

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA/ELETROTÉCNICA

RAFAEL ALCANTARA GUIMARÃES  
RAFAEL COLLAR GONÇALVES

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: análise do  
panorama mundial e brasileiro**

CURITIBA  
2012

RAFAEL ALCANTARA GUIMARÃES  
RAFAEL COLLAR GONÇALVES

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: análise do  
panorama mundial e brasileiro**

Trabalho de Conclusão de curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, 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 obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Co-Orientador: Dr. Noel Massinhan Levy

CURITIBA  
2012

Rafael Alcantara Guimarães  
Rafael Collar Gonçalves

## SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: análise do panorama mundial e brasileiro

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 em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 11 de julho de 2012

---

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

---

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre.  
Coordenadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica  
do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

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

### BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Roger Gules, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profa. Maria de Fátima R. R. Cabreira, Dra.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Gerson Maximo Tiepolo, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

Dedicamos este trabalho de conclusão de curso ao único Deus pai, que "amou o mundo de tal maneira que deu o seu Filho unigênito, para que todo aquele que nele crê não pereça, mas tenha a vida eterna." (João 3:16)

Aos meus pais, Antonio e Luciria, sem os quais teria sido muito difícil o meu caminhar e que através de suas vidas me ensinaram o amor a Deus, a humildade, a afetividade e o respeito ao ser humano.

À Marcella, pela compreensão e paciência em meus momentos ausentes e por cuidar da nossa linda filha Pauline.

À Pauline que agora tem um pai formado.

À minha Mãe, Lucia, que sempre lutou para conclusão desse trabalho.



## AGRADECIMENTO

A Deus, por sua proteção e amparo sempre nos momentos mais difíceis de nossa vida. Com a sua luz e bondade conseguimos transformar os espinhos em flores e as pedras do caminho em degraus para que, cada vez mais, possamos estar mais perto de ti.

Ao meu pai, Antonio, que abdicou de tantos sonhos para que os meus pudessem ser realizados, mas hoje consegui realizar um sonho em comum.

À minha mãe. Luciria, pelo eterno amor e estímulo nos momentos mais difíceis de minha vida. Sem vocês presentes, não conseguiria concretizar a metade dos meus sonhos e ambições. Sem vocês, tudo isso seria impossível.

Àos meus irmãos, Daniel, Gabriel e Lara que são muitos os responsáveis por essa vitória, mas, às vezes, nem sempre recebem os méritos. Sei da importância de vocês e agradeço por fazerem parte da minha vida.

Agradeço minha mãe, Lucia, por ter trabalhado incontáveis noites, por ter feito inúmeros sacrifícios e por ter tornado esse sonho em realidade. Minha querida mãe, muito obrigado por ter feito tanto para mim.

Agradeço minha esposa Marcella, por me incentivar e me motivar durante esse trabalho. Por todas as vezes que cuidou da nossa filha durante a minha graduação e trabalho de conclusão. Obrigado pela paciência e me perdoe as minhas numerosas ausências.

Agradeço linda filha Pauline, por involuntariamente ter me ajudado nesse trabalho.

Ao meu Padrinho Airton, agradeço pela preocupação com a minha educação e por ajudar com os meus estudos em Curitiba. Também agradeço ao meu Padrinho Osmar por te me presenteado com uma HP50g e dessa forma conseguir ser aprovados em muitas disciplinas da engenharia.

Agradeço ao meu tio Antônio por ter me ajudado e me incentivado desde o início da graduação. A minha tia Marcia, por te presenteado com a minha primeira calculadora científica.

E em especial agradeço toda a minha família por ter me ajudado a realizar meu sonho.

Ao nosso querido orientador, Jair, por ter tido paciência e dedicação no atendimento as nossas dúvidas e também agradecemos pelas calorosas discussões que sempre nos enriqueciam [e muito].

Aos amigos, obrigado a vocês que compartilharam os prazeres e dificuldades desta jornada com os quais convivemos durante tantas horas, principalmente, Otávio e Raul, que nos aguentaram com as discussões em todas as noites intermináveis para que conseguíssemos concluir esse trabalho.

“Ele [Deus] é o dono de tudo. Devo a Ele a oportunidade que tive de chegar onde cheguei. Muitas pessoas têm essa capacidade, mas não têm a oportunidade. Ele a deu para mim, não sei porque. Só sei que não posso desperdiçá-la.”

(Ayrton Senna)

## RESUMO

GUIMARAES, Rafael A.; GONÇALVES, Rafael C. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: análise do panorama mundial e brasileiro**. 2012. 170 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Este trabalho tem como principal objetivo analisar o panorama mundial dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) e os motivos que levaram o Brasil a ter uma pequena participação em energia fotovoltaica. E dessa forma apresenta um levantamento das diversas tecnologias existentes de módulos fotovoltaicos que estão disponíveis no mercado, buscando as diferenças entre as diversas tecnologias, qual apresenta melhor aceitação no mercado e as tendências mercadológicas. Foi realizada uma breve distinção dos tipos de sistemas fotovoltaicos existentes, bem como suas vantagens e desvantagens. O trabalho, também, contempla e salienta as diferenças e peculiaridades da exploração da energia solar fotovoltaica, por períodos, em diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento, enfatizando a maneira que foi utilizada para essa exploração, pela política adotada por cada país e os incentivos ou não adotados por eles. Dessa forma foi possível analisar o cenário brasileiro, comparando as políticas adotadas nos países estudados e o que foi e o que está sendo feito para a disseminação dessa tecnologia no Brasil. Na última etapa do trabalho foi realizado um estudo de implantação de módulos fotovoltaicos na cobertura da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), demonstrando o dimensionamento de um sistema fotovoltaico e também as análises financeiras do investimento.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica. Energia solar. Energia solar fotovoltaica. Panorama Mundial. Panorama Alemanha. Panorama Espanha. Panorama Índia. Panorama Brasil.

## ABSTRACT

GUIMARAES, Rafael A.; GONÇALVES, Rafael C. **Photovoltaic systems connected to the grid brazilian and global outlook analysis**. 2012. 170 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

The main objective of this work is to analyze the world scenario of Grid-connected Photovoltaic Power System and the reasons behind the small contribution from Brazil in photovoltaics. It presents a survey of several existing technologies of photovoltaic modules that are available in the market, presenting differences among the various technologies, which has a better market acceptance and market trends. We performed a brief existing photovoltaic system types as well as their advantages and disadvantages. This work also includes and emphasizes the differences and peculiarities of the exploitation of solar photovoltaic energy in uttering periods in many developed and developing countries, emphasizing the way it was utilized, the policy adopted by each country and the incentives or not adopted by them. Thus it was possible to analyze the Brazilian scenario, comparing the policies of the countries studied and what was and what is being done to spread this technology in Brazil. In the final stage of work there is a study of deployment of photovoltaic modules on the roof of the Federal Technological University of Paraná, showing the sizing of a photovoltaic system and also the financial analysis of investment.

**Keywords:** Photovoltaics. Solar energy. Photovoltaic solar energy. World Scenario. Outlook Germany. Outlook Spain. Outlook India. Outlook Brazil.

## LISTA DE SIGLAS

A3P: Agenda Ambiental na Administração Pública.

ABENS: Associação Brasileira de Energia Solar.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRADEE: Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica.

ABRAVA: Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento.

ACL: Ambiente de Contratação Livre.

ACR: Ambiente de Contratação Regulada.

ANAMMA: Associação Nacional de Órgãos Municipais de Apoio ao Meio Ambiente.

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

APs: Auto Produtores.

a-Si: Silício Amorfo Hidrogenado.

BIG: Banco de Informações de Geração.

BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

*BOS: Balance Of System.*

CA: Corrente Alternada.

CBEE: Centro Brasileiro de Energia Eólica.

CC: Corrente Contínua.

CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

CENBIO: Centro de Referência em Biomassa.

CEPEL: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica.

CERPCH: Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas.

CGH: Central Geradora Hidrelétrica.

CGU: Central Geradora Undi-Elétrica.

CIGS: Disseleneto de Cobre, Gálio e Índio.

CIS: Disseleneto de Cobre e Índio.

CMSE: Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico.

CNPE: Conselho Nacional de Políticas Energéticas.

COPEL: Companhia Paranaense de Energia.

DNDE: Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético.

*EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz.*

ELETOBRAS: Centrais Elétricas Brasileiras.

ELETRONUCLEAR: Eletrobrás Termonuclear S.A.

EOL: Central Geradora Eolielétrica.

*EPC: Engineering, Procurement and Construction.*

EPE: Empresa de Pesquisa Energética.

FAE: Fontes Alternativas de Energia.

FDP: Total Fora De Ponta.

FRE: Fonte Renovável de Energia.

FV: Fotovoltaico.

GD: Gerador Distribuído.

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo.

GTES: Grupo de Trabalho de Energia Solar.

IDEAL: Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia.

INPE: Instituto de Pesquisa Espaciais.

*ISES: International Solar Energy Society.*

Labsolar: Laboratório de Energia Solar.

MAE: Mercado Atacadista de Energia Elétrica.

MMA: Ministério do Meio Ambiente.

MME: Ministério de Minas e Energia.

m-Si: Silício Monocristalino.

*NOCT: Nominal Operating Cell Temperature.*

OCDE: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

OIE: Oferta Interna de Energia.

OIEE: Oferta Interna de Energia Elétrica.

ONS: Operador Nacional do Sistema.

P&D: Pesquisa e Desenvolvimento.

PCH: Pequena Central Hidrelétrica.

PETROBRAS: Petróleo do Brasil.

PIE: Produtor Independente de Energia.

PL: Projeto de Lei.

PLD: Preço de Liquidação de Diferenças.

PMP: Ponto de Máxima Potência..

PNE: Plano Nacional de Energia.

PRODEEM: Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios.

PROINFA: Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica.

p-Si: Silício Policristalino.

PUC-MG: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
PUC-RS: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.  
REIDI: Regime Especial de Incentivos para Desenvolvimento da Infra-Estrutura.  
RGR: Reserva Global de Reversão.  
RN: Rio Grande do Norte. ,  
*RPS: Renewable Portfolio Standards.*  
SFCR: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.  
SFI: Sistema Fotovoltaico Isolado.  
SIN: Sistema Interligado Nacional.  
*TERI: The Energy and Resources Institute.*  
TMR: Tarifa Média de Referência.  
*TS: Tendering System.*  
UE: União Europeia.  
UEPE: Universidade Federal de Pernambuco.  
UFCE: Universidade Federal do Ceará.  
UFPA: Universidade Federal do Pará.  
UFPE: Universidade Federal de Pernambuco.  
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina.  
UFV: Usina Fotovoltaica.  
UHE: Usina Hidrelétrica de Energia.  
ULBRA: Universidade Luterana do Brasil.  
UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas.  
UNIFACS: Universidade Salvador.  
UNISINOS: Universidade do Vale dos Sinos.  
USP: Universidade de São Paulo.  
UTE: Usina Termelétrica de Energia.  
UTFPR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
UTN: Usina Termonuclear.



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Área das células do módulo.....	36
Equação 2 - Eficiência de conversão fotovoltaica. ....	38
Equação 3 - Cálculo da distância mínima entre fileiras dos módulos.....	112
Equação 4 - Cálculo da altura de inclinação do módulo. ....	113
Equação 5 - Potência do sistema instalado na UTFPR. ....	115
Equação 6 - Determinação do número de módulos por arranjo. ....	118
Equação 7 - Cálculo da tensão de circuito aberto de um conjunto de módulos. ....	118
Equação 8 - Potência por conjunto de módulos.....	118
Equação 9 - Cálculo do número de arranjos por inversor. ....	119
Equação 10 - Cálculo da potência total de um arranjo.....	119
Equação 11 - Cálculo da corrente de curto circuito do arranjo. ....	120
Equação 12 - Cálculo do número de inversores do sistema. ....	120
Equação 13 - Cálculo da energia gerada em kWh. ....	125
Equação 14 - Cálculo da energia gerado ao longo dos meses. ....	126
Equação 15 - Energia total gerada pela instalação da UTFPR. ....	127
Equação 16 - Custo de aquisição do sistema UTFPR. ....	129
Equação 17 - Valor da dívida em um dado mês. ....	133
Equação 18 - Valor da dívida em cada mês usando <i>payback</i> descontado.....	134

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Translação da Terra e estações do ano. ....	35
Figura 2 - Símbolo de módulo fotovoltaico.....	36
Figura 3 - Mapa do Atlas Solarimétrico do Brasil em $MJ/(m^2por\ dia)$ . ....	39
Figura 4 - Mapa do Atlas de Irradiação Solar do Brasil.....	40
Figura 5 - Componentes da radiação solar. ....	41
Figura 6 - Piranômetro de termopilha. ....	42
Figura 7 - Pireliômetro. ....	42
Figura 8 - Heliômetro. ....	43
Figura 9 - Modularidade dos Sistemas Fotovoltaicos: Célula, Módulo e Painel.....	44
Figura 10 - Corte de uma célula fotovoltaica. ....	45
Figura 11 - Módulo CIGS.....	48
Figura 12 - Arranjo de telureto de cádmio. ....	49
Figura 13 - Filmes finos de a-Si.....	50
Figura 14 - Módulo solar m-Si. ....	51
Figura 15 - Módulo solar p-Si.....	51
Figura 16 - Módulos coloridos.....	52
Figura 17 - Inversor Autônomo. ....	53
Figura 18 - Configurações básicas de um SFCR. ....	54
Figura 19 - Sistema isolado puro. ....	57
Figura 20 - Controlador de carga. ....	57
Figura 21 - Carregador de bateria com células fotovoltaicas. ....	58
Figura 22 - Sistema conectado à rede puro.....	59
Figura 23 - Usina solar de 1 MWp em Tauá – Ceará.....	59
Figura 24 - Sistema isolado híbrido. ....	60
Figura 25 - Mapa da irradiação solar da Alemanha. ....	72
Figura 26 - Mapa da irradiação solar na Espanha. ....	80
Figura 27 - Mapa da irradiação solar na Índia. ....	86
Figura 28 - Mapa da irradiação solar no Brasil. ....	89
Figura 29 - Disposição dos blocos na UTFPR.....	101
Figura 30 - Vista panorâmica da UTFPR. ....	102
Figura 31 - Áreas selecionadas da UTFPR.....	103
Figura 32 - Escritório Verde - UTFPR.....	104

Figura 33 - Detalhes mecânicos do módulo KD210GX-LP.....	104
Figura 34 - Disposição dos pontos de irradiação na região de Curitiba.....	106
Figura 35 - Programa RADIASOL. ....	107
Figura 36 - Estação virtual UTFPR - CURITIBA. ....	108
Figura 37 - Radiação solar anual visualizada através do RADIASOL, em um plano sem inclinação.....	108
Figura 38 – Variação da radiação solar de um sistema isolado ao longo do ano. ....	109
Figura 39 - Resultados obtidos pelo RADIASOL. ....	111
Figura 40 - Resultados obtidos pelo RADIASOL para 16° de inclinação. ....	112
Figura 41 - Linhas de módulos fotovoltaicos. ....	113
Figura 42 - Disposição dos painéis nos blocos selecionados da UTFPR.....	114
Figura 43 - Disposição final dos módulos destacando cada arranjo na UTFPR. ....	125

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Oferta interna de energia (OIE) em 2010. ....	29
Tabela 2 - Oferta interna de energia elétrica (OIEE) em 2010.....	31
Tabela 3 - Capacidade instalada de geração elétrica segundo diferentes configurações em 2010 (MW) .....	32
Tabela 4 - Empreendimentos em operação, construção e outorgados. ....	33
Tabela 5 - Eficiência das principais tecnologias utilizadas em módulos fotovoltaicos. ....	47
Tabela 6 - Regressão anual da tarifa prêmio na Alemanha. ....	76
Tabela 7 - Relação das tarifas prêmio em euros na Alemanha de acordo com a revisão da <i>EEG</i> 2008. ....	77
Tabela 8 - Revisão da tarifa prêmio alemã em euros para 2012.....	79
Tabela 9 - Tarifa prêmio em euros da energia solar na Espanha. ....	81
Tabela 10 - Tarifa prêmio na Espanha estabelecido pelo Real Decreto de 2007. ....	83
Tabela 11 - Multa e bonificação para fatores de potência.....	84
Tabela 12 - Fases do programa <i>Jawaharlal Nehru National Solar Mission</i> . ....	87
Tabela 13 - Sistemas conectados à rede no final da década de 90.....	93
Tabela 14 - Sistemas instalados pelo PRODEEM. ....	93
Tabela 15 - Sistemas conectados à rede em operação no Brasil.....	97
Tabela 16 - Pontos de estudos de irradiação.....	105
Tabela 17 - Irradiação diária média retirada do banco de dados do projeto SWERA. ....	106
Tabela 18 - Parâmetros retirados da folha de dados do módulo.....	116
Tabela 19 - Parâmetros da folha de dados do inversor. ....	117
Tabela 20 - Parâmetros retirados da folha de dados do inversor. ....	121
Tabela 21 - Distribuição dos inversores por blocos da UTFPR. ....	124
Tabela 22 - Energia média gerada em cada módulo no dia.....	126
Tabela 23 - Energia gerada por cada módulo por Mês e total anual.....	127
Tabela 24 - Energia total gerada na instalação da UTFPR por mês e total anual.....	128
Tabela 25 - Cálculo de energia gerada por bloco e ocupação do telhado por ano.....	128
Tabela 26 - Consumo energético da UTFPR durante um ano. ....	130
Tabela 27 - Diferença entre energia consumida da UTFPR pela energia gerada no sistema fotovoltaico.....	130
Tabela 28 - Cenário <i>Net Metering</i> na UTFPR. ....	132

Tabela 29 - Tempo necessário para o pagamento do sistema fotovoltaico com o cenário <i>payback simples</i> e <i>net metering</i> . .....	133
Tabela 30 - Rolagem do saldo devedor para o sistema fotovoltaico com o cenário <i>payback descontado</i> e <i>net metering</i> . .....	134
Tabela 31 - Tempo necessário para o pagamento do sistema fotovoltaico com cenário <i>payback simples</i> e tarifa prêmio. ....	135
Tabela 32 - Tempo necessário para o pagamento do sistema fotovoltaico com cenário <i>payback descontado</i> e tarifa prêmio.....	136

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Oferta interna de energia em 2010. ....	30
Gráfico 2 - Oferta interna de energia elétrica (OIEE). ....	31
Gráfico 3 - Produção de células fotovoltaicas por região. ....	45
Gráfico 4 - Evolução do custo de módulos fotovoltaicos no mercado internacional. ....	46
Gráfico 5 - Distribuição das tecnologias utilizadas para módulos fotovoltaicos. ....	47
Gráfico 6 - Investimento global em energia renovável dado em bilhões de dólares. ....	65
Gráfico 7 - Energia solar fotovoltaica, capacidade existente no mundo, 1995-2010. ....	66
Gráfico 8 - Os maiores dez países que produzem energia fotovoltaica. ....	67
Gráfico 9 - Processo de evolução da energia fotovoltaica na matriz energética alemã. ....	78
Gráfico 10 - Crescimento da potência solar fotovoltaica instalada na Espanha. ....	84
Gráfico 11 - Matriz energética indiana. ....	85
Gráfico 12 - Crescimento do SFCR no Brasil. ....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos instrumentos de políticas.....	61
Quadro 2 - Políticas de incentivos para energias renováveis em países desenvolvidos.....	69
Quadro 3 - Políticas de incentivos: energias renováveis em países em desenvolvimento.....	71
Quadro 4 - Usinas fotovoltaicas cadastradas junto à ANEEL.....	90

## LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 - Sistema fotovoltaico.....	54
--	----



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	24
1.1. TEMA .....	24
1.1.1. Delimitação do Tema.....	25
1.2. PROBLEMA E PREMISSAS.....	25
1.3. OBJETIVOS .....	25
1.3.1. Objetivo Geral.....	25
1.3.2. Objetivos Específicos .....	26
1.4. JUSTIFICATIVA.....	26
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	27
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	27
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	29
2.1. A MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL .....	29
2.2. OS AGENTES RESPONSÁVEIS PELA REGULAÇÃO DO SIN E FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA (FRE).....	34
2.3. ENERGIA SOLAR .....	34
2.4. RADIAÇÃO SOLAR.....	35
2.5. SOLARIMETRIA .....	38
2.6. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO .....	40
2.6.1. Piranômetro .....	41
2.6.2. Pireliômetro.....	42
2.6.3. Heliômetro .....	43
2.7. MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO.....	43
2.7.1. Disseleneto de Cobre e Índio .....	48
2.7.2. Telureto de Cádmio .....	48
2.7.3. Silício Amorfo Hidrogenado.....	49
2.7.4. Silício Cristalino.....	50
2.7.5. Outras Tecnologias .....	52
2.8. CONVERSOR CC-CA.....	52
2.9. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	54
2.9.1. Isolado.....	56
2.9.1.1. Aplicação em Bens de Consumo.....	57
2.9.2. Conectados à Rede .....	58
2.9.2.1. Usinas Solares .....	59
2.9.3. Híbridos .....	59
2.10. PROGRAMAS DE INCENTIVO .....	60

2.10.1.Sistema de Preço ( <i>Feed-in Law</i> ou <i>Feed-in Tariffs</i> ) .....	62
2.10.2. <i>Net Metering</i> .....	62
2.10.3.Sistema de Quotas .....	62
2.10.3.1. <i>Renewable Portfolio Standards (RPS)</i> .....	63
2.10.3.2. <i>Tendering System (TS)</i> .....	64
2.11. PANORAMA MUNDIAL.....	64
2.11.1.Panorama Alemanha.....	71
2.11.1.1. Período entre 1974-1988.....	73
2.11.1.2. Período entre 1990-1998.....	74
2.11.1.3. Período entre 1999-2003.....	75
2.11.1.4. Período entre 2004-2008.....	76
2.11.1.5. Período entre 2009-2012.....	78
2.11.2.Panorama Espanha.....	79
2.11.2.1. Período entre 1998-2001 .....	81
2.11.2.2. Período entre 2004-2006.....	81
2.11.2.3. Período entre 2007-2012.....	82
2.11.3.Panorama Índia.....	85
2.11.3.1. Período entre 2008-2012.....	87
2.11.4.Panorama Brasil .....	88
2.11.4.1. Período entre 1970-1990.....	90
2.11.4.2. Período entre 1990-2000.....	91
2.11.4.3. Período entre 2000-2012.....	93
<b>3. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO SFCR NA UTFPR</b> .....	101
3.1. ÁREA DISPONÍVEL NA UTFPR .....	101
3.2. DETERMINAÇÃO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO .....	103
3.3. REFERÊNCIA DE PONTOS DE IRRADIAÇÃO.....	105
3.4. POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	106
3.4.1. Criando uma Estação Virtual .....	107
3.4.2. Cálculo da Inclinação dos Módulos Fotovoltaicos.....	110
3.4.3. Distância Mínima entre Fileiras e Disposição dos Módulos Fotovoltaicos.....	112
3.4.4. Determinação do Inversor de Frequência .....	115
3.4.5. Determinação do Esquema de Conexão Elétrica dos Módulos Fotovoltaico .....	116
3.4.6. Energia Gerada.....	125
3.4.7. Avaliação Econômica .....	129
<b>4. ANÁLISE DO CONTEXTO</b> .....	132
4.1. CENÁRIO ATUAL NO BRASIL.....	132

4.2. CENÁRIO COM TARIFA PRÊMIO.....	135
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>137</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>148</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>155</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>158</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXO E .....</b>	<b>166</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. TEMA

Nas últimas décadas o mundo vem observando um crescimento muito acentuado no consumo de energia e muitas unidades geradoras foram construídas. O crescimento observado no decorrer dos últimos anos foi responsável por grande parte da poluição atmosférica mundial. Com isso foi necessário buscar novas fontes de energia menos poluentes ou diferentes das mais utilizadas (termelétricas, nucleares e hidrelétricas) (MATTOS *et al.*, 2009).

Na situação preocupante descrita no parágrafo anterior, foi iniciada a busca por tipos de energia ecologicamente corretas, como por exemplo, fontes eólicas, solar, geotérmica, maremotriz, entre outras. Dentre tais tecnologias, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais elegantes formas de gerar potência elétrica (RÜTHER, 2004).

As primeiras células fotovoltaicas foram utilizadas na indústria aeroespacial (nos primeiros satélites artificiais), pois era necessária uma fonte de energia para alimentar esses satélites. Essa tecnologia era muito cara e pouco utilizada, contudo ela evoluiu até tal ponto que se tornou economicamente viável em aplicações terrestres (RÜTHER, 2004).

A energia fotovoltaica pode ser aplicada de várias maneiras, as que se destacam são: *stand alone* (isoladas da rede) e *on grid* (conectadas à rede) (RÜTHER, 2004). A primeira é utilizada em locais onde a rede elétrica ainda não está presente, e a segunda deve ser aplicada, junto à rede elétrica. Um ponto importante do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) segundo Urbanetz (2010), é que este visa contribuir para a economia de energia diminuindo as perdas de transmissão (que ocorre desde a unidade geradora até os centros de consumo, que estão distantes daquela), pois apresenta um foco diferente: é baseado na geração distribuída de energia, ou seja, o próprio consumidor gera toda ou parte da energia que ele consome. Esse sistema é vantajoso desde as diferenças inerentes ao processo de transformação de energia luminosa em energia elétrica – que é silenciosa e limpa – até as diversas possibilidades de instalação dos módulos que podem ser utilizado sobre as coberturas urbanas (telhados, fachadas, entre outros).

### 1.1.1. Delimitação do Tema

Esse trabalho mostra algumas diferenças nas políticas de incentivos oferecidos pelo Brasil e por outros países, bem como as prováveis diferenças na legislação (que contribui ou não) para a disseminação do sistema fotovoltaico conectado à rede, e também contemplará um exemplo de viabilidade desse sistema aplicado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

## 1.2. PROBLEMA E PREMISSAS

Partindo da premissa que o Brasil está em busca de outras fontes de energia e acreditando-se na implantação de fontes renováveis na matriz energética nacional, há grande chance do Brasil se deparar com alguns problemas (CÔRTEZ *et al.*, 2010).

O desdobramento dessa implantação acarretará no uso de módulos fotovoltaicos, e dessa forma implicará em elevados gastos na aquisição de equipamentos como módulos fotovoltaicos, inversores, conectores, etc., uma vez que a maioria destes componentes não é fabricado no Brasil.

Outra dificuldade é que a legislação do país está começando a se adequar às novas tendências do mercado de comercialização de energia, sendo que ainda não prevê a venda de energia elétrica de consumidores para a concessionária e sim apenas a troca de energia entre eles. Apesar dessas mudanças na legislação brasileira as medidas que estão sendo tomadas ainda não estão em vigor. Essas atitudes estão se encaminhando às políticas adotadas por outros países, como por exemplo, a Alemanha que investe na energia renovável desde 1988, e que dois anos mais tarde já possuía uma legislação específica para uso de fontes renováveis na geração de energia limpa conectada à rede elétrica (SALAMONI, 2009). Dessa forma o principal problema a ser levantado são as barreiras existentes que dificultam a utilização de energia fotovoltaica no Brasil e como os outros países conseguiram transpor essas barreiras.

## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1. Objetivo Geral

Analisar o panorama mundial dos SFCR, bem como os motivos que levaram o Brasil a ter uma pequena participação de energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica na matriz energética comparada à Alemanha e outros países.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- levantar as tecnologias dos principais módulos fotovoltaicos para SFCR que estão disponíveis no mercado mundial;
- levantar o panorama de sistemas fotovoltaicos no Brasil;
- levantar as vantagens e desvantagens do sistema conectado à rede elétrica comparada ao sistema isolado;
- avaliar a posição do Brasil em aproveitamento da energia fotovoltaica em relação à Alemanha e outros países;
- abordar os aspectos de políticas de incentivos na utilização de energia fotovoltaica no Brasil, na Alemanha e em outros países;
- estudar a viabilidade técnica e econômica do uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba;
- levantar a legislação vigente por parte da ANEEL e da concessionária (COPEL) sobre o SFCR.

### 1.4. JUSTIFICATIVA

O crescimento dos países normalmente está fundamentado na oferta de energia elétrica, pois é ela que viabiliza o crescimento industrial (MATTOS; PINTO; PACHECO, 2009). Atualmente existe uma preocupação ambiental diferente dos últimos anos, quando não haviam leis específicas para o controle de poluição ambiental como emissões de gases poluentes, dejetos radioativos, a devastação da fauna e flora causadas pelos reservatórios hídricos das usinas hidrelétricas, entre outros. Desse modo, ao longo dos anos, percebe-se uma maior busca por energias alternativas, tentando diminuir o uso de combustíveis fósseis ou fontes de energia não renováveis.

Os obstáculos impostos pela legislação de alguns países e a busca por novas fontes de energia fizeram com que houvesse um crescimento nos investimentos em energia limpa, como a energia solar fotovoltaica conectada à rede. No Brasil, os investimentos são muito inferiores quando comparados a outros países, por exemplo, a Alemanha que possui um índice de radiação solar menor que o do Brasil. Levando em consideração outros países com situação econômica similar a do Brasil, tem-se a Índia que possui linhas de investimentos

governamentais que incentivam a utilização de SFCR (MINISTRY OF NEW AND RENEWABLE ENERGY - GOVERNMENT OF INDIA, 2010).

Com a utilização desse sistema será possível descentralizar a geração de energia elétrica nacional (que hoje em dia está centralizada em grandes unidades hidrelétricas) possibilitando a existência de pequenas unidades geradoras (residências) que também são consumidoras, proporcionando menos perdas na transmissão de energia elétrica até o centro de carga, contribuindo para a matriz energética e para uma renda adicional (abatimento na fatura de energia) para as unidades que comercializarão a energia não consumida.

### 1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia será, na maioria dos casos, embasada em artigos técnicos e científicos, documentos governamentais, normas de agências e concessionárias do setor elétrico, trabalhos de conclusão de curso (dissertações e teses), e minoritariamente em livros, devido a frequentes mudanças na legislação e nas tecnologias envolvidas.

A partir da obtenção dos dados eletivos ao trabalho proposto e analisando-os sob a ótica dos objetivos, será realizado um comparativo entre o Brasil e alguns países. Pretende-se visitar instalações, onde já existam SFCR instalados e em funcionamento e também acompanhar futuras instalações na UTFPR.

Por fim, pretende-se apresentar conclusões sobre os SFCR e sugestões de políticas públicas que incentivem o uso desta forma de geração no Brasil, levando em consideração pontos salientes da legislação de outros países que obtiveram sucesso com a utilização desse sistema.

### 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução ao tema e proposta do trabalho. É feita a introdução ao tema, onde são apresentados os objetivos e as motivações que levaram à realização desse trabalho.
- Capítulo 2 – Revisão bibliográfica e Panorama do sistema elétrico fotovoltaico. Esse capítulo apresenta os dados atuais sobre a matriz energética brasileira. Destaca a importância da energia solar fotovoltaica, suas principais

peculiaridades e também nesse capítulo é realizado um levantamento de dados atuais de alguns países pioneiros na geração de energia fotovoltaica, levando em consideração suas legislações, programas de incentivos e a capacidade de geração por região, devido à variação de incidência de radiação solar.

- Capítulo 3 – Estudo de viabilidade técnico e econômica da utilização do SFCR na UTFPR. É abordada a viabilidade de instalação de painéis fotovoltaicos na UTFPR, campus Curitiba.
- Capítulo 4 – Análise do contexto. São criados cenários utilizando os dados obtidos a partir do projeto da UTFPR para análise de retorno financeiro.
- Capítulo 5 – Conclusão. São apresentadas as conclusões e discussões do trabalho.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL

O Brasil, por ter extensões continentais, apresenta possibilidades e possui uma matriz energética diversificada usando fonte renováveis e não renováveis.

A preocupação de crescimento da matriz energética nacional pelo Governo Federal é observada no aumento da oferta interna de energia (OIE), que apresentou um crescimento de 9,6% em 2010 comparado ao ano de 2009. A Tabela 1 mostra a comparação entre a OIE de 2010 e 2009. Segundo o Ministério de Minas e Energia, 2011:

“(…) se observa um pequeno decréscimo na participação das fontes renováveis de energia, como resultado de baixo crescimento da geração hidráulica, da demanda de lenha e da produção de etanol. A lenha, apesar de boa recuperação na indústria metalúrgica e em outros setores, teve retração no uso residencial em razão do crescimento de mais de 3% no consumo de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo).”

As fontes renováveis obtiveram decréscimo na matriz, passando no ano de 2009 de 47,3% para 45,3% em 2010. Isso se deve ao crescimento de energia não renovável, gás natural, que obteve no mesmo período 30% de crescimento. Esse crescimento foi impulsionado pelo aumento do uso do gás natural na geração elétrica e nas indústrias (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

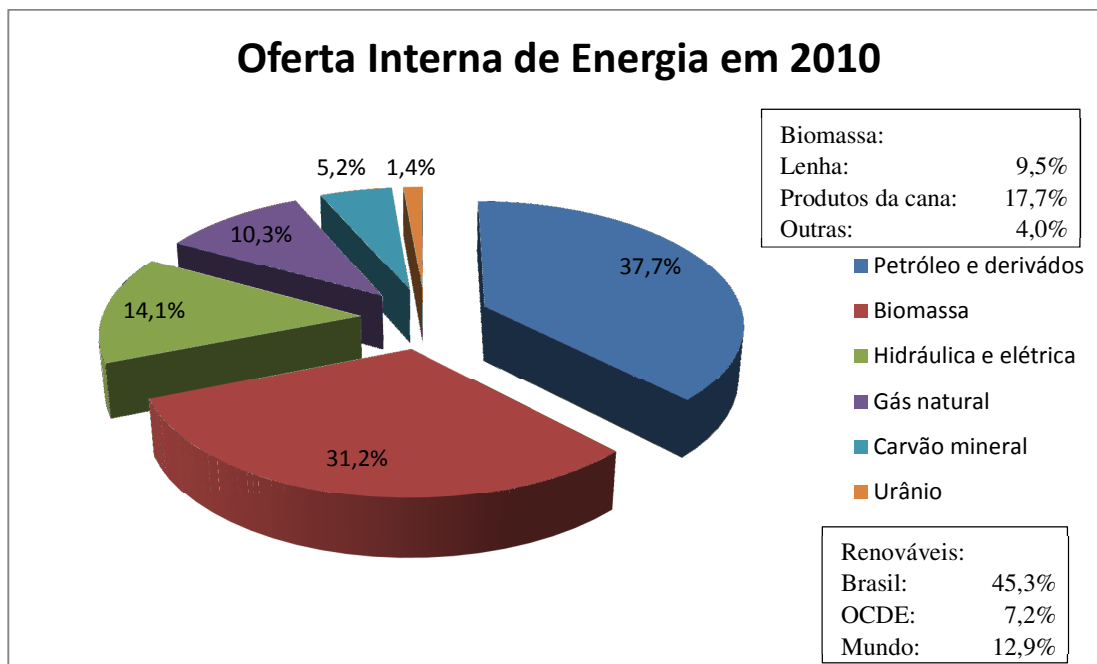
**Tabela 1 - Oferta interna de energia (OIE) em 2010.**

Especificação	mil tep <sup>1</sup>		$\Delta\%$	Estrutura [%]	
	2009	2010		2009	2010
<b>NÃO RENOVÁVEL</b>	<b>128.572</b>	<b>146.169</b>	<b>13,7</b>	<b>52,7</b>	<b>54,7</b>
Petróleo e derivados	92.422	100.864	9,1	37,9	37,7
Gás natural	21.145	27.564	30,4	8,7	10,3
Carvão mineral e derivados	11.572	13.899	20,1	4,7	5,2
Urânio (U308) e derivados	3.434	3.842	11,9	1,4	1,4
<b>RENOVÁVEL</b>	<b>115.357</b>	<b>121.235</b>	<b>5,1</b>	<b>47,3</b>	<b>45,3</b>
Hidráulica e eletricidade	37.064	37.790	2,0	15,2	14,1
Lenha e carvão vegetal	24.610	25.428	3,3	10,1	9,5
Derivados e cana-de-açúcar	44.447	47.446	6,7	18,2	17,7
Outras renováveis	9.237	10.570	14,4	3,8	4,0
<b>Total</b>	<b>243.930</b>	<b>267.404</b>	<b>9,6</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

**Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011.**

<sup>1</sup> tep – toneladas equivalentes de petróleo.

A estrutura da OIE do Brasil de 2010 esta representada no Gráfico 1, comparando, também, as fontes renováveis no Brasil com a OCDE<sup>2</sup> (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e o mundo.



**Gráfico 1 - Oferta interna de energia em 2010.**

**Fonte: Adaptado de (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).**

Considerando que a OIE engloba todas as fontes energéticas no Brasil, há outro indicador importante, oferta interna de energia elétrica (OIEE). Em 2009 o OIEE apresentava 506,1 TWh e em 2010 apresentou um aumento de 7,7% atingindo 544,9 TWh. Os crescimentos mais expressivos foram: o gás natural (131%); a geração eólica (76%) e o carvão mineral (36%) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011). A Tabela 2 e o

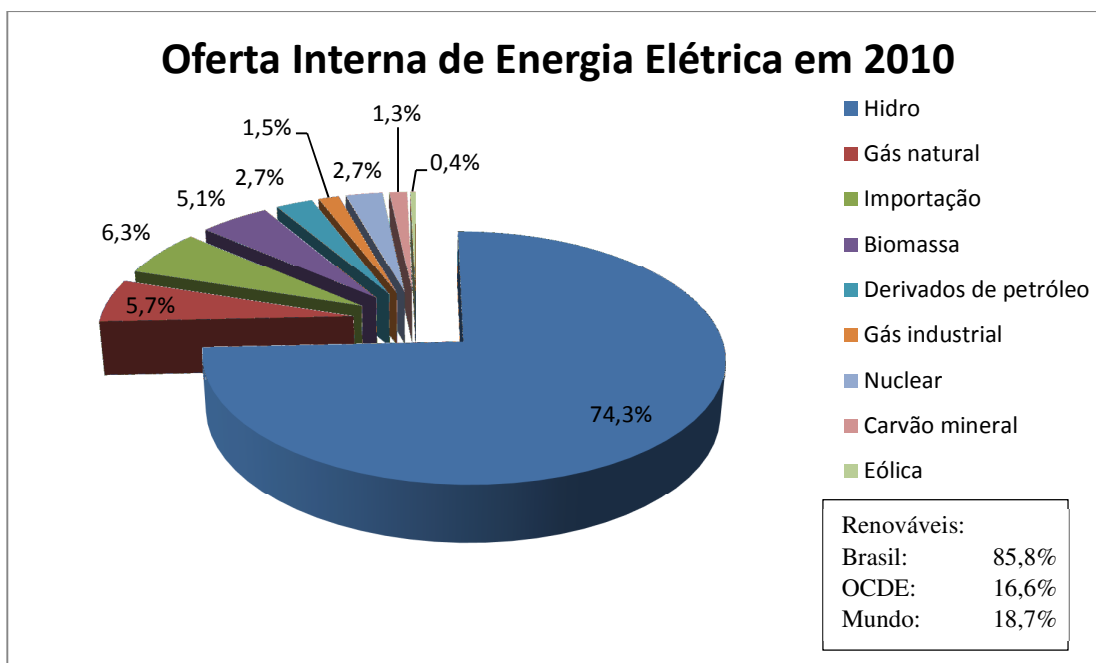
Gráfico 2 mostram a OIEE de acordo com cada fonte energética.

<sup>2</sup> Países membros: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, República Eslovaca, Suécia, Suíça, Turquia.

**Tabela 2 - Oferta interna de energia elétrica (OIEE) em 2010.**

Especificação	GWh			Estrutura [%]	
	2009	2010	$\Delta\%$	2009	2010
Hidro	390.988	405.055	3,6	77,2	74,3
Nuclear	12.957	14.523	12,1	2,6	2,7
Gás natural	13.332	30.830	131,2	2,6	5,7
Carvão mineral	5.214	7.098	36,01	1,0	1,3
Derivados de petróleo	12.724	14.645	15,1	2,5	2,7
Biomassa	22.639	28.019	23,8	4,5	5,1
Gás industrial	7.066	8.165	15,5	1,4	1,5
Eólica	1.238	2.177	75,8	0,2	0,4
Importação	39.984	34.369	-14,0	7,9	6,3
<b>Total</b>	<b>506.141</b>	<b>544.880</b>	<b>7,7</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011.

**Gráfico 2 - Oferta interna de energia elétrica (OIEE).**

Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011.

Em relação ao potencial elétrico em 2010, a capacidade de geração elétrica instalada obteve um crescimento de 6.146 MW, alcançando uma capacidade instalada de 112,4 GW (5,7% sobre 2009). A capacidade instalada é formada por diferentes tipos de unidades geradoras. A Tabela 3 mostra a respectiva contribuição de cada tipo de geração elétrica no

sistema interligado nacional (SIN), sistemas isolados e o APE Cativo<sup>3</sup> (autoprodutores de energia elétrica).

**Tabela 3 - Capacidade instalada de geração elétrica segundo diferentes configurações em 2010 (MW)**

Fontes	SIN	Isolados	APE Cativo	Brasil
<b>Hidro</b>	79.125	445	1.067	80.637
UHE > 30 MW	75.468	328	528	76.324
PCH ≤ 30 MW	3.657	117	539	4.313
<b>Térmicas Convencionais</b>	16.013	2.070	1.639	19.722
Gás Natural	10.366	0	889	11.255
Carvão mineral	1.594	0	0	1.594
Óleo	4.053	2.070	750	6.873
<b>Urânio</b>	2.007	0	0	2.007
<b>Alternativas</b>	3.633	0	6.401	10.034
Biomassa	2.706	0	5.120	7.826
Bagaço	2.580	0	3.707	6.287
Outras	125	0	1.414	1.539
Eólicas	927	0	0	927
Gás industrial	0	0	1.281	1.281
Solar	0	0	0	0
<b>Total Nacional</b>	<b>100.778</b>	<b>2.515</b>	<b>9.107</b>	<b>112.400</b>
Importação	5.850	0	0	5.850
<b>Oferta nacional</b>	<b>106.628</b>	<b>2.515</b>	<b>9.107</b>	<b>118.250</b>

**Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011.**

Até maio de 2012, de acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG), da ANEEL, o Brasil possui no total de 2.620 empreendimentos em operação, totalizando 117,717 GW de potência instalada. Do total de usinas, 1.546 térmicas (UTE) abastecidas por fontes diversas (gás natural, biomassa, óleo diesel e óleo combustível), 428 pequenas centrais hidrelétricas (PCH), 379 centrais geradoras hidrelétricas (CGH), 182 são hidrelétricas (UHE), 75 centrais geradoras eólicas (EOL), 2 termonucleares (UTN) e 8 usinas fotovoltaicas

<sup>3</sup> Geração consumidora no local, sem uso de rede pública.

(UFV). Este segmento contou com mais de 1.100 agentes regulados entre concessionárias de serviço público de geração, comercializadores, autoprodutores e produtores independentes. O BIG relaciona, ainda, 167 empreendimentos em construção, o que permitirá a inserção de mais 48,22 GW à capacidade instalada no país nos próximos anos e mais 509 empreendimentos outorgados, como mostra a Tabela 4.

**Tabela 4 - Empreendimentos em operação, construção e outorgados.**

<b>Empreendimentos Outorgados e em Operação em 2011</b>				
Tipo	Quantidade	Potencia Outorgada [kW]	Potencia Fiscalizada [kW]	%
Central Geradora Hidrelétrica (CGH)	379	225.986	224.166	0,19
Central Geradora Eolielétrica (EOL)	75	1.615.338	1.519.042	1,29
Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	428	4.059.641	3.979.285	3,38
Usina Fotovoltaica (UFV)	8	5.494	1.494	0
Usina Hidrelétrica de Energia (UHE)	182	81.943.063	78.460.459	66,65
Usina Termoelétrica de Energia (UTE)	1.546	32.951.533	31.526.448	26,78
Usina Termonuclear (UTN)	2	2.007.000	2.007.000	1,70
<b>Total</b>	<b>2.620</b>	<b>122.791.055</b>	<b>117.717.894</b>	<b>100</b>
<b>Empreendimentos em Construção</b>				
Tipo	Quantidade	Potencia Outorgada [kW]		%
CGH	1	848		0
EOL	57	1.467.090		5,5
PCH	54	619.587		2,32
UHE	11	18.252.400		68,46
UTE	43	4.970.197		18,64
UTN	1	1.350.000		5,06
<b>Total</b>	<b>167</b>	<b>26.660.122</b>		<b>100</b>
<b>Empreendimentos Outorgados entre 1998 e 2010</b>				
Tipo	Quantidade	Potencia Outorgada [kW]		%
CGH	61	40.698		0,19
Central Geradora Undi-Elétrica (CGU)	1	50		0
EOL	200	5.698.190		26,43
PCH	133	1.844.090		8,55
UHE	11	2.179.042		10,11
UTE	151	11.798.573		54,72
<b>Total</b>	<b>557</b>	<b>21.560.643</b>		<b>100</b>

**Fonte: Adaptado de ANEEL, 2012.**

Portanto, as fontes geradoras (empreendimentos) são diversificadas, havendo ainda a liderança das usinas hidrelétricas (aproximadamente um terço do potencial gerado).

## 2.2. OS AGENTES RESPONSÁVEIS PELA REGULAÇÃO DO SIN E FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA (FRE)

Segundo Salamoni, 2009, existem uma grande quantidade de agentes e/ou entidades relacionadas diretas ou indiretamente as FRE no Brasil. O Anexo A (Lista de agentes envolvidas direta ou indiretamente na área das fontes renováveis de energia no Brasil) mostra o papel que cada uma desenvolve e a sua tendência no mercado para a disseminação, inclusão e regulação das fontes renováveis no SIN.

## 2.3. ENERGIA SOLAR

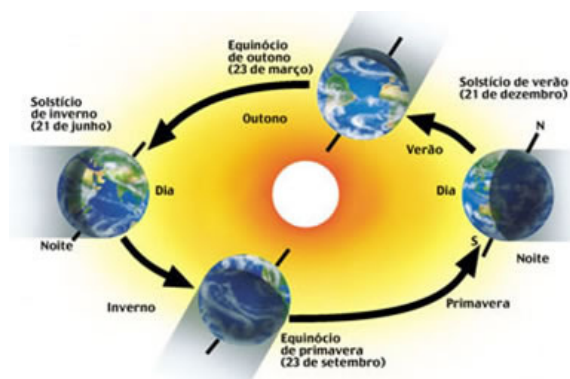
O Sol é responsável por praticamente todas as fontes de energia na Terra, ou seja, em última instância as fontes de energia da Terra são derivadas do Sol. Dessa forma o Sol, também, é responsável pelos ciclos das águas, pois a partir dele se inicia a evaporação e depois a precipitação e conseqüentemente os rios, o represamento da água (e geração de energia). O Sol, ainda, é responsável pelo aquecimento do ar que induz a circulação atmosférica, causando os ventos (e a geração eólica). A energia solar, também, é responsável pelos integrantes do reino vegetal, pois a existência da energia solar permitiu que as plantas realizassem a fotossíntese e a transpiração. Com o acúmulo dos restos das plantas e dos animais surgiram algumas fontes de energia, como: petróleo, carvão vegetal e gás natural (CRESESB, 2006).

A energia irradiada pelo Sol provém de enormes fusões nucleares que ocorrem todo tempo em seu interior. Essas fusões nucleares são alimentadas pela fusão de dois átomos de hidrogênio ( $H_2$ ) transformando-se em um átomo de hélio ( $He$ ) e liberando uma quantidade grande de energia. A energia solar que incide na Terra é 10.000 vezes maior que a demanda consumida na Terra VEIGA, 2005. Segundo o jornal O Estado de São Paulo, 2009:

“Se a área do lago de Itaipu fosse coberta com painéis solares, isso produziria mais do que o dobro da energia que é produzida pela via hidrelétrica”, afirma Rüter. No lugar dos atuais 25%, a usina produziria 50% da eletricidade consumida no Brasil.”

## 2.4. RADIAÇÃO SOLAR

A Terra descreve uma trajetória elíptica em torno do Sol, denominada translação. O plano do equador apresenta uma inclinação de  $23,5^\circ$  (em módulo) em relação ao plano de translação terrestre. A Figura 1 descreve o movimento de translação da Terra ao longo do ano, e consequentemente das estações.



**Figura 1 - Translação da Terra e estações do ano.**

**Fonte: FREITAS, 2011.**

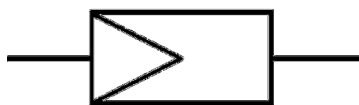
A terminologia empregada na literatura sobre energia solar apresenta muitas variações, sendo assim foi elaborada uma norma para padronizar os termos utilizados. A partir da publicação da norma ABNT NBR 10.899 – Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia, houve a definição dos principais termos técnicos relativos à conversão de energia solar em energia elétrica como: simbologia, unidades padronizadas brasileiras e grandezas solarimétricas. Serão em seguida citados, a partir da norma, os termos mais relevantes para esse trabalho, com suas respectivas definições.

- **albedo ( $G_{ALB}$ ):** índice relativo à fração da energia radiante solar, recebida em uma unidade de área, devido a refletância dos arredores e do Sol onde esta instalado um dispositivo;
- **ângulo de incidência ( $\theta$ ):** ângulo entre o raio incidente (direção do Sol) e a normal à superfície da célula ou módulo;
- **área ativa da célula solar ( $A_{CA}$ ):** superfície de uma célula solar que recebe radiação solar;
- **área total da célula solar ( $A_{CT}$ ):** superfície de uma célula solar limitada pelo seu perímetro;

- **área das células do módulo ( $A_{CM}$ ):** área total de uma célula individual multiplicada pelo número de células do módulo, representado pela Equação 1:

$$A_{CM} = n \cdot A_{CT} \quad (1)$$

- **área total do módulo ( $A_{MT}$ ):** superfície frontal do módulo, incluindo a moldura externa ou qualquer outra protuberância, como por exemplo, rebite. Também denominada como: face iluminada ou superfície iluminada;
- **módulo fotovoltaico:** unidade básica formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica, representada pela Figura 2, onde o triângulo indica o pólo positivo;



**Figura 2 - Símbolo de módulo fotovoltaico.**

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10.899, 2006.

- **painel fotovoltaico:** um ou mais módulos interligados eletricamente, montados de modo a formar uma única estrutura;
- **arranjo ou gerador fotovoltaico:** um ou mais painéis fotovoltaicos interligados eletricamente, de modo a prover uma única saída de corrente elétrica;
- **sistema fotovoltaico:** conjunto de elementos composto de arranjo(s) fotovoltaico(s), podendo incluir: dispositivos para controle, condicionamento, supervisão, proteção e armazenamento de energia elétrica; fiação; fundação e estrutura de suporte. O termo em inglês *BOS (Balance Of System)* se refere ao sistema fotovoltaico, não incluindo os módulos fotovoltaicos;
- **célula solar ou célula fotovoltaica:** dispositivo fotovoltaico elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia direta;
- **concentrador solar:** montagem que inclui componentes ópticos, como espelhos ou lentes, para concentrar a radiação solar sobre células solares;



- **módulo fotovoltaico concentrador:** dispositivo constituído por células solares integradas a um concentrador solar;
- **corrente de curto-circuito ( $I_{SC}$ ):** corrente de saída de um conversor fotovoltaico, na condição de curto-circuito e para valores preestabelecidos de temperatura e irradiância total, simbolizada por “ $I_{SC}$ ” (*Short Circuit Current*);
- **declinação solar:** ângulo de vértice no centro da Terra, formados pelas semiretas definidas pela direção do Sol e pelo plano do Equador, simbolizado por “ $\delta$ ”, com faixa de variação  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$  e, por convenção, positivo quando estiver no hemisfério norte;
- **inclinação de uma superfície ( $\beta$ ):** ângulo de menor declive entre a superfície e o plano horizontal;
- **radiação solar:** forma de transferência de energia advinda do Sol, através da propagação de ondas eletromagnéticas ou fótons;
- **irradiância solar ( $G$ ):** taxa na qual a radiação solar incide numa superfície, por unidade de área dessa superfície, normalmente medida em  $W/m^2$ ;
- **irradiância difusa ( $G_{DIF}$ ):** potência radiante do céu, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, excluída da irradiância direta;
- **irradiância direta ( $G_{DIR}$ ):** irradiância solar incidente em uma superfície, sem ter sido espalhada pela atmosfera, podendo ser normal ou horizontal;
- **irradiância global ( $G_{HOR}$ ):** potência radiante solar, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, sendo igual à irradiância direta mais a irradiância difusa;
- **irradiância total ( $G_{TOT}$ ):** potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebido em uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer;
- **irradiação solar ( $I$ ) ou ( $H$ ):** irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, medida em  $Wh/m^2$  ou  $J/m^2$ , sendo simbolizada por “ $I$ ”, quando integrada no tempo de uma hora, ou por “ $H$ ”, quando integrado no tempo de um dia;
- **irradiação difusa ( $I_{DIF}$ ) ou ( $H_{DIF}$ ):** irradiância difusa integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia;
- **irradiação direta ( $I_{DIR}$ ) ou ( $H_{DIR}$ ):** irradiância direta integrado durante um espaço de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia;

- **irradiação global ( $I_{HOR}$ ) ou ( $H_{HOR}$ ):** irradiância global integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia;
- **irradiação total ( $I_{TOT}$ ) ou ( $H_{TOT}$ ):** irradiância total integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia.
- **potência máxima ( $P_{MP}$ ):** potência em um ponto da curva característica de um conversor fotovoltaico, onde o produto pela corrente ( $I$ ) pela tensão ( $V$ ) é máximo, no quadrante de geração;
- **potência de pico ( $W_p$ ):** potência nominal de saída de um conversor fotovoltaico, sob as condições padrão de referência para ensaio;
- **eficiência de conversão fotovoltaica ( $\eta$ ):** razão entre a potência máxima fornecida e o produto da área do módulo, ou da célula, pela irradiância total, para valores preestabelecidos de temperatura, especificada na forma de porcentagem, simbolizada por “ $\eta$ ” e calculada pela Equação 2:

$$\eta(\%) = \frac{P_{MP}}{(A_{MT} \cdot ou \cdot A_{CT}) \cdot G_{TOT}} \cdot 100\% \quad (2)$$

- **temperatura nominal de operação da célula:** temperatura média de equilíbrio da célula solar encapsulada em um módulo, em um ambiente com irradiância de  $800 W/m^2$ , temperatura ambiente de  $20^\circ C$ , velocidade do vento de  $1 m/s$  e em circuito aberto, sendo usualmente designada pela sigla *NOCT* (*Nominal Operating Cell Temperature*);
- **tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ):** tensão gerada através de um conversor fotovoltaico sem carga (aberto), para valores preestabelecidos de temperatura e irradiância total.

## 2.5. SOLARIMETRIA

A viabilização de instalações de sistemas térmicos e/ou sistemas fotovoltaicos em uma determinada região deve ser acompanhada de estudos que medem a variação de intensidade da radiação solar ao longo do tempo para garantir o máximo aproveitamento desses sistemas. Esses estudos devem contemplar as componentes direta, difusa, total e global da radiação

solar e foram iniciados em território nacional através do grupo de trabalho de energia solar (GTES), em 1992 (GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR - GTES, 2004).

Para os estudos, o GTES teve apoio de três instituições: FAE/UEPE (Fontes Alternativas de Energia da Universidade Federal de Pernambuco), LABSOLAR/UFSC (Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina) e INPE (Instituto de Pesquisa Espaciais) (JORNAL AMBIENTE BRASIL, 1999).

Os principais trabalhos elaborados por esse grupo de pesquisa foram: o Atlas Solarimétrico do Brasil, publicado em 1997 e o Atlas de Irradiação do Brasil, publicado em 1998. O primeiro é representado por mapas mensais contendo isolinhas das medidas de radiação global, fundamentais na compilação de dados históricos disponíveis para todas as estações do ano. O segundo é a aplicação e adaptação para o Brasil de um modelo físico alemão, utilizando imagens de satélites, e é representado por mapas mensais com valores pontuais da radiação global (JORNAL AMBIENTE BRASIL, 1999). A Figura 3 e a Figura 4 apresentam exemplos de mapas contidos nos respectivos atlas.

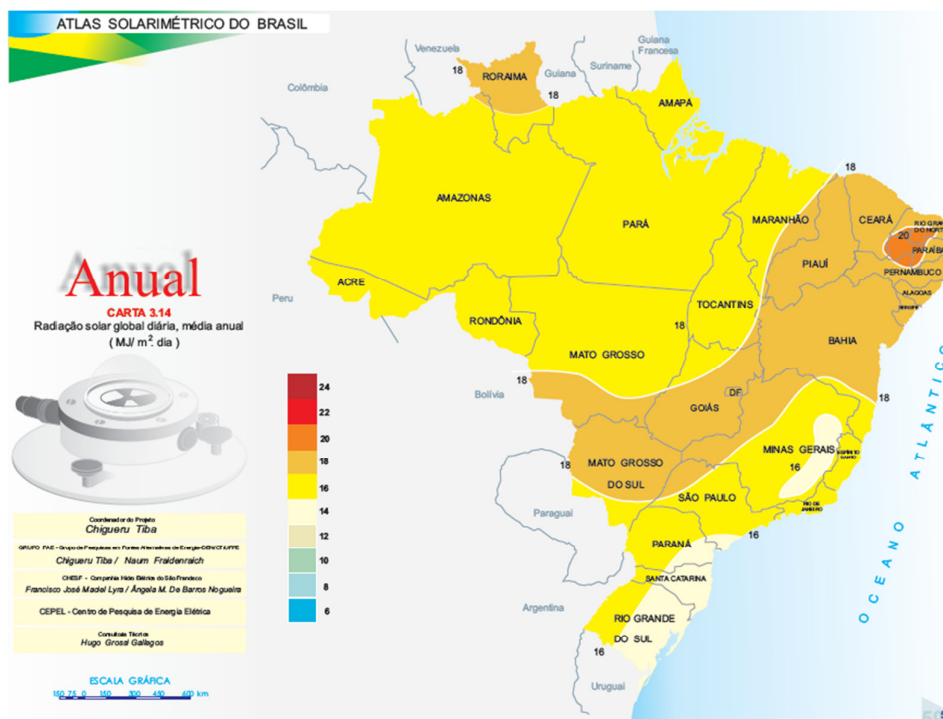
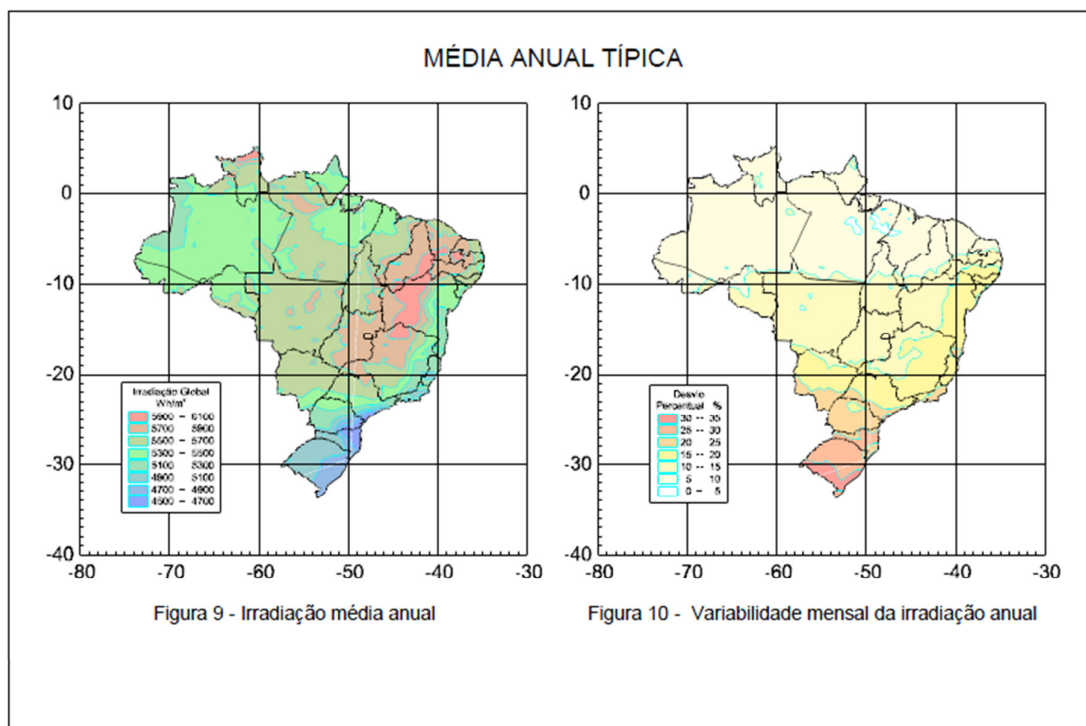


Figura 3 - Mapa do Atlas Solarimétrico do Brasil em  $MJ/(m^2 \text{ por dia})^4$ .

Fonte: TIBA, 2000

<sup>4</sup> Para converter  $MJ/(m^2 \text{ por dia})$  em  $kWh/(m^2 \text{ por dia})$  deve-se multiplicar por 0,2777778.



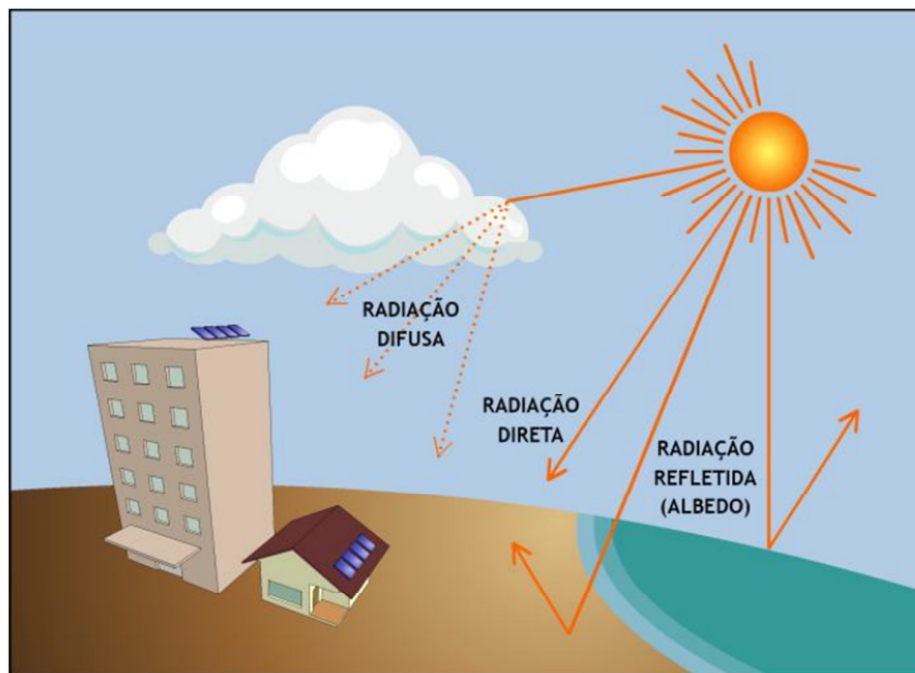
**Figura 4 - Mapa do Atlas de Irradiação Solar do Brasil.**

**Fonte: COLLE *et al.*, 1998.**

## 2.6. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Os estudos solarimétricos só são possíveis a partir de estações de medições (estações solarimétricas) e equipamentos específicos. Por meio da leitura dos equipamentos, os dados são tratados, qualificados, analisados e armazenados nessas estações, sob coordenação do LABSOLAR/INMET.

Os principais equipamentos utilizados para medições solarimétricas são: piranômetros (radiação solar global), pireliômetros (radiação solar direta) e o heliômetro (duração do brilho solar). A Figura 5 apresenta as principais componentes da radiação solar CRESESB, 2006.



**Figura 5 - Componentes da radiação solar.**

**Fonte: VIANA, 2010.**

### 2.6.1. Piranômetro

O piranômetro mede a radiação global, e seu princípio de funcionamento pode ser pelo uso de uma termopilha ou uma célula fotovoltaica.

A termopilha mede a diferença de temperatura entre duas superfícies (uma pintada de branco e outra de preto) iluminadas. As expansões sofridas pelas superfícies provocam diferença de potencial, que ao ser medida mostra o valor instantâneo da energia solar. Já o que contém uma célula fotovoltaica apresenta um processo de coleta de dados semelhante, com um custo menor, porém apresenta limitações quanto à sensibilidade da radiação solar incidente (CRESESB, 2006). A Figura 6 apresenta um piranômetro com duas termopilhas.

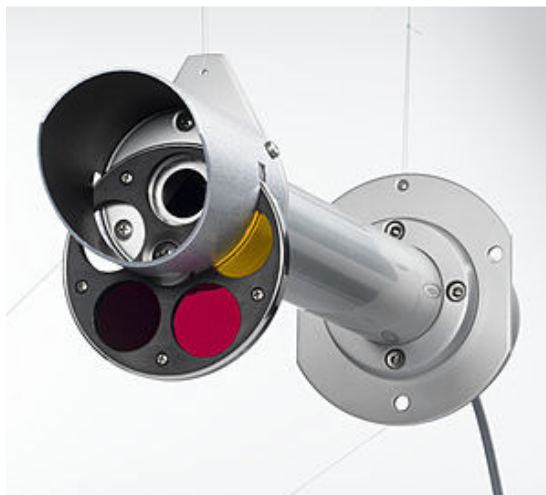


**Figura 6 - Piranômetro de termopilha.**

**Fonte: OCEAN NET, 2010.**

#### 2.6.2. Pireliômetro

Os pireliômetros são equipamentos que medem a radiação direta do Sol. Eles apresentam um mecanismo que se move constantemente para focalizar o Sol, através de um disco e uma câmara escura, buscando centralizar os raios solares no sensor (CRESESB, 2006). A Figura 7 apresenta um pireliômetro.



**Figura 7 - Pireliômetro.**

**Fonte: DIRECT INDUSTRY, 2008.**

### 2.6.3. Heliômetro

O heliômetro registra a duração do brilho solar, através de uma esfera de cristal sobre uma fita de papel fotossensível. Essa fita fica exposta à radiação solar e é marcada conforme a intensidade do brilho. A Figura 8 apresenta um heliômetro e sua característica esfera de cristal.



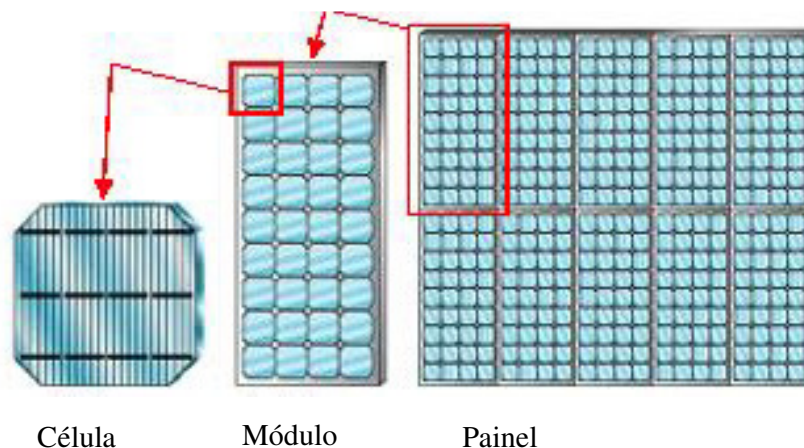
**Figura 8 - Heliômetro.**

**Fonte: MUIR, 1999.**

## 2.7. MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO

No sistema fotovoltaico, a célula solar é o dispositivo mais importante, uma vez que ela é responsável pela conversão da energia solar em elétrica. Pode-se, também, enfatizar que o módulo solar fotovoltaico segundo Rütter, 2004, é base do sistema gerador.

As células solares possuem dimensões relativamente pequenas e a partir da irradiação solar geram frações de volts, dessa forma é necessário interligar várias células solares em série, e assim tem-se o módulo fotovoltaico. A Figura 9 apresenta as modularidades dos sistemas fotovoltaicos conforme a ABNT NBR 10.899.



**Figura 9 - Modularidade dos Sistemas Fotovoltaicos: Célula, Módulo e Painel.**

**Fonte: Adaptado de CRESESB, 2006.**

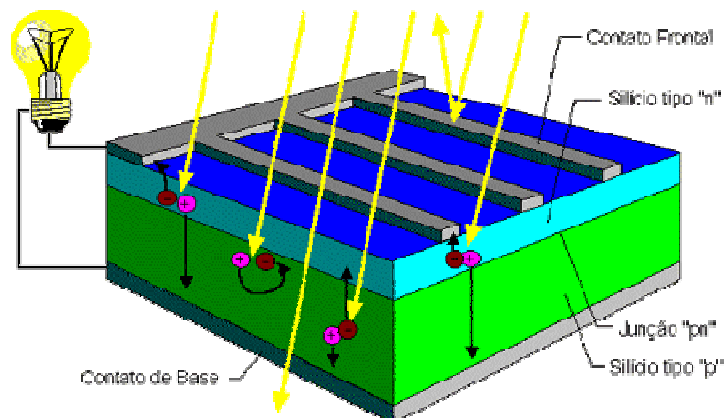
A célula fotovoltaica exposta à irradiação solar gera uma corrente elétrica contínua (CC), através do efeito fotovoltaico, descoberto por Alexandre-Edmond Becquerel em 1839. Levando em consideração que somente alguns átomos possuem essa característica, de liberar elétrons (sem oxidar), estes elétrons podem ser aproveitados para gerar corrente como está explicado a seguir por Abreu *at*, 2010:

"Se esse elétron livre [do átomo de silício], com bastante energia, fosse direcionado para um circuito elétrico, seria, então, criada uma corrente elétrica. Porém, na situação em tela, em que o material é composto apenas por átomos de silício, isso não ocorre, pois o elétron livre imediatamente associa-se a uma lacuna originada pela saída de outro elétron, ocasião em que perde energia, deixa a banda de condução e retorna à banda de valência sem dirigir-se a uma carga externa. A energia perdida pelo elétron é transformada em calor e dissipada. Então, para que se produza a desejada corrente elétrica, é necessário que haja um processo que acelere os elétrons livres para fora do material, para um circuito externo. Isso pode ser realizado com a aplicação de um campo elétrico. O material das células fotovoltaicas é preparado de forma a possuir um campo elétrico permanente, que é gerado por meio da adequada dopagem do material semiconductor.

(...) quando o silício do tipo n é posto em contato com o silício do tipo p, os elétrons livres do material com dopagem do tipo n preenchem as lacunas do material com dopagem do tipo p. Logo, a camada do tipo n, que cedeu elétrons, fica positivamente carregada; a camada do tipo p, que recebeu elétrons, fica negativamente carregada. Essas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons da camada n para a camada p. Este processo alcança equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira de potencial capaz de impedir o fluxo dos elétrons livres remanescentes no lado n. Está criada a junção pn. Nessa situação, o efeito fotovoltaico pode ocorrer. Quando um elétron da camada p recebe energia externa suficiente do fóton da luz solar incidente na junção pn, ele move-se para a banda de condução e cria o par elétron-lacuna. O campo elétrico existente força o deslocamento desse elétron para a camada n, não permitindo o seu retorno, e, simultaneamente, repele a lacuna para o extremo oposto da camada p. Criada a condição de circulação de corrente elétrica no interior do material semiconductor dopado, a simples colocação de contatos elétricos nas duas extremidades do material permite à tensão elétrica existente entre elas originar corrente elétrica, que produzirá os efeitos desejados na carga externa."



O efeito fotovoltaico pode ser ilustrado pela Figura 10 que mostra uma fração de uma célula fotovoltaica.

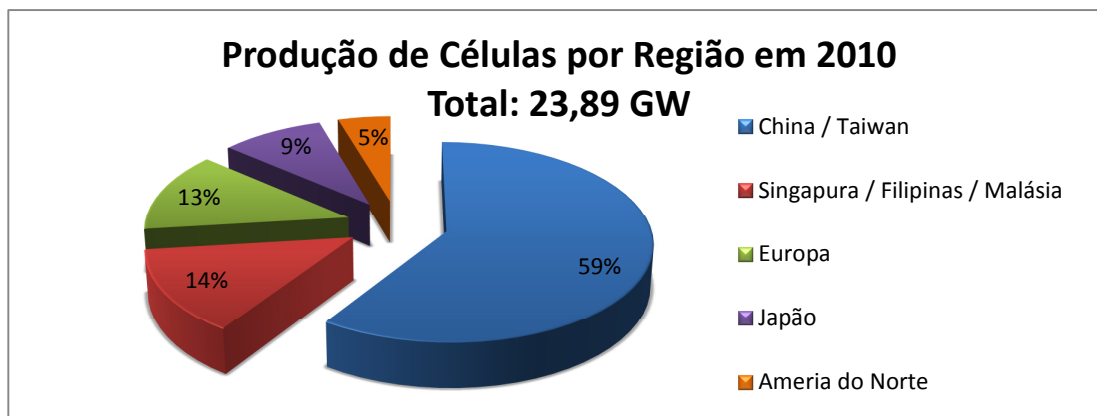


**Figura 10 - Corte de uma célula fotovoltaica.**

Fonte: CRESESB, 2006.

O processo de confecção das células fotovoltaicas é rebuscado e nem todos os países possuem tal tecnologia para a produção em massa dessas células. Alguns países se destacam na produção mundial dessas células como, por exemplo, China e Taiwan que conseguem produzir mais células ao longo dos anos com custos cada vez menores se comparados a outras regiões produtoras. Esse cenário permitiu a expansão da produção de 5.630 MW em 2009 para 14.193 MW em 2010 (um aumento de 152%), dessa forma conquistou mais nove pontos percentuais do mercado global MEHTA, 2011.

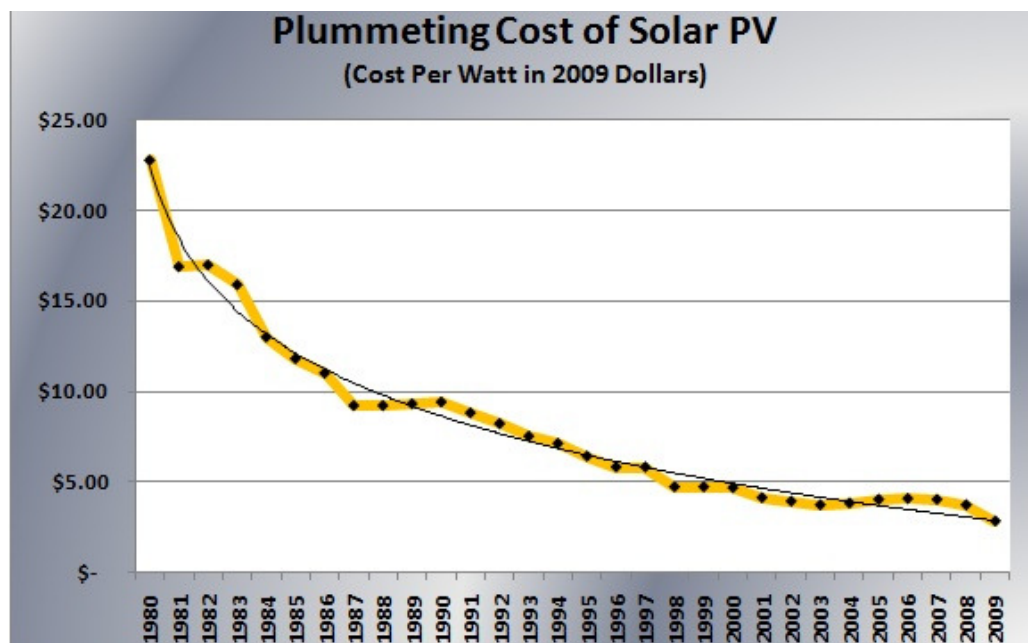
O Gráfico 3 apresenta a distribuição da produção de células por região em 2010.



**Gráfico 3 - Produção de células fotovoltaicas por região.**

Fonte: Adaptado de MEHTA, 2011.

Contando com a maior disseminação dessas tecnologias entre as regiões citadas, a tendência do custo de produção dos módulos fotovoltaicos é diminuir ainda mais ao longo dos anos, mesmo com o aproveitamento energético dos painéis fotovoltaicos sendo relativamente baixos quando comparado a outras fontes de energia, sendo assim, é necessário que o custo seja compatível com a capacidade de geração energética, ou seja, baixo. O Gráfico 4 apresenta evolução dos custos dos módulos fotovoltaicos ao longo dos anos.

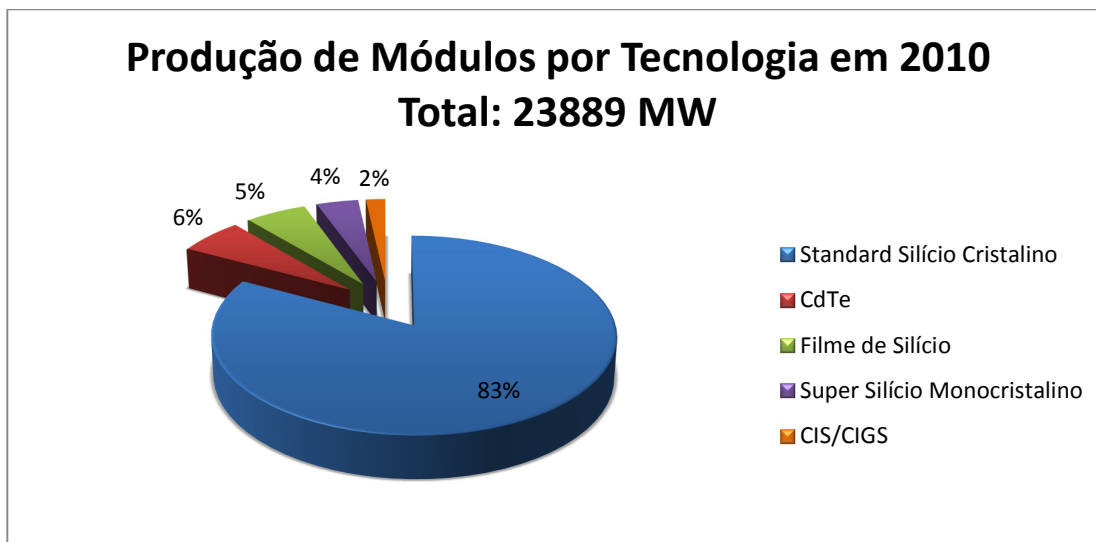


**Gráfico 4 - Evolução do custo de módulos fotovoltaicos no mercado internacional.**  
**Fonte: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2010.**

As principais tecnologias de células fotovoltaicas são: disseleneto de cobre e índio (CIS), disseleneto de cobre, gálio e índio (CIGS), telureto de cádmio, silício amorfo hidrogenado, silício monocristalino e policristalino. Essas características estão detalhadas ao decorrer do trabalho.

Os consumidores possuem preferência por algumas tecnologias, logo há maior produção das mesmas por serem já tecnologias conhecidas e por possuírem muitas vezes uma relação custo  $\times$  benefício mais favorável. No Gráfico 5, encontram-se a distribuição em total MWp e a respectiva fração das tecnologias utilizadas no mundo em 2010. Nesse gráfico o silício “*standard*” representa as tecnologias de silício (mono e policristalinos). Já o super monocristalino, que é o módulo monocristalino com contato no lado posterior “*back contact*”, é uma tecnologia que está despontando.

Segundo Mehta, 2011, em 2010, 87% dos módulos produzidos foram de silício cristalino e 13% de filmes finos, quebrando uma tendência, onde os filmes finos vinham ganhando mais espaço, aumentando sua participação percentual desde 2005. Sendo que em 2009, os filmes finos representavam 19%, e o silício cristalino voltou a ganhar mais espaço em 2010, devido a produção desta tecnologia ter iniciado na China e Taiwan com custos bem baixos, o que fez com que os fabricantes de filmes finos tivessem um crescimento moderado.



**Gráfico 5 - Distribuição das tecnologias utilizadas para módulos fotovoltaicos.**

**Fonte: Adaptado de MEHTA, 2011.**

Dependendo do tipo de aplicação, dentre as principais tecnologias utilizadas para módulos fotovoltaicos, é importante avaliar a eficiência energética. Na Tabela 5 são apresentados os valores da eficiência de cada tecnologia.

**Tabela 5 - Eficiência das principais tecnologias utilizadas em módulos fotovoltaicos.**

Tipos de Tecnologias	Rendimento Típico	Rendimento Máximo Registrado em Laboratório
Silício amorfo	6-7%	12,7%
Telureto de cádmio	7-9%	16%
Disseleneto de cobre e índio	11%	18%
Policristalino	11-14%	18,6%
Monocristalino	12-15%	24%

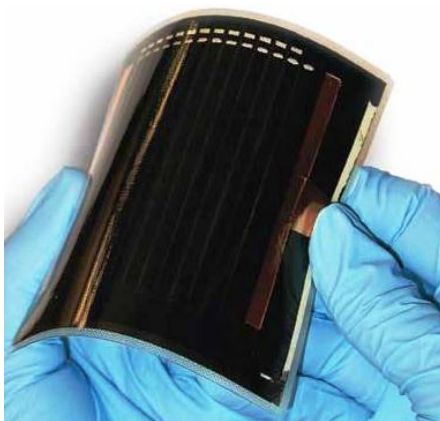
**Fonte: Adaptado de LOURENÇO *et al.*, 2007.**

### 2.7.1. Disseleneto de Cobre e Índio

A família dos componentes baseados no disseleneto de cobre e índio ( $\text{CuInSe}_2$ ), é mais conhecido pela sigla CIS, e também o disseleneto de cobre, gálio e índio ( $\text{Cu(InGa)Se}_2$ ), também, conhecido como CIGS. São compostos que possuem relevância no mercado fotovoltaico, pois possuem diversas aplicações em edificações, e atinge eficiência relativamente elevadas (RÜTHER, 2004).

O composto CIS foi importante para a evolução dos filmes finos (*thin films*), pois pôde elevar a eficiência desses módulos. Posteriormente, foi descoberto que a eficiência desse composto poderia ser elevada se misturado a outro elemento, como o gálio (PERNG *et al.*, 2010).

Os módulos compostos de CIGS, geralmente, são mais maleáveis que os outros. Dessa forma possibilitam a construção em filme ou em substratos de vidro, pois possuem um baixo coeficiente de dilatação térmica, dessa forma evitam rachaduras provocadas pelo aquecimento ou resfriamento do módulo (NAKADA *at al.*, 2010). A Figura 11 apresenta um módulo CIGS.



**Figura 11 - Módulo CIGS.**

**Fonte: SOLAR POWER, 2011.**

### 2.7.2. Telureto de Cádmio

Os módulos de telureto de cádmio ( $\text{CdTe}$ ), vem sendo utilizada desde o século passado em equipamentos que apresentam baixo consumo energético, como por exemplo, calculadoras portáteis. Embora possua um rendimento inferior ao CIGS, apresenta facilidade na produção

de módulo com esses compostos, pois apresentam baixos custos quando produzidos em alta escala.

Segundo Rütter, 2004, eles são utilizados, também, em edificações em forma de filmes finos e são confeccionados em módulos sob forma de vidro num tom marrom/azul (Figura 12) apresentando uma característica estética favorável para a sua aplicação, porém apresentam problemas em relação a sua produção:

- baixa abundância dos elementos envolvidos;
- matéria prima possui características tóxicas.



**Figura 12 - Arranjo de telureto de cádmio.**

**Fonte: TECNOBOX, 2009.**

### 2.7.3. Silício Amorfo Hidrogenado

As primeiras tecnologias de filmes finos fotovoltaicos desenvolvidos foram as células solares de silício amorfo. Em 1970, essas células tinham potencial ideal para serem utilizadas em equipamentos eletrônicos de baixo consumo energético, como por exemplo, calculadoras (AMÉRICA DO SOL, 2011).

As fabricações de módulos de silício amorfo podem ser feitas em filmes finos e por sua vez podem ser depositadas em uma ampla gama de substratos, se comparado a outras tecnologias, como por exemplo, substratos de vidro, aço inox e polímeros. Esse último possibilita a flexibilidade exigida para aplicação em superfícies onduladas (não planas).

O silício amorfo hidrogenado (a-Si), por possuir um menor rendimento se comparado a outros, possui um preço menor e conseqüentemente esta sendo utilizado em edificações, também, por apresentar uma aparência atraente, como ilustrado na Figura 13 (RÜTHER, 2004).

Um diferencial dessa tecnologia é que as variações de temperatura ao decorrer do dia não diminui significativamente o rendimento, enquanto que na maioria nos módulos fotovoltaicos, quanto maior a temperatura, menor é a eficiência (KLEISS; RAICU; BUCHER, 1993).



**Figura 13 - Filmes finos de a-Si.**

**Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2011.**

#### 2.7.4. Silício Cristalino

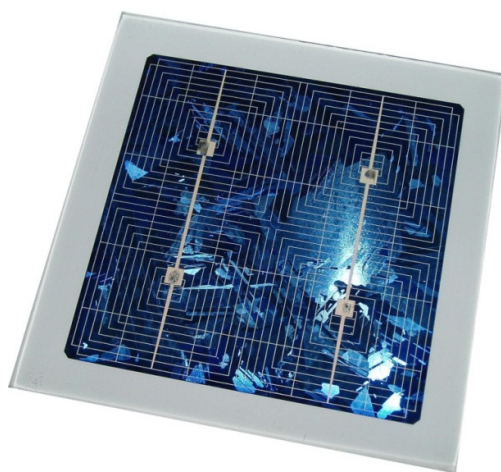
O silício cristalino é o material mais utilizado para a conversão de energia solar em elétrica, e o principal motivo para ser o mais fabricado no mundo é devido a sua robustez e confiabilidade. O processo de fabricação atinge altas temperaturas, pressões elevadas e é demorado, pois o silício deve se cristalizar formando cristais maiores. Esse processo de fabricação peculiar faz com que o preço do módulo seja elevado, sendo que a tentativa de reduzir o custo foi praticamente esgotada (RÜTHER, 2004).

Esse material pode ser de dois tipos: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). O m-Si é bastante utilizado em aplicações comerciais, pois possui elevada eficiência quando comparado a outros materiais, como ilustrado na Figura 14. Já o p-Si possui uma eficiência menor, por possuir imperfeições cristalinas inerentes ao processo de produção (Figura 15). Esse material (p-Si) é mais utilizado no mercado global, devido o menor custo para a produção, uma vez que é necessária menos energia elétrica nesse processo de produção (AMÉRICA DO SOL, 2011).



**Figura 14 - Módulo solar m-Si.**

**Fonte: REIS, 2008.**



**Figura 15 - Módulo solar p-Si.**

**Fonte: ACADEMIC, 2010.**



### 2.7.5. Outras Tecnologias

No mercado é mais comum à utilização de módulos com tons em azul, devido essa cor ter uma eficiência melhor na absorção da irradiação solar, porém já existem módulos com outras colorações como vermelho e verde. A eficiência nessas cores é reduzida (pois não são os melhores tons para absorção), porém são vendidos em cores alternativas para aumentar a utilização na arquitetura, tornando-o mais atrativo visualmente, conforme Figura 16.

Há também a venda módulos denominados “*High Power*” ou, também, conhecidos como “*back contact*”, onde a principal diferença é que as linhas de contato são colocadas na parte posterior, aumentando a superfície de absorção solar, diferente dos outros módulos que possuem linhas de contato na parte frontal (AMÉRICA DO SOL, 2011).



**Figura 16 - Módulos coloridos.**

**Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2011.**

### 2.8. CONVERSOR CC-CA

As tecnologias dos módulos fotovoltaicos, citadas anteriormente, mostram os tipos de materiais que absorvem a energia solar e a transformam em energia elétrica. Essa energia (eletromagnética) é produzida através das reações nucleares que ocorrem no Sol, na qual é absorvida pelos módulos fotovoltaicos.



Quando os módulos absorvem a energia eletromagnética do Sol, acontece uma série de reações físicas que transmitem a energia eletromagnética (fótons) aos semicondutores, ocorrendo, assim, a liberação de elétrons dos átomos de seus semicondutores, gerando um fluxo de elétrons (corrente elétrica). Sabendo que o fluxo de irradiação solar é constante, tem-se que a liberação de elétrons também é, assim a corrente elétrica gerada nos módulos que é constante, ou seja, contínua, sendo assim corrente contínua (CC).

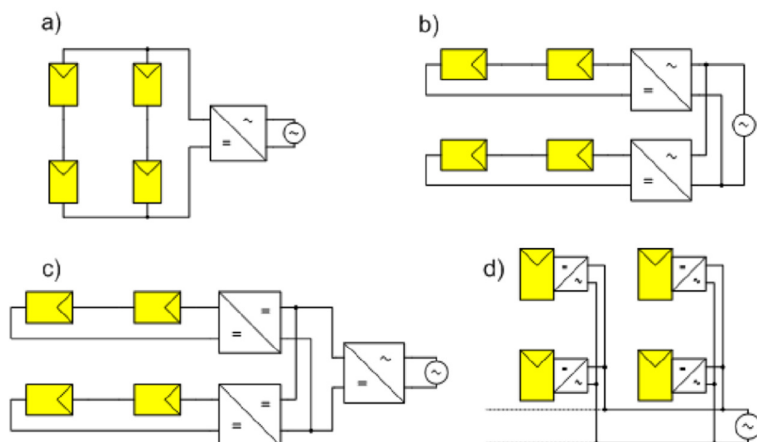
Porém, a maior parte dos equipamentos elétricos não é alimentada em corrente contínua, logo, é necessário um equipamento que seja capaz de transformar (ou converter), essa corrente (CC) na corrente mais utilizada, que é a corrente alternada (CA). Este conversor pode ser denominado conversor CC-CA, ou simplesmente inversor. Os inversores geralmente tem um período de garantia de 5 anos. A Figura 17 mostra um inversor para sistema isolado.



**Figura 17 - Inversor Autônomo.**

**Fonte: STECA, 2011.**

Os inversores podem ser conectados em um SFCR de diversas formas, segundo Urbanetz, 2010. Essas formas podem ser resumidas em quatro configurações básicas, que estão apresentados na Figura 18.



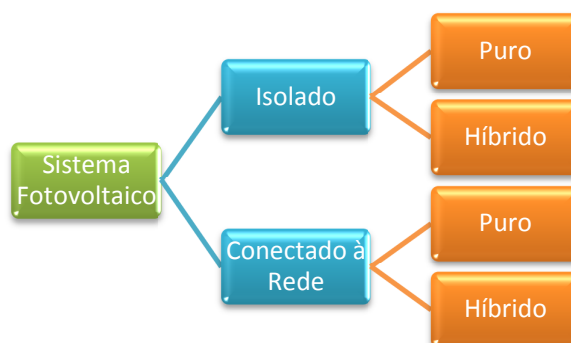
**Figura 18 - Configurações básicas de um SFCR.**

**Fonte: URBANETZ JUNIOR, 2010.**

A Figura 18a apresenta uma configuração chamada de inversor central, onde os módulos são conectados em paralelos e interligados ao inversor. A Figura 18b representa a configuração tipo *string*, ou seja, cada série de módulos é interligados a um inversor. A Figura 18c apresenta inversores conectados em *multi-string*, onde possui mais que um *string* conectado em um inversor. Finalmente a Figura 18d mostra um inversor acoplado em cada módulo, dessa forma busca melhorar o ponto de operação de cada módulo.

## 2.9. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em dois grupos: isolados e conectados à rede, conforme Diagrama 1.



**Diagrama 1 - Sistema fotovoltaico.**

**Fonte: O autor.**

Existem duas formas de aplicações de inversores, que dependem da forma que os sistemas que serão instalados. Segundo Urbanetz, 2010:

“Os inversores para SFI [Sistema Fotovoltaico Isolado] recebem a energia em CC, normalmente de um banco de baterias que recebeu e acumulou a energia elétrica proveniente dos módulos FV [fotovoltaicos]. Este tipo de inversor produz em sua saída uma onda senoidal (e.g. 110 V<sub>ca</sub>; 60 Hz) de forma independente, sem depender de uma referência externa de tensão.

Já os inversores para SFCR [Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede], recebem a energia em CC diretamente dos módulos FV. A energia CA na sua saída é colocada diretamente em paralelo com a rede elétrica convencional. Assim, as duas ondas de tensão devem estar em fase e ter características elétricas bastante similares, de modo a possibilitar o paralelismo de geradores. A senoide produzida pelo inversor utiliza a onda da rede elétrica como referência. Havendo a referência, há geração FV.”

Os inversores para SFI só podem ser conectados em sistemas isolados, pois não possuem o módulo de sincronismo com a rede. Esses sistemas isolados, geralmente, possuem acumuladores de carga (baterias), para que possam funcionar na ausência de luz solar. Já os SFCR, geralmente não possuem acumuladores, porém possuem uma função de sincronismo com a rede.

Os inversores SFCR estão sujeitos a um fenômeno denominado ilhamento. Esse efeito ocorre quando uma rede de distribuição de energia é desligada (desligamento de disjuntores para operação da rede ou para manutenção e desligamento por falhas), e uma unidade consumidora é mantida em funcionamento. Assim, o sistema que permanece energizado é denominado sistema ilhado (GONÇALVES, 2011). Por exemplo, quando a rede deixar de alimentar as unidades consumidoras por motivos temporários, e nelas houver um banco de baterias e inversores ou geradores ou ainda um SFCR sob irradiação solar, eles podem substituir a alimentação da rede para as cargas neles conectadas, ocorrendo o fenômeno de ilhamento. Essa situação é preocupante do ponto de vista da concessionária, pois ela é responsável pela segurança e qualidade dos serviços prestados, caso os inversores alimentem a rede. Nessa situação, a concessionária não oferece qualquer tipo de proteção aos usuários e aos técnicos que por ventura possam estar prestando serviços na rede supostamente desligada. Por esse motivo todos os inversores de SFCR já são fabricados com dispositivos para o isolamento da rede elétrica (desconexão), quando detectado uma falha na rede, assim evitando esse fenômeno.

### 2.9.1. Isolado

Os sistemas fotovoltaicos isolados, geralmente são empregados em regiões afastadas das redes de distribuição energéticas, onde não é possível que eles complementem a alimentação da concessionária. Segundo Salamoni, 2010, os sistemas isolados apresentam algumas vantagens:

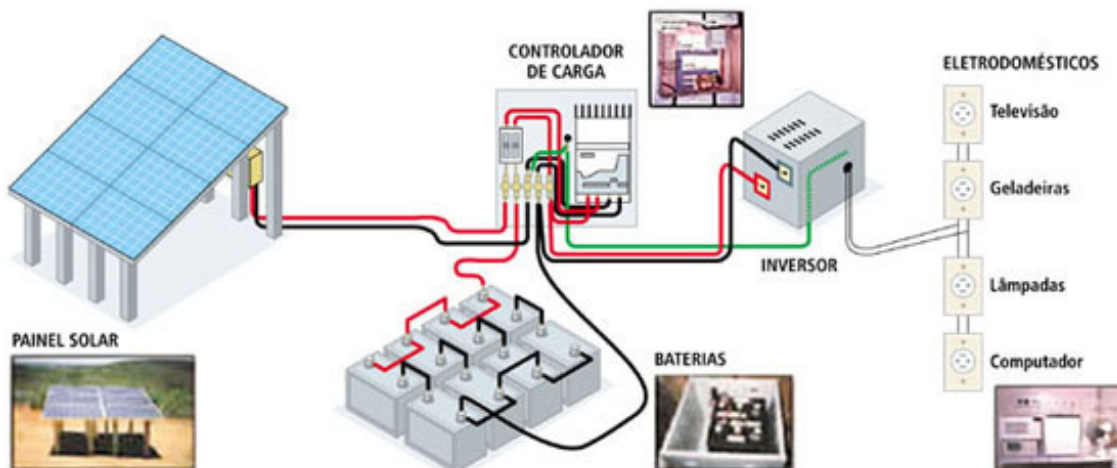
“Esse é o tipo de sistema atualmente competitivo, economicamente, com formas mais convencionais de geração. Sistemas isolados são normalmente utilizados quando o custo de estender a rede elétrica pública for proibitivo, devido à distância ou ao difícil acesso, juntamente à baixa demanda da comunidade a ser atendida. Nesses casos, frequentemente os SFI são mais competitivos economicamente do que o gerador diesel comumente utilizado.”

Nessas regiões, a única fonte de energia elétrica provém dos painéis fotovoltaicos, dessa forma é necessário o armazenamento de energia elétrica em acumuladores (baterias) para poder utilizá-la na ausência de luz solar, conforme Figura 19. Contudo, alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso de irrigações (CRESESB, 2006).

Os acumuladores de energia necessitam de cuidados especiais:

- tensão mínima: a tensão de cada bateria não deve ser inferior a tensão mínima especificado pelo fabricante; a partir da qual danos irreversíveis podem ser causados à bateria;
- tensão de flutuação: é a tensão necessária para evitar a auto descarga;
- tensão de equalização ou de carga profunda: é a tensão aplicada a um banco de baterias para aproximar os níveis de tensão (equalizar) de cada bateria;
- tensão máxima: a tensão de cada bateria não deve exceder a tensão máxima especificada pelo fabricante;
- capacidade de corrente: é a quantidade em Ampères-hora [Ah] que pode ser retirada de uma bateria que apresenta carga plena.

Se esses cuidados não forem levados em consideração, a vida útil do banco de baterias pode reduzir consideravelmente, sendo assim é necessário um dispositivo para controlar a carga e descarga do acumulador, que é denominado “controlador de carga”, mostrado na Figura 20 (CRESESB, 2006).



**Figura 19 - Sistema isolado puro.**

Fonte: ASTRO REI, 2010.



**Figura 20 - Controlador de carga.**

Fonte: STECA, 2011.

#### 2.9.1.1. Aplicação em Bens de Consumo

Alguns bens de consumo possuem módulos fotovoltaicos integrados e geralmente esses equipamentos possuem a sua alimentação em corrente contínua (CC), pois em sua maioria são conectados a pilhas.

Logo, as células fotovoltaicas podem ser utilizadas em vários equipamentos elétricos como, relógios, calculadoras, carregadores de baterias (Figura 21) brinquedos, entre outros (AMÉRICA DO SOL, 2011).



**Figura 21 - Carregador de bateria com células fotovoltaicas.**

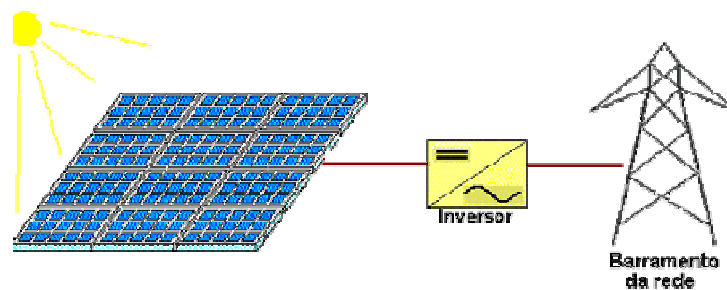
**Fonte: DX, 2011.**

### 2.9.2. Conectados à Rede

Os sistemas fotovoltaicos que possuem inversores conectados diretamente à rede, normalmente, não possuem módulos de armazenamento de energia (baterias), como ilustrado na Figura 22. A principal característica desse sistema é que toda a energia gerada é entregue à rede das concessionárias, sendo assim, esse sistema deve satisfazer às exigências da respectiva concessionária. Geralmente este arranjo alimenta a carga de forma complementar junto à rede, deste modo, quando há geração nos painéis, eles alimentam a carga e quando não há geração, a rede alimenta a carga. Segundo Salomoni, 2010, os sistemas conectados apresentam algumas vantagens:

"(...) atuam como usinas geradoras de energia elétrica em paralelo às grandes centrais geradoras. Podem ser integrados à edificação sobrepondo ou substituindo elementos de revestimento – e, portanto, próximos ao ponto de consumo, ou do tipo central FV [Usinas Solares], sendo esta tipicamente distante do ponto de consumo."

Porém, se os painéis gerarem mais energia do que a carga consome será possível a entrega do excedente de energia para as concessionárias.



**Figura 22 - Sistema conectado à rede puro.**

**Fonte: CRESESB, 2006.**

### 2.9.2.1. Usinas Solares

A usina solar mostrada na Figura 23 é um sistema conectado à rede, porém, a diferença é uma quantidade maior de módulos fotovoltaicos e a potência fornecida à rede que varia de centenas de quilowatts a dezenas de megawatts (AMÉRICA DO SOL, 2011).



**Figura 23 - Usina solar de 1 MWp em Tauá – Ceará.**

**Fonte: VEJA, 2011.**

### 2.9.3. Híbridos

Os sistemas híbridos têm como características duas ou mais fontes de energia em um único sistema de alimentação de cargas. Esse sistema exige um controle capaz de integrar as diferentes formas de geração de energia que são, por exemplo, eólica, solar, gerador diesel,

etc. (AMÉRICA DO SOL, 2011). Este sistema pode ser conectado à rede ou isolado (Figura 24).



**Figura 24 - Sistema isolado híbrido.**

**Fonte: CRESESB, 2006.**

## 2.10. PROGRAMAS DE INCENTIVO

Uma das barreiras para a disseminação das fontes de energia renováveis é o elevado custo de investimentos, quando comparado às fontes convencionais. Isso ocorre porque sua tecnologia não está difundida e dessa forma sua produção não se encontra em escala global, ou seja, esses investimentos não são atraentes do ponto de vista, estritamente, econômico. Porém, se avaliados as vantagens que as energias renováveis oferecem para o meio ambiente, certamente os investimentos seriam compensados (CAVALIERO; SILVA, 2005).

Preocupados com a questão ambiental, com o aumento das emissões de gases de efeito estufa e o contínuo crescimento da demanda energética mundial, vários países começaram a incentivar e criar políticas de fomento para o uso das FRE, por meio de subsídios. Desse modo, tornaram-se viáveis a exploração das fontes renováveis de energia (COSTA, 2006).

Esse mecanismo de incentivo já está em vigor em alguns países, como: Alemanha, Espanha, Estados Unidos, Japão, Inglaterra, Portugal, Áustria, Itália, Grécia, Holanda, Austrália, Suíça, e outros (SALAMONI, 2009). Dentre estes, merecem destaques os dois primeiros países e que serão abordados posteriormente, juntamente com a Índia e o Brasil.

Os países destacados utilizaram estratégias de incentivos para a FRE e tinham como objetivo estimular o uso dessas fontes até que elas se tornassem competitivas e assim não haveriam mais necessidades de incentivos.



As medidas administrativas, ou os instrumentos políticos, que afetam as FREs, são classificados em diretos e indiretos. O primeiro diz respeito às medidas governamentais que promovem o uso de fontes renováveis de energia, enquanto que o segundo alteram fatores externos às FREs, mas que acabam tendo impacto positivo, como por exemplo, taxas sobre o uso de combustíveis não renováveis (COSTA, 2006).

Os mecanismos mais importantes de incentivos segundo Costa, 2006, são:

- *Feed- in Tariffs* ou *Feed-in Law*;
- *Quota System*:
  - *Renewable Portfolio Standard*;
  - *Tender System*;
- Subsídios Financeiros;
- Incentivos Fiscais.

O Quadro 1 mostra a classificação dos instrumentos, apresentando as diversas opções que podem ser aplicadas na promoção das fontes de energia elétrica renovável.

		Direto		Indireto
		Preço	Quantidade	
Sistema Regulado	Focalizado no investimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Subsidio financeiro</li> <li>▪ Incentivos fiscais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de leilão (<i>Tender System</i>)</li> </ul>	Taxas ambientais
	Baseado na geração	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Feed-in tariffs</i></li> <li>▪ Incentivos fiscais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de leilão (<i>Tender System</i>)</li> <li>▪ Sistemas de quotas com certificados verdes</li> </ul>	
Sistema Voluntário	Focalizado no investimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programa de acionistas</li> <li>▪ Programa de financiamento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acordos voluntários baseados na definição de uma quantidade com certificados verdes</li> </ul>	Acordos Voluntários
	Baseado na geração	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tarifas verdes (<i>green tariffs</i>)</li> </ul>		

**Quadro 1 - Classificação dos instrumentos de políticas.**

**Fonte: Adaptado de COSTA, 2006.**

### 2.10.1. Sistema de Preço (*Feed-in Law* ou *Feed-in Tariffs*)

As concessionárias que adotam esse sistema de preço são obrigadas a conectar a unidade consumidora/geradora<sup>5</sup> ao SIN e comprar toda energia renovável (energia gerada) a preços estipulados pelo governo (tarifa-prêmio), geralmente maior que o preço para geração convencional de energia. No regime *Feed-in Law* o governo e as concessionárias podem garantir um período em que a energia gerada será adquirida, por esse preço diferenciado, já que se trata de um subsídio (SALAMONI, 2009).

Os custos desse programa são rateados entre todos os consumidores finais de energia, através de uma taxa que é aplicada em cada kWh de energia convencional consumida e uma outra fonte de captação de recurso é adquirida por meio da comercialização de crédito de carbono.

Segundo Sawin, 2004, os países que apresentaram os maiores crescimentos no mercado de FRE, foram países que utilizaram o mecanismo de subsídio baseados nos sistemas de preços (*Feed-in*).

### 2.10.2. *Net Metering*

Esse sistema contempla a instalação de um medidor de consumo diferente, uma vez que mensura a energia consumida e a gerada pela unidade consumidora/geradora. Dessa forma o excedente de energia é vendido para a concessionária pelo preço de mercado.

Segundo Ministério de Minas e Energia, 2009, o termo *net metering* significa:

“(...) no qual [*net metering*] a energia gerada vai primeiro para o consumo do prédio no qual está instalado o sistema, e só o excedente de energia é injetado na rede. Nesse sistema, o valor da tarifa-prêmio é menor ou igual ao da tarifa cobrada na conta do consumidor (...)”.

### 2.10.3. Sistema de Quotas

Nesse sistema o governo previamente prepara um plano de expansão energética e, assim, estipula as metas de crescimento da OIEE determinando o percentual que será investido em FRE, bem como em outras fontes. Para alcançar as metas governamentais é

---

<sup>5</sup> De acordo com a ANEEL, 2004, unidade consumidora é um conjunto de instalações e equipamentos elétricos caracterizados pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com a medição individualizada e correspondente a um único consumidor. O termo unidade consumidora/geradora designa uma unidade que tem capacidade de consumir e gerar energia elétrica.

fornecido um subsídio para novas instalações de FRE e o preço da energia é determinado pelo mercado.

Existem duas variações básicas de sistema de quotas, que são:

- *Renewable Portfolio Standards (RPS)*;
- *Tendering System (TS)*.

Essas categorias se diferem do sistema de preços (*Feed-in*) por apresentarem duração menor e delimitada. Além disso, o sistema de quotas tem como característica intrínseca a determinação do uso de FRE e a capacidade instalada para geração de energia elétrica, ou seja, o futuro de energia renovável pode ser determinado por meio do uso desse sistema (LAUBER, 2004). Já no sistema de preços, não é possível prever o crescimento, porém os ajustes do preço são variáveis e dessa forma podem encorajar ou não os investidores. Além disso, os países que superaram as metas para o uso de FRE utilizam o sistema de preços (*Feed-in*) (SALAMONI, 2009).

#### 2.10.3.1. *Renewable Portfolio Standards (RPS)*

A categoria *RPS* adota uma meta para a quantidade mínima de geração ou a quantidade de capacidade instalada de energia, ou ainda a potência gerada a partir do consumo de FRE. As metas dessa categoria normalmente sofre ajustes positivos a cada ano. Os investidores e as unidades produtoras (que também podem ser chamados de PIE) criaram uma estratégia para o cumprimento da meta estabelecida na categoria *RPS*. Estes tem a liberdade de escolher o tipo de tecnologia, a matéria prima (desde que seja renovável), os modelos de contratos e os preços para fornecer energia elétrica. No final de cada período que é estipulado para o cumprimento das metas, os PIEs são obrigados a comprovar os investimentos e o cumprimento das obrigações estipuladas. Se não houver o cumprimento das metas, eles estarão sujeito a multas contratuais. Em contrapartida, caso cumpram a meta eles receberão créditos de FRE que são equivalentes a etiquetas verdes ou a certificados verdes. Esses certificados podem ser negociáveis ou vendidos para empresas que buscam o uso de energia renovável como instrumento de *marketing* ou preocupação social (SALAMONI, 2009).

### 2.10.3.2. *Tendering System (TS)*

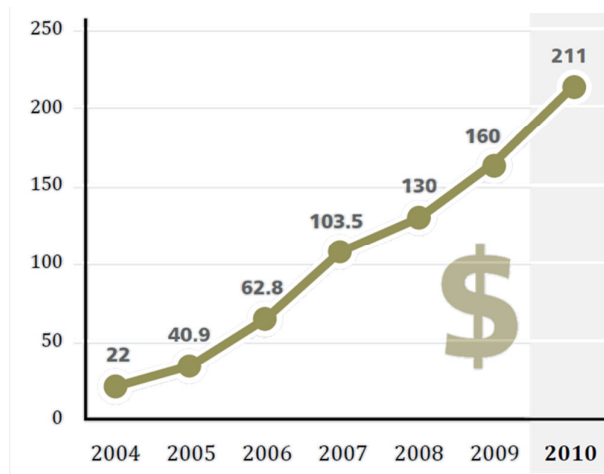
A categoria *TS* faz uso de incentivos governamentais, como por exemplo, o governo estipula o valor máximo para geração de potência (oriunda de FRE) e, também, o teto do preço pago para cada kWh gerado. Os PIEs submetem a oferta para esses contratos de energia no sistema de leilão e o vencedor da oferta é aquele que possui o menor preço, próximo ao estipulado pelo governo. A diferença desse preço para o preço da energia comercial é paga pelo governo. Essa categoria de quotas não é comum em países em desenvolvimento, pois exige, que no momento do lançamento, o governo tenha um aporte suficiente para pagar os custos da diferença dos preços da energia (SALAMONI, 2009).

## 2.11. PANORAMA MUNDIAL

O investimento em energias renováveis em 2010 atingiu o patamar de US\$ 211 bilhões, que superou os investimentos em 2009 (US\$ 160 bilhões). Os investimentos contemplam ativos financeiros, capital de riscos, mercado de capitais, investimento em P&D e investimentos governamentais. Estima-se que além desse valor foram gastos mais US\$ 15 bilhões em aquecedores solares para água e outras tecnologias. E o investimento mundial em grandes centrais hidrelétricas de grande porte chegou ao patamar de US\$ 40 bilhões. Foram investidos recursos suficientes para que a energia fotovoltaica sofresse um aumento de 17 GWp (RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, 2011).

De acordo com o REN21, 2011, a China, Alemanha, Estados Unidos e Brasil foram os principais países que investiram em energia renovável em 2010, onde as economias em desenvolvimento ultrapassaram os investimentos das economias desenvolvidas, como por exemplo, a China atraiu US\$ 49 bilhões (representando mais de um terço do investimento global em 2010) para as FRE e, assim, ficou pelo segundo ano consecutivo líder em investimentos nessa área. Em segundo lugar ficou os EUA (US\$25 bilhões), obtendo um crescimento de 58% em investimentos em relação ao ano de 2009. Embora as economias em desenvolvimento tenham obtido um somatório de investimentos superior às desenvolvidas, as taxas de crescimento não foram tão expressivas: como a da Índia (aumento de 25% em investimentos) e como a do Brasil (aumento de 5% em investimento).

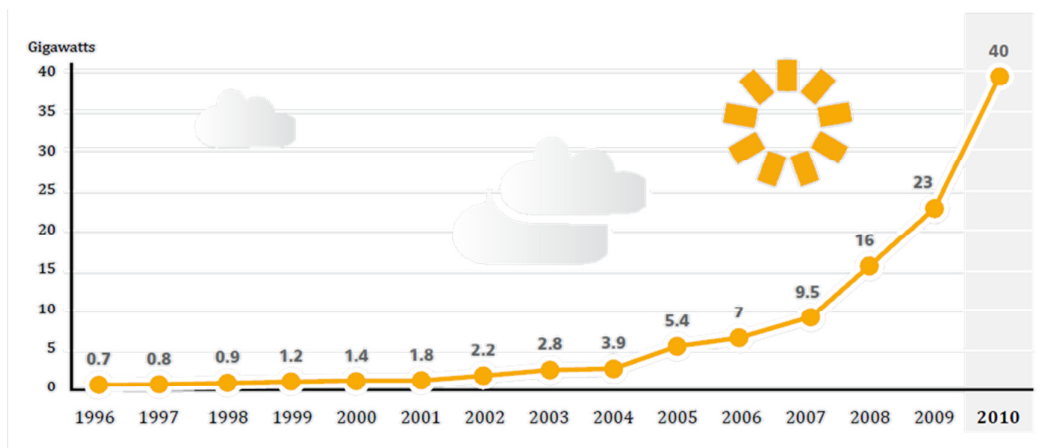
O Gráfico 6, ilustra o investimento global em energias verdes ao longo dos anos.



**Gráfico 6 - Investimento global em energia renovável dado em bilhões de dólares.**

**Fonte: Adaptado de (RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, 2011).**

A indústria de energia solar fotovoltaica teve um extraordinário em 2010. A capacidade adicionada nesse ano foi de 17 GWp e dessa forma o acumulado global em sistemas fotovoltaicos foi de 40 GWp, conforme o Gráfico 7, o que representa sete vezes a capacidade instalada em 2005, 5,1 GWp ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009). A União Europeia (UE) mereceu destaque no ano de 2010 pelos expressivos investimentos em energia fotovoltaica realizado pela Itália e principalmente pela Alemanha. Esse último investiu mais em energia fotovoltaica em 2010 do que o mundo investiu no ano de 2009. A capacidade instalada de energia FV cresceu 72% em relação ao ano de 2009 e tem como média anual no período de 2005 a 2010, 49% de crescimento. Os principais fatores que impulsionaram o crescimento expressivo de consumo foram a queda nos custos, novas aplicações, interesses de grandes investidores e apoio governamental. Os investimentos que a UE aplicou no mercado de energia fotovoltaica eram suficientes para alimentar dez milhões de lares europeus, ou seja, 13,2 GWp de potência recém-instalada (que representa 80% do crescimento mundial nesse período).



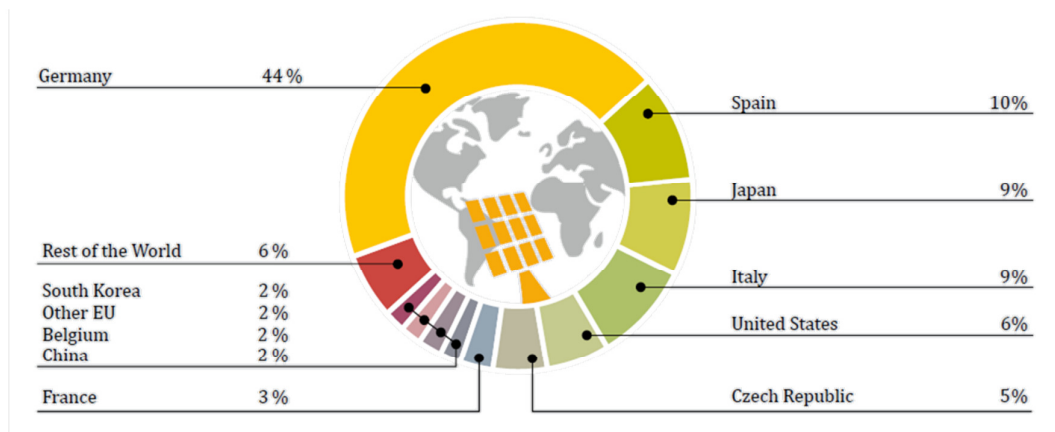
**Gráfico 7 - Energia solar fotovoltaica, capacidade existente no mundo, 1995-2010.**

**Fonte: (RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, 2011).**

Ainda na Europa, alguns países ganham destaque, como a Espanha que é a segunda maior produtora de energia fotovoltaica no mundo, porém é o segundo ano que as instalações de novos painéis fotovoltaicos ficam a abaixo do pico de 2008, com apenas um aumento de 0,4 GWp em todo o ano de 2010, tendo, então, 3,8 GWp de capacidade instalada. Na Itália o sistema de incentivo governamental adotado é o *Feed-in Tariff*, assim obteve um crescimento de 2,3 GWp e apresenta uma capacidade instalada de 3,8 GWp. A República Checa praticamente iniciou seus investimentos em energia fotovoltaica em 2008, que era praticamente zero, e em 2010 atingiu o patamar de 2 GWp, devido a aplicação do incentivo *Feed-in Tariff*. A França obteve destaque no ano de 2010 por ter adicionado 0,7 GWp de energia fotovoltaica e assim triplicou os investimentos no ano de 2009, passando a ter aproximadamente 1 GWp (RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, 2011).

De acordo com o REN21, 2011, além dos países da Europa, o Japão é o terceiro país com maior capacidade instalada de energia fotovoltaica, que em 2009 apresentou um crescimento expressivo, quase dobrou sua capacidade instalada chegando ao patamar de 3,6 GWp em 2010. Os Estados Unidos da América já ultrapassaram o patamar de 2,5 GWp de capacidade instalada e concentra uma parte dos seus investimentos no estado da Califórnia.

O Gráfico 8 apresenta os dez países que possuem as maiores capacidades instaladas de energia fotovoltaica.



**Gráfico 8 - Os maiores dez países que produzem energia fotovoltaica.**

**Fonte: (RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, 2011).**

Os países que hoje são destaque em energia fotovoltaica são os mesmos que outrora adotaram algum sistema de incentivo para favorecer o crescimento desse nicho de mercado. O Quadro 2 e o Quadro 3, apresentam a lista de países que possuem algum tipo de mecanismo para o incentivo de energia fotovoltaica e os respectivos modelos adotados, sendo que o primeiro é em países desenvolvidos e o segundo em países em desenvolvimento.

PAÍS	POLITICAS DE INCENTIVO			INCENTIVOS FISCAIS				FINANCIAMENTO PUBLICO	
	<i>Feed-in Tariff</i> (tarifa prêmio)	<i>Renewable Portfolio Standards</i> (RPS)	<i>Net metering</i>	Subvenção econômica	Investimento ou outros créditos de imposto	Redução do imposto sobre venda, energia, consumo ou valor agregado	Pagamentos da produção de energia ou créditos de imposto	Investimentos públicos, empréstimos ou financiamento	Licitação pública
Austrália	♣ <sup>6</sup>			<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	
Áustria	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
Bélgica		♣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Canadá	♣	♣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Croácia	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	
Chipre	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>					
Republica Checa	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Dinamarca	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estônia	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Finlândia	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
França	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alemanha	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Grécia	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
Hungria	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Irlanda	<input type="checkbox"/>								<input type="checkbox"/>
Israel	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
Itália	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Japão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	

**Quadro 2 - Políticas de incentivos para energias renováveis em países desenvolvidos.**

(continua)

<sup>6</sup> ♣ - Alguns estados ou províncias dentro desses países apresentam legislações específicas para o uso da FRE, sendo que não possuem uma política nacional de incentivo.



PAÍS	POLITICAS DE INCENTIVO			INCENTIVOS FISCAIS				FINANCIAMENTO PUBLICO	
	<i>Feed-in Tariff</i> (tarifa prêmio)	<i>Renewable Portfolio Standards (RPS)</i>	<i>Net metering</i>	Subvenção econômica	Investimento ou outros créditos de imposto	Redução do imposto sobre venda, energia, consumo ou valor agregado	Pagamentos da produção de energia ou créditos de imposto	Investimentos públicos, empréstimos ou financiamento	Licitação pública
Letônia	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Luxemburgo	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>					
Malta			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			
Holanda				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Nova Zelândia				<input type="checkbox"/>					
Noruega				<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Polônia		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Portugal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cingapura								<input type="checkbox"/>	
Eslováquia	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>					
Eslovênia	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Coreia do Sul		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Espanha	<input type="checkbox"/>			♣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Suécia		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Suíça	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			
Trinidad e Tobago				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Inglaterra	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EUA	♣	♣	♣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Quadro 2 - Políticas de incentivos para energias renováveis em países desenvolvidos.**

(conclusão)

**Fonte: Adaptado de RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, 2011.**

PAÍS	POLITICAS DE INCENTIVO			INCENTIVOS FISCAIS				FINANCIAMENTO PUBLICO	
	<i>Feed-in Tariff</i> (tarifa prêmio)	<i>Renewable Portfolio Standards (RPS)</i>	<i>Net metering</i>	Subvenção econômica	Investimento ou outros créditos de imposto	Redução do imposto sobre venda, energia, consumo ou valor agregado	Pagamentos da produção de energia ou créditos de imposto	Investimentos públicos, empréstimos ou financiamento	Licitação pública
Argélia	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>					
Argentina	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bielorrússia						<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Bósnia	<input type="checkbox"/>								<input type="checkbox"/>
Botsuana						<input type="checkbox"/>			
Brasil			♦ <sup>7</sup>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bulgária	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Chile		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Colômbia				<input type="checkbox"/>					
Costa Rica	<input type="checkbox"/>								
Republica Dominicana	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Índia	<input type="checkbox"/>								
Irã					<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Cazaquistão	<input type="checkbox"/>								
Lituânia	<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>	
Macedônia	<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>	
Malásia	<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>	
Mauritius				<input type="checkbox"/>					
México			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Quadro 3 - Políticas de incentivos: energias renováveis em países em desenvolvimento.** (continua)

<sup>7</sup> ♦ - Sistema em implantação.

PAÍS	POLITICAS DE INCENTIVO			INCENTIVOS FISCAIS				FINANCIAMENTO PUBLICO	
	<i>Feed-in Tariff</i> (tarifa prêmio)	<i>Renewable Portfolio Standards (RPS)</i>	<i>Net metering</i>	Subvenção econômica	Investimento ou outros créditos de imposto	Redução do imposto sobre venda, energia, consumo ou valor agregado	Pagamentos da produção de energia ou créditos de imposto	Investimentos públicos, empréstimos ou financiamento	Licitação pública
Panamá	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Peru	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Romênia		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Rússia				<input type="checkbox"/>					
Servia	<input type="checkbox"/>								
África do Sul	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>
Turquia	<input type="checkbox"/>								
Uruguai		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>

**Quadro 3 - Políticas de incentivos: energias renováveis em países em desenvolvimento.** (conclusão)

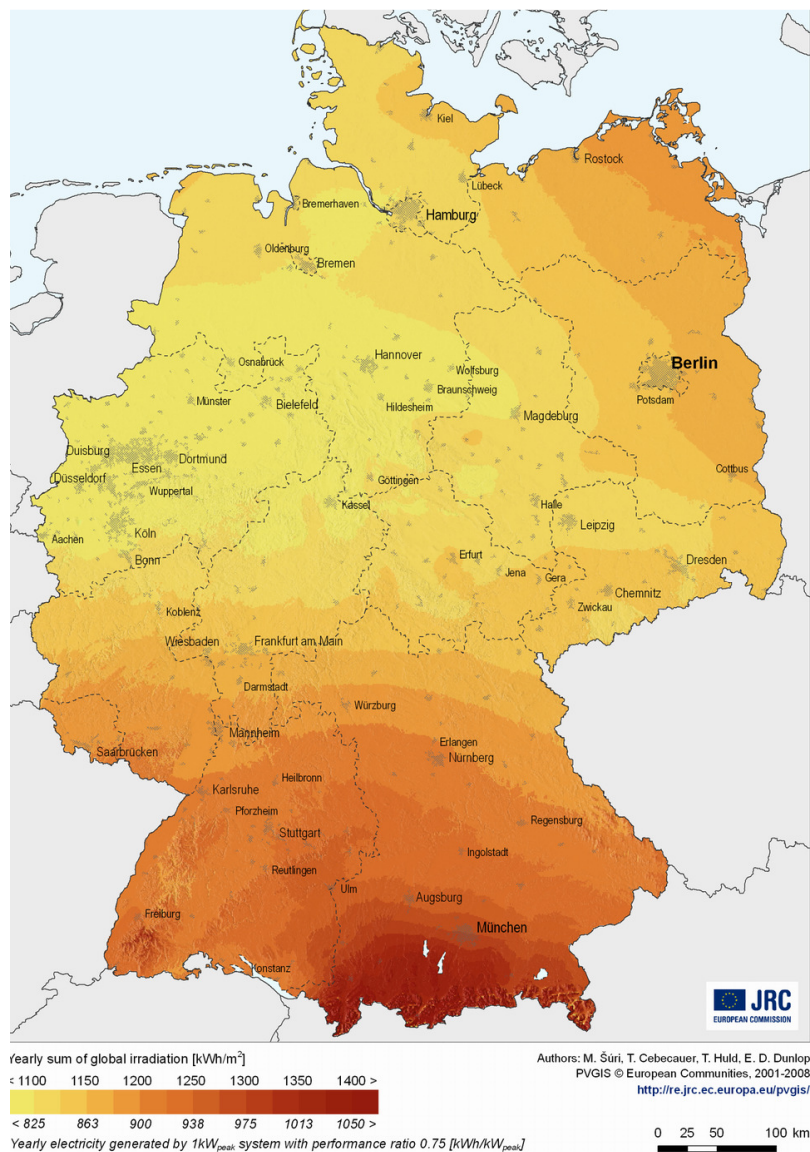
**Fonte: Adaptado de RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, 2011.**

Observando os quadros anteriores, a maioria dos países utilizam o sistema *Feed-in* para promover o uso das FRE, diferenciando-se apenas pelo valor pago pela tarifa prêmio, de acordo com cada tecnologia ou duração do programa.

#### 2.11.1. Panorama Alemanha

A Alemanha é o país que possui a maior capacidade de FV conectado à rede. Não se deve esquecer que toda essa potência instalada só foi possível por uma decisão estratégica do governo: inserir energia renovável na matriz energética, ainda que a Alemanha não possui condições completamente favoráveis para o desenvolvimento de energia solar fotovoltaica, pois o índice de irradiação solar não é um dos mais altos quando comparado à outros países

situados nas adjacências da linha do equador. A Figura 25, apresenta os níveis de irradiação na Alemanha, que é importante para determinar as melhores regiões e realizar os estudos para a aplicação de módulos fotovoltaicos no país.



**Figura 25 - Mapa da irradiação solar da Alemanha.**

**Fonte: JOIN RESEARCH CENTRE, 2008.**

O mercado fotovoltaico alemão empregava em 2007, 42.600 pessoas (0,056% dos empregados no país) e apresentou um crescimento de 44% em relação ao ano anterior (INDEX MUNDI, 2011). Dessa forma vale salientar que o setor fotovoltaico tem sido responsável, nos últimos anos, por mais de 65% dos empregos gerados no mercado de

tecnologias para o uso de energia solar (incluindo energia termosolar para aquecimento de água e geração de energia). Já em 2007 esse mercado englobava 84% dos empregos do mercado solar ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

Nos itens a seguir as políticas do governo alemão serão descritas bem como os incentivos referentes a cada período adotado. Essas políticas determinaram um cenário favorável para o incentivo e desenvolvimento das FRE.

#### 2.11.1.1. Período entre 1974-1988

A crise do petróleo de 1970 provocou no mundo os questionamentos sobre a participação desse combustível na matriz energética. Na Alemanha essas indagações foram tratadas com austeridade. A maneira adotada para evitar uma crise energética foi aumentar os investimentos governamentais em energia nuclear e térmica (carvão mineral). A partir dessa decisão, a opinião pública ficou descontente com os investimentos em energia nuclear e defendia investimentos governamentais em programas de eficiência energética e uso de fontes renováveis de energia.

Em 1980, o Ministério da P&D solicitou um estudo de cinco anos de duração para verificar se os investimentos em eficiência energética poderiam substituir os investimentos em energia termonuclear. Esse estudo concluiu que apenas os esforços para o uso de FRE e maior eficiência dos equipamentos elétricos poderiam ser menos dispendiosos que os investimentos em um sistema energético abastecido por energia termonuclear. Diante desta conclusão e forte pressão da opinião pública os investimentos em FRE alcançaram um nível significativo.

Em 1986 aconteceu o acidente em Chernobyl, e em 1988, 70% da população era contra a utilização de energia nuclear. O partido social democrata, com apoio da população, exigia o fechamento das usinas termonucleares. Em março de 1987, o chanceler Kohl declarou que as questões climáticas e os iminentes problemas ambientais (alertado pela sociedade alemã de física) eram motivos suficientes para que se convocassem uma comissão parlamentar especial para discutir o assunto energético alemão.

Nas décadas de 70 e 80, foram fundados a Associação das Indústrias de Energia Solar, o Instituto de Ecologia (*Öko-Institut*) e a *Förderverein Solarenergie*. Esses institutos ajudaram a desenvolver o conceito de “pagamento para cobertura de custos”, ou seja, *Feed-in Tariff* (tarifa prêmio) ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

### 2.11.1.2. Período entre 1990-1998

As preocupações com energias renováveis já existiam antes da década de 90. Porém, apenas depois dessa data foi que o governo alemão fez uma nova lei energética, que contempla o uso de geradores de energia em unidades consumidoras para venda. Para esse programa foi atribuído o nome de *Feed-in Law*.

Esse mecanismo exigia que as concessionárias comprassem o excedente de energia gerada pela unidade consumidora e com um deságio de 10% em relação a tarifa paga pela concessionária à geradora. Esse incentivo só conseguiu financiar uma pequena parte dos projetos de energia fotovoltaica, pois grande parte desse recurso foi usado para financiar usinas eólicas, uma vez que o investimento nessa fonte de energia renovável era menor para uma mesma potência instalada. Dessa forma a energia eólica adquiriu maturidade, o que não ocorreu com a energia fotovoltaica, pois seu custo era superior (SALAMONI, 2009).

O governo alemão na tentativa de evitar a disparidade de investimentos nas FRE, lançou o programa 1000 telhados fotovoltaicos até 1991. A instituição de crédito alemã para reconstrução e o governo alemão ofereciam financiamentos que variavam de 60-79% dos custos para instalações de unidades geradoras de energia fotovoltaica. Este programa em 1993 já havia financiado mais de 2.200 módulos fotovoltaicos conectados à rede e totalizava a potência instalada de 5,3 MWp. No entanto, para as empresas que fabricavam esses módulos, a expansão do mercado não era promissora, pois o governo alemão poderia cancelar este programa a qualquer momento. Dessa forma os investimentos em novas fábricas não poderiam ser concretizados sem que o governo alemão apresentasse as diretrizes de expansão desse programa.

Em 1997 o governo propôs a reforma do código do setor elétrico, onde reduziria as taxas de *Feed-in*, porém encontrou pesados protestos públicos que uniam trabalhadores, fazendeiros, grupos ligados à igreja, associações de defesa do meio ambiente e grupos ligados ao setor solar e eólico. Esses protestos fizeram com que o governo não conseguisse persuadir nem mesmo seus correligionários a votarem a favor da sua proposta que reduziriam os incentivos ao *Feed-in*. Claramente pode-se observar que as tecnologias verdes tinham adquirido legitimidade e um possível amparo legal. Não obstante, as energias renováveis conquistaram amparo legal nesse código, e depois foram transpostas para diretrizes energéticas da União Europeia.

Em 1998, o governo alemão juntamente com a EUROSOLAR propôs a criação de um programa sucessor: 100.000 telhados fotovoltaicos. Algumas empresas já haviam se instalado fora da Alemanha e após o anúncio desse programa, houve novamente uma concentração das atividades no país ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

#### 2.11.1.3. Período entre 1999-2003

Em janeiro de 1999, o programa solar 100.000 telhados foi iniciado e tem como meta a instalação de 300 MWp e oferece subsídios na forma de financiamento para instalação com baixas taxas de juros. Ao longo desse ano iniciou-se a reforma do sistema *Feed-in Law* que culminou na aprovação do código das Fontes Renováveis de Energia (*Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG*).

Segundo o Ministério de Minas e Energia, 2009, a EEG determinou que:

- o montante nacional a ser pago pela geração por FRE seria distribuído entre todas as concessionárias, assegurando assim que nenhuma região fosse sobrecarregada;
- as tarifas específicas para cada FRE, baseadas nos custos reais de geração.

Para continuar com as aplicações de tarifas prêmios no sistema *Feed-in Law* a EEG apresentou as seguintes justificativas:

- o princípio de que “o poluidor paga” com relação às externalidades;
- o antigo sistema de subsídios mantinha os preços da energia gerada por FRE artificialmente baixos;
- permite a quebra do círculo vicioso de altos custos unitários e baixos volumes de produção, típicos das tecnologias de uso de FRE para geração de eletricidade.

A EEG estabeleceu para energia solar:

- tarifas garantidas aos investidores por 20 anos, até que o programa atingisse a potência acumulada de 350 MWp;
- tarifas decrescentes a cada ano (~5%) para novas instalações (€0,457/kWh por 20 anos para geradores solares instalados em 2003).

Com essas iniciativas, apoio governamental e influência da sociedade, em 2000 a Alemanha se tornou líder mundial em telhados solares, tendo seis indústrias de produção de células e módulos fotovoltaicos operando no país.

O limite de potência de 350 MWp do programa 100.000 telhados já havia sido atingido em meados de 2003. A EEG foi pressionada para aumentar o limite do programa para 1 GWp e mesmo assim a instalação de novos painéis fotovoltaicos caiu drasticamente na metade de 2003, pois o sistema *Feed-in Tariff* pagava pela energia gerada uma tarifa prêmio que já não era atrativa para os investidores ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

#### 2.11.1.4. Período entre 2004-2008

Em 2004, para garantir o contínuo crescimento do mercado fotovoltaico na Alemanha, a EEG revisou as tarifas pagas e eliminou o limite para capacidade instalada do programa dos 100.000 telhados. Outro fator importante se refere a oposição das indústrias energointensivas, que inicialmente estavam pagando um valor elevado nas suas tarifas. Nessa emenda da EEG, foi estipulado um valor teto de acréscimo na tarifa de €0,05 por kWh, para a taxa paga pelos consumidores que apresentavam um consumo energético superior a 10 GWh por ano em uma única unidade consumidora, e cujos custos gastos com a eletricidade apresentavam um montante maior que 15% da sua arrecadação bruta ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

Em julho de 2007, o parlamento alemão resolveu fazer alterações na EEG, que se resumiam a reforma nas tarifas de provisionamento: incluindo um aumento anual das taxas de regressão e a extinção do bônus pago à energia fotovoltaica gerada por sistemas instalados em fachadas de edificações. A Tabela 6 mostra a regressão da tarifa paga para os vendedores depois da aprovação desse pacote de medidas.

**Tabela 6 - Regressão anual da tarifa prêmio na Alemanha.**

Sistemas Instalados	2008	2009	2010	2011
Na cobertura de edificações (<100kWp)	5%	8%	8%	9%
Na cobertura de edificações (>100kWp)	6%	10%	10%	9%
Montados no solo	6,5%	10%	10%	9%

**Fonte: Adaptado de SALAMONI, 2009.**



As alterações na EEG contemplaram, também, uma regressão da tarifa *Feed-in Law* das unidades consumidoras, que para os anos de 2009, 2010 e 2011 poderão sofrer um decréscimo ou um acréscimo de um ponto percentual de acordo com a potência fotovoltaica instalada em cada um desses anos. Se a potência instalada for menor que 1.000 MWp em 2009, 1.100 MWp em 2010 e 1.200 MWp em 2011 a tarifa sofrerá um reajuste de um ponto percentual para mais. Porém, se a potência instalada for superior a 1.500 MWp em 2009, 1.700 MWp em 2010 e 1.900 MWp em 2011 a tarifa sofrerá um reajuste de um ponto percentual para menos. De acordo com a Tabela 7 é possível observar a variação da tarifa prêmio nos períodos de 2004 e 2008, já com a revisão da EEG.

**Tabela 7 - Relação das tarifas prêmio em euros<sup>8</sup> na Alemanha de acordo com a revisão da EEG 2008.**

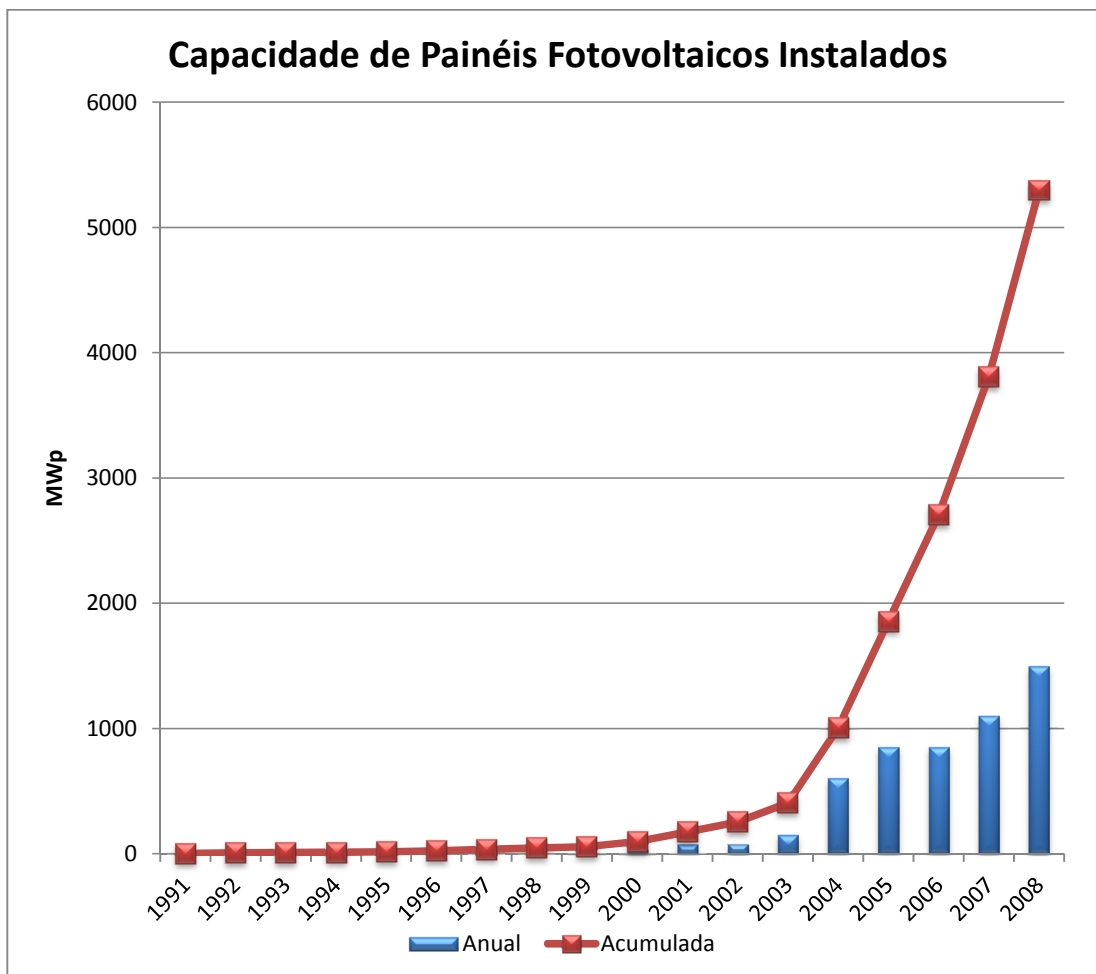
Ano	Sistemas < 30 kWp	Sistemas entre 30 – 100 kWp	Sistemas < 100 kWp	Sistemas < 1.000 kWp
2004	0,4441	0,4226	0,4179	0,4179
2008	0,4675	0,4478	0,4399	0,4399
2009	0,4301	0,4091	0,3958	0,3300
2010	0,3957	0,3764	0,3562	0,2970
2011	0,3601	0,3425	0,3242	0,2703
2012	0,3277	0,3117	0,2950	0,2459
2013	0,2982	0,2836	0,2684	0,2238
2014	0,2713	0,2581	0,2443	0,2037
2015	0,2469	0,2349	0,2223	0,1853

**Fonte: Adaptado de SALAMONI, 2009.**

A Alemanha aceitou o desafio de se tornar o país que possui maior capacidade instalada de energia solar no mundo e para isso financiou seus programas de desenvolvimentos de energias renováveis, por meio de empréstimos com juros baixos, oferecidos pelos principais bancos alemães e refinanciado pelo Governo Federal. E também criou um programa de energia renováveis (*EEG*) que oferece o pagamento de tarifas prêmio (*feed-in*) para as unidades consumidoras que se dispõem a investir juntamente com o governo.

<sup>8</sup> Em dezembro de 2008 a taxa de câmbio do Euro para o Real era 3,23.

A potência de energia acumulada do ano de 2008 chegou a 5,3 GWp com crescimento de 1,3 GWp (28%) em relação ao ano anterior. O Gráfico 9, apresenta a capacidade instalada de energia fotovoltaica ao longo dos anos de 1991 até 2008.



**Gráfico 9 - Processo de evolução da energia fotovoltaica na matriz energética alemã.**

**Fonte: Adaptado de SALAMONI, 2009.**

#### 2.11.1.5. Período entre 2009-2012

Em 2010, a Alemanha, novamente, despontou com o maior ritmo global de crescimento de painéis fotovoltaicos, com uma capacidade instalada de 7,4 GWp, atingindo 17,3 GWp. Esse ritmo faz o governo acreditar que em 2020 a capacidade instalada chegará a

51 GWp. Porém, a cada recorde de painéis instalados, o governo, através da *EEG* revisa o preço do kWh para menos, pago para as unidades geradoras a cada ano.

Os debates na *EEG* para redução nas tarifas *feed-in* em 2010, culminou em um déficit em duas parcelas: a primeira em primeiro de julho, com uma redução média de 13% e a segunda em primeiro de outubro, com uma redução média de 3%. A tarifa prêmio alemã, já alcançou níveis muito baixos quando comparado à outros países da UE (EPIA - EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION, 2011). Nesse ano, o valor da tarifa normal residencial era de €0,308 / kWh (CORREIO DO ESTADO, 2010).

Em 2011, a capacidade adicionada foi de 5,2 MWp chegando no acumulado próximo do patamar de 22,5 GWp. O crescimento expressivo desse e dos anos anteriores, levaram o governo a aprovar um pacote de medidas que modificará as diretrizes descritas na *EEG*. Dessa forma a Tabela 7, será modificada a cada ano de exercício, que começou em janeiro de 2012: conforme a Tabela 8.

**Tabela 8 - Revisão da tarifa prêmio alemã em euros<sup>9</sup> para 2012.**

Ano	Sistemas < 30 kWp	Sistemas entre 30 – 100 kWp	Sistemas < 100 kWp	Sistemas < 1.000 kWp
2012	0,2443	0,2323	0,2198	0,1833

**Fonte: Adaptado de EEG - ERNEUERBARE ENERGIEN GESETZ, 2011.**

Observa-se uma redução de 15% quando comparado aos preços das tarifas prêmio divulgados em 2008. A partir dessas discrepâncias a cada ano, a *EEG* divulgará a tarifa prêmio referente ao ano seguinte, e não definindo valores para os períodos futuros.

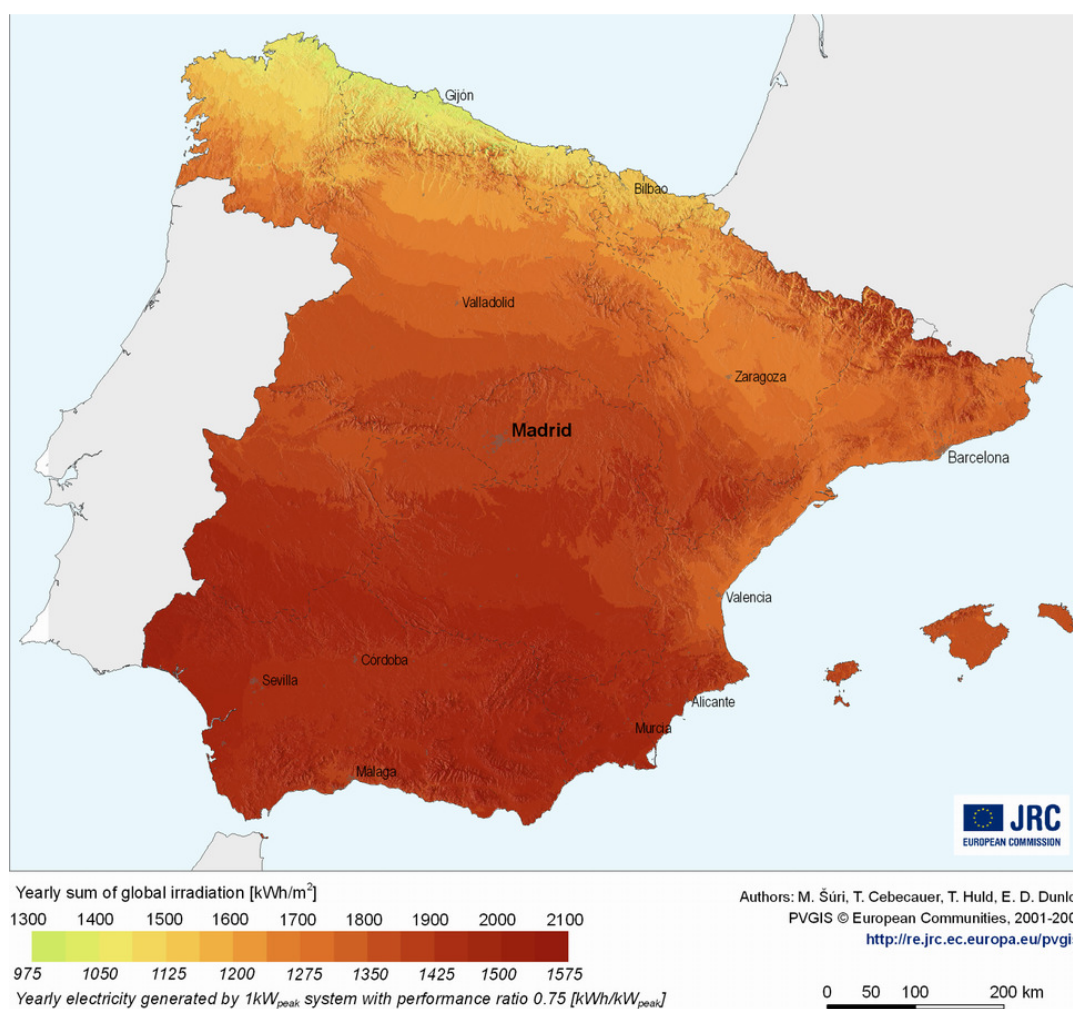
### 2.11.2. Panorama Espanha

A Espanha, inicialmente, incentivou instalações de grandes centrais e que se desenvolveram em uma escala considerável. Devido a alta rentabilidade garantida pela constituição vigente e pelo interesse governamental sobre o assunto. Por conta desses incentivos a grandes instalações, o governo despendia grandes quantias para poucas unidades geradoras de energia renovável. Observou-se, que seria mais interessante para o desenvolvimento dessa tecnologia na sociedade espanhola, se o marco regulatório passasse a

<sup>9</sup> Em janeiro de 2012 a taxa de câmbio do Euro para o Real era 2,41.

incentivar a instalação de painéis fotovoltaicos de forma distribuída, ou seja, sistemas de pequeno porte instalados próximos ou sobre as unidades consumidoras.

A Figura 26, apresenta os níveis de irradiação na Espanha, que é importante para determinar as melhores regiões e realizar os estudos para a aplicação de módulos fotovoltaicos no país. A Espanha (latitude de 40°N) quando comparado à Alemanha (latitude de 51°N), tem condições mais favoráveis para a utilização dos módulos fotovoltaicos, considerando os níveis de irradiação incididos por metro quadrado.



**Figura 26 - Mapa da irradiação solar na Espanha.**

**Fonte: JOIN RESEARCH CENTRE, 2008.**

A Espanha em 2007 empregava mais de 26.000 pessoas no mercado fotovoltaico (0,066% dos empregados no país) (INDEX MUNDI, 2011).

Nos itens a seguir, as políticas do governo espanhol serão descritas, bem como os incentivos referentes a cada período adotado. Essas políticas determinaram um cenário favorável para o incentivo e desenvolvimento das FRE.

#### 2.11.2.1. Período entre 1998-2001

A Espanha regulamentou em 23 de dezembro de 1998, através de um decreto real, um novo modelo para o sistema elétrico espanhol, criando assim, um cenário favorável para inclusão das FRE na matriz energética nacional. Esse decreto estipulou uma remuneração paga, *feed-in*, para as unidades consumidoras (com instalação menor que 5 kWp), a qual seria revisada periodicamente e mantida até que a potência instalada de módulos fotovoltaicos fosse superior ao patamar de 50 MWp. Dessa forma, as concessionárias de energia eram obrigadas a comprar o excedente gerado pelas unidades consumidoras por um preço mínimo igual ao valor de mercado, acrescido de um incentivo fixo, estabelecido por este Real Decreto, conforme Tabela 9 (SALAMONI, 2009):

**Tabela 9 - Tarifa prêmio em euros<sup>10</sup> da energia solar na Espanha.**

	Instalações < 5 kWp	Instalações > 5 kWp
Horário de venda fixo	0,36 €/kWh	0,18 €/kWh
Horário qualquer de venda	0,40 €/kWh	0,21 €/kWh

**Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009.**

Os interessados em investir nessa tecnologia estavam com dificuldades em gerar capital para investimentos em instalação superior a 5 kWp, pois a remuneração garantida de €0,21 por kWh não era atrativa. Também, consideravam que o limite nacional de 50 MWp poderia ser facilmente transposto, pois atingido o limite não haveria garantias de incentivos para os investidores.

#### 2.11.2.2. Período entre 2004-2006

Em março de 2004, foi criado um decreto que alterava o decreto anterior (1998) e estabelecia que pelo menos 12% da demanda energética espanhola deveria ser oriunda de

<sup>10</sup> Em dezembro de 1998 a taxa de câmbio do Euro para o Real era 1,41.

fontes de energia renováveis até o ano de 2010. Esse novo decreto previa incentivos que deveriam ser pagos, conforme a tarifa média de referência (TMR), para a geração de energia fotovoltaica em diferentes formas (SALAMONI, 2009):

- unidades consumidoras que vendessem sua produção para a rede;
- unidades consumidoras que vendessem sua produção ao mercado livre.

Os consumidores que adotassem a primeira forma, receberiam uma tarifa prêmio definida por uma porcentagem da tarifa normal e os que adotassem a segunda, receberiam uma parcela de incentivos (TRM) mais o preço estabelecido pelo mercado ou por uma prévia negociação direta com o consumidor dessa energia ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

As tarifas prêmios serão pagas até 2029, conforme discriminado a seguir:

- unidades consumidoras que possuem menos de 100 kWp instalado, recebem 575% da TMR durante os primeiros 25 anos e após esse período, passarão a receber 460%;
- unidades consumidoras que possuem potência instalada superior a 100 kWp, recebem durante os primeiros 25 anos 300% da TMR e após esse período passarão a receber 240%.

O cenário estabelecido pelo governo espanhol no ano de 2004, possibilitou obter rentabilidade aos investidores superiores a 12% (ao ano) para sistema de até 100 kWp. Dessa forma, ocorreu uma grande demanda nos pedidos de conexões à rede pelos consumidores às concessionárias.

#### 2.11.2.3. Período entre 2007-2012

Em maio de 2007, foi criado um novo Real Decreto, que regulamentou as atividades de geração de energia elétrica em regime especial. Também, estabeleceu taxas de €500 por kWp para a conexão de instalações de centrais solares fotovoltaicas, que ocupassem terreno destinado à produção de eletricidade. Já as instalações realizadas em edificações, ficariam isentas das taxas. O Decreto, também, determinava a desvinculação da tarifa (fatura) da Tarifa Média de Referência (SALAMONI, 2009). A Tabela 10, apresenta as tarifas que foram estabelecidas pelo Real Decreto.

**Tabela 10 - Tarifa prêmio na Espanha estabelecido pelo Real Decreto de 2007.**

Potencia	Tarifa Regulada	
	Primeiros 25 anos	Depois de 25 anos
P < 100 kWp	0,440381 €/kWh	0,352305 €/kWh
100 kWp < P < 10 MWp	0,417500 €/kWh	0,334000 €/kWh
P > 10 MWp	0,229764 €/kWh	0,183811 €/kWh

**Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009.**

No final de 2007, a meta de 410 MWp do Plano de Fomento às Energias Renováveis para o ano de 2010, já havia sido alcançada, chegando ao patamar de mais de 630 MWp. Em 2008, o valor da tarifa normal residencial da energia elétrica era de €0,163/kWh (LOR, 2010).

Em setembro de 2008, um novo Real Decreto foi publicado para alterar o Decreto anterior (2007). O novo regime que foi exposto pretendia estimular a instalação de sistemas fotovoltaicos integrados às edificações, buscando corrigir as inúmeras solicitações de conexões que não eram instalados em edificações, ou seja, frejava a instalação de grandes unidades geradoras. Essa medida foi necessária, pois apenas 5% da potência instalada era integrada às edificações. Também, estabeleceu um limite para instalar 500 MWp de potência de energia fotovoltaica por ano.

As novas instalações em 2008 alcançaram mais de 2.661 MWp de potência instalada, o que se traduz em um crescimento de aproximadamente de 300% quando comparado ao ano anterior (2007).

O Real Decreto de novembro de 2010 fez algumas alterações nos decretos anteriores, entre elas estabeleceu que não só mais as unidades de geração superiores a 10 MWp, como também as unidades com potência superior a 1 MWp, deveriam informar de modo *online* o Centro de Controle de Geração. Dessa forma, o governo esperava ter o controle de todos os parâmetros e dados de geração momentânea das empresas que inseriam energia elétrica no sistema nacional. Outras alterações importantes no decreto foi o controle mais rígido sobre as harmônicas que são inseridas no sistema. A Tabela 11, apresenta o bônus que o governo pagaria as empresas que tiverem uma distorção harmônica pequena e fator de potência próximo a um e penalidades para unidades consumidoras ou geradoras que não atingisse o fator de potência mínimo (0,98).

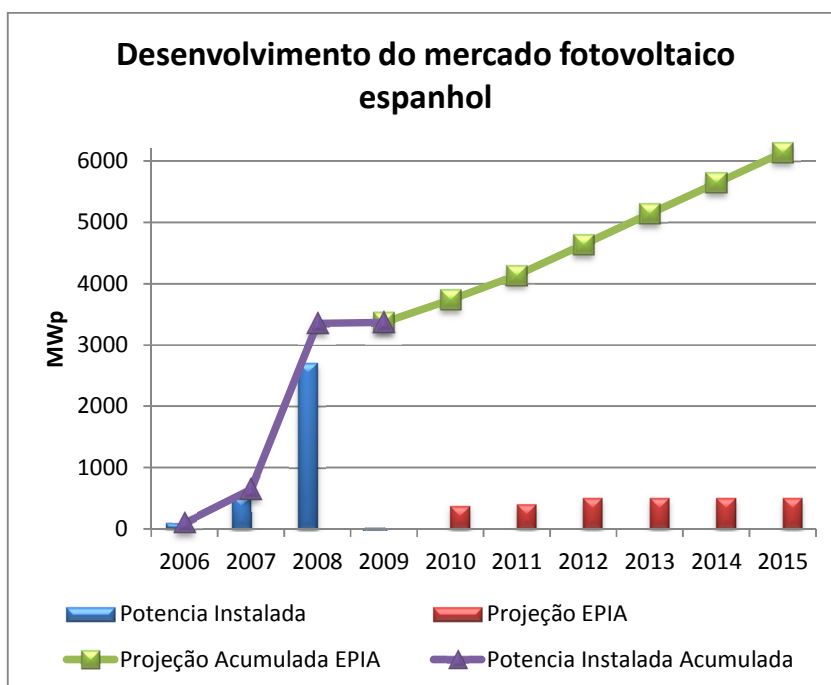
**Tabela 11 - Multa e bonificação para fatores de potência.**

Fator de Potencia	Bonificação	Penalidade
Obrigatório (0,98 capacitivo e indutivo)	0,00 %	3,00 %
De 0,995 capacitivo e indutivo	4,00 %	0,00 %

**Fonte: Adaptado de MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO, 2010.**

O Real Decreto de 23 de dezembro de 2010 fez alterações aos decretos anteriores e estabeleceu uma limitação de horas de funcionamento para as unidades produtoras de energia solar fotovoltaica, de acordo com as zonas de irradiação solar (estabelecida pelo Real Decreto 314/2006). Bem como reajustaram os limites pagos nos sistemas tarifários (*Feed-in Tariff*) para 0,29-0,32 €/kWh em sistemas instalados sobre os telhados e 0,27 €/kWh em sistemas instalados em terreno dedicado.

Devido à limitação imposta e a baixa remuneração (cortes na ordem de 40%), espera-se que o mercado espanhol cresça bem menos que nos últimos anos (17 MWp em 2009). O Gráfico 10, mostra o atual crescimento espanhol e a projeção prevista no mercado espanhol com base no indicador EPIA moderado.

**Gráfico 10 - Crescimento da potência solar fotovoltaica instalada na Espanha.**

**Fonte: Adaptado de (DEUTSCHE CLEANTECH INSTITUT - DCTI, 2011)**

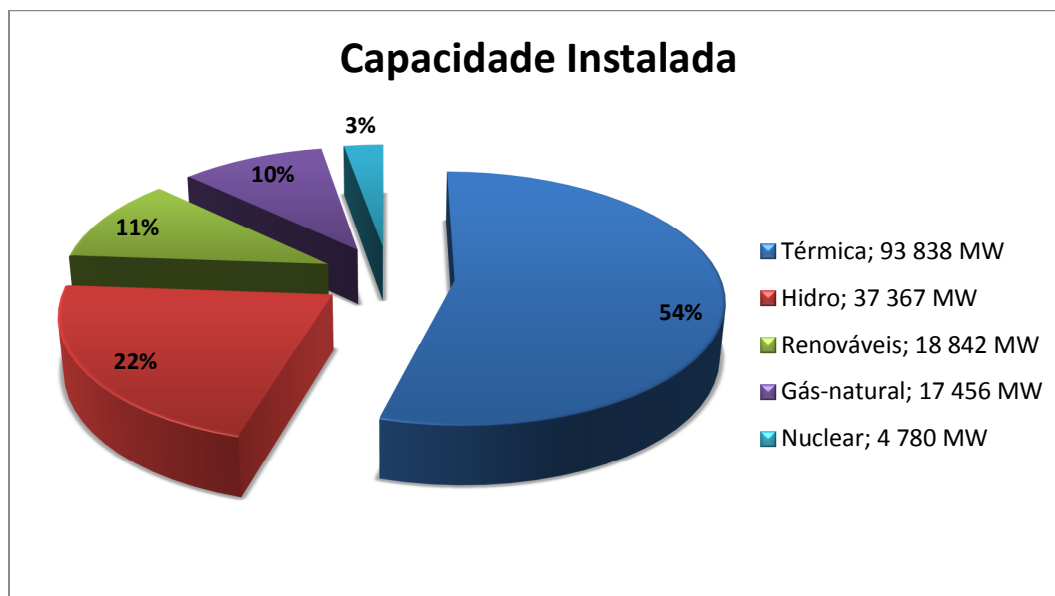


### 2.11.3. Panorama Índia

As exigências energéticas na Índia acompanham o elevado índice de desenvolvimento do país. O aumento da produção energética cresceu de forma elevada em comparação aos países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China), porém o aumento real não acompanhou o crescimento, pois no país existem problemas de alta ineficiência na geração, transmissão e distribuição de eletricidade (CENTRE FOR INTERNATIONAL TRADE, ECONOMICS & ENVIRONMENT - CUTS, 2010).

O governo está desenvolvendo políticas que visam aumentar a eficiência energética indiana e, também, investir em energias renováveis. Em 2006 o consumo de energia elétrica foi da ordem de 505 TWh e de acordo com o *The Energy and Resources Institute (TERI)*, o consumo de energia em 2030 será 7,5 vezes maior que o consumo de 2006. A Índia assume a décima primeira posição na classificação de geração de energia e produz 2,4% da energia gerada no mundo e assume o sexto lugar em consumo de energia, o que representa 3,3% do consumo da energia mundial.

O Gráfico 11 apresenta a matriz energética da Índia em 2011.

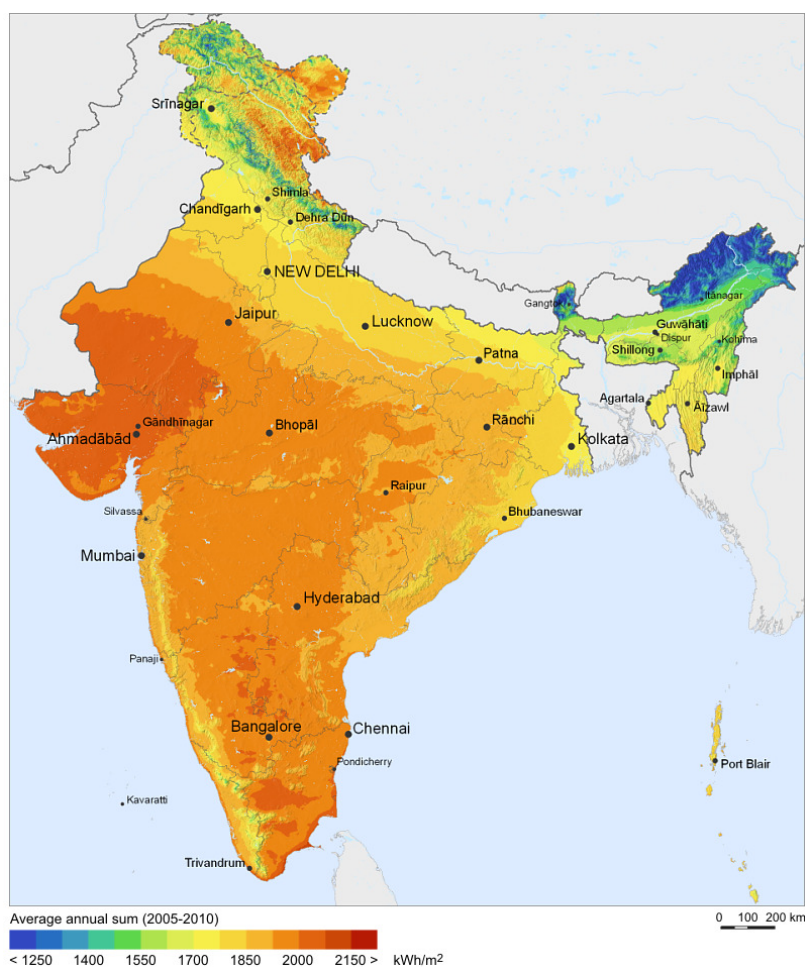


**Gráfico 11 - Matriz energética indiana.**

**Fonte: Adaptado de (MINISTRY OF NEW AND RENEWABLE ENERGY, 2011).**

Aproximadamente dois terços da energia produzida no país provinham da queima de carvão mineral. A Índia já foi o terceiro maior produtor de carvão do mundo e o governo vem se preocupando com a queima desse mineral, uma vez que o carvão proveniente das jazidas indianas possui um elevado teor de cinzas, o que leva a preocupações ambientais, pois ele polui significadamente mais do que os outros carvões no mundo.

A Índia recebe irradiação solar equivalente a 600 TWh por ano, que é muito mais do que o seu atual consumo energético. Essa quantia, também, é maior que a soma de todas as outras fontes de energia renováveis em território indiano. Mesmo possuindo várias indústrias de fabricação de células fotovoltaicas instaladas no seu território, ela possui apenas 2 MWp de módulos fotovoltaicos instalados até março de 2009 ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009). A Figura 27 mostra o nível de irradiação solar no território indiano e assim observa-se que o potencial energético é maior do que a Espanha e Alemanha.



**Figura 27 - Mapa da irradiação solar na Índia.**

**Fonte: GEOMOEDEL SOLAR, 2012.**

### 2.11.3.1. Período entre 2008-2012

Em 2008, o plano nacional indiano sobre mudanças no clima foi lançado. Uma das ações do programa foi a implantação experimental de 50 MWp a partir de fontes solares de energia. Esse programa garantia a remuneração de Rs.<sup>11</sup> 0,15/kWh (RAINA, 2010).

Em 2009, alguns estados indianos criaram seus programas de incentivos solares independentes. Eles continuavam a pagar Rs. 0,15/kWh. Os estados eram: Gujarat (500 MWp) e Rajasthan (50 MWp) (RAINA, 2010).

Em 2010, o governo indiano lança o *Jawaharlal Nehru National Solar Mission*. Esse plano visa à consolidação de fontes renováveis no território indiano, dessa forma o governo deseja promover o crescimento sustentável e ecologicamente correto, vinculado com fontes energéticas seguras e garantindo acesso à energia elétrica para mais de 10.000 aldeias e lugarejos (GOVERNMENT OF INDIA, 2010). A remuneração paga por kWh partiu de Rs.15,00-17,91.

A meta do programa solar é obter a paridade de geração de energia elétrica com as fontes de carvão até o ano de 2030. Assim, o desafio do governo é multiplicar por dezesseis a potência solar fotovoltaica de 2008 e atender às necessidades da maior parte das famílias rurais até o término do programa.

O objetivo do programa é tornar a Índia líder mundial em energia solar fotovoltaica e criar um cenário favorável para a difusão dessa tecnologia em todo território indiano (GOVERNMENT OF INDIA, 2010). O governo indiano separou o programa em três fases para penetrar no mercado de energia solar fotovoltaica: a primeira está entre 2010 e 2013, a segunda entre 2013 e 2017 e a terceira de 2017 a 2022, conforme Tabela 12.

**Tabela 12 - Fases do programa *Jawaharlal Nehru National Solar Mission*.**

Seguimento de Aplicação	Fase I	Fase II	Fase III
Coletores solar (aquecimento de água)	7.000.000 m <sup>2</sup>	15.000.000 m <sup>2</sup>	20.000.000 m <sup>2</sup>
Sistemas Isolados	200 MWp	1 GWp	2 GWp
Sistemas no solo e em telhados	1 – 2 GWp	4 – 10 GWp	20 GWp

**Fonte: Adaptado de GOVERNMENT OF INDIA, 2010.**

<sup>11</sup> Unidade monetária indiana, Rúpias. Em dezembro de 2008, a taxa de câmbio das Rúpias indiana para o Real era 0,046.

Após adquirir experiência com a instalação dos primeiros 20 GWp, a Índia estará preparada para continuar os investimentos até atingir o objetivo do programa. Para o governo alcançar os objetivos, foram divididos os alvos do programa que são (GOVERNMENT OF INDIA, 2010):

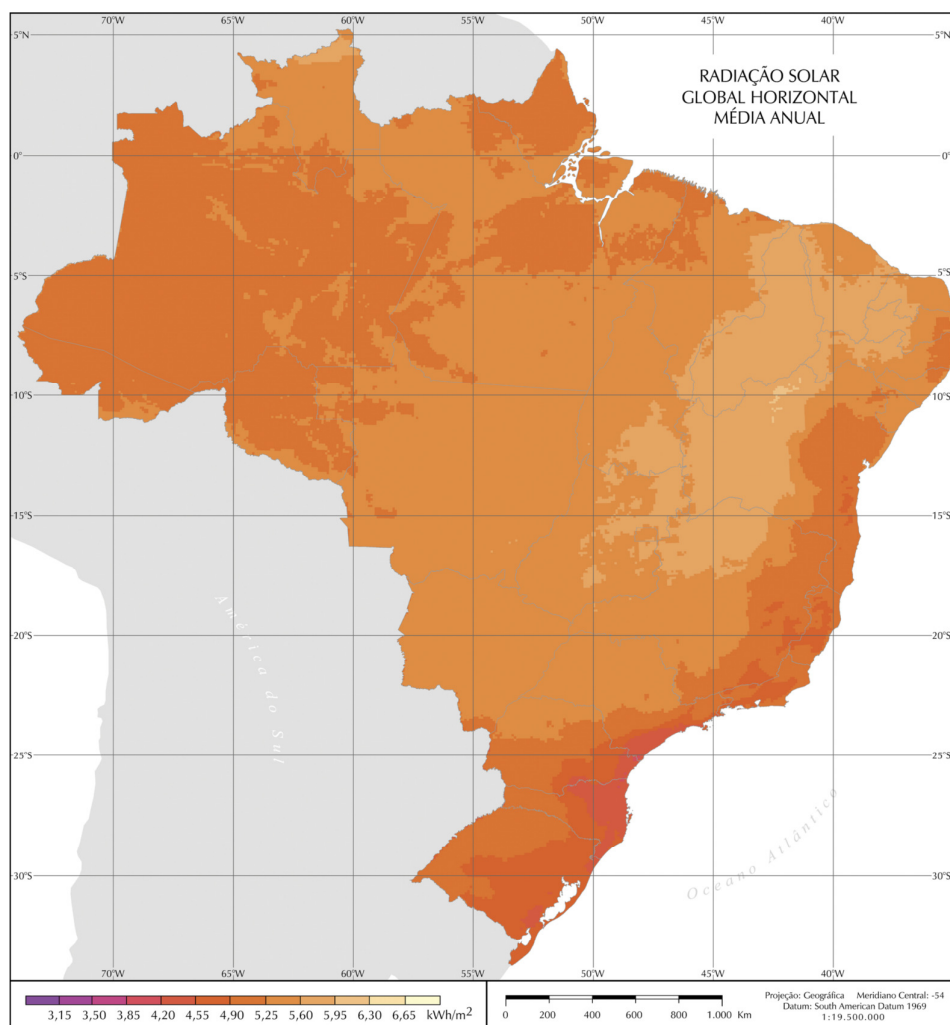
- criar um quadro político e econômico favorável para a implantação de 20 GWp até 2022;
- conectar os sistemas isolados já instalados de energia solar fotovoltaica até alcançar potência de 1 GWp até 2013 e até 2017 conectar mais 3 GWp;
- promover novas instalações de sistemas isolados de 1 GWp até 2017 e 2 GWp até 2022;
- distribuir vinte milhões de sistemas de iluminação solar para áreas rurais, até 2022;
- ampliação de indústrias de fabricação de células fotovoltaicas até que alcance a capacidade anual de 2 GWp e, também, prevê impostos especiais para importação de bens de produção voltados para energia limpa;
- criação de um Centro Nacional de Pesquisa e Educação em Fotovoltaica para disseminar a tecnologia.

#### 2.11.4. Panorama Brasil

O Brasil possui um grande desafio nas próximas décadas para buscar soluções em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. E ao mesmo tempo deve cumprir os critérios de segurança, garantia de acesso, economicidade e sustentabilidade ambiental. Dessa forma, as crescentes pressões ambientais sobre a exploração do potencial hidráulico localizado na região amazônica e os recursos energéticos cada vez mais distantes dos centros consumidores, são fatores relevantes para se buscar novas soluções. Observa-se, também, que grande parte do potencial hidráulico localizado nas adjacências dos grandes centros consumidores já está sendo explorado. Para satisfazer esses critérios, através de políticas públicas, o governo provê incentivos para pesquisa e inserção de novas tecnologias na geração de energia elétrica JANNUZZI *et al.*, 2009.

As novas políticas públicas devem prover incentivos para o uso de sistemas fotovoltaicos, pois a cada dia os avanços tecnológicos e novas descobertas estão levando a resultados promissores para diminuir, ainda mais, os custos de fabricação.

A partir dos dados do Atlas Solarimétrico do Brasil, indicam que o país possui uma média anual de radiação solar global entre 1.500 – 2.500 kWh/m<sup>2</sup> por ano. Se apenas 5% dessa energia fosse utilizada para geração de energia elétrica, a demanda nacional seria atendida (GREENPEACE INTERNACIONAL, 2010). A Figura 28, apresenta o nível de irradiação no território do Brasil.



**Figura 28 - Mapa da irradiação solar no Brasil.**

**Fonte: RÜTHER *et al.*, 2006.**

Cadastrado junto a ANEEL, existem apenas oito sistemas fotovoltaicos, listados no Quadro 4 a seguir, porém a usina de Araras, no município de Nova Mamoré-RO, era um sistema híbrido diesel-FV em uma mini rede e atualmente foi desativada devido a chegada da rede elétrica (concessionária) até a comunidade.

Usinas do Tipo UFV em Operação				
Usina	Potência Outorgada [kWp]	Potência Fiscalizada [kWp]	Proprietário	Município
Araras – RO	20,48	20,48	Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária	Nova Mamoré - RO
Tauá	5000	1000	MPX Tauá Energia Solar Ltda.	Tauá - CE
IEE	12,26	12,26	Instituto de Eletrotécnica e Energia	São Paulo - SP
UFV IEE / Estacionamento	3	3	Instituto de Eletrotécnica e Energia	São Paulo - SP
Embaixada Italiana Brasília	50	50	Embaixada Italiana em Brasília	Brasília - DF
PV Beta Teste Site	1,70	1,70	DuPont do Brasil S.A	Barueri - SP
Pituaçu Solar	404,8	404,8	Superintendência dos Desportos do Estado da Bahia	Salvador - BA
Aeroporto Campo de Marte	2,12	2,12	Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária	São Paulo - SP
Total: 8 Usinas		Total: 1.494,36		

**Quadro 4 - Usinas fotovoltaicas cadastradas junto à ANEEL.**

**Fonte: Adaptado de ANEEL, 2012.**

#### 2.11.4.1. Período entre 1970-1990

No final da década de 70, começaram a serem importados os primeiros módulos fotovoltaicos. Esses módulos eram utilizados exclusivamente no setor de telecomunicações e eram fabricados nos EUA.

No início de 1980, uma empresa chamada Heliodinâmica iniciou suas atividades de fabricação de coletores solares planos para aquecimento de água de uso industrial e residencial. Foi a primeira empresa nacional que explorava a conversão de energia luminosa em energia térmica e posteriormente em energia elétrica. No estado do Rio Grande do Norte (RN), a empresa realizou a primeira instalação de um sistema de bombeamento que utilizava motores CC e um painel fotovoltaico, posteriormente passou a comercializar tarugos cilíndricos de silício monocristalino, além de células e módulos fotovoltaicos destinados ao setor de telecomunicações ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

A Lei da Informática publicada em outubro de 1984, foi criada com intuito de proteger e preservar o mercado interno para fornecedores nacionais de equipamentos e programas de computador. Essa lei, também, protegia as empresas nacionais ligadas ao setor de energia fotovoltaica, pois na fabricação dos módulos é empregado silício e esse mesmo material faz

parte de microcomponentes eletrônicos (que originam computadores) que eram protegidos por essa lei. Porém, os incentivos garantidos pela lei, aparentemente não foram suficientes para garantir a estabilidade financeira, o posterior crescimento e a produção de sistemas e componentes a preços compatíveis aos dos concorrentes do mercado internacional.

#### 2.11.4.2. Período entre 1990-2000

No ano de 1992 a Lei da Informática foi modificada e, dessa forma, as barreiras internacionais que dificultavam a entrada de equipamentos ligadas à informática (e módulos fotovoltaicos, pois continham silício), foram retiradas e assim as empresas internacionais passaram a disputar o mercado nacional, culminando em uma competição desfavorável para as empresas nacionais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

O Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) criado em 1994, foi coordenado pelo Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE) do MME. A parte técnica do programa que englobava especificações técnicas, avaliações de projetos, análises de desempenhos e treinamento técnico de pessoal foram coordenados pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL).

Esse programa teve por objetivo suprir às necessidades de energia elétrica de localidades isoladas e não atendidas pelo SIN, utilizando as fontes renováveis locais, de modo a promover o desenvolvimento auto-sustentável, social e econômico dessas comunidades (BRAUN-GRABOLLE, 2010).

O atendimento de comunidades remotas não integradas ao SIN, objetivo desse programa, fez com que o custo da instalação dos módulos fotovoltaicos exigisse um emprego de tecnologias não convencionais e de uso pouco difundido, justamente por ser um sistema isolado. Também, possibilitava a criação de um nicho de mercado para indústria nacional, pois o público alvo não apresentava condições de renda favorável para a aquisição desses equipamentos.

O PRODEEM instalou cerca de 5.700 sistemas fotovoltaicos em áreas que não fazem parte do SIN, principalmente nas regiões norte e nordeste do país. Os módulos fotovoltaicos foram adquiridos pelo Governo Federal e fornecido sem custo algum para os usuários, através das agências estaduais e concessionárias de energia, porém, problemas técnicos e de gestão, falta de acompanhamento adequado, instalações inadequadas e o fato de serem oferecidas de

graça gerou uma dúvida quanto a utilização dessa tecnologia junto ao Governo Federal e ao Operador da Rede de Transmissão (SALAMONI, 2009).

Segundo Salomoni, 2009, algumas falhas do PRODEEM foram ser apontadas:

- a execução do programa foi baseada em importação de equipamentos e assim, desencorajou a indústria nacional;
- de acordo com a auditoria do programa (instituição de controle brasileira), apenas 36% dos módulos foram instalados corretamente, pararam de operar precocemente e 46% dos sistemas foram desencaminhados e não chegaram ao destino final;
- o programa excluía as tecnologias eólicas e PCH, sendo que apenas a tecnologia fotovoltaica foi beneficiada.

As leis, decretos e resoluções citadas a seguir foram importantes para a utilização de energias alternativas, segundo Severino, 2008:

- Lei nº 9074/1995 - instituiu a figura do PIE e dessa forma garantiu livre acesso ao SIN por esses produtores, mediante ressarcimento do custo energético envolvido;
- Lei nº 2003/1996 - regulamentou a produção de energia elétrica pelo PIE;
- Lei nº 9427/1996 - instituiu a ANEEL;
- Decreto nº 2655/1998 – regulamentou o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) e definiu regras para a criação do ONS;
- Resolução ANEEL nº 112/1999 – estabeleceu os requisitos necessários para obtenção de registro (autorização) para a implantação ou ampliação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia;
- Resolução ANEEL nº 281/1999 – estabeleceu as condições gerais de contratação, acesso, uso e conexão do sistema de transmissão e de distribuição de energia elétrica e as tarifas;
- Resolução ANEEL nº 371/1999 – regulamentou a contratação e o comércio de energia pelo PIE ou por autoprodutor para atendimento a uma unidade consumidora conectada ao SIN;

Ao final da década de 1990, haviam alguns sistemas conectados à rede, conforme a Tabela 13.



**Tabela 13 - Sistemas conectados à rede no final da década de 90.**

	Sistema Fotovoltaico	Ano de Instalação	Potência [kWp]
01	CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco <sup>12</sup>	1995	11
02	Labsolar (UFSC)	1997	2,1
03	LSF (IEE/USP)	1998	0,75
04	COPPE (UFRJ) <sup>13</sup>	1999	0,85
05	Labsolar (UFSC)	2000	1,1
06	Grupo FAE-UFPE (Fernando de Noronha)	2000	2,5
Total:			18,3

**Fonte: Adaptado de JANNUZZI *et al.*, 2009.**

#### 2.11.4.3. Período entre 2000-2012

Em 2001, o PRODEEM foi responsável por um quarto da capacidade de módulos fotovoltaicos instalados no país, correspondendo aproximadamente a 5,2 MWp JANNUZZI *et al.*, 2009. Os sistemas foram distribuídos conforme discriminado na Tabela 14.

**Tabela 14 - Sistemas instalados pelo PRODEEM.**

Fase		I	II	III	Bombeamento	IV	V	Total
Sistema de Eletrificação Rural	Quant.	190	387	677		1.660	3.000	5.914
	Capacidade instalada	87	200	419		972	2.172	3.850 kWp
Sistema de Bombeamento de Água	Quant.	54	179	176	800	1.240		2.449
	Capacidade instalada	78	211	135	235	696		1.355 kWp
Sistema de Iluminação Pública	Quant.	137	242					379
	Capacidade instalada	7,5	17					24,5 kWp
Total de Sistemas:						Quant.		8.742
						Capacidade instalada		5.229,5 kWp

**Fonte: Adaptado de JANNUZZI *et al.*, 2009.**

<sup>12, 13</sup> Atualmente sistema fora de operação.

Em 2002, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) foi criado. O objetivo do programa foi inicialmente a contratação de 3.300 MW instalados, sendo que esse montante foi igualmente distribuídos entre três fontes renováveis: biomassa, PCH e eólica. Esse programa foi dividido em duas fases: na primeira devido aos baixos valores pagos por kWh (que foram estabelecidos pela ANEEL) não atraiu os projetos que utilizavam biomassa para geração de energia (EXMAN, 2004). A segunda fase do programa previa o índice de nacionalização dos equipamentos utilizados maior que 90%, antes 60%, e um incremento anual pela potência contratada.

As principais dificuldades de estruturação do PROINFA foram:

- falta de recursos financeiros por parte dos investidores, já que a participação dos PIEs era priorizada (SALAMONI, 2009);
- o PROINFA não incluía a tecnologia solar fotovoltaica no programa (CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE DA EAESP - FGV, 2011);
- as dificuldades enfrentadas na primeira fase do programa, criaram incerteza em relação ao sucesso da segunda fase (SALAMONI, 2009);
- o programa deveria ter sido baseado no sistema *feed-in*, como ocorre em diversos países dentre eles a Alemanha, Espanha e Índia (CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE DA EAESP - FGV, 2011).

Em 2003, o PRODEEM foi revisto e passou a incorporar o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica Luz para Todos. Esse programa tinha como meta levar a energia elétrica gratuitamente para dois milhões de famílias de baixa renda que não estavam assistidas pelo SIN. Os projetos especiais que consideraram a utilização de painéis fotovoltaicos estavam sujeitos à aprovação governamental e estavam condicionados à viabilidade econômica e às características socioeconômicas da comunidade. Devido à elegibilidade de apenas alguns projetos, bem como a especificidade, o programa não possuía incentivos relevantes para a disseminação da tecnologia solar fotovoltaica. Dessa forma, não havia uma cadeia produtiva consolidada de sistemas fotovoltaicos no país, mesmo que o Brasil possua uma das maiores reservas de silício do mundo ( MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009). Em maio de 2009, o Programa Luz para Todos atingiu a meta de levar energia elétrica a dois milhões de famílias em todo Brasil e em 2010 o programa beneficiava aproximadamente treze milhões de pessoas (2,6 milhões de famílias) (RENEWABLES

ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, 2011). Embora, a concepção do programa considerasse o uso de qualquer fonte de energia renovável, o programa, por onde passou, priorizou a instalações de painéis fotovoltaicos.

Dentre os Projetos de Leis (PL) que foram criados buscando o incentivo legal à tecnologia fotovoltaica, o projeto PL-630/2003, propôs a criação de um fundo especial para financiar pesquisas e fomentar a produção de energia elétrica a partir da energia solar e eólica e a produção de energia térmica a partir da energia solar. Durante seis anos esse PL recebeu várias emendas e aglutinações de outros PL, até assumir a redação final em 2009. Esse PL estabelece incentivos para produção de energia a partir de fontes renováveis que eram subsidiados, obrigatoriamente, pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas do serviço público de distribuição de energia elétrica do SIN, dessa forma ficam obrigadas a comprar ou contratar uma quantidade definida de potência advinda de fontes alternativas de energia a partir de 2011.

As leis, decretos e resoluções a seguir foram importantes para a utilização de energias alternativas, segundo Severino, 2008:

- Lei nº 10438/2002 – estabelece que a Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRAS), instituirá um programa de fomento específico para utilização de equipamentos, de uso individual e coletivo destinado ao uso da energia solar fotovoltaica. Os recursos para esse programa serão provenientes da Reserva Global de Reversão (RGR);
- Lei nº 10847/2004 – autorizou a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE);
- Lei nº 10848/2004 – criou a figura da Geração Distribuída (GD) e dispôs a comercialização de energia elétrica;
- Decreto nº 5163/2004 – Regulamentou a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessão e autorizações de geração pelos GDs;
- Decreto nº 5175/2004 – constituiu o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE);
- Decreto nº 5177/2004 – dispôs sobre as atribuições, o funcionamento e a organização CCEE;
- Resolução Autorizativa ANEEL nº 328/2004 – aprovou o estatuto do ONS;
- Decreto nº 5184/2004 – criação da EPE;

- Decreto nº 5879/2006 – dispôs sobre a realização de investimentos em pesquisas e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica;
- Resolução Normativa ANEEL nº 247/2006 – estabeleceu as condições para comercialização de energia elétrica oriunda de empresas de geração que utilizam fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras, cuja carga seja maior que 500 kW;
- Lei nº 11488/2007 – criou o Regime Especial de Incentivos para Desenvolvimento da Infra-Estrutura (REIDI);
- Decreto nº 49148/2008 – em São Paulo (capital), esta lei obriga a instalação de sistemas de aquecimentos de água para novas edificações destinadas a uso residencial e instalações de uso não residencial (ambiente de uso coletivo) (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2008). Esse foi o primeiro Decreto municipal a obrigar o aproveitamento de energia solar nas instalações residenciais e não residenciais;
- Portaria nº 217/2008 e 61/2008 – o Ministério do Meio Ambiente (MMA) estabelece a criação da Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P) e dessa forma, o uso da energia solar em todas as novas obras públicas e já as existentes o uso dessa fonte renovável será implementado de acordo com o A3P (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2008);
- Resolução Normativa nº 390/2009 – estabelece os requisitos necessários para a outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de fontes alternativas e usinas termelétricas, bem como para registro de centrais geradoras com pequena capacidade instalada (inferiores a 5000 kW) (ANEEL, 2009).

Em 2007, o Plano Nacional de Energia (PNE) de 2030 faz menção ao futuro da energia solar fotovoltaica:

“(...) o aproveitamento da energia solar fotovoltaica, integrada a rede, ainda seria pequena em grande parte do horizonte do PNE de 2030.”

Atualmente, os sistemas conectados à rede em operação que se tem notícia estão ilustrados na Tabela 15.

**Tabela 15 - Sistemas conectados à rede em operação no Brasil.**

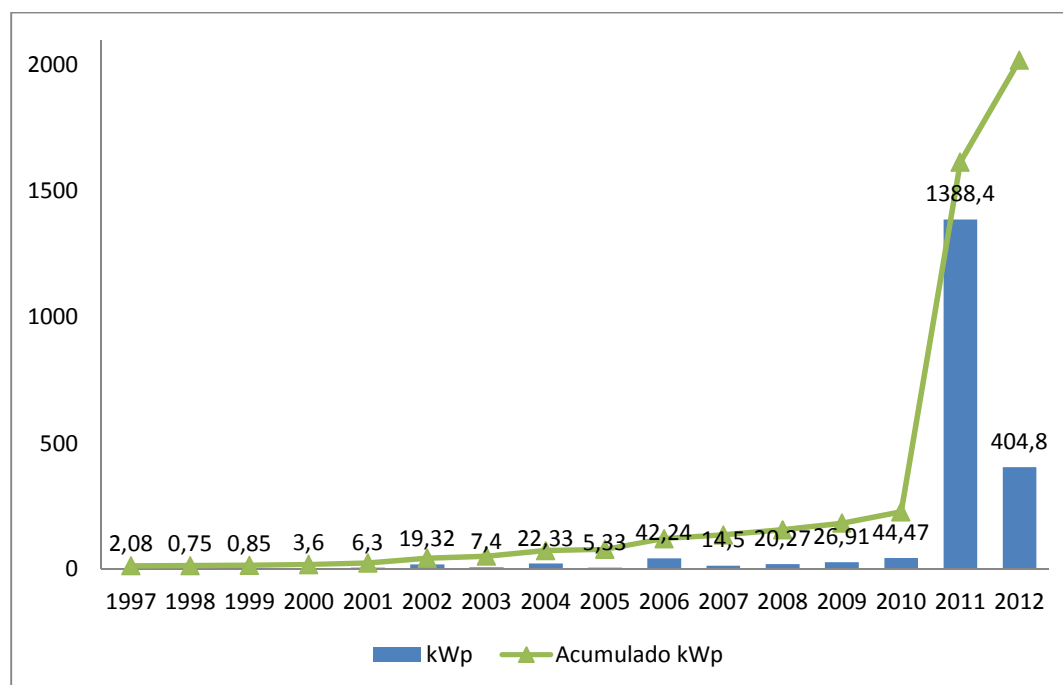
Nome	Cidade	Ano	Potencia [kWp]
LABSOLAR / UFSC	Florianópolis - SC	1997	2,08
LSF – IEE / USP (a)	São Paulo - SP	1998	0,75
Convivência / UFSC	Florianópolis - SC	2000	1,10
LSF – IEE / USP (b)	São Paulo - SP	2001	6,30
CEPEL	Rio de Janeiro - RJ	2002	16,32
IEM	Porto Alegre - RS	2002	3,00
LSF – IEE / USP (c)	São Paulo - SP	2003	6,00
CELESC	Florianópolis - SC	2003	1,40
CELESC	Lages – SC	2004	1,40
CELESC	Tubarão - SC	2004	1,40
Centro de Cultura e Eventos / UFSC	Florianópolis - SC	2004	10,88
Lab. Energia Solar / UFRGS	Porto Alegre - RS	2004	4,80
Escola Técnica Pelotas	Pelotas - RS	2004	0,85
LSF – IEE / USP (d)	São Paulo - SP	2004	3,00
Lab. de Sementes / CEMIG	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
CEFET-MG	Belo Horizonte - MG	2006	3,24
PUC-MG	Belo Horizonte - MG	2006	2,05
EFAP	Sete Lagos - MG	2006	3,00
Casa Eficiente / ELETROSUL	Florianópolis - SC	2006	2,25
Greenpeace	São Paulo – SP	2007	2,90
FAE – UFPE (b)	Recife-PE	2007	1,50
Residência Particular	Recife-PE	2007	1,00
GEDAE	Belém - PA	2007	1,60
Unicamp	São Paulo – SP	2007	7,50
Residência Particular	São Paulo – SP	2008	2,09

Nome	Cidade	Ano	Potencia [kWp]
Solaris	Leme - SP	2008	1,04
Motor Z	São Bernardo do Campo - SP	2008	2,45
Fundição Estrela	São Bernardo do Campo - SP	2008	14,69
ELETROSUL	Florianópolis - SC	2009	11,97
UFSC / TRACTEBEL	Florianópolis - SC	2009	1,99
UFSC / TRACTEBEL	Florianópolis - SC	2009	1,99
UFSC / TRACTEBEL	Florianópolis - SC	2009	2,12
Digitro	São José - SC	2009	2,60
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	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
Edifício Residencial Gafisa 1	Rio de Janeiro - RJ	2010	3,00
Edifício Residencial Gafisa 2	Rio de Janeiro - RJ	2010	3,00
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
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	1.000,00

Nome	Cidade	Ano	Potencia [kWp]
UTE Norte Fluminense	Macaé - RJ	2011	320,00
Escritório Verde / UTFPR	Curitiba - PR	2011	2,10
Pituaçu	Salvador - BA	2012	404,8
		Total	2 013,55

**Fonte: Adaptado de URBANETZ JUNIOR, 2010.**

O Brasil vem crescendo nos últimos anos no setor de energia solar, com implantações de sistemas fotovoltaicos, especificadamente o SFCR. O Gráfico 12 mostra que 86% da potência instalada no Brasil ocorreu no último ano (2011) e que no início de 2012 já adicionou 20% da potência instalada no país. A linha em verde ilustra o somatório da potência que foi instalada até 2012. E as barras em azul mostra a potencia adicionada em cada respectivo ano.



**Gráfico 12 - Crescimento do SFCR no Brasil.**

**Fonte: Adaptado de URBANETZ JUNIOR, 2010.**

Em abril de 2012, a ANEEL aprovou novas regras para reduzir as barreiras de instalação e geração distribuída para instalações de pequeno porte e microgerações, com

potência de até 100 kWp e, também, minigeração com potência de 100 kWp a 1 MWp. Essa regra cria o Sistema de Compensação de Energia (análogo ao *net metering*) e permite ao consumidor instalar pequenos geradores nas unidades consumidoras e trocar energia com a concessionária local. A energia trocada deve ter origem de fontes renováveis. Essas novas regras, também, definem um prazo máximo de 36 meses para liquidar as diferenças entre a energia consumida/vendida (ANEEL, 2012). A notícia na íntegra encontra-se no anexo B.

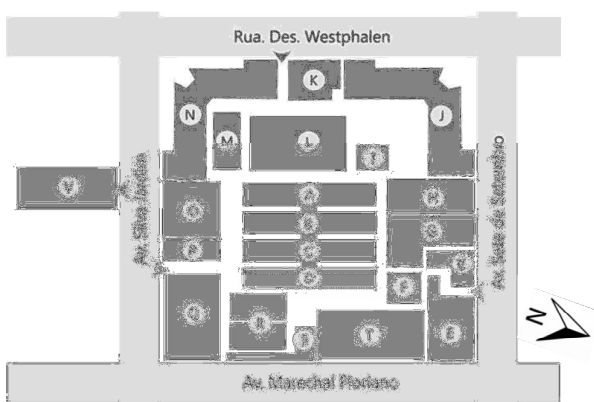


### 3. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO SFCR NA UTFPR

Nesse capítulo será abordado a escolha dos locais para a implantação de painéis fotovoltaicos sobre a UTFPR, campus Curitiba. Dessa forma será mostrado o dimensionamento e a escolha dos equipamentos que compõem o sistema fotovoltaico.

#### 3.1. ÁREA DISPONÍVEL NA UTFPR

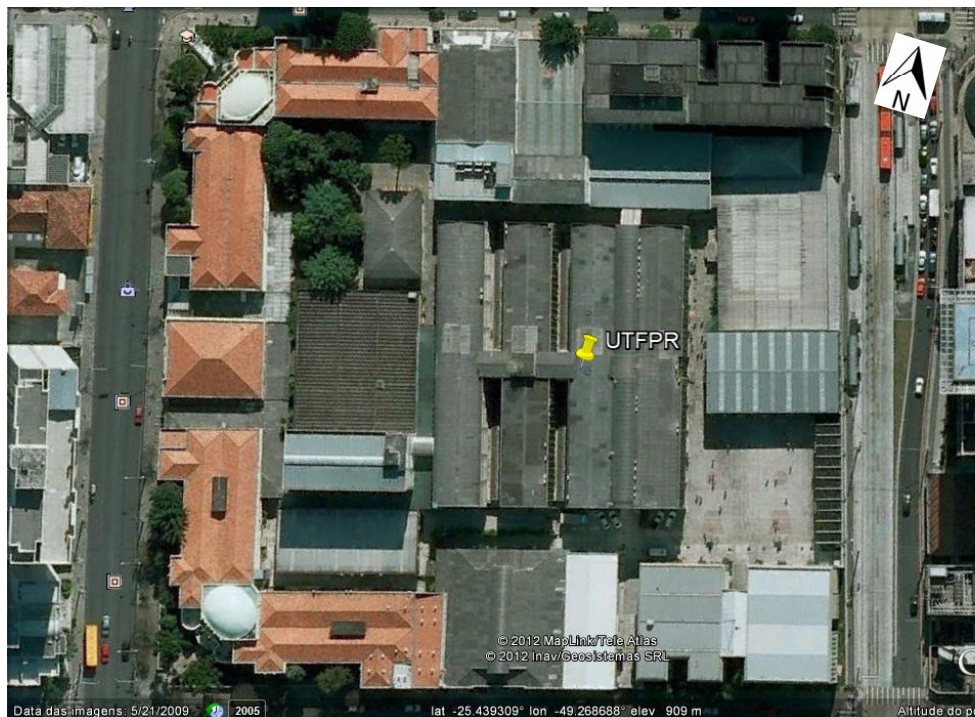
A localização da UTFPR é favorável para as instalações dos módulos fotovoltaicos, pois não existem construções próximas o suficiente para inviabilizar a instalação. A estrutura civil da universidade possibilita que sejam instalados os módulos sobre a cobertura de alguns blocos. A Figura 29 ilustra a distribuição dos Blocos da UTFPR, Curitiba.



**Figura 29 - Disposição dos blocos na UTFPR.**

**Fonte: Adaptado SOMA, 2007.**

Os possíveis blocos elegíveis para a instalação dos módulos fotovoltaicos são: A, B, C, D e E, que são cobertos por telhas de cimento amianto, não sofrem impacto relevante com relação ao sombreamento e possuem uma área relativamente ampla e livre. A partir dessas regiões, foram excluídas algumas partes, onde existem interferências inerentes ao prédio, como por exemplo, presença de caixa d'água, casa de máquinas, antenas, etc. A Figura 30 apresenta a vista panorâmica da UTFPR, com uma marcação indicando o ponto de georreferenciamento (latitude: 25°26'21" S; longitude: 49°16'7" O).

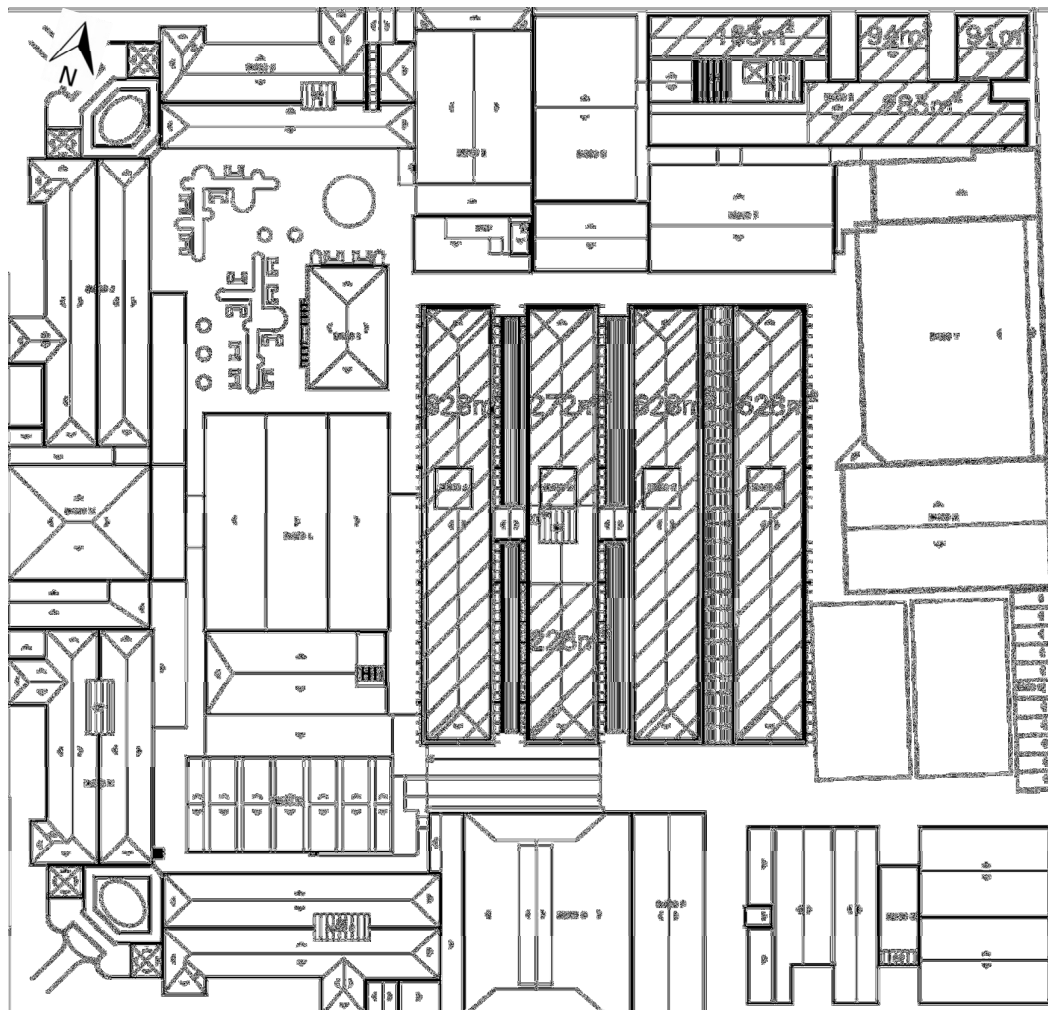


**Figura 30 - Vista panorâmica da UTFPR.**

**Fonte: GOOGLE, 2010.**

As áreas que serão utilizadas estão destacadas na Figura 31, sendo:

- Bloco A – 628 m<sup>2</sup>;
- Bloco B – 500 m<sup>2</sup>;
- Bloco C – 628 m<sup>2</sup>;
- Bloco D – 628 m<sup>2</sup>;
- Bloco E – 631 m<sup>2</sup>.



**Figura 31 - Áreas selecionadas da UTFPR.**

**Fonte: Adaptado de DEPRO - UTFPR, 2007.**

### 3.2. DETERMINAÇÃO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

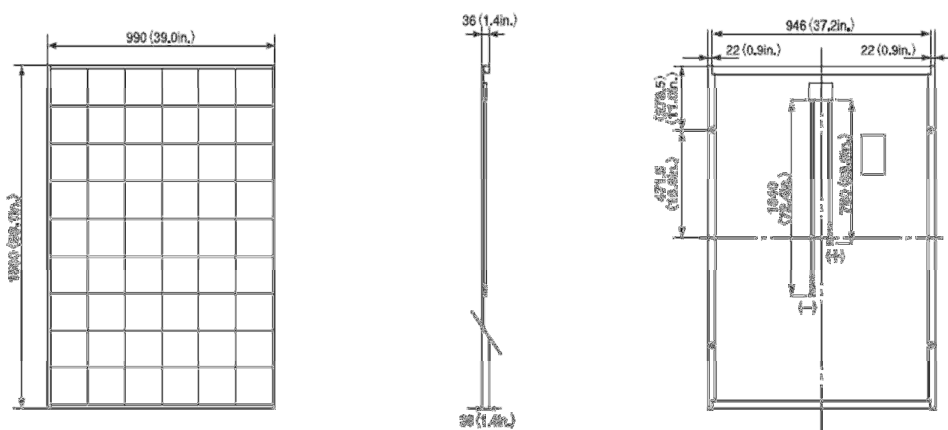
O módulo escolhido para realizar esse estudo, foi o mesmo módulo utilizado no Escritório Verde (UTFPR), Figura 32, que é o da Kyocera com potencia de 210 Wp (modelo KD210GX-LP).



**Figura 32 - Escritório Verde - UTFPR.**

**Fonte: O autor.**

A tecnologia utilizada será a de silício policristalino (p-Si). As dimensões do módulo são de 990 x 1500 x 36 mm. A Figura 33 apresenta detalhes mecânicos do módulo, para maiores informações, a folha de dados do referido módulo encontram-se no anexo C.



**Figura 33 - Detalhes mecânicos do módulo KD210GX-LP.**

**Fonte: KYOCERA, 2011.**

### 3.3. REFERÊNCIA DE PONTOS DE IRRADIAÇÃO

O estudo de irradiação solar no território brasileiro começou com iniciativas do INPE em parceria com outros órgãos públicos que tinham por objetivo mensurar a energia irradiada no território brasileiro ao longo do tempo. Posteriormente, esse instituto fez uma parceria com o Labsolar e outros laboratórios distribuídos no Brasil. Um dos resultados dessa pesquisa foi a criação do Atlas Brasileiro de Energia Solar, que organizava a irradiação em pontos que se distanciavam de 10 em 10 km ao longo do território brasileiro. Esses pontos foram organizados em um banco de dados que relaciona a latitude e longitude pelos valores de irradiação ao longo do ano.

Conforme Tabela 16, os pontos que se localizam mais próximo ao ponto da UTFPR (latitude: -25,439313° e longitude: -49,268380°), estão discriminados a seguir:

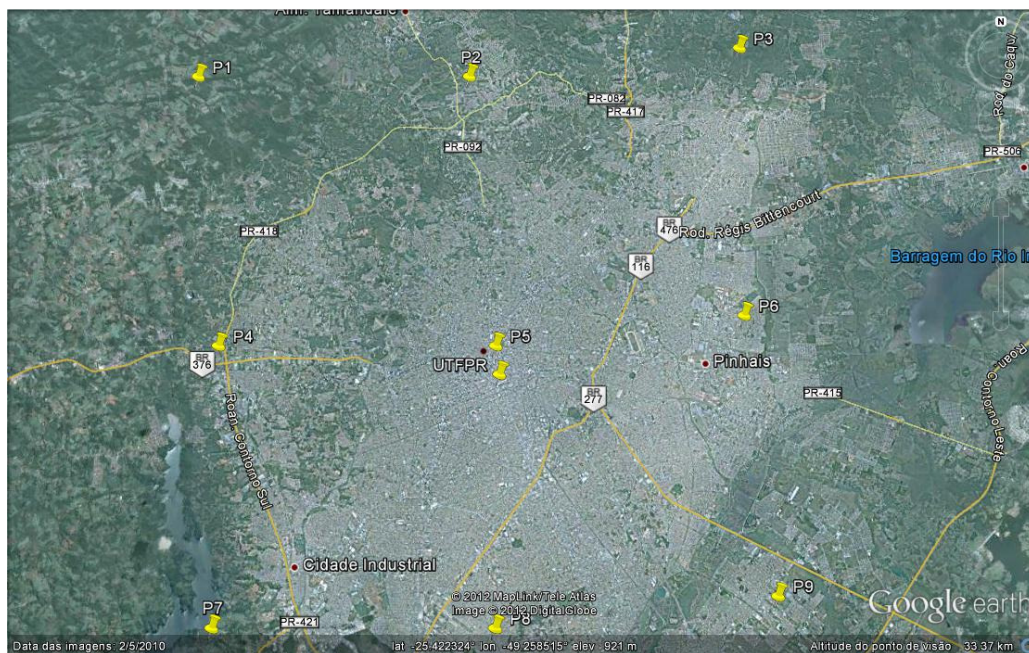
**Tabela 16 - Pontos de estudos de irradiação.**

Ponto	Latitude	Longitude
P1	-25,34	-49,38
P2	-25,34	-49,28
P3	-25,33	-49,18
P4	-25,43	-49,47
<b>P5</b>	<b>-25,43</b>	<b>-49,37</b>
P6	-25,42	-49,18
P7	-25,52	-49,37
P8	-25,52	-49,27
P9	-25,51	-49,17

**Fonte: Adaptado de INPE & LABSOLAR, 2008.**

A Figura 34 apresenta a disposição dos pontos da Tabela 16, os pontos estão distante um do outro de 10 km, sendo o ponto mais factível, escolhido para o estudo é aquele que se encontra mais próximo das coordenadas da UTFPR, ou seja, o P5 (distância de aproximadamente 1km).





**Figura 34 - Disposição dos pontos de irradiação na região de Curitiba.**

**Fonte: Adaptado GOOGLE, 2010.**

Para o ponto P5 (latitude: 25,43 S, longitude: 49,37 O), obtém-se a partir do banco de dados do projeto SWERA, os seguintes valores de irradiação diária medida em um plano horizontal ( $G_{TOT}$ ), descritos na Tabela 17.

**Tabela 17 - Irradiação diária média retirada do banco de dados do projeto SWERA.**

Ponto	Irradiação Diária Média no Horizontal [ $kWh/m^2 \cdot dia$ ]											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
P5	5,67	5,47	5,05	4,12	3,29	3,08	3,28	4,21	4,30	5,02	5,97	5,92

**Fonte: INPE & LABSOLAR, 2008.**

### 3.4. POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O posicionamento dos módulos fotovoltaicos deve ser otimizado para se obter uma melhor captação da irradiação, dessa forma foi utilizado um programa (RADIASOL) desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar do Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRGS.

A intensidade da irradiação solar varia de acordo com a localização dos módulos, uma vez que em cada local de fixação desses módulos existe uma latitude e longitude diferente, uma inclinação do módulo específica (varia de acordo com a latitude) e um desvio azimutal (varia de acordo com a disposição do módulo em relação ao norte geográfico). A Figura 35, mostra a tela inicial do software.



**Figura 35 - Programa RADIASOL.**

**Fonte: GESTE - GRUPO DE ESTUDOS TÉRMICOS E ENERGÉTICOS, UFRGS, 2007.**

#### 3.4.1. Criando uma Estação Virtual

O RADIASOL permite a criação de uma estação virtual em qualquer lugar do mundo, desde que se tenham os seguintes dados:

- latitude;
- longitude;
- intensidade da irradiação solar dos meses de um ano.

Dessa forma, foi criada uma estação virtual sobre a UTFPR, adotando os valores de intensidade de irradiação solar do ponto de referência mais próximo (P5). A Figura 36 mostra a criação dessa estação, denominada UTFPR – CURITIBA.

**Selecione um país e uma estação**

País:

Estação:

OK Editar Sair

Latitude:  N/S:  Longitude:  E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,67	5,52	5,03	4,20	3,33	3,04	3,29	4,21	4,33	5,07	6,09	5,92

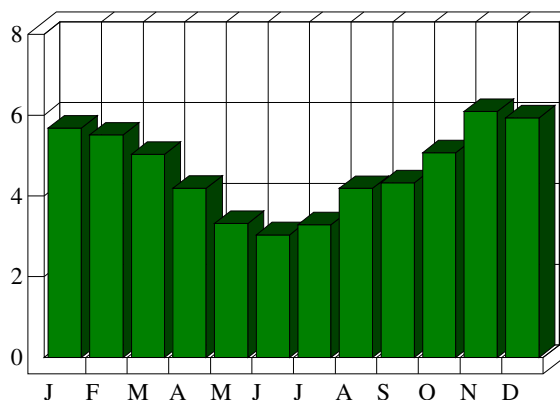
Radiação em kWh/m<sup>2</sup>

**Figura 36 - Estação virtual UTFPR - CURITIBA.**

**Fonte: GESTE - GRUPO DE ESTUDOS TÉRMICOS E ENERGÉTICOS, UFRGS, 2007.**

Com a estação criada, foi possível através do programa RADIASOL obter a irradiação incidente sobre um plano colocado na localidade escolhida com qualquer inclinação e orientação. A Figura 37 apresenta graficamente os valores de irradiação diário médio ao longo dos meses do ano para a estação UTFPR - CURITIBA, sem inclinação.

### Radiação Solar Diária (kWh/m<sup>2</sup>)



**Figura 37 - Radiação solar anual visualizada através do RADIASOL, em um plano sem inclinação.**

**Fonte: GESTE - GRUPO DE ESTUDOS TÉRMICOS E ENERGÉTICOS, UFRGS, 2007.**



Atualmente, existem dois sistemas mais utilizados para energia fotovoltaica, um deles é o SFCR, que para maximizar a geração tem que ter uma inclinação dos módulos, conforme a latitude do local instalado, pois para obter um maior rendimento ao longo do ano é necessário inclinar os módulos de tal forma que se consiga elevar a média anual de irradiação sobre os mesmos (diminuindo a incidência de irradiação absorvida no verão e aumentando no inverno). Já no sistema isolado, os módulos são inclinados acima da latitude do local, pois as necessidades se diferem do sistema anterior, ou seja, essa inclinação faz com que o aproveitamento no inverno seja superior ao cenário do SFCR. Se o sistema conseguir suprir às necessidades no inverno (período de menor incidência solar), no verão certamente irá obter um desempenho superior, uma vez que as noites são mais curtas e tem uma maior incidência solar. Sendo assim, o gráfico de irradiação terá uma menor variação ao longo dos meses de um ano. Como no inverno o Sol está mais baixo, a maior inclinação dos módulos favorecerá a incidência no plano mais inclinado para este período. A Figura 38 apresenta a tela do RADIASOL considerando como exemplo, uma inclinação de 45°.

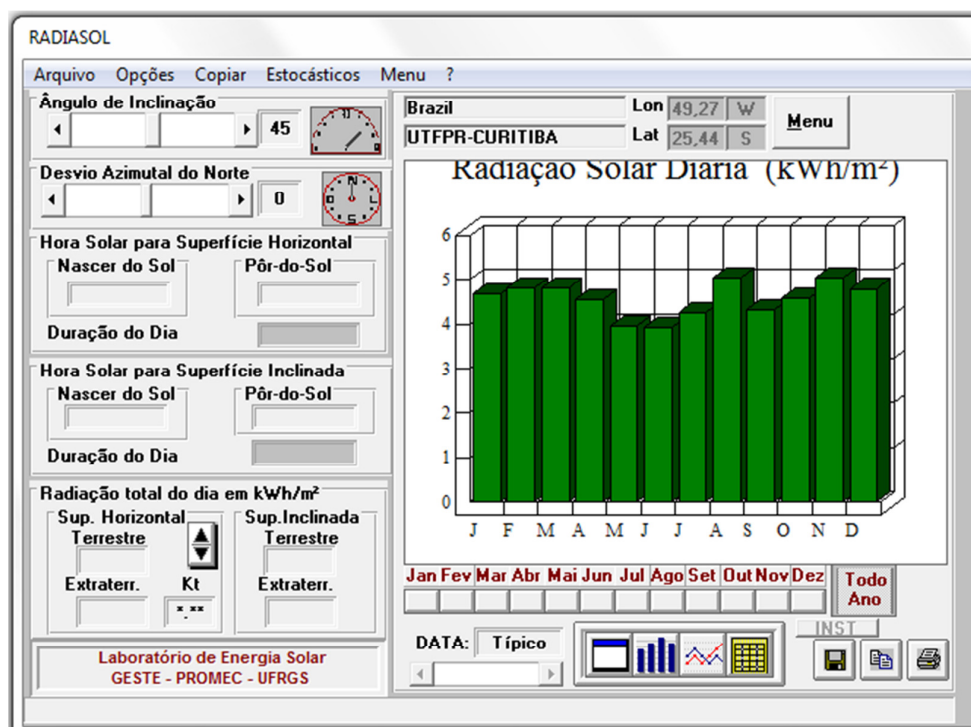


Figura 38 – Variação da radiação solar de um sistema isolado ao longo do ano.

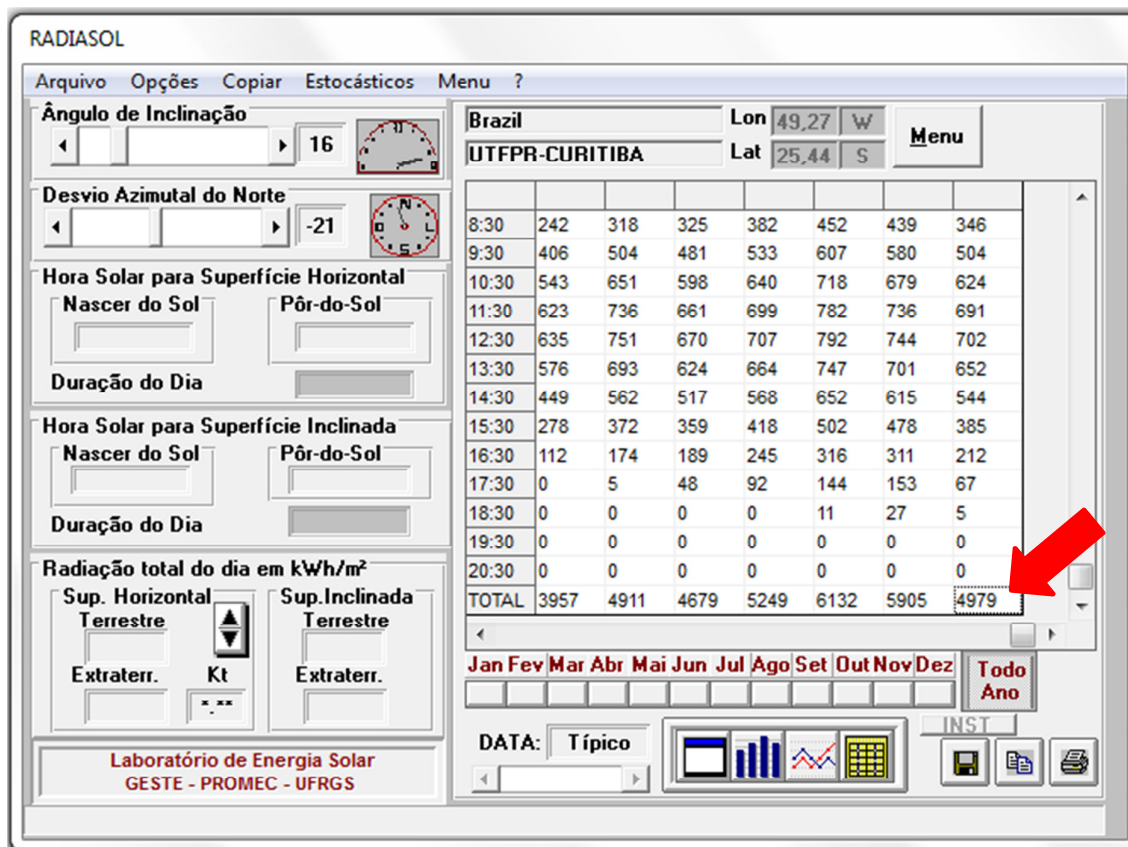
Fonte: GESTE - GRUPO DE ESTUDOS TÉRMICOS E ENERGÉTICOS, UFRGS, 2007.

### 3.4.2. Cálculo da Inclinação dos Módulos Fotovoltaicos

Um projeto ideal de inclinação dos módulos, seria quando os módulos estivessem alinhados com o norte geográfico, ou seja, desvio azimutal igual a  $0^\circ$  e ângulo de inclinação igual à latitude do local de instalação e voltados para o norte (no hemisfério sul). Porém, os módulos fotovoltaicos, normalmente, ficam alinhados à fachada ou estruturas das edificações, e assim não ficam apontados para o norte geográfico, ou seja, possuem desvio azimutal em relação ao norte geográfico.

Os blocos da UTFPR, em que os módulos serão instalados, não estão apontados para o norte geográfico e dessa forma possuem um desvio de  $21^\circ$  oeste. No RADIASOL, no campo de desvio azimutal em relação ao norte, foi preenchido com o valor de  $-21^\circ$  (sinal negativo, pois está a oeste).

Quando o desvio azimutal do norte for igual a zero, o ângulo de inclinação do painel fotovoltaico é igual a latitude do local de instalação. No entanto, como houve um desvio azimutal do norte, o ângulo de inclinação será diferente do valor da latitude. Na Figura 39, foi definido o valor do desvio azimutal do norte em  $-21^\circ$  e o ângulo de inclinação foi ajustado para obtenção de maior captação de irradiação solar ao longo do ano.

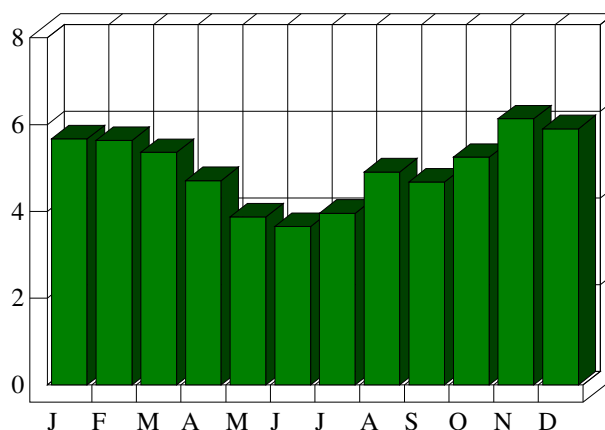


**Figura 39 - Resultados obtidos pelo RADIASOL.**

**Fonte: GESTE - GRUPO DE ESTUDOS TÉRMICOS E ENERGÉTICOS, UFRGS, 2007.**

Conforme observado na Figura 39, o melhor ângulo de inclinação para a instalação dos módulos na UTFPR é de 16°, tendo uma irradiação diária média ao longo do ano de  $4.979 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$ . Os fabricantes orientam que a inclinação mínima dos módulos deve ser de 10°, pois com essa inclinação o módulo se torna “auto-limpante” com a água da chuva, permitindo que a água escorra, retirando poeira, sujeira, etc. Portanto, a inclinação adotada está adequada, conforme Figura 40.

### Radiação Solar Diária (kWh/m<sup>2</sup>)



**Figura 40 - Resultados obtidos pelo RADIASOL para 16° de inclinação.**

**Fonte: GESTE - GRUPO DE ESTUDOS TÉRMICOS E ENERGÉTICOS, UFRGS, 2007.**

#### 3.4.3. Distância Mínima entre Fileiras e Disposição dos Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos não devem ser dispostos de forma que o próprio módulo projete sombra nas fileiras adjacentes. Dessa forma, deve ser calculada a distância mínima entre as fileiras utilizando a Equação 3 (SUNFIX, 2008):

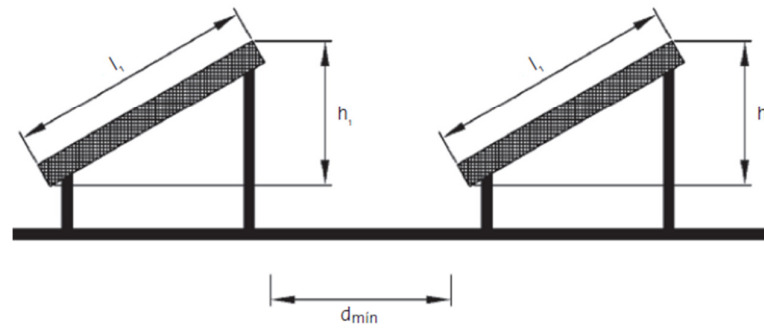
$$d_{min} = \frac{h_1}{tg(66,5^\circ - latitude)} \quad (3)$$

$d_{min}$ : distância mínima entre filas;

$h_1$ : altura de inclinação do módulo.

$latitude$ : latitude do local da instalação do painel.

Para a utilização da Equação 3, é preciso calcular o  $h_1$ , conforme Figura 41.



**Figura 41 - Linhas de módulos fotovoltaicos.**

**Fonte: Adaptado de SUNFIX, 2008.**

A partir da Figura 41, que demonstra a disposição das fileiras dos módulos com suas respectivas variáveis, é possível calcular  $h_1$  por meio da Equação 4:

$$h_1 = l_1 \cdot \text{sen}(\text{inclinação}) \quad (4)$$

$l_1$ : comprimento do módulo fotovoltaico;

$h_1$ : altura de inclinação do módulo;

*inclinação*: inclinação adotada para os módulos FV.

A partir da Equação 4, tem-se:

$$h_1 = l_1 \cdot \text{sen}(\text{inclinação})$$

$$h_1 = 1,5 \cdot \text{sen}(16^\circ)$$

$$h_1 = 0,4135 \text{ m}$$

Dessa forma, a partir da Equação 3 é possível calcular:

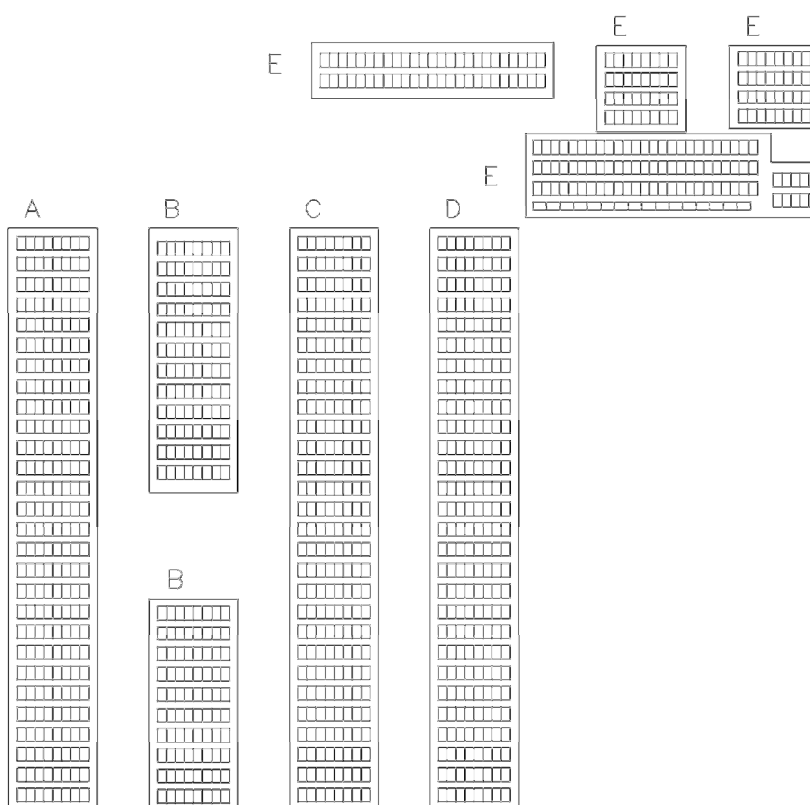
$$d_{min} = \frac{h_1}{\text{tg}(66,5^\circ - \text{latitude})}$$

$$d_{min} = \frac{0,4135}{\text{tg}(66,5^\circ - 25,44^\circ)}$$

$$d_{min} = 0,474 \text{ m}$$

Portanto, os módulos devem ser instalados há uma distância mínima entre as fileiras de aproximadamente 0,5 metros, para evitar o sombreamento de um módulo sobre o outro.

Os módulos fotovoltaicos foram distribuídos nas áreas disponíveis da UTFPR, com uma distância de 0,75 m, pois essa distância, além de evitar o sombreamento, permite a passagem de pessoas para a realização da instalação e possíveis manutenções, conforme Figura 42.



**Figura 42 - Disposição dos painéis nos blocos selecionados da UTFPR.**

**Fonte: O autor.**

A Figura 42, apresenta a distribuição dos módulos fotovoltaicos sobre cada um dos blocos da UTFPR, conforme discriminado abaixo:

- Bloco A – 224 módulos FV;
- Bloco B – 176 módulos FV;
- Bloco C – 224 módulos FV;

- Bloco D – 224 módulos FV;
- Bloco E – 215 módulos FV.

Sendo assim, o sistema fotovoltaico será composto por um total de 1.063 módulos fotovoltaicos, possuindo uma potência determinada pela Equação 5.

$$P_T(kWp) = P_{FV}(kWp) \cdot N \quad (5)$$

$P_T$ : potência total do sistema;  
 $P_{FV}$ : potência do módulo fotovoltaico.  
 $N$ : número de módulos.

Logo:

$$P_T(kWp) = 0,210 \cdot 1063$$

$$P_T(kWp) = 223,230 kWp$$

#### 3.4.4. Determinação do Inversor de Frequência

A escolha do inversor depende de algumas características de aplicação e alguns fatores técnicos. Esses fatores são especificados por legislação que variam de acordo com o país de aplicação, por exemplo, no Brasil, ainda não há uma legislação que determine se os inversores devem ou não possuir transformador, chaves seccionadoras ou fusível.

Existem muitas fábricas no mundo de inversores de frequência para painéis fotovoltaicos, e dentre elas a marca escolhida foi a SMA, devido as seguintes motivos:

- maior fabricante de inversores do mundo;
- inversores conhecidos mundialmente;
- possui dois distribuidores no Brasil (Porto Alegre – RS e São Paulo – SP);
- histórico de utilização em Florianópolis – SC.

A SMA possui quatro linhas de inversores para sistemas conectados à rede, sendo eles: *Sunny Boy*, *Sunny Mini Central*, *Sunny Tripower* e *Sunny Central*.

Baseado no sistema proposto, 223 kWp, poderia ser utilizado a linha *Sunny Central*, porém esses inversores, ainda, não são fornecidos para o mercado brasileiro. A linha *Sunny Boy* é destinada a sistemas fotovoltaicos de pequeno porte e a faixa de potência não é

adequada ao sistema da UTFPR. Já o *Sunny Tripower* não é compatível com a tensão trifásica do estado do Paraná, ou seja, a menor tensão de saída do inversor é  $V_{FN} = 220 V$  e  $V_{FF} = 380 V$ , enquanto no Paraná a tensão é  $V_{FN} = 127 V$  e  $V_{FF} = 220 V$ .

Dessa forma o inversor adequado é da linha *Sunny Mini Central*. Dentre os modelos pertencentes a essa linha foi escolhido o 11000TL *reactive power control*, pelos seguintes motivos: é o inversor com maior potência dessa linha, não apresenta transformador isolador na saída e possui controle de reativos. As informações adicionais referentes ao inversor escolhido estão no anexo D.

### 3.4.5. Determinação do Esquema de Conexão Elétrica dos Módulos Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos devem ser conectados de tal forma que consigam somar uma potência próxima à potência máxima do inversor. Dessa forma, o inversor deve trabalhar com melhor rendimento.

Além disso, o arranjo deve buscar uma tensão de saída próxima à tensão do PMP (Ponto de Máxima Potência). Essa tensão varia de modelo a modelo, pois depende de características intrínsecas de cada inversor. Deve-se, também, observar qual é a tensão máxima que o módulo e o inversor suportam, e devem ser inferior ao especificado pelos fabricantes.

A tensão de circuito aberto dos arranjos deve ser menor que a tensão máxima do módulo e do inversor, pois ao realizar as conexões entre os arranjos e o inversor e se houver irradiação sobre os painéis, a tensão de circuito aberto pode ultrapassar os valores admitidos pelo inversor e pelos próprios módulos.

A corrente de curto circuito dos módulos deve ser considerada para que quando os arranjos forem definidos, não ultrapassem o valor da corrente de curto circuito suportada pelo inversor.

Os dados para a determinação dos arranjos dos módulos fotovoltaicos e para a utilização do inversor foram retirados de suas respectivas folhas de dados, conforme Tabela 18 e Tabela 19.

**Tabela 18 - Parâmetros retirados da folha de dados do módulo.**

Especificações	Valores
$P_{MAX_m}$	210 W



$V_{Pmax_m}$	26,6 V
$V_{oc_m}$	33,2 V
$I_{cc_m}$	8,58 A
$V_{MAX_m}$	600 V

**Fonte: Adaptado de KYOCERA, 2011.**

Legenda:

$P_{MAX_m}$ : potência máxima do módulo;

$V_{Pmax_m}$ : tensão do módulo em máxima potência;

$V_{oc_m}$ : tensão de circuito aberto do módulo;

$I_{cc_m}$ : corrente de curto circuito do módulo;

$V_{MAX_m}$ : tensão máxima do arranjo FV.

**Tabela 19 - Parâmetros da folha de dados do inversor.**

Especificações	Valores
$P_{CCmax_i}$	11 400 Wp
$VPMP_{range_i}$	333 V – 500 V
$V_{CCnominal_i}$	350 V
$V_{MAX_i}$	700 V
$I_{cc_i}$	34 A
$P_{ACmax_i}$	11 000 VA
$V_{CANominal_i}$	220 V / 230 V / 240 V
$f_{CA_i}$	50 Hz / 60 Hz
$I_{ACmax_i}$	48 A

**Fonte: Adaptado de SMA SOLAR TECHNOLOGY AG, 2010.**

Legenda:

$P_{CCmax_i}$ : potência máxima recebida dos módulos;

$VPMP_{range_i}$ : faixa de funcionamento de tensão do ponto de máxima potência do inversor;

$V_{CCnominal_i}$ : tensão CC nominal do inversor;

$V_{MAX_i}$ : tensão máxima suportada pelo inversor;

$I_{CCi}$ : corrente de curto circuito do inversor;  
 $P_{CAmax_i}$ : potência máxima entregue à rede;  
 $f_{CAi}$ : frequência de saída do inversor;  
 $I_{ACmax_i}$ : corrente máxima de saída.

A quantidade de módulos ligados em série deve ser tal a garantir que a tensão esteja próxima à tensão nominal do inversor. Dessa forma a razão entre  $V_{CCnominal_i}$  e  $V_{Pmax_m}$  será igual à quantidade de painéis, conforme Equação 6.

$$N = \frac{V_{CCnominal_i}}{V_{Pmax_m}} \quad (6)$$

$$N = \frac{350}{26,6}$$

$$N = 13,15$$

O número de módulos ligados em série será de 13 unidades. A Equação 7 determina qual será a tensão de alimentação do inversor com a tensão de circuito aberto.

$$V_{oc_c} = N \cdot V_{oc_m} \quad (7)$$

$V_{oc_c}$ : tensão de circuito aberto de um conjunto de módulos.

$$V_{oc_c} = 13 \cdot 33,2$$

$$V_{oc_c} = 431,6 \text{ V}$$

Logo, a tensão de circuito aberto é inferior à tensão máxima permitida dos módulos e pelo inversor, estando adequado para utilização desse sistema.

Assim a potência desse conjunto de módulos é determinada pela Equação 8.

$$P_{CM} = N \cdot P_{MAX_m} \quad (8)$$

$P_{CM}$ : potência do conjunto de módulos.

$$P_{CM} = 13 \cdot 210$$

$$P_{CM} = 2730 \text{ W}$$

Determinado a potência do sistema, é possível calcular o número de *strings*<sup>14</sup> dos módulos para a ligação em um inversor pela Equação 9.

$$N_S = \frac{P_{CCmax_i}}{P_{CM}} \quad (9)$$

$N_S$ : número de *strings* de módulos por inversor.

$$N_S = \frac{11400}{2730}$$

$$N_S = 4,17$$

O número de *strings* em paralelo será 4 e cada *string* irá conter 13 módulos ligados em série. O inversor deverá ser alimentado com os arranjos ligados em paralelo. Cada inversor será alimentado por 52 módulos, sendo necessário fazer algumas verificações.

A primeira verificação diz respeito à máxima alimentação em potência dos inversores. O resultado da Equação 10 deverá ser inferior a  $P_{CCmax_i}$ .

$$P_A = N_S \cdot P_{CM} \quad (10)$$

$P_A$ : potência total de um arranjo.

$$P_A = 4 \cdot 2730$$

$$P_A = 10920 \text{ Wp}$$

A potência de cada arranjo é inferior ao  $P_{CCmax_i}$  e assim o arranjo poderá ser conectado no inversor, mas ainda é necessária a verificação da  $I_{ccA}$  para a conexão com o inversor, segundo a Equação 11.

---

<sup>14</sup> É o termo utilizado para designar um conjunto de módulos conectados em série.

$$I_{ccA} = N_S \cdot I_{ccm} \quad (11)$$

$I_{ccA}$ : corrente de curto circuito do arranjo.

$$I_{ccA} = 4 \cdot 8,58$$

$$I_{ccA} = 34,32 \text{ A}$$

A corrente de curto circuito máxima suportada pelo inversor ( $I_{ccI}$ ) é igual a 34 A. Porém, a corrente calculada por arranjo ultrapassou em 0,32 A (1%). Felizmente, esse valor pode ser desconsiderado, não ocasionando prejuízo ao inversor.

Portanto, a conexão em cada inversor será feito por meio de 1 arranjo, contendo 4 conjuntos de 13 módulos em série, totalizando 52 módulos por inversor. Sendo que o número de inversores é definido pela Equação 12.

$$N_I = \frac{N_T}{N_{MA}} \quad (12)$$

$N_I$ : número de inversores;

$N_T$ : número total de módulos;

$N_{MA}$ : número de módulos por arranjo.

$$N_I = \frac{1063}{52}$$

$$N_I = 20,44$$

O número de inversores a ser adotado deveria ser de 20 inversores, porém analisando o projeto de como ficariam dispostos os arranjos nos blocos da UTFPR, verificou-se que um dos arranjos ficaria com seus módulos dispostos em 3 blocos diferentes, o que não seria uma solução ideal. A solução será a utilização de 19 inversores para os arranjos calculados anteriormente, e para o reagrupamento dos módulos remanescentes o dimensionamento dos novos inversores será calculado a seguir.

O novo inversor adequado é da linha Sunny Boy. Dentre os modelos pertencentes a essa linha foi escolhido o 3000TL *reactive power control*, pelos seguintes motivos: é o inversor que se adequa a faixa de potência dos módulos remanescentes, não apresenta transformador isolador na saída e possui controle de reativos. As informações relevantes do inversor estão descritas na Tabela 20. As informações adicionais referentes ao inversor escolhido esta no anexo E.

**Tabela 20 - Parâmetros retirados da folha de dados do inversor.**

Especificações	Valores
$P_{CCmax_i}$	3 200 W
$VPMP_{range_i}$	175 V – 500 V
$V_{CCnominal_i}$	400 V
$V_{MAX_i}$	750 V
$I_{cc_i}$	15 A
$P_{CAmax_i}$	3 000 VA
$V_{CANominal_i}$	220 V / 230 V / 240 V
$f_{CA_i}$	50 Hz / 60 Hz
$I_{CANominal_i}$	16 A

**Fonte: Adaptado de SMA SOLAR TECHNOLOGY AG, 2012.**

A nova quantidade de módulos ligados em série deve ser tal a garantir que a tensão esteja próxima à tensão nominal do inversor. Dessa forma a razão entre  $V_{CCnominal_i}$  e  $V_{Pmax_m}$  será igual à quantidade de módulos, conforme Equação 6.

$$N = \frac{V_{CCnominal_i}}{V_{Pmax_m}} \quad (6)$$

$$N = \frac{400}{26,6}$$

$$N = 15,03$$

O número de módulos ligados em série será de 15 unidades. A Equação 7 determina qual será a tensão de alimentação do inversor com a tensão de circuito aberto.

$$V_{oc_c} = N \cdot V_{oc_m} \quad (7)$$

$V_{oc_c}$ : tensão de circuito aberto de um conjunto de módulos.

$$V_{oc_c} = 15 \cdot 33,2$$

$$V_{oc_c} = 498 \text{ V}$$

Logo, a tensão de circuito aberto é inferior à tensão máxima permitida dos módulos e pelo inversor, estando adequado para utilização desse sistema.

Assim, a potência desse conjunto de módulos é determinada pela Equação 8.

$$P_{CM} = N \cdot P_{MAX_m} \quad (8)$$

$P_{CM}$ : potência do conjunto de módulos.

$$P_{CM} = 15 \cdot 210$$

$$P_{CM} = 3150 \text{ W}$$

Determinada a potência do sistema, é possível calcular o número de *strings* dos módulos para a ligação em um inversor pela Equação 9.

$$N_S = \frac{P_{CCmax_i}}{P_{CM}} \quad (9)$$

$N_S$ : número de *strings* de módulos por inversor.

$$N_S = \frac{3200}{3150}$$

$$N_S = 1,01$$

O número de *strings* será 1 e irá conter 15 módulos ligados em série. A primeira verificação diz respeito à máxima alimentação em potência dos inversores. O resultado da Equação 10 deverá ser inferior a  $P_{CCmax_i}$ .

$$P_A = N_S \cdot P_{CM} \quad (10)$$

$P_A$ : potência total de um arranjo.

$$P_A = 1 \cdot 3150$$

$$P_A = 3150 \text{ W}$$

A potência de cada arranjo é inferior ao  $P_{CCmax_i}$  e assim o arranjo poderá ser conectado no inversor, mas ainda é necessária a verificação da  $I_{CCm}$  para a conexão com o inversor, segundo a Equação 11.

$$I_{CC_A} = N_S \cdot I_{CC_m} \quad (11)$$

$I_{CC_A}$ : corrente de curto circuito do arranjo.

$$I_{CC_A} = 1 \cdot 8,58$$

$$I_{CC_A} = 8,58 \text{ A}$$

A corrente de curto circuito máxima suportada pelo inversor ( $I_{CC_I}$ ) é igual a 15 A.

Portanto, a conexão em cada inversor será feito por meio de 1 arranjo, contendo 1 conjunto de 15 módulos em série. Sendo que o número de inversores é definido pela Equação 12.

$$N_I = \frac{N_T}{N_{MA}} \quad (12)$$

$N_I$ : número de inversores;

$N_T$ : número total de módulos;

$N_{MA}$ : número de módulos por arranjo.

$$N_I = \frac{74}{15}$$

$$N_1 = 4,93$$

Será utilizado mais 4 inversores com uma potência menor (3000TL) para os módulos remanescentes que ficaram distribuídos nos blocos da UTFPR. Alguns módulos foram retirados e outros remanejados das seguintes maneiras:

- foram retirados 7 módulos do bloco E;
- no bloco B, 4 módulos foram retirados e 8 módulos do lado sul foram movidos para o lado norte;
- nos blocos A, C, e D foram retirados um módulo de cada.

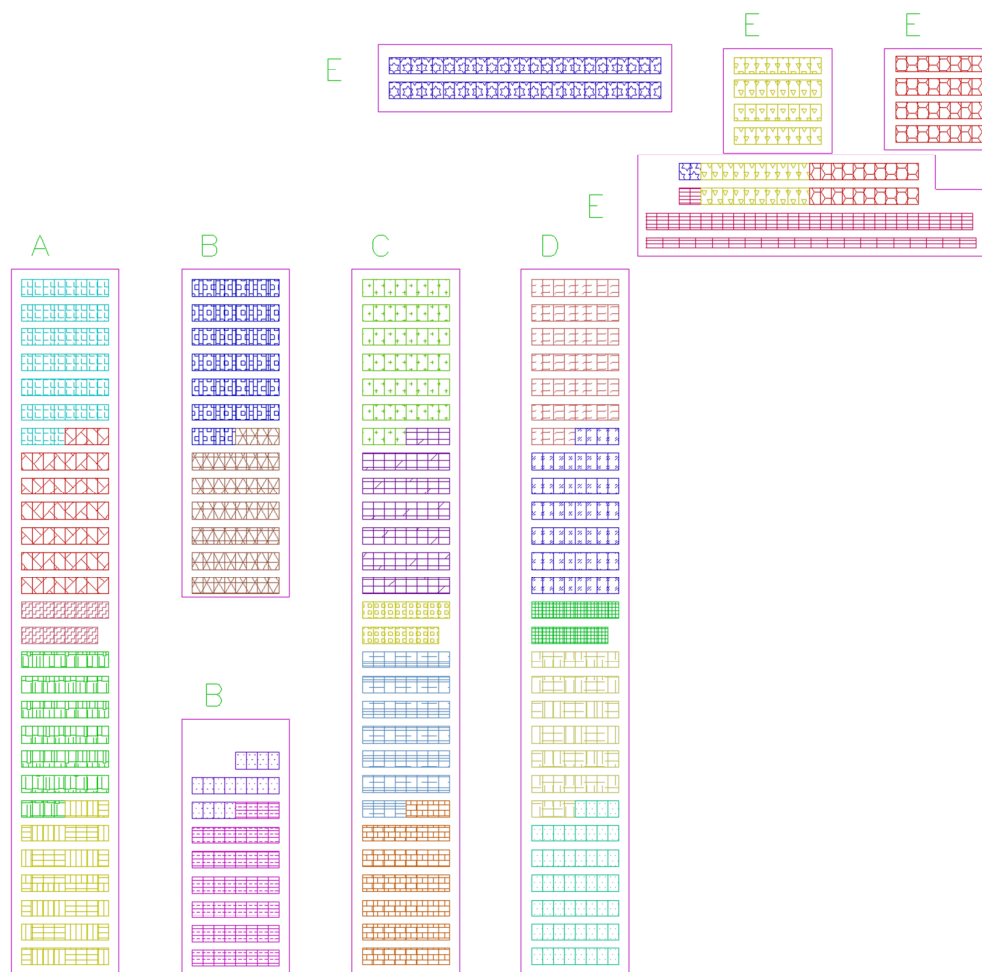
Portanto, a disposição final dos módulos na UTFPR será conforme Figura 43, totalizando 1049 módulos com uma potência instalada de 220,29 kWp. A distribuição dos arranjos por inversores esta discriminada na Tabela 21.

**Tabela 21 - Distribuição dos inversores por blocos da UTFPR.**

Bloco	Inversor	
	3000TL	11000TL
A	1	4
B	1	3
C	1	4
D	1	4
E	0	4
Total	4	19

**Fonte: O autor.**





**Figura 43 - Disposição final dos módulos destacando cada arranjo na UTFPR.**

**Fonte: O autor.**

### 3.4.6. Energia Gerada

Com a definição da disposição dos painéis, foi possível levantar a quantidade de módulos necessários para ocupar toda a área útil da UTFPR, que totalizaram 1.049 módulos. Logo, com as informações técnicas do módulo escolhido (modelo KD210GX-LP) é possível calcular a energia gerada (kWh) em cada módulo fotovoltaico, conforme a Equação 13.

$$E_d \left( \frac{kWh}{dia} \right) = \frac{P_{FV(kWp)} \cdot G_{TOT} \left( \frac{kWh}{m^2} \right) \cdot PR}{G \left( \frac{kW}{m^2} \right)} \quad (13)$$

$E_d$ : energia gerada por módulo por dia;

$P_{FV}$ : potência do módulo fotovoltaico;

$G_{TOT}$ : potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebido em uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer;

$PR$ : *performance ratio* do SFCR, também conhecida como taxa de desempenho;

$G$ : irradiância solar.

Considerando  $PR$  igual a 0,8,  $G$  igual a 1,  $P_{FV1}$  igual a 0,210 kWp e considerando a variação do  $G_{TOT}$  ao longo do ano, obtém-se, a partir do RADIASOL, a Tabela 22:

**Tabela 22 - Energia média gerada em cada módulo no dia.**

Mês	$H_{TOT} \left[ \frac{kWh}{m^2} \right]$	$E_d \left[ \frac{kWh}{dia} \right]$
Janeiro	5,676	0,954
Fevereiro	5,637	0,947
Março	5,361	0,901
Abril	4,712	0,792
Mai	3,873	0,651
Junho	3,654	0,614
Julho	3,957	0,665
Agosto	4,911	0,825
Setembro	4,679	0,786
Outubro	5,249	0,882
Novembro	6,132	1,030
Dezembro	5,905	0,992
Total	59,746	10,037

**Fonte: O autor.**

Com os dados da Tabela 22, é possível determinar a energia gerada ao longo dos meses pela Equação 14.

$$E_m \left( \frac{kWh}{mês} \right) = E_d \left( \frac{kWh}{dia} \right) \cdot D \quad (14)$$

$E_m$ : energia gerada por módulo em um mês;  
 $E_d$ : energia gerada por módulo em um dia;  
 $D$ : número de dias do mês.

A partir da energia gerada em cada módulo por dia de cada mês, tem-se a energia discriminada para cada mês do ano, conforme a Tabela 23:

**Tabela 23 - Energia gerada por cada módulo por Mês e total anual.**

Mês	Dias	$E_m \left[ \frac{kWh}{mês} \right]$
Janeiro	31	29,56
Fevereiro	28	26,52
Março	31	27,92
Abril	30	23,75
Mai	31	20,17
Junho	30	18,42
Julho	31	20,61
Agosto	31	25,58
Setembro	30	23,58
Outubro	31	27,34
Novembro	30	30,91
Dezembro	31	30,75
Total	365	305,09

**Fonte: O autor.**

Tendo a energia gerada de cada módulo ao longo dos meses, é possível determinar a energia que será gerada pela instalação utilizando a Equação 15.

$$E_T(kWh) = E_m(kWh) \cdot N_T \quad (15)$$

$E_m$ : energia gerada por módulo em um mês;  
 $E_T$ : energia total gerada pela instalação.

Assim, a energia total gerada na UTFPR ao longo dos meses é descrita na Tabela 24:

**Tabela 24 - Energia total gerada na instalação da UTFPR por mês e total anual.**

Mês	Dias	$E_T \left[ \frac{kWh}{mês} \right]$
Janeiro	31	31.009,08
Fevereiro	28	27.815,75
Março	31	29.288,17
Abril	30	24.912,16
Mai	31	21.158,94
Junho	30	19.318,55
Julho	31	21.617,85
Agosto	31	26.829,74
Setembro	30	24.737,69
Outubro	31	28.676,29
Novembro	30	32.419,64
Dezembro	31	32.260,15
Total	365	320.044,01

**Fonte: O autor.**

Portanto, a instalação de módulos fotovoltaicos na UTFPR irá gerar, aproximadamente, 320 MWh por ano, conforme arranjo disposto na Tabela 25.

**Tabela 25 - Cálculo de energia gerada por bloco e ocupação do telhado por ano.**

Blocos	Área disponível [m <sup>2</sup> ]	Área utilizada [m <sup>2</sup> ]	$\Delta\%$	Números de Módulos	$E_t \left[ \frac{kWh}{ano} \right]$
Bloco A	628	331,2	53%	223	68.036,05
Bloco B	520	255,4	49%	172	52.476,23
Bloco C	628	331,2	53%	223	68.036,05
Bloco D	628	331,2	53%	223	68.036,05
Bloco E	631	308,9	49%	208	63.459,63
Total	3035	1 557,8	51%	1 049	320.044,01

**Fonte: O autor.**

### 3.4.7. Avaliação Econômica

Após dimensionar os módulos fotovoltaicos para a instalação na UTFPR é necessário adquiri-los, juntamente com os inversores e demais materiais elétricos suficientes para a operação do sistema. O regime adotado para a concorrência foi o *EPC (Engineering, Procurement and Construction)* e *turn key*, dessa forma a empresa vencedora ficará responsável pelo dimensionamento do sistema (engenharia detalhada), instalação (infraestrutura) e comissionamento. Ou seja, a empresa deverá entregar o sistema conectado à rede e em operação.

De acordo com a instalação realizada em Salvador-BA no estádio de futebol Pítuaçu, com potência de 404,8 kWp, o preço médio de cada Wp instalado sobre esse regime foi de aproximadamente R\$ 13,45. Considerando uma redução natural do preço do Wp (Gráfico 4) e o aumento do preço do Wp pelo porte menor do sistema da UTFPR, será utilizado o mesmo valor. Assim pela Equação 16, tem-se o valor total do sistema instalado na UTFPR.

$$V_T(R\$) = C \left( \frac{R\$}{Wp} \right) \cdot P_i(Wp) \quad (16)$$

$V_T$ : valor total do sistema;

$C$ : custo da instalação por Wp;

$P_i$ : potência instalada do sistema.

$$V_T(R\$) = 13,45 \cdot 220290$$

$$V_T(R\$) = 2\,962\,900,50 \text{ reais}$$

O valor para a instalação do sistema na UTFPR é de R\$ 2.962.900,50. A Tabela 26 apresenta os custos de energia elétrica pagas à concessionária COPEL ao longo de doze meses (abril de 2011 à março 2012). Os valores em kWh discriminados a seguir, não incluem os horários de ponta (18h às 21h), pois nesses horários não haverá geração de energia pelos módulos fotovoltaicos. O total fora de ponta (TFDP) é o valor que poderá ser deduzido com a utilização do sistema fotovoltaico, porém, também é apresentado o total geral que representa o total da fatura (horário fora de ponta e de ponta) e demais encargos.

**Tabela 26 - Consumo energético da UTFPR durante um ano.**

Seq	Mês	Valor Unitário [ $\frac{R\$}{kWh}$ ]	Total (TFDP) [R\$]	Total Geral [R\$]
1	Março-11	0,21977	35.775,70	73.307,71
2	Abril-11	0,219878	36.733,48	79.654,21
3	Maió-11	0,21977	34.836,18	80.845,01
4	Junho-11	0,219878	43.737,25	72.453,44
5	Julho-11	0,223344	36.083,46	94.549,38
6	Agosto-11	0,225519	34.485,91	75.998,15
7	Setembro-11	0,225978	44.348,18	77.734,13
8	Outubro-11	0,225978	43.209,03	91.905,90
9	Novembro-11	0,225978	35.192,91	86.166,05
10	Dezembro-11	0,207185	25.116,83	73.350,21
11	Janeiro-12	0,207185	27.884,61	48.562,51
12	Fevereiro-12	0,207185	27.884,61	52.053,82
Total Anual			425.288,16	906.580,52

**Fonte: O autor.**

Considerando a geração dos módulos fotovoltaicos, na Tabela 27 é possível verificar que para poder suprir a demanda de energia consumida pela UTFPR, o sistema fotovoltaico teria que gerar pelo menos 6 vezes mais energia por ano para alcançar a paridade energética.

**Tabela 27 - Diferença entre energia consumida da UTFPR pela energia gerada no sistema fotovoltaico.**

Seq	Mês	Total (TFDP) [kWh]	Total (Gerado) [kWh]	$\Delta$ (TFDP-Gerado)	$\Delta$ (%)
1	Março-11	134.588	29.288	105.300	22%
2	Abril-11	162.787	24.912	137.875	15%
3	Maió-11	167.063	21.159	145.904	13%
4	Junho-11	158.512	19.319	139.193	12%
5	Julho-11	198.916	21.618	177.298	11%
6	Agosto-11	161.560	26.830	134.730	17%

Seq	Mês	Total (TFDP) [kWh]	Total (Gerado) [kWh]	$\Delta$ (TFDP-Gerado)	$\Delta$ (%)
7	Setembro-11	152.918	24.738	128.180	16%
8	Outubro-11	196.250	28.676	167.574	15%
9	Novembro-11	191.209	32.420	158.789	17%
10	Dezembro-11	155.736	32.260	123.476	21%
11	Janeiro-12	121.229	31.009	90.220	26%
12	Fevereiro-12	134.588	27.816	106.772	21%
Total Anual		1.935.356	320.044	1.615.312	Média: 17%

**Fonte: O autor.**

#### 4. ANÁLISE DO CONTEXTO

A análise de implantação dos módulos fotovoltaicos na UTFPR é avaliada conforme alguns cenários que buscam retratar realidades distintas que foram e ainda são aplicadas em alguns países. Esse estudo mostrará dois cenários: realidade brasileira (*net metering*) e a utilização de tarifa prêmio (utilizado na Alemanha e Espanha).

Os cálculos tiveram como referências um ano atípico no consumo energético da UTFPR, pois nos meses de férias acadêmicas a diminuição no consumo não foi tão significativa quanto nos anos anteriores.

##### 4.1. CENÁRIO ATUAL NO BRASIL

O cenário *net metering* é usado em alguns países, e como já mencionado no Capítulo 2 esse cenário envolve “troca de energia” entre o consumidor e a concessionária. Assim, nesse caso, delimitando o balanço energético no período de trinta dias, ou seja, a execução de débitos ou créditos será efetuada no mês da leitura do medidor. Na Tabela 27, citada anteriormente, é possível verificar o quanto a UTFPR gasta e quanto o sistema irá contribuir em energia no sistema *net metering*. Na Tabela 28 está explicitado essa diferença em reais.

**Tabela 28 - Cenário *Net Metering* na UTFPR.**

Seq	Mês	Valor Unitário [ $\frac{R\$}{kWh}$ ]	Total (TFDP) [R\$]	Total (Gerado) [R\$]	$\Delta$ (TFDP- Gerado)	$\Delta$ (%)
1	Março-11	0,219770	35.775,70	6.436,66	22.851,51	22%
2	Abril-11	0,219878	36.733,48	5.477,63	19.434,52	22%
3	Maio-11	0,219770	34.836,18	4.650,10	16.508,84	22%
4	Junho-11	0,219878	43.737,25	4.247,72	15.070,83	22%
5	Julho-11	0,223344	36.083,46	4.828,22	16.789,63	22%
6	Agosto-11	0,225519	34.485,91	6.050,62	20.779,12	23%
7	Setembro-11	0,225978	44.348,18	5.590,17	19.147,51	23%
8	Outubro-11	0,225978	43.209,03	6.480,21	22.196,08	23%
9	Novembro-11	0,225978	35.192,91	7.326,13	25.093,51	23%
10	Dezembro-11	0,207185	25.116,83	6.683,82	25.576,33	21%
11	Janeiro-12	0,207185	27.884,61	6.424,62	24.584,46	21%



12	Fevereiro-12	0,207185	27.884,61	5.763,01	22.052,75	21%
Total anual:		-	425.288,16	69.958,91	365 751,88	Média: 22%

**Fonte: O autor.**

Observa-se que com a instalação do sistema e no regime *net metering*, a universidade pode salvar em média 22% da energia consumida ao longo do ano.

Assim, com esse regime tarifário é possível calcular o tempo previsto para o “*payback*” (quitação) do sistema. A primeira análise será em *payback* simples. A Equação 17, calcula o valor do fluxo de caixa em um dado mês no cenário com juros zero.

$$D_N = D_{N-1} - T_{TFDP} \quad (17)$$

$D_N$ : valor da dívida no enésimo mês;

$D_{N-1}$ : valor da dívida no mês anterior ao último mês;

$T_{TFDP}$ : total anual da energia gerada fora de ponta.

A Tabela 29 mostra a rolagem da dívida até a quitação do sistema, considerando um ajuste anual da tarifa da energia elétrica em média 5,5% (COPEL, 2012). Observa-se que a quitação irá ocorrer em cerca de 20 anos após a instalação desse sistema fotovoltaico.

**Tabela 29 - Tempo necessário para o pagamento do sistema fotovoltaico com o cenário *payback* simples e *net metering*.**

Ano	Total Anual Gerado Fora de Ponta [R\$]	Saldo Devedor [R\$]
0	69.958,91	2.592.941,59
1	73.806,65	2.519.134,95
2	77.866,01	2.441.268,94
10	119.499,92	1.642.654,92
18	183.394,91	417.032,76
19	193.481,63	223.551,13
20	204.123,12	19.428,01

**Fonte: O autor.**

Em uma segunda análise, será efetuado pelo *payback* descontado, segundo a Equação 18, e terá como premissa uma taxa de juros de 7% que acompanha a valorização do índice da caderneta da poupança ao longo do ano.

$$D_N = D_{N-1} - \frac{T_{TFDP}}{(1 + TJ)^n} \quad (18)$$

$D_N$ : valor da dívida no enésimo mês;

$D_{N-1}$ : valor da dívida no mês anterior ao último mês;

$T_{TFDP}$ : total anual da energia gerada fora de ponta;

$TJ$ : taxa de juros.

A Tabela 30 mostra a rolagem da dívida, considerando um ajuste anual da tarifa da energia elétrica em média 5,5%. Observa-se que a quitação irá ocorrer em aproximadamente 53 anos após a instalação desse sistema fotovoltaico.

**Tabela 30 - Rolagem do saldo devedor para o sistema fotovoltaico com o cenário *payback* descontado e *net metering*.**

Ano	Total Anual Gerado Fora de Ponta [R\$]	Saldo Devedor [R\$]
0	69.958,91	2.592.941,59
1	73.806,65	2.700.640,86
2	77.866,01	2.811.819,71
10	119.499,92	3.826.279,88
20	204.123,12	5.349.963,36
30	348.671,78	6.805.713,82
40	595.581,77	7.036.178,67
50	1.017.339,69	2.991.623,45
53	1.194.602,36	29.864,19

**Fonte: O autor.**

#### 4.2. CENÁRIO COM TARIFA PRÊMIO

Esse cenário é para incentivar a instalação em larga escala, uma vez que permitiria que uma pessoa interessada pudesse ter vantagem em relação à outros investimentos por estar investindo nessa tecnologia e contribuindo com o sistema. Sendo assim para o caso da UTFPR, para que se torne viável a aquisição do sistema proposto, a tarifa prêmio deverá ser de pelo menos duas vezes a tarifa paga hoje pela instituição. Sabendo-se que a energia solar não tem como objetivo substituir as fontes energéticas já existentes e sim apenas contribuir para descentralização da geração de energia, é interessante que a geração de energia solar contribuísse pelo menos para que os sistemas fotovoltaicos fossem pagos num tempo menor ao da garantia dos módulos (em média 20 anos).

Assim, com esse regime tarifário é possível calcular o tempo previsto para o *payback* do sistema. Na primeira análise será em *payback* simples. A Equação 17, calcula o valor do fluxo de caixa em um dado mês no cenário com juros zero.

$$D_N = D_{N-1} - T_{TFDP} \quad (17)$$

A Tabela 31 apresenta os detalhes do *payback* simples com o incentivo de duas vezes a tarifa convencional fora de ponta, considerando um ajuste anual da tarifa da energia elétrica em média 5,5%, sendo o sistema fotovoltaico pago em 12 anos e 5 meses.

**Tabela 31 - Tempo necessário para o pagamento do sistema fotovoltaico com cenário *payback* simples e tarifa prêmio.**

Ano	Total Anual Gerado Fora de Ponta [R\$]	Saldo Devedor [R\$]
0	139.917,81	2.522.982,69
1	147.613,29	2.375.369,40
2	155.732,02	2.219.637,38
3	164.297,28	2.055.340,09
4	173.333,63	1.882.006,46
5	182.866,98	1.699.139,47
6	192.924,67	1.506.214,81
7	203.535,52	1.302.679,28
8	214.729,98	1.087.949,30

9	226.540,13	861.409,18
10	238.999,83	622.409,34
11	252.144,83	370.264,52
12	266.012,79	104.251,73

**Fonte: O autor.**

Em uma segunda análise, será efetuado pelo *payback* descontado, segundo Equação 18, e terá como premissa uma taxa de juros de 7%.

$$D_N = D_{N-1} - \frac{T_{TFDP}}{(1 + T)^n} \quad (18)$$

A Tabela 32 mostra a rolagem da dívida com a tarifa prêmio de duas vezes a tarifa convencional, considerando um ajuste anual da tarifa da energia elétrica em média 5,5%. Observa-se que o sistema fotovoltaico é pago em aproximadamente 21 anos.

**Tabela 32 - Tempo necessário para o pagamento do sistema fotovoltaico com cenário *payback* descontado e tarifa prêmio.**

Ano	Total Anual Gerado Fora de Ponta [R\$]	Saldo Devedor [R\$]
0	139.917,81	2.522.982,69
1	147.613,29	2.551.978,19
2	155.732,02	2.574.884,64
5	182.866,98	2.597.906,47
10	238.999,83	2.414.231,44
15	386.963,26	751.017,08
20	408.246,24	395.342,03

**Fonte: O autor.**

## 5. CONCLUSÃO

A partir da metodologia proposta, foi possível atingir os objetivos específicos e o objetivo geral deste trabalho.

Por meio das pesquisas realizadas em relação ao mercado mundial de módulos fotovoltaicos, concluiu-se que o silício cristalino voltou a ser o mais procurado, indo ao contrário do que se esperava do mercado que era o crescimento da demanda dos módulos de filmes finos, pois, a partir de 2005 a fabricação de módulos com a tecnologia cristalina, passou a ter preços melhores, devido à fabricação em massa destes em países asiáticos.

O sistema fotovoltaico pode ser dividido em dois ramos: isolado e o conectado à rede (SFCR). Cada um apresenta suas peculiaridades, sendo o isolado aplicado em regiões afastadas, onde não há fornecimento de energia elétrica e em algumas aplicações específicas, como por exemplo, sinalização de trânsito, bombas de irrigações e para alguns bens de consumo. Já o SFCR pode ser aplicado diretamente no ponto de consumo, pois deve ser conectado em paralelo com a concessionária, assim, integrando a geração distribuída ao SIN e descentralizando a geração.

Os países que tiveram crescimento expressivo no sistema fotovoltaico conectado à rede adotaram algum tipo de incentivo, seja por incentivo na instalação ou na tarifa prêmio e conseguiram alcançar elevados patamares de potência fotovoltaica instalada. A começar pelos países do primeiro mundo, como por exemplo, a Alemanha e a Espanha.

No cenário mundial, a Alemanha despontou no mercado de energia fotovoltaica, sendo que desde os anos 90 ela aceitou o desafio de se tornar o país que possui maior capacidade instalada de energia solar no mundo, por meio de financiamento de programas que incentivam o uso de energia solar. Não obstante, também premia os investidores, por meio do sistema tarifário *feed-in*, além de financiamentos dos sistemas fotovoltaicos. No entanto, percebe-se que a Alemanha está mitigando os investimentos nesses programas que ao longo prazo a tendência é a substituição do sistema *feed-in* pelo sistema *net metering*.

A Espanha observou os bons resultados da Alemanha e aplicou projetos semelhantes em seu território. Para aumentar a participação de energia limpa na matriz energética, ofereceu incentivos mais atraentes que os do governo Alemão, o que fez com que em um curto período, o número de investidores fotovoltaicos alcançasse um crescimento expressivo. Dessa forma os incentivos foram tão vantajosos que causaram uma instabilidade financeira para o governo espanhol, obrigando-o a reduzir os incentivos *feed-in* ao longo dos anos.

A Índia possui as metas mais desafiadoras, sendo a principal, se tornar líder mundial em energia solar fotovoltaica. Observa-se que o objetivo da Índia não é ser líder até o ano de 2022, com apenas 20 GWp instalados. Já em relação ao sistema de incentivo, mesmo a Índia sabendo que os países que aplicam o sistema *feed-in* estão com tendências a substituí-lo, a Índia optou em adotá-lo pelo principal motivo: é um sistema em que quando utilizado com tarifas prêmio atraentes, é o que obtém um crescimento rápido e em larga escala. Com essas medidas, espera-se atrair investimentos externos para a pesquisa e para indústria de células fotovoltaicas.

O Brasil é o que possui maior índice de irradiação solar, quando comparado aos países citados, porém, o aproveitamento dessa energia solar é o menor entre eles. No Brasil existiram esforços para implantar o uso de módulos fotovoltaicos desde a década de 80, porém para proteger o mercado interno de equipamentos eletrônicos foi regida uma lei que limitava as importações desses bens, inclusive dos módulos fotovoltaicos. Até 1991, enquanto na Alemanha o programa de “1.000 telhados fotovoltaicos” estava apresentando resultados acima do esperado, o Brasil começou a implantar um programa, o PRODEEM, para dar acesso a energia elétrica a pessoas afastadas do SIN, por meio de fontes renováveis. Esse programa não foi concebido com características *feed-in*, pois era voltado apenas para o sistema isolado. Também não previa formas para fomentar o desenvolvimento tecnológico e industrial dos módulos fotovoltaicos no Brasil, o que configurava baixa nacionalização (equipamentos importados). Enquanto a Índia tem como objetivo instalar mais de vinte milhões de sistemas fotovoltaicos e dessa forma tirar da “escuridão” cerca de 10 mil aldeias e vilarejos, o Brasil unificou o programa PRODEEM com o Luz Para Todos, e tem como meta levar energia para 13 milhões de pessoas.

Portanto, os programas no Brasil não obtiveram êxitos, pois houve falta de comprometimento por parte do governo, desvio de equipamentos, ausência de manutenção adequada e o número de famílias atendidas foi menor que o previsto. Outras ações que prejudicaram a implantação de indústrias de células fotovoltaicas foram omissões governamentais na articulação de incentivos e financiamentos às indústrias. O Brasil em relação aos outros países citados, somente em 2012 apresentou os princípios de uma legislação voltada para a exploração do recurso fotovoltaico em pequena escala, sendo que ainda a legislação está sendo elaborada pelas concessionárias. O programa de incentivo que está sendo aplicado é o *net metering*, infelizmente ao contrário do *feed-in tariff*, não apresenta uma grande adesão dos investidores, pois não oferece uma remuneração, apenas uma troca de

energia. O Brasil está verificando opções diversificadas de novas tecnologias. No entanto, o governo não tem interesse, de imediato, em uma “explosão” de investidores para utilização de módulos fotovoltaicos a curto prazo.

Um importante fator que atrapalha o desenvolvimento do mercado fotovoltaico é a omissão do Ministério de Minas e Energia, que poderia ter um papel fundamental na articulação legislativa e financeira para incentivos a essa nova fonte de energia, visando a produção de energia elétrica para suprir o aumento da demanda e criação de indústrias nacionais dessa tecnologia.

A matriz energética brasileira possui uma base diferente da dos outros países, felizmente a maior parte da matriz provém de recursos renováveis. Dessa forma, as pressões empresariais e ambientais para a implantação de sistemas fotovoltaicos em larga escala não são suficientes para vencer as barreiras. Sendo assim, o governo não está promovendo programas específicos para implantação de energia solar em larga escala, pois considera que o Brasil já possui uma matriz renovável.

O estudo realizado na UTFPR para a instalação de um sistema fotovoltaico de aproximadamente 223 kWp, abordou tecnicamente e economicamente a viabilidade da implantação desse sistema. No aspecto técnico, não houve impedimentos para o projeto, já no aspecto econômico existem limitantes. Foi necessário a criação de dois cenários e a utilização do *payback* simples e descontado em cada um deles.

Para a análise dos cenários, não foram considerados a depreciação do sistema, custo de manutenção e troca de inversores, entre outros fatores, sendo relevante, apenas o retorno do investimento ao longo dos anos. Dessa forma no cenário atual, *net metering*, o investimento apenas sob a ótica de fluxo de caixa torna-se inviável, pois considerando o aumento tarifário de 5,5% ao ano e o juros sobre o saldo devedor de 7% ao ano, serão necessários mais de 50 anos, segundo análise do *payback* descontado, para o pagamento do sistema, sendo que o prazo ultrapassa o tempo da garantia do sistema. O segundo cenário avalia o investimento usando tarifa prêmio para amortizar o saldo devedor. Considerando as taxas de reajuste iguais ao cenário anterior e considerando uma tarifa prêmio de duas vezes a tarifa convencional, conclui-se que o sistema será quitado em 21 anos, segundo a análise do *payback* descontado. Mesmo reduzindo, consideravelmente, o tempo para a quitação do saldo devedor, o investimento, ainda, é pouco atrativo, devido ao prazo para a quitação do sistema ultrapassar a garantia do sistema que é de normalmente 20 anos.

O motivo para uso da tarifa prêmio ser de duas vezes a tarifa convencional é devido à tendência mundial de estar abandonando o sistema de premiação tarifária e caminhando para o *net metering*, a probabilidade do Brasil vir a utilizar a tarifa prêmio é baixa. Caso esse sistema venha ser implantado, acredita-se que a remuneração será de no máximo de duas vezes a tarifa convencional, pois em 2008 na Espanha, a tarifa prêmio era ligeiramente superior ao dobro da tarifa convencional e em 2010 na Alemanha, a tarifa prêmio já era apenas de 28% maior que a tarifa convencional. Outra barreira encontrada para o retorno econômico é o preço do  $W_p$ , que é superior ao dos outros países, devido à grande carga tributária, poucos fornecedores nacionais de equipamentos utilizados nos SFGR e, também, falta de empresas e profissionais atuantes no setor.



## REFERÊNCIAS

ABREU, Y. V. D. *at al.* **Energia, Economia, Rotas Tecnológicas. Texto Seleccionados**. 1ª. ed. Málaga: eumed, v. Único, 2010.

ACADEMIC. Célula fotovoltaica. **Academic**, 2010. Disponível em: <<http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/243233>>. Acesso em: 12 Novembro 2011.

AMÉRICA DO SOL. Energia fotovoltaica. **América do Sol**, 2011. Disponível em: <<http://www.americadosol.org>>. Acesso em: 4 Outubro 2011.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 83**. ANEEL. Brasília - DF. 2004.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 390**. ANEEL. Brasília - DF. 2009.

\_\_\_\_\_. ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia nas unidades consumidoras. **ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2012. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=5457&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5457&id_area=90)>. Acesso em: 18 Abril 2012.

\_\_\_\_\_. Banco de informações de Geração - BIG. **ANEEL**, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>. Acesso em: 15 maio 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899**: Energia solar fotovoltaica - Terminologia. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.

ASTRO REI. Fotovoltaicos. **Astro Rei**, 2010. Disponível em: <<http://www.astrorei.com/fotovoltaico.html>>. Acesso em: 8 Outubro 2011.

BRAUN-GRABOLLE, P. **A Integração de Sistemas Solares Fotovoltaicos em Larga Escala no Sistema Elétrico de Distribuição Urbana**. Univerdidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC. 2010.

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

CENTRE FOR INTERNATIONAL TRADE, ECONOMICS & ENVIRONMENT - CUTS. **Tapping the Untapped: Renewiing the Nation**. Centre for International Trade, Economics & Environment - CUTS. Jaipur - Índia. 2010.

CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE DA EAESP - FGV. **políticas para Promoção da Economia Verde**. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial - IEDI. São Paulo - SP. 2011.

COLLE, S. *at al.* **Atlas de Irradiação Solar do Brasil**. 1. ed. Brasília - DF: [s.n.], 1998.

COPEL. Taxas e Tarifas. **COPEL - Pura Energia**, 2012. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Ftarifas%2Fpagcopel2.nsf%2Fverdocatual%2F23BF37E67261209C03257488005939EB>>. Acesso em: 22 Abril 2012.

CORREIO DO ESTADO. Conta de luz no Brasil é mais cara que em países ricos. **CORREIO DO ESTADO**, 2010. Disponível em: <[http://www.correiodoestado.com.br/noticias/conta-de-luz-no-brasil-e-mais-cara-que-em-paises-ricos\\_108660/](http://www.correiodoestado.com.br/noticias/conta-de-luz-no-brasil-e-mais-cara-que-em-paises-ricos_108660/)>. Acesso em: 17 Maio 2012.

CÔRTEZ, G. *at al.* **Análise de Viabilidade de Implantação de uma Rede Inteligente no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica do Município de Fazenda Rio Grande**. Curitiba: UTFPR - DIBIB, 2010.

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. **CRESEB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**, 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm)>. Acesso em: 8 Outubro 2011.

DEPRO - UTFPR. **PLANTA DE COBERTURA - QUADRA GERAL - UTFPR (BLOCOS "A" ATÉ "T")**. UTFPR. Curitiba. 2007.

DEUTSCHES CLEANTECH INSTITUT - DCTI. **Export Guide 2011 - Photovoltaics**. Deutsches CleanTech Institut - DCTI. Bonn - Alemanha. 2011.

DIRECT INDUSTRY. Delta Ohm. **Direct Industry**, 2008. Disponível em: <<http://news.directindustry.es/press/delta-ohm/pirheliometro-de-primera-clase-delta-ohm-lp-pyrhe-16-25140-351143.html>>. Acesso em: 5 Novembro 2011.

DX. Solar Powered Self-Recharging. **DealExtreme**, 2011. Disponível em: <<http://www.dealxtreme.com/p/1000mah-5-5v-solar-powered-self-recharging-li-ion-battery-2575#open%20full%20view>>. Acesso em: 9 Outubro 2011.

EEG - ERNEUERBARE ENERGIEN GESETZ. EEG 2012. **BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**, 2011. Disponível em: <[http://www.bmu.de/files/english/pdf/application/pdf/eeg\\_2012\\_verguetungsdegression\\_en\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/english/pdf/application/pdf/eeg_2012_verguetungsdegression_en_bf.pdf)>. Acesso em: 14 Fevereiro 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de 2030**. Ministério de Minas e Energia - MME. Brasília - DF. 2007.

EPIA - EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. **Global Market Outlook for Photovoltaics until 2015**. Renewable Energy House. Brussels - Bélgica. 2011.

EXMAN, F. INFOENER - Sistemas de Informações Energéticas. **Hemeroteca do Instituto de Eletrotécnica e Energia**, 2004. Disponível em: <<http://infoener.iee.usp.br/infoener/hemeroteca/imagens/83774.htm>>. Acesso em: 04 Maio 2012.

FREITAS, E. D. Movimento de translação. **Aluno Online**, 2011. Disponível em: <<http://www.alunosonline.com.br/geografia/movimento-translacao.html>>. Acesso em: 2 Novembro 2011.

GEOMOEDEL SOLAR. Free Download of Solar Radiation Maps:Global Horizontal Irradiation (GHI). **SolarGis**, 2012. Disponível em: <<http://solargis.info/doc/71>>. Acesso em: 21 Fevereiro 2012.

GESTE - GRUPO DE ESTUDOS TÉRMICOS E ENERGÉTICOS, UFRGS. **Radiação Solar**. Rio Grande do Sul: [s.n.], 2007.

GONÇALVES, A. F. Q. **Controle e Análise de Conversores CC-CA Conectados em Redes de Distribuição e Utilizados em Sistemas de Geração Distribuída**. São Carlos-SP: EESC/USP, 2011.

GOOGLE. MAPS. **GOOGLE EARTH**, 2010. Disponível em: <<http://maps.google.com/maps?ll=-25.439242,-49.268578&z=16&t=h&hl=pt-BR>>. Acesso em: 24 Março 2012.

GOVERNMENT OF INDIA. India.gov.in. **National Portal of India**, 2010. Disponível em: <<http://india.gov.in/allimpfrms/alldocs/15657.pdf>>. Acesso em: 26 Fevereiro 2012.

GREENPEACE INTERNACIONAL. **[r]evolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo**. Conselho Europeu de Energia Renovável - EREC. São Paulo - SP. 2010.

GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR - GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: PRC - PRODEEM, v. I, 2004.

INDEX MUNDI. Alemanha - População - Dados Históricos Gráficos. **Index Mundi**, 2011. Disponível em: <<http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=21&c=gm&l=pt>>. Acesso em: 13 Fevereiro 2012.

INPE & LABSOLAR. Brazil PAR Solar Radiation Model (10km) from INPE and LABSOLAR. **SWERA**, 2008. Disponível em: <<http://swera.unep.net/index.php?id=35&idx=396>>. Acesso em: 27 Março 2012.

JANNUZZI, G. D. M. *at al.* **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação**. International Energy Initiative - IEI. Campinas - SP. 2009.

JEFATURA DEL ESTADO. **Real Decreto-Lei 14/2010 de 23 de Dezembro, que estabelece medidas urgentes para corrigir a quebra de receitas no sector da electricidade..** Boletín Oficial del Estado. Madrid - Espanha. 2010.

JOIN RESEARCH CENTRE. Solar Radiation Maps for European Countries. **European Solar test Installation**, 2008. Disponível em: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>>. Acesso em: 09 Fevereiro 2012.

JORNAL AMBIENTE BRASIL. Energia Solar - Perspectivas Futuras. **AmbienteBrasil**, 1999. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia\\_solar/energia\\_solar\\_-\\_perspectivas\\_futuras.html?query=energia+solar](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/energia_solar_-_perspectivas_futuras.html?query=energia+solar)>. Acesso em: 5 Novembro 2011.

KLEISS, G. *at al.* **Temperature Dependent Influence of a-Si:** H cell degradation on the energy delivered under realistic reporting conditions. Photovoltaic Specialists Conference. Nova York: [s.n.]. 1993. p. 896-900.

KYOCERA. **KD219GX-LP**. Kyocera. Beijin - China. 2011.

LAUBER, V. **REFIT and RPS: options for a harmonized community framework**. Energy Policy. Londres - França. 2004.

LOR, C. G. EL FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. **SEFIN**, 2010. Disponível em: <<http://www.sefin.es/Docs/FV%20-%20Costes%20y%20previsiones.pdf>>. Acesso em: 17 Maio 2012.

LOURENÇO, P. *at al.* **Painéis Fotovoltaicos**. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra - Portugal. 2007.

MATTOS, J. M. D. B. *at al.* **Desenvolvimento de uma Estrutura de Estágio Único de Baixo Custo e Alto Rendimento para Injetar Potência de um Módulo Fotovoltaico na Rede de Baixa Tensão**. Curitiba: UTFPR - DIBIB, 2009.

MEHTA, S. GreenTechSolar. **Greentechmedia**, 2011. Disponível em: <<http://www.greentechmedia.com/articles/read/pv-news-annual-data-collection-results-cell-and-module-production-explode-p/>>. Acesso em: 9 Outubro 2011.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. **Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial**. Boletín Oficial del Estado - BOE. Madrid - Espanha. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estudo e Propostas de Utilização de Geração Fotovoltaica Conectada à Rede, em Particular em Edificações Urbanas**. Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovolaticos. Brasília - DF. 2009.

\_\_\_\_\_. **Resenha Energética Brasileira - Preliminar**. Ministério de Minas e Energia. Brasília - DF. 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Agenda Ambiental na Administração Pública - A3P**. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Brasília - DF. 2008.

MINISTRY OF NEW AND RENEWABLE ENERGY - GOVERNMENT OF INDIA. MNRE, Official Website, GOI, Solar Energy Conclave 2010. **Ministry of New and Renewable Energy**, 2010. Disponível em: <<http://www.mnre.gov.in/solar-conclave2010.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2011.

MINISTRY OF NEW AND RENEWABLE ENERGY. **Annual Reports of the Ministry**. Government of India. Nova Delí - Índia. 2011.

MUIR, J. Variables, Fenómenos e instrumentos. **Navengando Entre Fenómenos**, 1999. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/elsentirdelanaturaleza/variables-fenomenos-e-instrumentos>>. Acesso em: 5 Novembro 2011.

NAKADA, T. *at al.* **CIGS Thin Film Solar Cells on Polyimide Foils**. Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). Havaí, EUA: [s.n.]. 2010. p. 330-334.

O ESTADO DE SÃO PAULO. GDI - Gestor Digital de Informações. **Eletrobras - Eletrosul**, 2009. Disponível em: <[http://www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/index.php?pg=cl\\_abre&cd=gmneXd9@%60Rkfi](http://www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/index.php?pg=cl_abre&cd=gmneXd9@%60Rkfi)>. Acesso em: 13 Novembro 2011.

OCEAN NET. Piranômetros. **Ocean Net**, 2010. Disponível em: <<http://www.ocean-net.info/instrumentacion/deltaohm/Piranometros.htm>>. Acesso em: 5 Novembro 2011.

PERNG, D. C. *at al.* **Influences of the Substrate Structure on The Growth of CuInSe2 and In2Se3 Thin Films**. Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). Havaí, EUA: [s.n.]. 2010. p. 2474-2477.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Decreto nº 49148, de 21 de janeiro**. Prefeitura do Município de São Paulo. São Paulo - SP. 2008.

RAINA, R. Opportunities & Challenges for developers Achieving 20 GW Solar Power by 2020 in India. **Intersolar India**, Mumbai, Índia, 13 Dezembro 2010.

REIS, M. D. Energia Limpa: luz solar. **Engenharia: Artigos e Publicações da área de Engenharia**, 2008. Disponível em: <<http://engenworks.blogspot.com/2008/03/energia-limpa-luz-solar.html>>. Acesso em: 12 Novembro 2011.

RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Renewables 2011: global status report**. Ren21. Paris - França. 2011.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: Editora UFSC - LABSOLAR, v. Único, 2004.

\_\_\_\_\_, R. *at al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1. ed. São José dos Campos - SP: INPE, 2006.

\_\_\_\_\_, R. **Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e o Trabalho do Labsolar nesta Área**. LABSOLAR - UFSC. Florianópolis - SC, p. 3. 1999.

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.

SAWIN, J. **National Policy instruments: policy lessons for the advancement & diffusion of renewable energy technologies around the world.** Secretariat of the International Conference for Renewable Energies. Bonn - Alemanha. 2004.

SEVERINO, M. M. **Avaliação Técnico-Econômica de um Sistema Híbrido de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas da Amazônia.** Universidade Nacional de Brasília - UNB. Brasília - DF. 2008.

SMA SOLAR TECHNOLOGY AG. **Sunny Mini Central 9000TL / 10000TL / 11000TL with Reactive Power Control.** SMA. Niestetal - Alemanha. 2010.

\_\_\_\_\_. **SUNNY BOY 3000TL/4000TL/5000TL with Reactive Power Control. SMA Solar Technology,** 2012. Disponível em: <<http://files.sma.de/dl/15330/SB5000TL-21-DEN115012.pdf>>. Acesso em: 08 Abril 2012.

SOLAR POWER. Power From Solar. **Power From Solar,** 2011. Disponível em: <<http://power-from-solar.com/2011/06/06/changes-in-solar-technology-2009-and-thereafter/>>. Acesso em: 29 Setembro 2011.

SOLARPACES. CSP Project Developments in Brazil. **SolarPACES,** 2010. Disponível em: <<http://www.solarpaces-csp.org/News/Projects/Brazil.htm>>. Acesso em: 22 Fevereiro 2012.

SOMA. Mapa da UTFPR campus Curitiba. **SOMA inovação sistemática,** 2007. Disponível em: <<http://www.soma.citec.ct.utfpr.edu.br/>>. Acesso em: 24 Março 2012.

STECA. Steca Solar. **Steca,** 2011. Disponível em: <[http://www.stecasolar.com/index.php?Voltage\\_converter](http://www.stecasolar.com/index.php?Voltage_converter)>. Acesso em: 8 Outubro 2011.

SUNFIX. **Ground Mounting System from SolarWorld - Planning and implementation.** SolarWorld. Bonn - Alemanha. 2008.

TECNOBOX. Energia Solar. **TecnoBox,** 2009. Disponível em: <<http://fernandotecnoBOX.blogspot.com/2009/09/energia-solar.html>>. Acesso em: 30 Setembro 2011.

TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil:** banco de dados solarimétricos. 2. ed. Recife - PE: Universitária da UFPE, 2000.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **2010 Solar Technologies Market Report.** U.S. Department of Energy. Washington - DC. 2010.

URBANETZ JUNIOR., J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas:** sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. Florianópolis: UFSC - BU, 2010.

VEIGA, P. M. R. D. **Análise Técnica e Econômica de um Sistema Híbrido (Solar - Eólico) para Geração Elétrica em um Local Isolado:** uma alternativa à extensão de rede rural. Curitiba: UTFPT - DIBIB, 2005.

VEJA. Eike inaugura primeira usina solar comercial do país. **Veja**, 2011. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/economia/eike-inaugura-primeira-usina-solar-comercial-do-pais/imprimir>>. Acesso em: 9 Outubro 2011.

VIANA, T. D. S. **Potencial de Geração de Energia Elétrica com Sistemas Fotovoltaicos com Concentrador no Brasil.** Florianópolis - SC: [s.n.], 2010.

**ANEXO A**



AGENTES	PAPEL	TENDÊNCIA
<p>CNPE Conselho Nacional de Políticas Energéticas</p>	<p>Através do Decreto nº 3.520, de 21 de Junho de 2000, Dispõe sobre a estrutura e o funcionamento do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE, criado pela Lei nº 9.478, de 6 de Agosto de 1997, é órgão de assessoramento do Presidente da República para a formulação de políticas e diretrizes de energia CNPE e dá outras providências. O CNPE é um órgão interministerial de assessoramento à Presidência da República, tendo como principais atribuições formular políticas e diretrizes de energia e assegurar o suprimento de insumos energéticos às áreas mais remotas ou de difícil acesso do país. É também responsável por revisar periodicamente as matrizes energéticas aplicadas às diversas regiões do país, estabelecer diretrizes para programas específicos, como os de uso do gás natural, do álcool, de outras biomassas, do carvão e da energia termonuclear, além de estabelecer diretrizes para a importação e exportação de petróleo e gás natural.</p>	<p>Manter a função de assessorar a Presidência da República nos assuntos relativos a políticas energéticas, atuando de forma complementar ao MME.</p>
<p>MME Ministério de Minas e Energia</p>	<p>O MME é o órgão do Governo Federal responsável pela condução das políticas energéticas do país. Suas principais obrigações incluem a formulação e implementação de políticas para o setor energético, de acordo com as diretrizes definidas pelo CNPE. O MME é responsável por estabelecer o planejamento do setor energético nacional, monitorar a segurança do suprimento do Setor Elétrico Brasileiro e definir ações preventivas para restauração da segurança de suprimento no caso de desequilíbrios conjunturais entre oferta e demanda de energia.</p>	<p>Concentrar e manter o controle das políticas públicas. O MME inicialmente outorgou e mais recentemente suspendeu e retomou algumas atribuições para autonomia e poder da ANEEL.</p>
<p>ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica</p>	<p>A ANEEL foi instituída pela Lei nº 9.427/96 e constituída pelo Decreto nº 2.335/97, com as atribuições de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, zelando pela qualidade dos serviços prestados, pela universalização do atendimento e pelo estabelecimento das tarifas para os consumidores finais, sempre preservando a viabilidade econômica e financeira dos agentes e da indústria. As alterações promovidas em 2004 pelo novo modelo do setor estabeleceram como responsabilidade da ANEEL, direta ou indiretamente, a promoção de licitações na modalidade de leilão, para a contratação de energia elétrica pelos Agentes de Distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN).</p>	<p>Mais recentemente e com a criação da EPE houve um retrocesso nas atribuições e poderes da ANEEL. Parte considerável dos recursos que a ANEEL administrava em programas de P&amp;D junto a empresas de energia foram destinados para a EPE.</p>

AGENTES	PAPEL	TENDÊNCIA
<p>EPE Empresa de Pesquisa Energética</p>	<p>Instituída pela Lei nº 10.847/04 e criada pelo Decreto nº 5.184/04, a EPE é uma empresa vinculada ao MME, cuja finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Suas principais atribuições incluem a realização de estudos e projeções da matriz energética brasileira, execução de estudos que propiciem o planejamento integrado de recursos energéticos, desenvolvimento de estudos que propiciem o planejamento de expansão da geração e da transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazo, realização de análises de viabilidade técnico-econômica e sócio-ambiental de usinas, bem como a obtenção da licença ambiental prévia para aproveitamentos hidrelétricos e de transmissão de energia elétrica.</p>	<p>A EPE tem realizado estudos e projeções do cenário energético nacional, tendo recentemente publicado o Plano Nacional de Energia - PNE 2030. Uma das críticas à ação de planejamento e estabelecimento de cenários energéticos apresentados pela EPE se refere à sua postura conservadora e perpetuadora do modelo energético vigente, com pouca visão de um futuro no qual as FRE ocupem papel de maior destaque. A EPE passou também a assumir algumas atividades anteriormente exercidas pela ANEEL.</p>
<p>CCEE Câmara de Comercialização de Energia Elétrica</p>	<p>A CCEE, instituída pela Lei nº 10.848/04 e criada pelo Decreto nº 5.177/04, absorveu as funções do MAE e suas estruturas organizacionais e operacionais. Entre suas principais obrigações estão: a apuração do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), utilizado para valorar as transações realizadas no mercado de curto prazo; a realização da contabilização dos montantes de energia elétrica comercializados; a liquidação financeira dos valores decorrentes das operações de compra e venda de energia elétrica realizadas no mercado de curto prazo e a realização de leilões de compra e venda de energia no Ambiente de Contratação Regulada, por delegação da ANEEL.</p>	<p>A CCEE deverá manter sua ação na área de sua competência, atuando principalmente no ACR (Ambiente de Contratação Regulada).</p>
<p>CMSE Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico</p>	<p>O CMSE é um órgão criado no âmbito do MME, sob sua coordenação direta, com a função de acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o território nacional. Suas principais atribuições incluem: acompanhar o desenvolvimento das atividades de geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação de energia elétrica; avaliar as condições de abastecimento e de atendimento; realizar periodicamente a análise integrada de segurança de abastecimento e de atendimento; identificar dificuldades e obstáculos que afetem a regularidade e a segurança de abastecimento e expansão do setor e elaborar propostas para ajustes e ações preventivas que possam restaurar a segurança no abastecimento e no atendimento elétrico.</p>	<p>O CMSE deverá manter sua ação de monitoramento e de acompanhamento dos desenvolvimentos no setor elétrico nacional.</p>

AGENTES	PAPEL	TENDÊNCIA
<p>ONS Operador Nacional do Sistema</p>	<p>O ONS foi criado pela Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e regulamentado pelo Decreto nº 2.655, de 2 de julho de 1998, com as alterações do Decreto nº 5.081, de 14 de maio de 2004, para operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no SIN, e administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil. Tem como objetivo principal, atender os requisitos de carga, otimizar custos e garantir a confiabilidade do sistema, definindo ainda, as condições de acesso à malha de transmissão em alta-tensão do país.</p>	<p>O ONS deverá manter sua ação de supervisão e controle do SIN.</p>
<p>Concessionárias de Energia</p>	<p>Agente titular de concessão federal para prestar o serviço público de distribuição ou transmissão ou geração de energia elétrica.</p>	<p>As Concessionárias de Energia deverão diversificar suas ações no sentido de atender a um mercado que futuramente poderá vir a ser mais exigente. Espera-se resistência por parte destes agentes com relação a qualquer mudança neste sentido.</p>
<p>PIE Produtor Independente de Energia</p>	<p>Produtor Independente de Energia a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda, ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.</p>	<p>Havendo sinalização de um mercado mais diferenciado de energia, os PIEs poderão intensificar suas ações e se dedicar a produzir eletricidade por FRE para atender ao ACL (Ambiente de Contratação Livre). Há necessidade, no entanto, de induzir este mercado.</p>
<p>APs Auto Produtores</p>	<p>Titular de concessão, permissão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo comercializar eventual excedente de energia, desde que autorizado pela ANEEL.</p>	<p>Havendo sinalização de um mercado mais diferenciado de energia, os APs poderão intensificar suas ações e se dedicar a produzir eletricidade por FRE para atender ao ACL. Há necessidade, no entanto, de induzir este mercado.</p>
<p>Consumidores Cativos</p>	<p>Consumidor ao qual só é permitido comprar energia do concessionário, autorizado ou permissivo de distribuição.</p>	<p>Existe grande resistência por parte de vários agentes do setor para a liberalização do consumidor cativo.</p>
<p>Consumidores Especiais e Livres</p>	<p>São considerados consumidores especiais, todos aqueles consumidores com potência instalada superior a 0,5 MW e consumidores livres, todos aqueles consumidores com potência instalada superior a 3 MW a uma tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV.</p>	<p>Existe uma tendência considerável de aumento do número de consumidores especiais e livres.</p>
<p>Ministério da Fazenda</p>	<p>Ministério da Fazenda é o órgão que na estrutura administrativa da República Federativa do Brasil que cuida basicamente da formulação e execução da política econômica.</p>	<p>O Ministério da Fazenda manterá sua postura de zelo pela balança comercial do país.</p>

AGENTES	PAPEL	TENDÊNCIA
<p>BANDES</p> <p>Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.</p>	<p>Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BANDES, ex-autarquia federal criada pela Lei nº 1.628, de 20 de junho de 1952, foi enquadrado como uma empresa pública federal, com personalidade jurídica de direito privado e patrimônio próprio, pela Lei nº 5.662, de 21 de junho de 1971. O BANDES é um órgão vinculado ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e tem como objetivo apoiar empreendimentos que contribuam para o desenvolvimento do país.</p>	<p>Das ações do BANDES resultam a melhoria da competitividade da economia brasileira e a elevação da qualidade de vida da sua população.</p>
<p><b>ENTIDADES</b></p>	<p><b>EXPERTISE</b></p>	<p><b>TENDÊNCIA</b></p>
<p>ANAMMA</p> <p>Associação Nacional de Órgãos Municipais de Apoio ao meio Ambiente</p>	<p>ANAMMA, é uma entidade civil, sem fins lucrativos ou vínculos partidários, representativa do poder municipal na área ambiental, com o objetivo de fortalecer os Sistemas Municipais de Meio Ambiente para implementação de políticas ambientais que venham a preservar os recursos naturais e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.</p>	<p>A ANAMMA deverá intensificar suas ações no sentido de preservação dos recursos naturais, impondo dificuldades crescentes a empreendimentos de geração, transmissão e distribuição de energia que apresentem impactos ambientais.</p>
<p>ABRAVA</p> <p>Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento</p>	<p>Energia solar.</p>	<p>Lobby pró-solar e ações que visam fortalecer o setor industrial, estudos e projetos.</p>
<p>IDEAL</p> <p>Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina</p>	<p>Articulação política e técnica nos países da América Latina.</p>	<p>Políticas públicas em favor das FRE.</p>
<p>GREENPEACE</p>	<p>Todas as FRE e proteção ambiental.</p>	<p>Ações de polarização da opinião pública.</p>
<p>ABENS</p> <p>Associação Brasileira de Energia Solar</p>	<p>Energia solar.</p>	<p>Divulgação das tecnologias relacionadas à energia solar.</p>
<p>ISES DO BRASIL</p> <p>International Solar Energy Society, Seção Brasil</p>	<p>Todas as FRE.</p>	<p>Divulgação das tecnologias relacionadas à FRE.</p>

ENTIDADES	EXPERTISE	TENDÊNCIA
CBEE Centro Brasileiro de Energia Eólica	Energia Eólica.	Divulgação da tecnologia eólica, estudos e projetos.
PETROBRAS	Todas as FRE.	Adoção de FRE em uma postura de empresa de energia “ <i>beyond petroleum</i> ”, sem perder o foco principal em negócios.
CERPCH Centro Nacional de Referência em pequenas Centrais Hidrelétrica	Pequenas centrais hidrelétricas.	Divulgação da tecnologia das pequenas centrais hidrelétrica, estudos e projetos.
ABRADEE Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica	Representa 49 concessionárias de distribuição de energia elétrica, responsáveis pelo atendimento de 99% do mercado brasileiro de energia elétrica.	Defesa os interesses de suas associadas.
ELETRONUCLEAR Eletrobrás Termonuclear S.A.	Geração termonuclear.	Viabilização de usinas termonucleares.
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina	Energia solar térmica e fotovoltaica, energia eólica, planejamento energético, eficiência energética.	P&D em energia solar, eólica, eficiência energética e planejamento energético em vários laboratórios.
UNICAMP Universidade Estadual de Campinas	Energia solar.	P&D em energia solar.
USP Universidade de São Paulo	Energia solar e biomassa.	P&D em energia solar e biomassa em vários laboratórios e centro de referência em biomassa (CENBIO).
PUC-RS Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Energia solar fotovoltaica.	P&D em energia solar.
UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Energia solar térmica e fotovoltaica.	P&D em energia solar.

ENTIDADES	EXPERTISE	TENDÊNCIA
ULBRA Universidade Luterana do Brasil (São Leopoldo – RS)	Energia solar fotovoltaica.	P&D em energia solar.
UNISINOS Universidade do Vale dos Sinos	Energia solar fotovoltaica.	P&D em energia solar.
PUC-MG Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais	Energia solar térmica e fotovoltaica.	P&D em energia solar.
UFPA Universidade Federal do Pará	Energia solar fotovoltaica e energia eólica, eficiência energética.	P&D em energia solar, eólica e eficiência energética.
UFPE Universidade Federal de Pernambuco	Energia solar térmica e fotovoltaica, energia eólica.	P&D em energia solar e eólica.
UFCE Universidade Federal do Ceará	Energia solar térmica e fotovoltaica, energia eólica.	P&D em energia solar e eólica.
UNIFACS Universidade Salvador	Energia solar fotovoltaica e energia eólica, planejamento energético, regulação do mercado de energia elétrica.	P&D em energia solar e eólica e em planejamento energético e política energética.

**Fonte: Adaptado de SALAMONI, 2009.**

## **ANEXO B**





### **Descontos da TUSD e TUST**

Paralelamente ao sistema de compensação de energia, a ANEEL aprovou novas regras para descontos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD e na Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão – TUST para usinas maiores (de até 30 MW) que utilizarem fonte solar:

- Para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, o desconto de 80% será aplicável nos 10 primeiros anos de operação da usina
- O desconto será reduzido para 50% após o décimo ano de operação da usina
- Para os empreendimentos que entrarem em operação comercial após 31 de dezembro de 2017, mantém-se o desconto de 50% nas tarifas

(PG/DV/HL/DB)

---

#### **Mais notícias**

 [Imprimir](#)  [Indique para um amigo](#)

[SGAN 603 módulo J / 70830-030](#) [Acessibilidade](#) [Anti-Spam](#) [Certificação Digital](#) [Endereço](#) [Política de Privacidade](#) [Dúvidas](#) [Ajuda](#)

## **ANEXO C**



MODEL  
**KD210GX-LP**



THE NEW VALUE FRONTIER



# KD210GX-LP

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE



## HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities produce a highly efficient multicrystal photovoltaic module. The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 16%. These cells are encapsulated between a tempered glass cover and a potant with back sheet to provide efficient protection from the severest environmental conditions. The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation. Equipped with plug-in connectors.



## APPLICATIONS

**KD210GX-LP is ideal for grid tie system applications.**

- Residential roof top systems
- Large commercial grid tie systems
- Water Pumping systems
- High Voltage stand alone systems
- etc.

## QUALIFICATIONS

- **MODULE** : UL1703 listed
- **FACTORY** : ISO9001 and ISO 14001

## QUALITY ASSURANCE

Kyocera multicrystal photovoltaic modules have passed the following tests.

- Thermal cycling test
- Thermal shock test
- Thermal / Freezing and high humidity cycling test
- Electrical isolation test
- Hail impact test
- Mechanical, wind and twist loading test
- Salt mist test
- Light and water-exposure test
- Field exposure test

## LIMITED WARRANTY

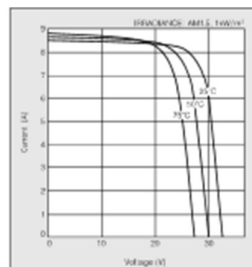
※ 1 year limited warranty on material and workmanship

※ 20 years limited warranty on power output: For detail, please refer to "category IV" in Warranty issued by Kyocera

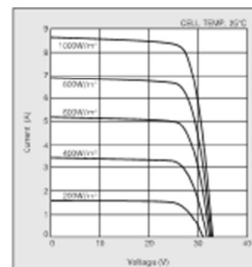
(Long term output warranty shall warrant if PV Module(s) exhibits power output of less than 90% of the original minimum rated power specified at the time of sale within 10 years and less than 80% within 20 years after the date of sale to the Customer. The power output values shall be those measured under Kyocera's standard measurement conditions. Regarding the warranty conditions in detail, please refer to Warranty issued by Kyocera)

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KD210GX-LP at various cell temperatures



Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KD210GX-LP at various irradiance levels



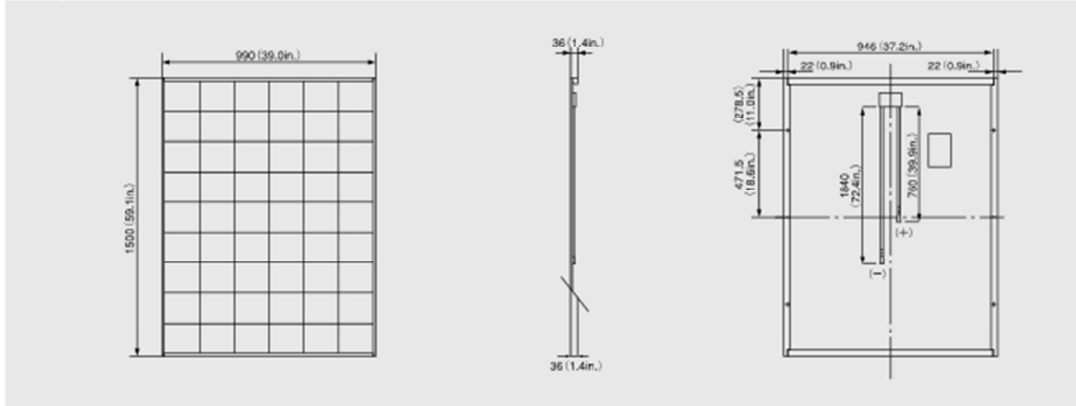
CB03

# SPECIFICATIONS

**KD210GX-LP**

## Physical Specifications

Unit : mm (in.)



## Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (1STC)	
Maximum Power (P <sub>max</sub> )	210W (+0%, -0%)
Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )	30.0V
Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	7.00A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	36.0V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	8.98A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub>	-0.120 V/C
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub>	5.15x10 <sup>-3</sup> A/C
*STC: Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , Air Mass 1.5, Reference Cell Temp 25°C	
Electrical Performance under Standard Test Conditions (1STC)	
Maximum Power (P <sub>max</sub> )	149W
Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )	29.5V
Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	5.05A
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	36.0V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	6.98A
*STC: Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , Temperature 25°C	

Cells	
Number per Module	54
Mechanical Characteristics	
Length x Width x Depth	946x1500x36 (mm) (37.2x59.1x1.4 (in.))
Weight	18.5kg (40.8lbs.)
Cable	4x2x0.75 (mm) (1/8x3/16 (in.))
Junction Box Characteristics	
Length x Width x Depth	1640x760x36 (mm) (64.6x29.9x1.4 (in.))
IP Code	IP65
Operating Temperature	
Operating Temperature	-40°C ~ +90°C
Maximum Fuse	15A
*This temperature is based on cell temperature.	

Please contact our office for further information



## KYOCERA Corporation

### KYOCERA Corporation Headquarters

1-1-1, Senri-gu, Suita-shi, Osaka 565-0824, Japan  
 TEL: (81) 6-6349-4000 FAX: (81) 6-6349-4001  
<http://www.kyocera.com>

### KYOCERA Solar, Inc.

7910 East Avenue Drive  
 Scottsdale, AZ 85260, USA  
 TEL: (1) 480-455-0200 or (480) 455-0200 FAX: (1) 480-455-0201  
<http://www.kyocerasolar.com>

### KYOCERA Solar do Brasil Ltda.

Av. Guignard 551, Loja A  
 22790-200, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, Brazil  
 TEL: (55) 21-2437-8525 FAX: (55) 21-2437-2338  
<http://www.kyocerasolar.com.br>

### KYOCERA Solar Pty Ltd.

Level 6, 6-10 Telok Ayer St, North Bridge Road  
 Singapore  
 TEL: (65) 6-229-0000 FAX: (65) 6-229-0000  
<http://www.kyocerasolar.com.sg>

### KYOCERA Fin ceramics GmbH

Fritz-Müller-Strasse 107, 73730 Esslingen Germany  
 TEL: (49) 714-52934-950 FAX: (49) 714-52934-950  
<http://www.kyocerasolar.de>  
[info@kyocera.de](mailto:info@kyocera.de)

### KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd.

200 Third Street Road, #03-02/03  
 Central Plaza, Singapore 106730  
 TEL: (65) 6371-0200 FAX: (65) 6371-0200

### Kyocera Asia Pacific Ltd.

Room 201-202, Tower 1, South West Centre,  
 70 Mody Road, Tsimshatsui East, Kowloon, Hong Kong  
 TEL: (852) 2335-7100 FAX: (852) 2335-4801

### KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd., Taipei Office

207 No. 60, Sec 2, Xinyi West Road, Taipei, Taiwan  
 TEL: (886) 2-2391-2000 FAX: (886) 2-2391-4101

### KYOCERA (Tianjin) Sales & Trading Corp.

(Beijing Office) Room 2107, Beijing Huabin International Building,  
 No. 8 Yong An Dong Li, Jian Guo Men Wai Road, Chao Yang District,  
 Beijing, 100022, China  
 TEL: (86) 10-8528-8838 FAX: (86) 10-8528-8839  
<http://www.kyocerasolar.com.cn>

### KYOCERA Korea Co., Ltd.

Export/Import Center Floor #400, 2070-1,  
 Seokcho-Bldg., Seokcho-4 (Seoul), 150-070, Korea  
 TEL: (82) 2-2521-2200 FAX: (82) 2-2521-2200  
<http://www.kyocera.co.kr>

Kyocera reserves the right to modify these specifications without notice

LR210GXLP11-01/01M

## **ANEXO D**

## SUNNY MINI CENTRAL 9000TL / 10000TL / 11000TL with Reactive Power Control



Flexible	High yields	Reliable	Simple
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactive power supply</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximum efficiency of 97.7 %</li> <li>• <i>Transformerless, with 10-topology</i></li> <li>• <i>CycloCool active temperature management</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pluggable SMA Power Balancer for three-phase power supply line</li> <li>• <i>Integrated ESS DC switch/disconnector</i></li> <li>• <i>Monitored string fuses</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SUNCLIX DC plug-in system</li> </ul>

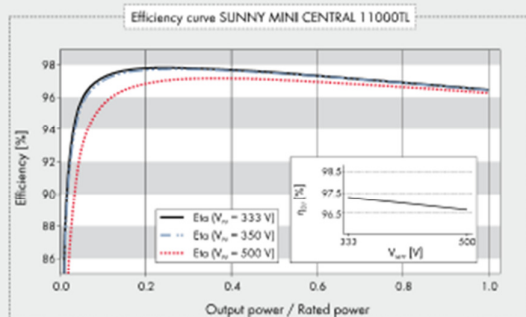
## SUNNY MINI CENTRAL 9000TL / 10000TL / 11000TL with Reactive Power Control

### Optimum grid integration with reactive power supply

Sunny Mini Central inverters with Reactive Power Control are the ideal solution when utility companies demand reactive power supply. They can be used to realize plant designs which specify for the displacement factor  $\cos \varphi$  and the corresponding percentage of reactive power. This way, large PV power stations can now make optimum use of grid distribution capacities, which significantly contributes to the success of renewable energy.

## SUNNY MINI CENTRAL 9000TL / 10000TL / 11000TL with Reactive Power Control

Technical Data	Sunny Mini Central 9000TL	Sunny Mini Central 10000TL
<b>Input (DC)</b>		
Max. DC power [ @ $\cos \varphi=1$ ]	9300 W	10350 W
Max. input voltage	700 V	700 V
MPP voltage range / rated input voltage	333 V - 500 V / 350 V	333 V - 500 V / 350 V
Min. input voltage / initial input voltage	333 V / 400 V	333 V / 400 V
Max. input current	28 A	31 A
Max. input current per string	28 A	31 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	1 / 5	1 / 5
<b>Output (AC)</b>		
Rated output power [ @ 230 V, 50 Hz ]	9000 W	10000 W
Max. apparent AC power	9000 VA	10000 VA
Nominal AC voltage / range	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 265 V	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 265 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated power voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	40 A	44 A
Power factor at rated output power	1	1
Adjustable displacement factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	1 / 1	1 / 1
Power balancing	●	●
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency / European efficiency	97.7 % / 97.3 %	97.7 % / 97.2 %
<b>Protection</b>		
Reverse current protection / input-side disconnection device	Optional (fuses) / ●	Optional (fuses) / ●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse-polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	● / ● / -
All-pole sensitive residual current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
<b>General Data</b>		
Dimensions [ W / H / D ]	468 / 613 / 242 mm [ 18.4 / 24.1 / 9.5 in ]	468 / 613 / 242 mm [ 18.4 / 24.1 / 9.5 in ]
Weight	35 kg / 77.16 lb	35 kg / 77.16 lb
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Noise emission (typical)	42 dB(A)	45 dB(A)
Self-consumption (night)	0.25 W	0.25 W
Topology	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	OptiCool	OptiCool
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Degree of protection of connection area (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity [ non-condensing ]	100 %	100 %
<b>Features</b>		
DC terminal	SUNCLIX	SUNCLIX
AC terminal	Screw terminal	Screw terminal
Display	Text line	Text line
Interface: RS485 / Bluetooth	○ / ○	○ / ○
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificates and approvals [ more available on request ]	CE, VDE0126-1-1, RD 1663/2000, RD 661/2007, EN 50438*, C10/11, PFDS, EC 61727, UTE C15-712-1	
Type designation	SMC 9000TLRP-10	SMC 10000TLRP-10



## Accessories



RS485 interface  
485PB-SMC-NR



Bluetooth Piggy-Back  
BT98M-NV-NR



SMA Power Balancer  
Connection cable  
PBI-YCABIE-10

\* Does not apply to all national appendices to EN 50438

● Standard features ○ Optional features – Not available  
Data at nominal conditions

Technical Data	Sunny Mini Central 11000TL	
<b>Input (DC)</b>		
Max. DC power [ @ $\cos \varphi=1$ ]	11400 W	
Max. input voltage	700 V	
MPP voltage range / rated input voltage	333 V - 500 V / 350 V	
Min. input voltage / initial input voltage	333 V / 400 V	
Max. input current	34 A	
Max. input current per string	34 A	
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	1 / 5	
<b>Output (AC)</b>		
Rated output power [ @ 230 V, 50 Hz ]	11000 W	
Max. apparent AC power	11000 VA	
Nominal AC voltage / range	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 265 V	
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz	
Rated power frequency / rated power voltage	50 Hz / 230 V	
Max. output current	48 A	
Power factor at rated output power	1	
Adjustable displacement factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	
Feed-in phases / connection phases	1 / 1	
Power balancing	●	
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency / European efficiency	97.7% / 97.2%	
<b>Protection</b>		
Reverse current protection / input-side disconnection device	Optional (fuses) / ●	
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	
DC reverse-polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	
All-pole sensitive residual current monitoring unit	●	
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	
<b>General Data</b>		
Dimensions [ W / H / D ]	468 / 613 / 242 mm (18.4 / 24.1 / 9.5 in)	
Weight	35 kg / 77.16 lb	
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F	
Noise emission (typical)	46 dB(A)	
Self-consumption (night)	0.25 W	
Topology	Transformerless	
Cooling concept	OptiCool	
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	
Degree of protection of connection area (according to IEC 60529)	IP65	
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	
Maximum permissible value for relative humidity [ non-condensing ]	100 %	
<b>Features</b>		
DC terminal	SUNCLIX	
AC terminal	Screw terminal	
Display	Text line	
Interface: RS485 / Bluetooth	○ / ○	
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	
Certificates and approvals [ more available on request ]	CE, VDE0126-1-1, RD 1663/2000, RD 661/2007, EN 50438*, C10/11, PPDS, IEC 61727, UTE C15-712-1	
Type designation	SMC 11000TLRP-10	





## **ANEXO E**



## SUNNY BOY 3000TL / 4000TL / 5000TL



### Efficient

- Maximum efficiency of 97 %
- Multi-String technology now in the 3-kW version
- Cost savings due to reduced number of parallel strings
- Shade management with OptiTrac Global Peak

### Flexible

- Maximum DC input voltage: 750 V
- Integrated grid management functions through reactive power provision

### Simple

- Convection cooling
- Easier wall mounting
- DC plug system SUNCLIX
- Fast connection, no tools required

### Communicative

- Simple country configuration
- Bluetooth® technology as standard
- Multi-function relay as standard

## SUNNY BOY 3000TL / 4000TL / 5000TL with Reactive Power Control

Universal application through integrated grid management functions

The ideal solution particularly for demanding PV arrays and partially shaded plants: as multi-string devices, the new transformerless Sunny Boy 3000TL, 4000TL and 5000TL models offer maximum planning and realization flexibility. The high DC voltage of 750 V proves to be a cost advantage, since fewer parallel strings are required. In addition, the integrated grid management functions make the devices suitable for universal applications and contribute to active grid support. Finally, the new wall mounting system further facilitates installation.

# SUNNY BOY 3000TL / 4000TL / 5000TL with Reactive Power Control

Technical Data	Sunny Boy 3000TL	Sunny Boy 4000TL
<b>Input (DC)</b>		
Max. DC power (@ $\cos \phi = 1$ )	3200 W	4200 W*
Max. input voltage	750 V	750 V
MPP voltage range / rated input voltage	175 V - 500 V / 400 V	175 V - 500 V / 400 V
Min. input voltage / start input voltage	125 V / 150 V	125 V / 150 V
Max. input current input A / input B	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Max. input current per string input A / input B	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
<b>Output (AC)</b>		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	3000 W	4000 W
Max. AC apparent power	3000 VA	4000 VA
AC nominal voltage / range	220 V, 230 V, 240 V/180 V-280 V	220 V, 230 V, 240 V/180 V-280 V
AC grid frequency/range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Rated grid frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	16 A	22 A
Power factor at rated power	1	1
Displacement power factor, configurable	0.8 leading ... 0.8 lagging	0.8 leading ... 0.8 lagging
Phase conductors/connection phases	1 / 1	1 / 1
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency / European efficiency	97 % / 96 %	97 % / 96.4 %
<b>Protection devices</b>		
Input-side disconnection device	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC surge arrester (type II), can be integrated	-	-
DC reverse-pole protection / AC short-circuit protection / Galvanically isolated	● / ● / -	● / ● / -
All-pole-sensitive residual current monitoring unit	●	●
Protection class (as per IEC 62103) / Overvoltage category (as per IEC 60644-1)	I/III	I/III
<b>General Data</b>		
Dimensions (W/H/D)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 inch)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.5 / 7.3 inch)
Weight	26 kg / 57.3 lb	26 kg / 57.3 lb
Operation temperature range	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Noise emission (typical)	25 dB(A)	25 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W	1 W
Topology	transformerless	transformerless
Cooling concept	Convection	Convection
Protection rating (as per EN 60529)	IP65	IP65
Connection area protection rating (as per IEC 60529)	IP54	IP54
Climatic category (per IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity, non-condensing	100 %	100 %
<b>Features</b>		
DC connection	SUNCLIX	SUNCLIX
AC connection	Spring terminal	Spring terminal
Display	Graphics	Graphics
Interface: RS485 / Bluetooth	○ / ●	○ / ●
Warranty: 5/10/15/20/25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Multi-function relay	●	●
Certificates and licenses (more available on request)	CE, VDE0126-1-1, C10/11, VDE-AR-N 4105	
Type designation	SB 3000TL-21	SB 4000TL-21

## Accessories



RS485 interface  
DM-485CB-10

- \* 4000 W with VDE-AR-N 4105
- \*\* 4600 W with VDE-AR-N 4105
- \*\*\* 4600 VA with VDE-AR-N 4105

● Standard features ○ Optional features – Not available  
Preliminary information - last updated: December 2011  
Data at nominal conditions

Technical Data	Sunny Boy 5000TL
<b>Input [DC]</b>	
Max. DC power [at $\cos \varphi = 1$ ]	5250 W**
Max. input voltage	750 V
MPP voltage range / rated input voltage	175 V – 500 V / 400 V
Min. input voltage / start input voltage	125 V / 150 V
Max. input current input A / input B	15 A / 15 A
Max. input current per string input A / input B	15 A / 15 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A;2; B;2
<b>Output [AC]</b>	
Rated power [at 230 V, 50 Hz]	4600 W
Max. AC apparent power	5000 VA***
AC nominal voltage / range	220 V, 230 V, 240 V / 180 V–280 V
AC grid frequency/range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Rated grid frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V
Max. output current	22 A
Power factor at rated power	1
Displacement power factor, configurable	0.8 leading ... 0.8 lagging
Phase conductors/connection phases	1 / 1
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency / European efficiency	97 % / 96.5 %
<b>Protection devices</b>	
Input-side disconnection device	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●
DC surge arrester (type II), can be integrated	–
DC reverse-pole protection / AC short-circuit protection / Galvanically isolated	● / ● / –
All-pole-sensitive residual current monitoring unit	●
Protection class (as per IEC 62103) / Overvoltage category (as per IEC 60644-1)	I/III
<b>General Data</b>	
Dimensions (W/H/D)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.5 / 7.3 inch)
Weight	26 kg / 57.3 lb
Operation temperature range	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Noise emission (typical)	25 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W
Topology	transformerless
Cooling concept	Convection
Protection rating (as per EN 60529)	IP65
Connection area protection rating (as per IEC 60529)	IP54
Climatic category (per IEC 60721-3-4)	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity, non-condensing	100 %
<b>Features</b>	
DC connection	SUNCLIX
AC connection	Spring terminal
Display	Graphics
Interface: RS485 / Bluetooth	○ / ●
Warranty: 5/10/15/20/25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○
Multi-function relay	●
Certificates and licenses (more available on request)	CE, VDE0126-1-1, C10/11, VDE-AR-N 4105
Type designation	SB 5000TL-21

[www.SunnyPortal.com](http://www.SunnyPortal.com)

Professional management, monitoring and presentation of PV plants



© SMA Solar Technology AG. Sunny Portal is a registered trademark of SMA Solar Technology AG. SMA Solar Technology AG is a registered trademark of SMA Solar Technology AG. SMA Solar Technology AG is a registered trademark of SMA Solar Technology AG. SMA Solar Technology AG is a registered trademark of SMA Solar Technology AG.

[www.SMA-Solar.com](http://www.SMA-Solar.com)

SMA Solar Technology