\$FILE/ANEXO%20V%20Relacionamento%20Operacional%20para%20Microgeracao%20Distribuida.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/0988192f92c9fbc703257a8a0044051b/$FILE/ANEXO%20V%20Relacionamento%20Operacional%20para%20Microgeracao%20Distribuida.pdf)> Acesso em março de 2014.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Acordo Operativo**. 2012.

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Fontes**, 2013. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afLoop=575813259755000#%40%3F_afLoop%3D575813259755000%26_adf.ctrl-state%3Dy6np6ps0_4> Acesso em agosto de 2013.

CHINVELSKI, Tiago. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por e-mail <tiago@elco.eng.br> em junho de 2014.

COSTA, C. D. V. **Políticas de Promoção de Fontes Novas e Renováveis para Geração de Energia Elétrica: lições da experiência europeia para o caso brasileiro**. UFRJ. Rio de Janeiro - RJ. 2006.

CRESESB. **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO,

2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=tutorial_solar>. Acesso em 15 dez 2013.

DSIRE - DATABASE OF STATE INCENTIVES FOR RENEWABLE AND EFFICIENCY. Disponível em <<http://www.dsireusa.org/>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

EDF NORTE FLUMINENSE – **Novas Tecnologias**. Disponível em: <<http://www.utenortefluminense.com.br/br/meioAmbienteProjAmbNovasTecnologias.php>>. Acesso em: julho de 2014.

ELETROSUL. **Planta Piloto Fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=1153>>. Acesso em julho de 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia - MME. Brasília - DF. 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Projeção da demanda de energia elétrica (para os próximos 10 anos – 2013 - 2022)**. Ministério de Minas e Energia - MME. Brasília - DF. 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20130117_1.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2013.

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. Editora da UFSM. Santa Maria – RS. 1999.

FLEMISH REGULATOR OF THE ELECTRICITY AND GAS MARKET – VREG. **The awarding of green certificates**. Disponível em: <<http://www.vreg.be/en/the-awarding-of-green-certificates>>. Acesso em dezembro de 2013.

FREE CLEAN SOLAR. **Painel solar GE-CIGS150**. Disponível em <<http://www.freecleansolar.com/150W-solar-panel-GE-SOLAR-GE-CIGS150-CIGS-p/ge-cigs150.htm>>. Acesso em junho de 2014.

Garcete, E., **Requisitos de Conexão para Geração Distribuída Fotovoltaica no Brasil e o Sistema de Compensação de Energia**. Curitiba. UTFPR, 2013

Google Earth. Google Inc., 2014. Software.

Greenpeace. **Juventude Solar**. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/juventude-solar/projeto/>>. Acesso em agosto de 2014.

LIAS, Tsagas. Belgium Reaches 2.6GW of Installed. PV Magazine. Disponível em <http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/belgium-reaches-26-gw-of-installed-pv-power-_100010139/>. Acesso em 21 dez 2013.]

INPE & LABSOLAR. Brazil PAR Solar Radiation Model (10km) from INPE and LABSOLAR. **SWERA**, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Disponível em: <<http://www.iea.org>>. Acesso em 13 dez. 2013.

INTERNATIONAL RIVERS – BRASIL. **O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios**. 2. Ed. International Rivers. Brasília – DF. 2012.

INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY – ISES. **Transitioning to a Renewable Energy Future**. Freiburg – Alemanha. 2003.

MEHTA, S. GreenTechSolar. **Greentechmedia**, 2011. Disponível em: <<http://www.greentechmedia.com/articles/read/pv-news-annual-data-collection-results-celland-module-production-explode-p/>>. Acesso em julho de 2014.

MCEC - MASSACHUSETTS CLEAN ENERGY CENTER. Disponível em: <<http://www.masscec.com/technology/solar-electricity>>. Acesso em 19 dez. 2013.

NREAP - NATIONAL RENEWABLE ACTION PLAN. **Action Plans & Forecasts**. Disponível em <http://ec.europa.eu/energy/renewables/action_plan_en.htm>. Acesso em: 16 dez. 2013.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY – NREL. **Open PV State Rankings**. Disponível em <<https://openpv.nrel.gov/rankings>>. Acesso em: 13 de jan.

O GLOBO. **Governo cumpre apenas 10,8% da meta de 2 milhões de casas populares com aquecimento solar**. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/governo-cumpre-apenas-108-da-meta-de-2-milhoes-de-casas-populares-com-aquecimento-solar-12457589>>. Acesso em agosto de 2014.

OPENEI. **About SWERA**. Disponível em <<http://en.openei.org/wiki/SWERA/About>>. Acesso em junho de 2014.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1. ed. São José dos Campos, 2006.

PORTAL DA COPA. Disponível em: <<http://www.copa2014.gov.br/pt-br/noticia/inaugurada-a-usina-solar-da-arena-pernambuco>>. Acesso em fevereiro de 2014.

MARCELINO, Ricardo Santana. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por e-mail <ricardosantanams@hotmail.com> em maio de 2014.

RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Renewables 2013: global status report**. Ren21. Paris - França. 2013.

RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Renewables 2014: global status report**. Ren21. Paris - França. 2014.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. Florianópolis. UFSC/LABSOLAR, 2004.

SALAMONI, I. T. **Um Programa Residencial de Telhados Solares para o Brasil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica**. Florianópolis: UFSC - BU, 2009.

SECOM – SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL. Disponível em: <<http://www.comunicacao.ba.gov.br/noticias/2013/11/14/estadio-de-pituacu-recebe-selo-solar-por-instalacao-de-sistema-fotovoltaico>>. Acesso em: 25 fev 2014.

SEIA - SOLAR ENERGY INDUSTRIES ASSOCIATION. Disponível em: <<http://www.seia.org/research-resources/solar-industry-data>>. Acesso em 18 dez. 2013.

SENSOTEC. **Painel fotovoltaico ST240P**. Disponível em <<http://sensotec.commercesuite.com.br/painel-solar-fotovoltaico-sensotec-240w-pr-2-350244.htm>>. Acesso em junho de 2014.

SILICON SOLAR. **Commercial Solar Cells**. Disponível em: <<http://www.siliconsolar.com/commercial-solar-cells.html>>. Acesso em: julho de 2014.

SONDA. **Estação de Caicó – Pireliômetro**. SONDA – Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. Disponível em: <<http://sonda.ccst.inpe.br/>>. Acesso em julho de 2014.

SOUZA, A. W. Albino de. **Fundamentos da Teoria de Energia Solar e de Seu Uso**. Editora da Fundação Brasileira de Direito Econômico. Belo Horizonte – MG. 1994.

UFRGS. **Programa RADIUSOL.** Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em: março de 2014.

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO. **Aquecedor Solar com uso de Materiais Recicláveis.** Disponível em: <<http://www.tupa.unesp.br/Home/Extensao/AquecedorSolar/Manualdeconstrucao.pdf>>. Acesso em janeiro 2014.

URBANETZ JR, J. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Dimensionamento de Sistemas**, 2013, Brasil. CURSO FV EV UTFPR.

URBANETZ JR, J., JUNIOR, CASAGRANDE F., E. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR.** Curitiba: CBPE. 2012.

URBANETZ JR, J. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbana: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade.** Florianópolis: UFSC - BU, 2010.

URBANETZ JR, J. Energia Solar Fotovoltaica no Estado do Paraná. In: IV CONGRESSO DE TECNOLOGIAS LIMPAS E RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA. 2014, Curitiba.

VIGNA, Edécio. **Brasil maior exportador de riquezas naturais.** Inesc. São Paulo. out. 2012. Disponível em: <<http://www.inesc.org.br/noticias/noticias-do-inesc/2012/outubro/brasil-maior-exportador-de-riquezas-naturais>>. Acesso em agosto de 2013.

WeWi Telecommunications Inc. Disponível em: <<http://www.wewi.ca/>>. Acesso em janeiro de 2014.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION – WNA. Disponível em <<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/Belgium/>>. Acesso em dezembro de 2013.

YINGLI SOLAR. **Painel de Silício Monocristalino**. Disponível em <<http://www.yinglisolar.com/br/products/monocrystalline/>>. Acesso em julho de 2014.

ANEXO A

MÓDULO FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO

ST210P(60) ST215P(60) ST220P(60) ST225P(60) ST230P(60) ST235P(60) ST240P(60)

ESPECIFICAÇÕES

Célula Solar	Células de Silício Policristalino 156mm×156mm
Número de Células	60pcs
Dimensões	1650mm × 992mm × 40mm
Vidro	Vidro Temperado (3.2mm)
Peso	19.5Kg
Tolerância Potência	0/+3%



CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Módulo	ST210P (60)	ST215P (60)	ST220P (60)	ST225P (60)	ST230P (60)	ST235P (60)	ST240P (60)
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	36.2V	36.3V	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V
Tensão de Operação Ótima (Vmp)	28.1V	28.1V	29.0V	29.0V	29.8V	30.1V	30.4V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	8.08A	8.08A	8.15A	8.23A	8.26A	8.33A	8.37A
Corrente Operacional Ótima (Imp)	7.48A	7.48A	7.60A	7.76A	7.72A	7.81A	7.89A
Eficiência do Módulo	12.93%	13.22%	13.55%	13.97%	14.17%	14.46%	14.78%
Máxima Potência em STC (Pm)	210Wp	215Wp	220Wp	225Wp	230Wp	235Wp	240Wp
STC: Irradiância 1000W/m ²	Temperatura do Módulo: 25°C		AM=1.5				
Temperatura Operação	-40°C / +80°C		Máxima Tensão do Sistema: 1000VDC				

TEMPERATURA E COEFICIENTES

NOCT	47°C±2°C
Coef. Temp. Isc (TK Isc)	(0.080±0.015)%/°C
Coef. Temp. Voc (TK Voc)	-0.32%/°C
Coef. Temp. Pmax (TK Pmax)	-(0.45±0.05)%/°C
Máxima Carga Dinâmica (vento)	2400Pa
Máxima Carga Estática (neve/vento)	5400Pa
Máximo Impacto (diâmetro/velocidade)	25mm / 23m/s
NOCT: Temperatura Nominal de Operação da Célula	

CAIXA DE JUNÇÃO

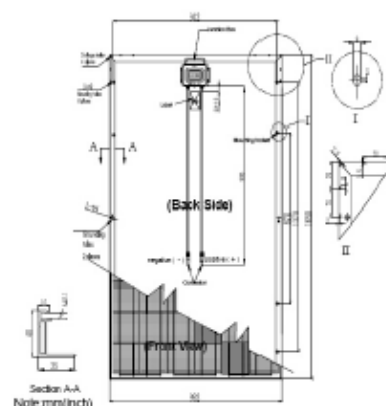
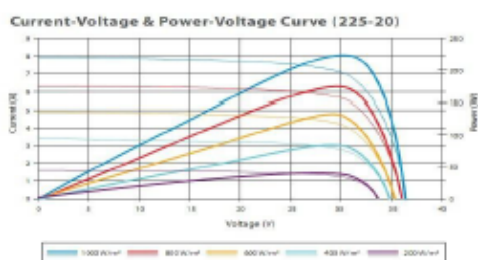
Comp. Cabos	1.1m
Conectores	MC4
Diodos	6 Diodos de Bypass

CERTIFICAÇÕES



GARANTIA

10 anos	garantia de material e mão de obra
12 anos	garantia de 90% da potência original
25 anos	garantia de 80% da potência original



ANEXO B

Think GAIA
For Life and the Earth



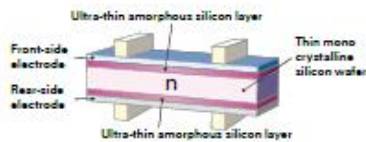
HIT photovoltaic module

HIT-240HDE4
HIT-235HDE4

The SANYO HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer) solar cell is made of a thin mono crystalline silicon wafer surrounded by ultra-thin amorphous silicon layers. This product provides the industry's leading performance and value using state-of-the-art manufacturing techniques.



HIT® Solar Cell Structure



Development of HIT solar cell was supported in part by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

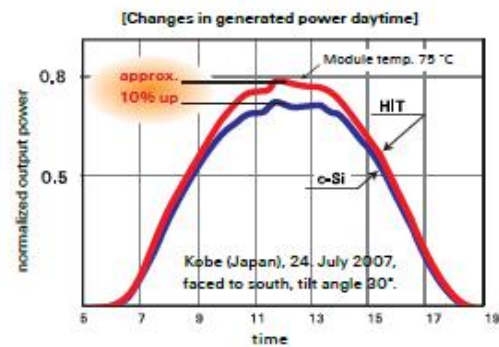
Benefit in Terms of Performance

The HIT cell and module have very high conversion efficiency in mass production.

Model	Cell Efficiency	Module Efficiency
HIT-240HDE4	20.0%	17.3%
HIT-235HDE4	19.6%	17.0%

High performance at high temperatures

Even at high temperatures, the HIT solar cell can maintain higher efficiency than a conventional crystalline silicon solar cell.



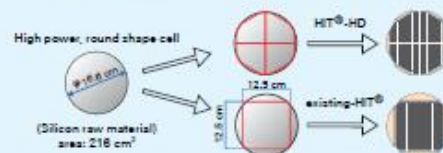
Environmentally-Friendly Solar Cell

More Clean Energy

HIT can generate more clean Energy than other conventional crystalline solar cells.

A module that uses silicon resources effectively

The newly developed "Honeycomb Design" HD cell allows the maximum number of round-type, high-power cells to be arrayed in a single module.





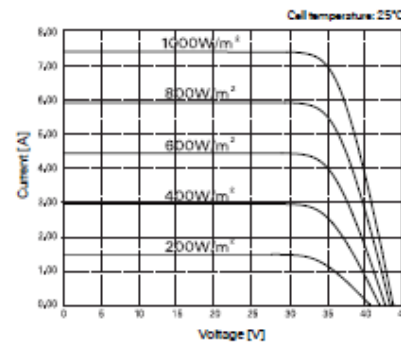
Electrical and Mechanical Characteristics HIT-240HDE4, HIT-235HDE4

Electrical data	Models HIT-xxxHDE4	
	240	235
Maximum power (Pmax) [W]	240	235
Max. power voltage (Vpm) [V]	35.5	35.1
Max. power current (Ipm) [A]	6.77	6.70
Open circuit voltage (Voc) [V]	43.6	43.4
Short circuit current (Isc) [A]	7.37	7.33
Warranted min. power (Pmin) [W]	220.0	223.3
Maximum over current rating [A]	15	
Output power tolerance [%]	+10/-6	
Max. system voltage [Vdc]	1000	
Temperature coeff. of Pmax [%/°C]	-0.30	
Temperature coeff. of Voc [V/°C]	-0.105	-0.105
Temperature coeff. of Isc [mA/°C]	2.21	2.20

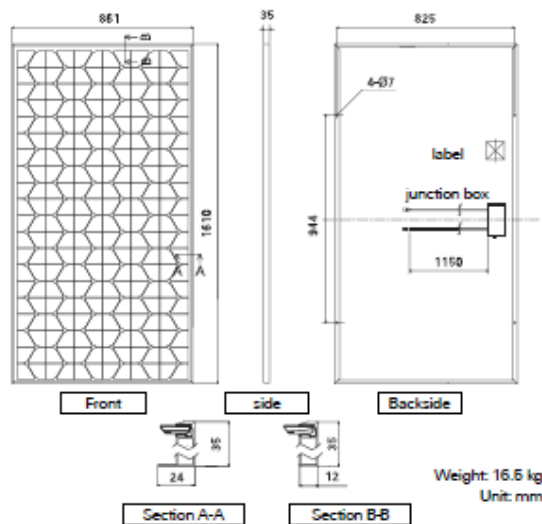
Note 1: Standard test conditions: Air mass 1.5, Irradiance = 1000 W/m², Cell temperature = 25 °C.
Note 2: The values in the above table are nominal.

Reference data for model HIT-240HDE4

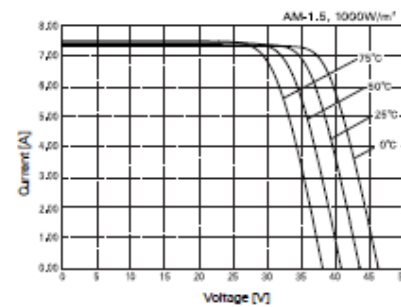
Dependence on irradiance



Dimensions and weight



Dependence on temperature



Certificates

IEC 61730 IEC 61215



• Periodic inspection
• Qualified IEC 61215
• Safety tested IEC 61730



Electrical Protection

Please consult your local dealer for more information.

Guarantee

Product: 5 years

Power output: 10 years (90% of Pmin), 20 years (80% of Pmin)

Full conditions are available on our website.

CAUTION! Please read the operating instructions carefully before using the products.

Due to our policy of continual improvement the products covered by this brochure may be changed without notice.

ANEXO C

GE Energy

CIGS Thin Film Solar Module 145 W, 150 W

fact sheet

Introduction

GE's CIGS thin film solar module combines industry leading solar technology with GE's continued commitment to quality and customer value. The CIGS thin film module is a cost-competitive solar solution that requires less material than alternative technologies to achieve high levels of performance. Backed by a GE warranty that includes access to GE's extensive customer service network, the CIGS thin film module is an efficient and affordable way to meet your sustainable energy needs.

Technical Description

Incorporating the latest advancements in thin film PV module technology, GE's CIGS thin film module has a framed, dual glass structure to allow for more durability in extreme weather conditions such as snow, hail, and wind. GE's larger CIGS module will reach peak powers up to 150 watts at 79 volts and has been designed for long life in harsh environments.

GE's CIGS thin film modules are optimized for use in large-scale grid connected installations and are well suited for both rooftop and ground mount applications.

Certifications

GE's CIGS thin film modules are undergoing rigorous safety and reliability testing to achieve the following certifications: UL 1703 (Class C, pending), CE Mark, CEC, IEC 61646, IEC 61730

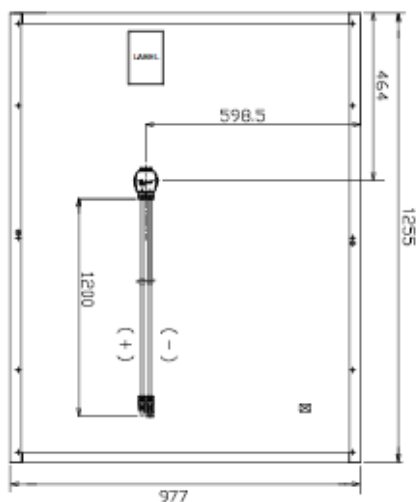


Features and Benefits

- Warranty backed by the strength of GE
- Supported by GE customer service network
- Out-performs traditional PV in low-light and high-temperature applications
- Framed design stands up to climate extremes of temperature, humidity, and UV
- Individually serialized modules for convenient field tracking
- Available for global applications

fact sheet

Physical Characteristics



Electrical Specifications†

Typical Performance at STC (1000 W/m² AM 1.5, 25°C)

Model Numbers		GE-CIGS145	GE-CIGS150
Nominal Efficiency	(%)	11.8	12.2
Nominal Power (+/- 5%)	P _{mpp} (W)	145.0	150.0
Voltage at P _{max}	V _{mpp} (V)	78.0	79.0
Current at P _{max}	I _{mpp} (A)	1.86	1.90
Open Circuit Voltage	V _{oc} (V)	110.0	110.0
Short Circuit Current	I _{sc} (A)	2.10	2.10
Maximum System Voltage	V _{sys} (V)	600 (UL/1000 (IEC))	
Temp. Coefficient of P _{mpp}	T _k (P _{mpp})	-0.31%/°C	
Temp. Coefficient of V _{oc}	T _k (V _{oc})	-0.30%/°C	
Temp. Coefficient of I _{sc}	T _k (I _{sc})	+0.01%/°C	
Limiting Reverse Current	I _R (A)	7 A	
Maximum Source Circuit Fuse	I _{cr} (A)	4 A	

Mechanical Specifications†

Length	1255 mm (49.4 in)
Width	977 mm (38.5 in)
Thickness	35 mm (1.4 in)
Weight	20 kg (44.1 lb)
Front Glass	3.2 mm (0.13 in) Clear Tempered Glass
Back Sheet	Weatherproof Plastic Film
Frame	Anodized Aluminum Alloy (Color: Black)
Cell Type	CIGS Substrate Glass (Cadmium Free)
Edge Sealant	Butyl Rubber
Junction Box	Protection Rating: IP67 (With Bypass Diode)
Cable Length	1200 mm (47.2 in)
Connectors	Locking Type
Encapsulation	EVA

† Unless otherwise specified, all ratings +/-10%.
Specifications are preliminary and subject to change.