



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



**MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Estudo Sobre a Utilização de Energia Solar no Brasil para Uso Residencial**

Bauru - SP

2014





**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



**MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

## **Estudo Sobre a Utilização de Energia Solar no Brasil para Uso Residencial**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Bauru para obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica.

**Autor:** Gustavo Henrique Alves

**Orientador:** Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão

Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo José Amaral Serni

Bauru - SP

2014

Alves, Gustavo Henrique.

Estudo Sobre a Utilização de Energia Solar no Brasil  
para Uso Residencial / Gustavo Henrique Alves, 2014  
123f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo José Amaral Serni

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual

Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2014

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Energia solar. 3.  
Sistemas fotovoltaicos. 4. Sistemas termosolares. 5.  
Sustentabilidade energética. I. Universidade Estadual  
Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de GUSTAVO HENRIQUE ALVES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 08 dias do mês de agosto do ano de 2014, às 10:00 horas, no(a) CAMPUS EXPERIMENTAL DE SOROCABA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. FERNANDO PINHABEL MARAFÃO do(a) Departamento de Engenharia de Controle e Automação / Unidade de Sorocaba, Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Unidade de Sorocaba, Prof. Dr. MARCELO GRADELLA VILLALVA do(a) Departamento de Sistemas e Energia/Faculdade de Engenharia Elétrica - UNICAMP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de GUSTAVO HENRIQUE ALVES, intitulado "CENÁRIO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. FERNANDO PINHABEL MARAFÃO

  
Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS

  
Prof. Dr. MARCELO GRADELLA VILLALVA



**PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO**


A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO:  
**GUSTAVO HENRIQUE ALVES**

DE: "CENÁRIO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL"

PARA:

Estudo sobre a utilização de energia solar no  
Brasil para uso residencial

Bauru, 08 de agosto de 2014.

  
Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão  
Orientador





*Dedico este trabalho aos meus pais.*



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar forças de seguir em frente.

Aos meus pais pela paciência e apoio durante toda a minha caminhada em busca do saber e do conhecimento.

Aos meus amigos por me inspirarem e me cativarem a continuar neste caminho, superando todas as adversidades.

Aos meus professores por me guiarem neste árduo caminho, em especial ao meu orientador por ter me dado um voto de confiança.



**" Combati o bom combate,  
terminei a minha carreira, guardei  
a fé."**

2 Tm 4,7



## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre o panorama da utilização da energia solar no país, através da revisão de legislações, políticas públicas e desafios para a instalação e utilização de sistemas fotovoltaicos e termosolares em instalações residenciais. Destaca-se que o país possui uma capacidade considerável e ainda pouco explorada de geração elétrica e aquecimento de água através dos dois sistemas mencionados.

Serão apresentados detalhes e informações gerais sobre o projeto dos sistemas solares mencionados, além de um estudo de caso sobre os custos de instalação e a economia financeira que estes sistemas trariam aos consumidores residenciais que fizessem uso dos mesmos.

Através da estimativa de tempo de retorno do investimento realizado, verificou-se que a instalação de sistemas fotovoltaicos já pode ser considerada viável no Brasil. No entanto, ainda que sua utilização massiva trouxesse inúmeros benefícios, tanto ambientais quanto para a matriz elétrica do país, acredita-se que uma grande parcela da população não tem o poder aquisitivo necessário para investimento neste tipo de sistema de geração de energia elétrica.

Com relação aos sistemas termosolares, estes se apresentam mais vantajosos, pois possuem um menor custo de instalação, levando a um menor tempo de retorno de investimento (cerca de cinco anos) e trazendo ao consumidor uma significativa redução na conta de energia, especialmente em regiões do país com inverno mais rigoroso.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento sustentável, energia solar, sistemas fotovoltaicos, sistemas termosolares, sustentabilidade energética.

## **ABSTRACT**

This paper presents an overview about the use of solar energy in Brazil, through the review of laws, policies and challenges for the installation and use of photovoltaic and solar thermal systems for residential plants. It is noteworthy that the country has considerable capacity and still underused electric generation and heating of water through the two mentioned systems.

Details and general information about the design of solar systems will be presented, including a case study on the financial savings that these systems would bring to consumers making use of them.

Through estimate payback time, it was found that the installation of photovoltaic systems can already be considered viable in Brazil. However, even if massive use bring numerous benefits for both environmental and energy matrix in the country, we believe that a large portion of the population does not have the required financial capability for investing in this type of power generation system.

Regarding to solar thermal systems, these are quite advantageous because they have a lower installation cost, shorter payback time (about five years) and result in direct monetary reduction in the energy bill, especially in some places with severe winter.

**Keywords:** Sustainable development, solar energy, photovoltaic systems, solar thermal systems, energy sustainability.



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1.1: Fontes de Energia Renováveis Total e Solar, em TWh, no período 2011/2012 [3].<br>.....                                 | 26  |
| Figura 1.2: Fontes de Energia Renováveis Total e Solar, em porcentagem, no período<br>2011/2012 [3].....                           | 27  |
| Figura 1.3: Distribuição setorial com relação ao consumo de energia elétrica, referentes a<br>2005 [8].....                        | 28  |
| Figura 1.4: Participação dos eletrodomésticos no consumo de eletricidade das residências<br>brasileiras referente a 2005 [8]. .... | 29  |
| Figura 1.5: Consumos setoriais de energia elétrica referentes a 2013 [9].....  | 29  |
| Figura 2.1: Preço médio em dólar (para cada watt de pico produzido) dos módulos<br>fotovoltaicos [12].....                         | 33  |
| Figura 2.2: Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em $10^3$ kW (2012) [15]..                                      | 39  |
| Figura 2.3: Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em $10^3$ kW (1972-2007)<br>[15].....                           | 40  |
| Figura 3.1: Irradiação solar direta diária, por regiões do Brasil [12]. Dados em kWh/m <sup>2</sup> .....                          | 42  |
| Figura 3.2: Média anual da radiação solar direta no Brasil [7]. ....   | 43  |
| Figura 5.1: Principais componentes de um sistema residencial conectado a rede [73].....  | 56  |
| Figura 5.2: Representação de uma célula fotovoltaica. ....   | 57  |
| Figura 5.3: Conexão de células fotovoltaicas em série. ....  | 58  |
| Figura 5.4: Circuito equivalente simplificado de uma célula fotovoltaica [73]. ....  | 58  |
| Figura 5.5: Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.....   | 59  |
| Figura 5.6: Curva I-V de um módulo fotovoltaico.....   | 60  |
| Figura 5.7: Pontos quentes em módulos fotovoltaicos. ....  | 63  |
| Figura 5.8: Diodos de derivação desviando a corrente reversa. ....   | 63  |
| Figura 5.9: Distância entre painéis fotovoltaicos de modo a não se ter sombreamento entre<br>eles. ....                            | 64  |
| Figura 5.10: Painel fotovoltaico instalado em telhado. ....  | 65  |
| Figura 5.11: Painéis fotovoltaicos instalados no solo. ....  | 66  |
| Figura 5.12: Quadro de Distribuição de Energia.....  | 70  |
| Figura 6.1: Sistema termosolar de aquecimento de água. ....  | 73  |
| Figura 6.2: Sistema termosolar representado por seu esquema unifilar. ....   | 74  |
| Figura 6.3: Coletor Plano. ....  | 75  |
| Figura 6.4: Coletor de Tubo Evacuado.....  | 76  |
| Figura 6.5: Coletor de tubo polimérico (sem cobertura). ....   | 76  |
| Figura 6.6: Reservatório térmico. ....   | 78  |
| Figura 7.1: Média mensal de irradiação solar diária, no plano inclinado, para o município de<br>Itapetininga. ....                 | 85  |
| Figura 7.2: Econômica monetária ao longo dos anos.....   | 93  |
| Figura 7.3: Economia financeira através de sistema termosolar. ....  | 100 |



## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1.1: Participação dos eletrodomésticos no consumo da eletricidade das residências, referente a 2005[9]..... | 30 |
| Tabela 2.1: Potência instalada e acumulada de sistemas fotovoltaicos, em $10^3$ kW (2012) [23].<br>.....           | 38 |
| Tabela 3.1: Oferta Interna de Energia em mil tep (tonelada equivalente de petróleo).....                           | 41 |
| Tabela 5.1: Tipos de células fotovoltaicos e suas especificações.....  | 57 |
| Tabela 5.2: Requisitos para proteção contra faltas à terra [78]. ....  | 68 |
| Tabela 5.3: Dispositivos de proteção para sistemas fotovoltaicos conectados a rede [78]. ....                      | 69 |
| Tabela 6.1: Vantagens e desvantagens entre os diferentes tipos de ligação dos coletores solares. ....              | 77 |
| Tabela 7.1: Consumo elétrico da residência escolhida como cenário para o estudo de caso...                         | 83 |
| Tabela 7.2: Irradiação solar diária média mensal [ $\text{kWh/m}^2$ ]. ....  | 84 |
| Tabela 7.3: Dados dos painéis fotovoltaicos [81]. ....   | 85 |
| Tabela 7.4: Dados dos inversores Grid-Tie [81]. ....   | 87 |
| Tabela 7.5: Custo do sistema projetado.....  | 88 |
| Tabela 7.6: Consumo elétrico da residência após instalação do gerador fotovoltaico. ....                           | 89 |
| Tabela 7.7: Tarifa da Classe de Consumo Residencial CPFL - Piratininga, vigente de 23/10/2013 à 22/10/14. ....     | 89 |
| Tabela 7.8: Redução monetária proveniente do sistema fotovoltaico. ....  | 90 |
| Tabela 7.9: Redução monetária média ao longo do território brasileiro. ....  | 91 |
| Tabela 7.10: Temperatura Média da cidade de Sorocaba no período de 14/04/2013 à 14/04/2014 .....                   | 94 |
| Tabela 7.11: Dados considerados para o projeto do sistema termosolar.....  | 95 |
| Tabela 7.12: Custo do Sistema da Empresa A. ....   | 96 |
| Tabela 7.13: Custo do Sistema da Empresa B.....  | 96 |
| Tabela 7.14: Custo do Sistema da Empresa C.....  | 97 |
| Tabela 7.15: Consumo mensal de energia através de chuveiro elétrico.....   | 97 |



## **LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS**

- A3P** - Agenda Ambiental na Administração Pública
- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AIST** - Agency of Industrial Science and Technology
- ANEEL** - Agência Nacional de Energia Elétrica
- BIG** - Banco de Informações de Geração
- CA** - Corrente Alternada
- CC** - Corrente Contínua
- CCEE** - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
- CDE** - Conta de Desenvolvimento Energético
- CPFL** - Companhia Piratiniga de Força e Luz
- CSI** - California Solar Initiative
- CMSE** - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
- DoE** - Departamento de Energia do governo norte americano
- DNDE** - Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético
- EUA** - Estados Unidos da América
- EPE** - Empresa de Pesquisa Energética
- GD** - Geração Distribuída
- IEA** - International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)
- IEEE** - Institute of Electrical and Electronics Engineers
- IEC** - International Electrotechnical Commission
- INMETRO** - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- kWh** - quilo Watts hora
- kW<sub>p</sub>** - quilo Watt pico
- MAE** - Mercado Atacadista de Energia
- METI** - Ministry of Economy, Trade and Industry
- MITI** - Ministry of International Trade and Industry
- MMA** - Ministério do Meio Ambiente
- MME** - Ministério de Minas e Energia
- NBR** - Norma Brasileira
- NEDO** - New Energy and Industrial Technology Development Organization
- OIE** - Oferta Interna de Energia
- ONS** - Operador Nacional do Sistema

**PACE** - Property Assessed Clean Energy

**P&D** - Pesquisa e Desenvolvimento

**PIE** - Produtor Independente de Energia

**PL** - Projeto de Lei

**PRODEEM** - Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

**Prodist** - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

**PROINFA** - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

**PVPS** - Photovoltaic Power Systems

**REIDI** - Regime Especial de Incentivos para Desenvolvimento da Infra-Estrutura

**RPS** - Renewable Portfolio Standard

**SAS** - Sistema de Aquecimento Solar

**SIN** - Sistema Elétrico Interligado Nacional

**SWERA** - Solar and Wind Energy Resource Assessment

**tep** - tonalada equivalente de petróleo

**TWh** - Tera Watts hora

## ÍNDICE

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Introdução   | 25 |
| 1.1   | Consumo de Energia Elétrica no Brasil  | 28 |
| 2.    | Cenário Internacional de Utilização de Energia Termosolar e Fotovoltaica                           | 33 |
| 2.1   | Japão  | 34 |
| 2.2   | Alemanha   | 35 |
| 2.3   | Estados Unidos   | 36 |
| 2.4   | Espanha  | 37 |
| 2.5   | Discussão Geral  | 38 |
| 2.6   | Conclusões   | 40 |
| 3.    | Cenário Nacional de Utilização de Energia Termosolar e Fotovoltaica                                | 41 |
| 3.1   | Potencial Brasileiro   | 41 |
| 3.2   | Fatos que Envolvem a Utilização da Energia Solar no País   | 43 |
| 3.3   | Conclusões   | 45 |
| 4.    | Normas e Legislações quanto a Utilização da Energia Solar em Sistemas Fotovoltáicos e Termosolares | 47 |
| 4.1   | Normas Internacionais  | 50 |
| 4.2   | Normas Brasileiras   | 51 |
| 4.3   | Comparativo entre as Normas Nacionais e Internacionais   | 52 |
| 4.4   | Conclusões   | 53 |
| 5.    | Sistemas Solares Fotovoltaicos conectados  | 55 |
| 5.1   | Células Fotovoltaicas  | 56 |
| 5.2   | Módulos Fotovoltaicos  | 58 |
| 5.2.1 | Circuito Equivalente do Gerador Fotovoltaico   | 58 |
| 5.2.2 | Curva Característica I-V   | 60 |
| 5.2.3 | Efeito da Intensidade da Irradiância sobre a Curva Característica I-V                              | 60 |
| 5.2.4 | Efeito da Temperatura sobre a Curva Característica I-V   | 61 |
| 5.2.5 | Características Mecânicas  | 62 |
| 5.2.6 | Associação dos Módulos Fotovoltaicos   | 62 |
| 5.2.7 | Sombreamento, Pontos Quentes e Diodos de Proteção  | 62 |
| 5.2.8 | Estruturas de Suporte e Fixação  | 65 |
| 5.2.9 | Orientação e Inclinação dos Módulos  | 66 |
| 5.3   | Inversores   | 67 |
| 5.4   | Aterramento e Sistemas de Proteção   | 67 |
| 5.5   | Quadro de Distribuição de Energia  | 70 |
| 5.6   | Medidor de Energia   | 70 |
| 5.7   | Conclusões   | 70 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 6.    | Sistemas Termosolares para Aquecimento de Água    | 73  |
| 6.1   | Coletor Solar                                     | 75  |
| 6.1.1 | Ligação entre Coletores                           | 77  |
| 6.2   | Reservatórios Térmicos                            | 78  |
| 6.3   | Sistema de Aquecimento Auxiliar                   | 79  |
| 6.4   | Controle e Acionamentos                           | 80  |
| 6.5   | Conclusões  | 81  |
| 7.    | Estudo de Casos                                   | 83  |
| 7.1   | Sistema Fotovoltaico                              | 83  |
| 7.1.1 | Levantamento de Dados                             | 83  |
| 7.1.2 | Consumo de Energia Elétrica                       | 83  |
| 7.1.3 | Irradiação Solar                                  | 84  |
| 7.1.4 | Distância Mínima entre Módulos                    | 85  |
| 7.1.5 | Especificação do sistema                          | 86  |
| 7.1.6 | Estimativa de tempo de retorno ( <i>payback</i> ) | 88  |
| 7.2   | Sistema Termosolar                                | 93  |
| 7.3   | Conclusões  | 100 |
| 8.    | Considerações Finais                              | 101 |
| 9.    | Referências Bibliográficas                        | 103 |



## 1. INTRODUÇÃO

Devido à crescente demanda por energia elétrica nas últimas três décadas, tornou-se importante considerar os impactos ambientais causados pela geração e distribuição da energia, bem como a sustentabilidade dos sistemas envolvidos. No Brasil, ainda que grande parte da geração seja proveniente de fontes limpas (hidroelétricas), sua complementação com outras fontes de geração que causem menores impactos ambientais e sociais do que o alagamento de grandes áreas é fundamental [1].

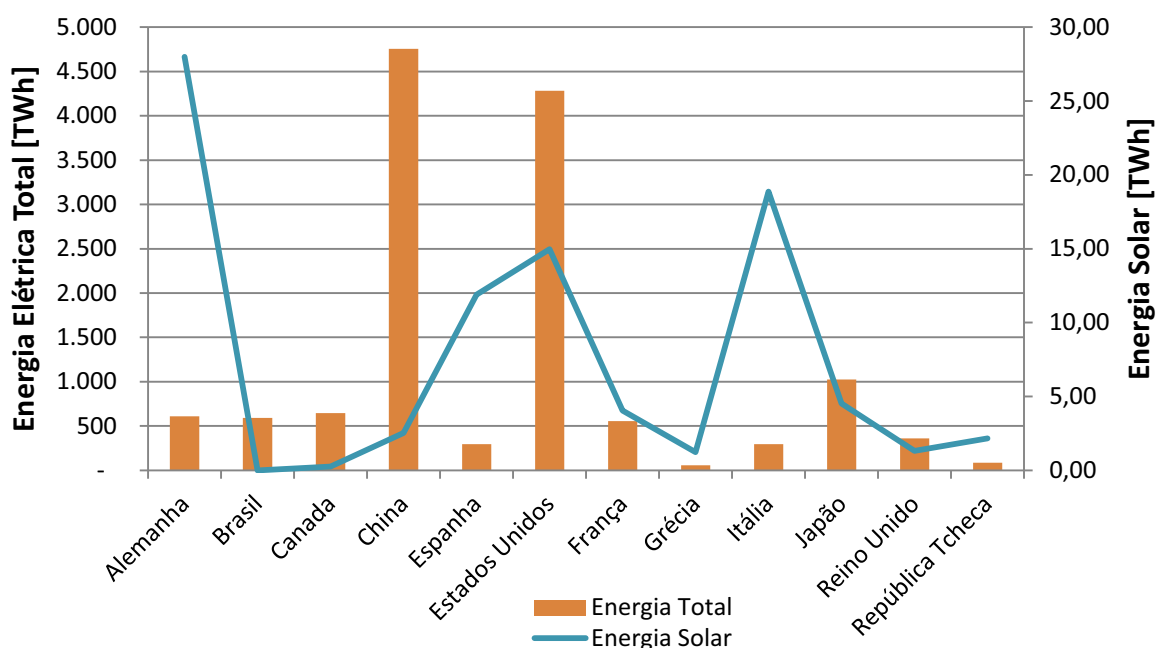
No cenário internacional o uso contínuo de fontes convencionais (especialmente óleo, gás e carvão) para suprir a crescente demanda contribui para o aquecimento global [2], que é apontado como um dos possíveis causadores das mudanças climáticas em todo o planeta.

Uma alternativa concreta para a redução dos problemas e impactos das fontes convencionais é o uso de fontes renováveis, as quais podem ser utilizadas de forma complementar a geração hidroelétrica [1]. Tais fontes demonstram-se interessantes pelo fato de causarem menores (ou nenhuma) emissões de gases, os quais são associados ao aumento do efeito estufa. Estas fontes são capazes de utilizar a energia contida na movimentação das marés, nos ventos ou na luz solar, de forma a aproveitar a energia proveniente de fontes limpas, renováveis e de baixo impacto ambiental ou social, quando comparadas à queima de combustíveis fósseis ou ao alagamento necessário para a instalação de usinas hidrelétricas.

De acordo com dados obtidos no site do Ministério de Minas e Energia (MME), pode-se verificar indicadores interessantes sobre a energia no mundo [3]. Através desses dados criou-se o gráfico da Figura 1.1 que apresenta alguns dos países com maior geração energética proveniente de fontes renováveis, além de apresentar a participação da energia solar em cada um deles em TWh (Tera Watts hora).

Na Figura 1.1 nota-se que a China e os Estados Unidos são os maiores produtores de energia elétrica através de fontes renováveis, sendo que 78% da energia gerada na China e 38,3% da energia gerada nos Estados Unidos são provenientes da queima do carvão mineral [3]. No entanto tem-se uma geração através de sistemas fotovoltaicos na China de 2,533TWh (o que corresponde a 0,1% da sua geração total de energia), enquanto os Estados Unidos tem uma geração de 14,975TWh (correspondendo a 0,35% da sua geração total de energia).

Embora a China e os Estados Unidos apresentem fontes renováveis em suas matrizes energéticas, tem-se que a geração de energia elétrica proveniente destas ainda é pouco significativa frente ao grande consumo de fontes não renováveis (carvão mineral), os quais causam grandes impactos ambientais.



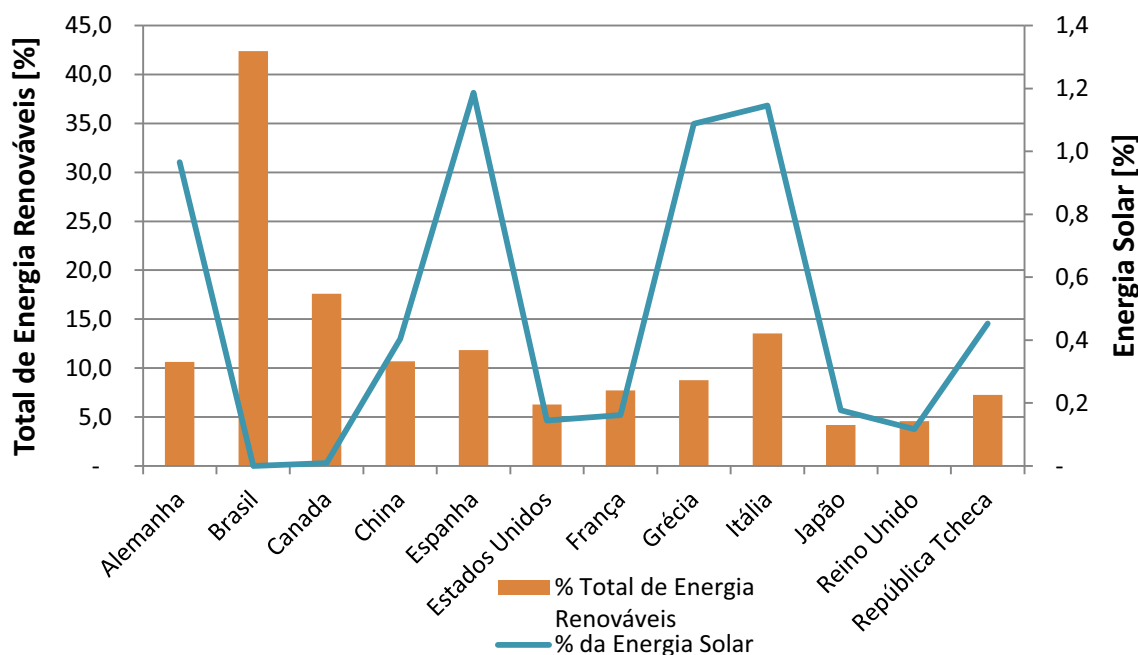
**Figura 1.1:** Fontes de Energia Renováveis Total e Solar, em TWh, no período 2011/2012 [3].

Representando-se a matriz energética apresentada na Figura 1.1, em porcentagem, obteve-se a Figura 1.2.

Através da análise do gráfico da Figura 1.2, pode-se notar que dentre os países analisados, o Brasil possui a planta energética mais fortemente voltada para fontes renováveis (cerca de 43%), uma vez que a maior parte da geração energética do país vem de usinas hidroelétricas.

Tem-se que a Alemanha, Itália e Espanha apresentam uma porcentagem significativa de geração de energia elétrica através de fontes renováveis, além de apresentarem os maiores índices de geração fotovoltaica dentre os países analisados, apresentando respectivamente uma geração de 28TWh, 18,862TWh e 11,903TWh [3].

Sabe-se que no caso da Alemanha e da Espanha este elevado percentual de geração por meio de fontes renováveis (como a fotovoltaica) é devido a políticas públicas que incentivam a utilização destes sistemas [4].



**Figura 1.2:** Fontes de Energia Renováveis Total e Solar, em porcentagem, no período 2011/2012 [3].

Desse modo pode-se constatar que os países europeus estão bastante desenvolvidos quanto à utilização de sistemas fotovoltaicos, em virtude da "escassez" de fontes de energia elétrica renováveis tais como a hidráulica, o que influenciou o desenvolvimento de políticas públicas que incentivassem a instalação e utilização destes sistemas renováveis.

Analisando-se a matriz elétrica brasileira, nota-se que esta é uma das mais limpas do mundo, pois cerca de 75% da matriz elétrica do país é de fontes renováveis e cerca de 64% da energia elétrica produzida vem de fonte hidráulica, o que é um percentual quatro vezes maior do que a média mundial [5],[6].

Dessa forma, verifica-se que o Brasil possui um cenário interessante do ponto de vista de geração de energia elétrica "limpa", podendo se destacar ainda mais no contexto de geração e consumo de energia elétrica com baixo impacto ambiental. Portanto, ressalta-se a importância em se avaliar detalhadamente a utilização das energias renováveis na matriz elétrica nacional, dentre as quais se destaca a energia solar. Estudos de casos internacionais indicam que tal fonte de energia e as tecnologias envolvidas seriam bastante promissoras para a matriz elétrica brasileira, onde tem sido explorada há poucos anos.

De acordo com os dados levantados pelo laboratório *SWERA* (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) [7], pode-se constatar que o Brasil tem um potencial anual de geração fotoelétrica de  $24,993 \times 10^{12}$  kWh. No entanto, de acordo com os dados do Banco de Informações de Geração da ANEEL (BIG) [5], o país possui uma potência outorgada de

15,121x10<sup>3</sup> kW, com um valor de potência fiscalizada de apenas 11,121x10<sup>3</sup> kW. Isto representa 0,01% da potência elétrica gerada no país.

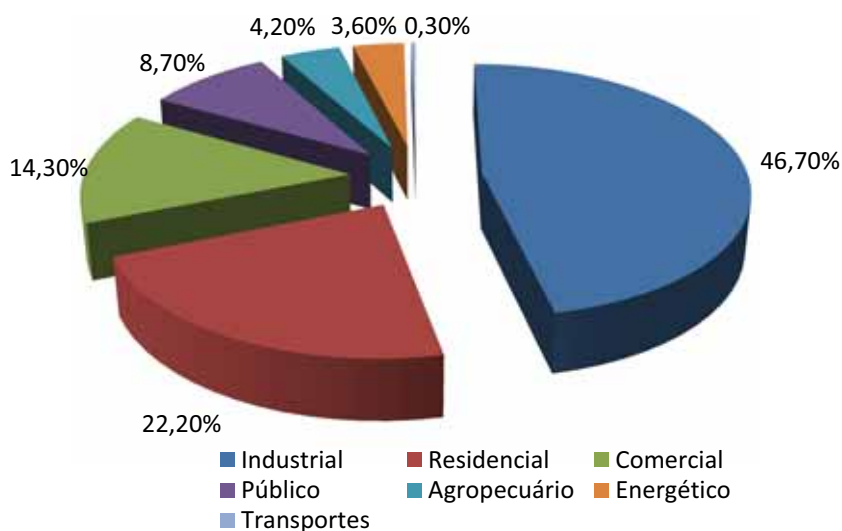
Desse modo, o objetivo central deste trabalho é explorar questões relativas à utilização dessa importante fonte de energia, a qual poderia ser mais bem aproveitada no país.

No entanto, antes de avançar sobre questões específicas relacionadas ao uso de energia solar, a próxima seção traz um panorama sobre a demanda de energia no Brasil, com o objetivo de melhor classificar os principais consumidores de energia elétrica por setores e equipamentos.

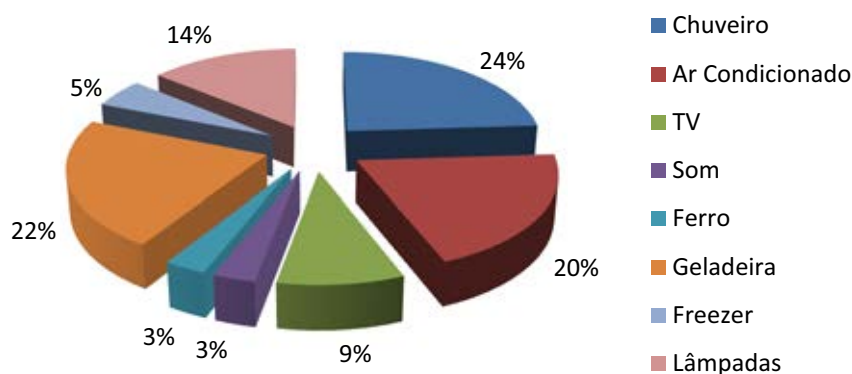
### 1.1 Consumo de Energia Elétrica no Brasil

O uso da energia elétrica tem se tornado cada vez maior em nossa sociedade em virtude das comodidades que a sua utilização nos proporciona. Um estudo de 2005 mostra que cerca de 45,2% da energia elétrica do país era utilizada em edificações, sendo que cerca de 22,2% destas edificações eram residências [8].

Na Figura 1.3 vê-se que os grandes consumidores de energia elétrica são indústria, residências e comércio. No caso do setor residencial, chama a atenção o consumo de chuveiros e sistemas de ar condicionado, conforme indicado na Figura 1.4.



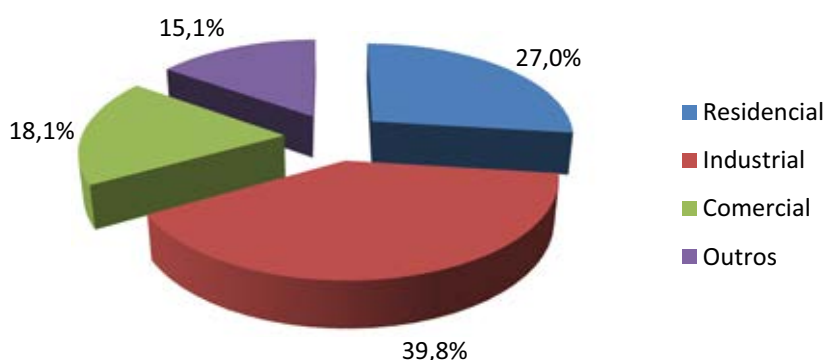
**Figura 1.3:** Distribuição setorial com relação ao consumo de energia elétrica, referentes a 2005 [8].



**Figura 1.4:** Participação dos eletrodomésticos no consumo de eletricidade das residências brasileiras referente a 2005 [8].

Atualizando dos dados para o ano de 2013, obtém-se o gráfico da Figura 1.5. Com isso verificou-se que a participação no consumo industrial que era de 46,7% (2005) diminuiu para 39,8% (2013); no setor comercial, que era de 14,3% (2005) aumentou para 18,1% (2013); no residencial passou de 22,2% (2005) para 27,0% (2013); nos setores restantes (público, agropecuário, energético e transportes) passou de 16,8% (2005) para 15,1% (2013).

Nota-se que a participação no consumo residencial e comercial aumentou nos últimos anos até 2013, o que pode ser um reflexo da melhora do poder aquisitivo da população, em especial as classes D e C. Desse modo, estima-se que o consumo elétrico, dos diversos aparelhos abordados na Figura 1.5, tenha apresentado um acréscimo, o que permite utilizar os dados nela apresentados.



**Figura 1.5:** Consumos setoriais de energia elétrica referentes a 2013 [9].

Ressalta-se que as distribuições apresentadas na Figura 1.4 não são constantes em todas as regiões do país, como se pode verificar na Tabela 1.1. Nela verifica-se que a participação no consumo com ar condicionado na região Norte era bem superior do que na região Sudeste (o que é esperado em virtudes do clima mais quente daquela região), enquanto

a participação no consumo com chuveiro elétrico também na região Norte encontrava-se bem abaixo da participação no consumo das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul (em virtude das altas temperaturas que fazem com que os habitantes façam menor utilização da eletricidade para aquecimento de água).

**Tabela 1.1:** Participação dos eletrodomésticos no consumo da eletricidade das residências, referente a 2005[9].

|                 | Norte | Nordeste | Centro-Oeste | Sudeste | Sul  |
|-----------------|-------|----------|--------------|---------|------|
| Chuveiro        | 2%    | 9%       | 26,6%        | 26%     | 25%  |
| Ar Condicionado | 40%   | 27%      | 17,6%        | 11%     | 32%  |
| TV              | 9%    | 11%      | 7,2%         | 10%     | 7%   |
| Som             | 3%    | 5%       | 6,5%         | 3%      | 3%   |
| Ferro           | 3%    | 3%       | 2,6%         | 3%      | 2%   |
| Geladeira       | 25%   | 29%      | 23,4%        | 22%     | 16%  |
| Freezer         | 4%    | 5%       | 3,5%         | 5%      | 7%   |
| Lâmpadas        | 14%   | 11%      | 11,9%        | 19%     | 8%   |
| Lava Roupa      | 0%    | 0%       | 0,5%         | 1%      | 0%   |
| <b>Total</b>    | 100%  | 100%     | 100%         | 100%    | 100% |

Vale ressaltar a participação do chuveiro elétrico na Tabela 1.1, o qual pode representar um consumo em torno de 25% do consumo de uma residência em três regiões do país. Tal informação destaca a importância do estudo e utilização de sistemas alternativos para o aquecimento de água nas residências, tais como os sistemas termosolares que fazem uso da energia solar, ou seja, são baseados em fonte de energia limpa, renovável e sem custo de operação. A utilização de tais sistemas traria uma redução na participação do consumo energético do chuveiro de cerca de:

- 2% na região Norte;
- 9% na região Nordeste;
- 26,6% na região Centro-Oeste;
- 26% na região Sudeste;
- 25% na região Sul.

Some-se a isto o que ainda poderia ser obtido em termos da utilização de sistemas de geração fotovoltaica residenciais, a redução do consumo por regiões poderia ser ainda mais significativa. Uma estimativa grosseira indica que nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, a redução do consumo através do uso de sistemas termosolares ou fotovoltaicos de pequeno porte seria da ordem de 50% nos consumidores residenciais, o que permitiria que a energia elétrica hoje utilizada por tal setor pudesse ser utilizada de outra forma, minimizando assim a necessidade de construção de novas centrais geradoras de médio e grande porte no país ou nestas regiões.

No contexto da geração fotovoltaica de pequeno porte, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) publicou em 2012 duas resoluções que vêm permitindo os primeiros passos no sentido de utilização de sistemas de geração de energia elétrica, por meio de equipamentos de geração de pequeno porte. A Resolução 482/2012 estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica [10], além de fazer menção ao sistema de compensação de energia elétrica. A Resolução 502/2012 regulamenta os sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B, no qual se inserem os consumidores residenciais [11].

Assim, é objetivo deste trabalho apresentar uma breve revisão sobre as principais questões que envolvem a utilização de sistemas fotovoltaicos e termosolares, como uma forma de reduzir o consumo de energia elétrica no setor residencial, especialmente em regiões geográficas de inverno mais rigoroso e elevados índices de irradiação solar.

Como será discutido ao longo do trabalho, a expansão da utilização destes dois tipos de sistemas (fotovoltaico e termosolar) poderia representar uma expansão considerável na disponibilidade de energia elétrica nacional, através de fonte totalmente renovável, bem como uma redução dos custos com tarifa de energia em consumidores residenciais.

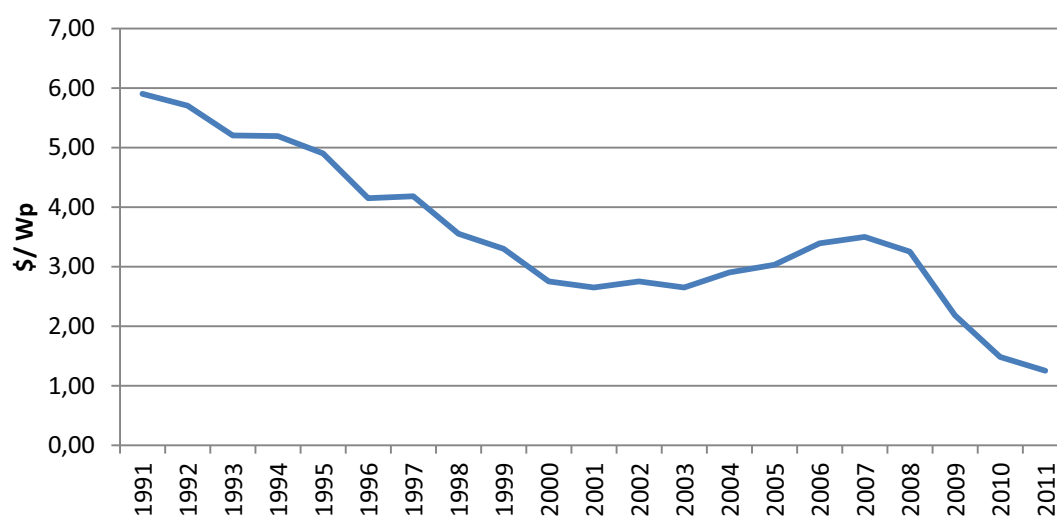




## 2. CENÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA TERMOSOLAR E FOTOVOLTAICA

O investimento mundial em energias renováveis em 2010 atingiu o patamar de US\$211 bilhões, superando os investimentos de US\$160 bilhões em 2009. Os investimentos contemplam ativos financeiros, capital de riscos, mercado de capitais, investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e investimentos governamentais, estimando-se assim que além desse valor inicial mencionado, foram gastos mais US\$ 15 bilhões em aquecedores solares para água e outras tecnologias.

A crescente demanda por fontes renováveis de energia e a proliferação de programas de incentivos em diversos países tem acelerado o ritmo de produção de células fotovoltaicas no mundo. A revista *PHOTON International* estimou em  $37,2 \times 10^6$  kW a produção de energia elétrica, através de células fotovoltaicas, em 2011 [12], sendo que este valor era 36% superior à produção do ano anterior e cerca de 130 vezes a produção do ano 2000. Isso tem feito com que o preço dos módulos decline a cada ano como pode ser visto na Figura 2.1.



**Figura 2.1:** Preço médio em dólar (para cada watt de pico produzido) dos módulos fotovoltaicos [12].

Enquanto isso o investimento em centrais hidrelétricas de grande porte chegou ao patamar de US\$ 40 bilhões no período. Desse modo pode-se notar que o investimento em energias renováveis foi muito superior ao investimento em hidrelétricas.

A China, Alemanha, Estados Unidos e Brasil foram os principais países que investiram em energia renovável em 2010, sendo que o investimento da China ultrapassou os investimentos de economias desenvolvidas. A China, por exemplo, atraiu US\$ 49 bilhões, o que representa mais de um terço dos investimentos globais de 2010, em fontes renováveis de energia. Isto a tornou líder, pelo segundo ano consecutivo, em investimentos nessa área. Em

segundo lugar ficou os EUA com US\$ 25 bilhões, o que representa um crescimento de 58% em relação a 2009. No entanto, as economias em desenvolvimento não apresentaram taxas tão expressivas de crescimento, como no caso da Índia (com um aumento de 25%) e do Brasil (com aumento de 5% em investimento) [12].

## 2.1 Japão

Até os anos 60 o fornecimento de energia primária no país era fortemente dependente do petróleo importado, correspondendo à 80% de todo o fornecimento energético. Em 1973 ocorre a primeira crise de petróleo, o que faz com que o país implemente um programa de pesquisa e desenvolvimento de recursos energéticos alternativos ao petróleo, chamado de *Sunshine Project* [13].

Neste período, a tecnologia fotovoltaica foi uma das grandes preocupações em investimentos de P&D, sendo que em 1978 iniciou-se outro projeto no país voltado para as tecnologias de conservação energética, intitulado de *Moonlight Project*. Em 1989 iniciou-se um projeto visando atender as preocupações ambientais globais e desde o início dos anos 90, tem sido feita a integração da energia gerada por "telhados fotovoltaicos" à rede, além do início de políticas de subsídio governamental. O subsídio inicial (até 2006) era de 70% do custo do sistema fotovoltaico, o que não só fez do Japão o maior país produtor solar do mundo por um grande período (sendo superado em 2007 pela Europa), como também o transformou no país com maior mercado fotovoltaico do mundo (sendo superado pela Alemanha em 2006). Recentemente o Japão retomou a política de subsídio, sendo um bom exemplo de como políticas governamentais podem promover o desenvolvimento da geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos. No entanto, devido à economia desenvolvida do país, torna-se difícil que outros países consigam seguir seu exemplo [14].

Em 1993 os projetos, *Sunshine Project*, *Moonlight Project* e o projeto que visava atender as preocupações ambientais, são integrados no programa *New Sunshine Program* que era focado no crescimento sustentável e na resolução de questões energéticas e ambientais [13].

Em 2000 o governo japonês fez uma reestruturação e dessa forma reorganizou o Ministério do Comércio Internacional e da Indústria (*MITI- Ministry of International Trade and Industry*), dando assim origem ao Ministério da Economia, Comércio e Indústria (*METI - Ministry of Economy, Trade and Industry*) e com isso extinguiu a Agência de Ciência Industrial e de Tecnologia (*AIST - Agency of Industrial Science and Technology*) [13].

Devido a essa reestruturação, os investimentos em pesquisa e desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos foram abandonados em 2000, mas retornaram em 2001 com a Nova Organização para o Desenvolvimento da Indústria Tecnológica (*NEDO - New Energy and Industrial Technology Development Organization*).

Esta organização estabeleceu um plano de cinco anos de investimentos em pesquisa e desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos, desenhando vários programas que visavam tanto o desenvolvimento quanto a produção de novas tecnologias.

Em 2002 o Japão passou a executar sua política energética baseada na *Basic Act on Energy Policy (Energy Police Law)* que estabeleceu três princípios: garantia de um fornecimento estável, adequação ambiental e a utilização dos mecanismos de mercado [15].

A partir de 2007 o país implementou sete programas criados especificamente para promover a instalação de sistemas fotovoltaicos em larga escala, nos segmentos: comercial, industrial e outras aplicações não residenciais [16].

## **2.2 Alemanha**

No caso da Alemanha, esta promulgou e implementou a "*renewable energy net pricing law*". Como resultado dessa política, teve-se um rápido desenvolvimento da indústria fotovoltaica no país. De 2000 a 2007, o investimento para a construção de instalações fotovoltaicas foi superior a 15 bilhões de euros, o que fez com que a Alemanha superasse o Japão em crescimento de mercado. Além disso, observou-se um rápido declínio no custo da geração de energia fotovoltaica no país (cerca de 20% em três anos) [14].

A lei promulgada, que garante a compra da energia gerada por micro e mini-geradores, estabeleceu uma enorme demanda no mercado fotovoltaico, tornando a construção destes sistemas de geração uma das indústrias mais atrativas do país. O rápido desenvolvimento da indústria fotovoltaica e a contínua redução de custos da rede tem estabelecido na Alemanha, gradualmente, um sistema de energia sustentável. Com tal motivação, leis semelhantes vêm sendo aplicadas em inúmeros países pelo mundo chegando a mais de 40 países, dentre eles Bélgica, Grécia, Itália, Portugal, Espanha, Korea e algumas cidades dos Estados Unidos [14].

Em 2000 a potência instalada acumulada na Alemanha aumentou 64% em relação ao ano anterior, tal fato deu-se ao *100.000 Roofs Programme* [17], que teve início em 1999 e terminou em 2003, instalando mais de  $360 \times 10^3$  kW, através de um total de 65.700 sistemas conectados à rede.

Este programa disponibilizou à população empréstimos para a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, sendo que os empréstimos bonificados não foram

interrompidos e mais tarde passaram a ser chamados de *Solarstrom Erzeugen - Solar Power Generation* [18].

De 2004 a 2006 a nova Lei de Energia Renovável, *German Renewable Energy Act* que entrou em vigor no ano de 2004 possibilitou um acréscimo da potência instalada na Alemanha através da obrigatoriedade de compra de toda energia elétrica proveniente de fontes renováveis, por parte das empresas fornecedoras de energia elétrica que operassem redes de abastecimento público [15].

### **2.3 Estados Unidos**

O país sempre se mostrou interessado em investir nas tecnologias fotovoltaicas e muitas foram as iniciativas governamentais que visaram este propósito, apresentando-se como um dos maiores mercados de energia solar fotovoltaica no mundo, além de contar com grande diversidade de programas de incentivo.

Em junho de 1997, durante um discurso antes de uma sessão nas Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento, o presidente Clinton anunciou uma iniciativa para a instalação de sistemas de energia solar chamado *Million Solar Roofs*. Este programa foi levado a cabo pelo Departamento de Energia do governo norte americano (DoE) e representou um sério compromisso do governo para promover as tecnologias solares [13].

Quando a iniciativa começou haviam cerca de 2000 edifícios que faziam uso das tecnologias solares, sendo que em 2000 existiam cerca de 11000 sistemas termosolares e fotovoltaicos instalados.

Em 2008 o DoE anunciou investimento de US\$17,6 milhões em seis companhias que foram incubadas em um projeto chamado *Solar America Initiative*. Tal projeto tinha o objetivo de tornar a energia solar fotovoltaica competitiva, em relação as outras formas de energia, através do desenvolvimento tecnológico até 2015 [19].

Os programas de incentivo existentes no país seguem basicamente a linha de condições especiais de financiamento ou incentivos tributários. No primeiro tipo destacam-se projetos como o *Property Assessed Clean Energy (PACE)* que funciona como um empréstimo tomado diretamente de governos locais para a compra de equipamentos que utilizem energia renovável ou que melhorem a eficiência energética. Sendo que este programa vem sendo adotada por Estados como Califórnia, Colorado, Maine, Nova York e Wisconsin [19].

Tem-se que mais da metade dos Estados norte-americanos possuem políticas de incentivo via transferências diretas, que podem ser via descontos, empréstimos ou incentivos

baseados no desempenho. Geralmente os incentivos cobrem de 20% à 50% do custo total do sistema e foi o principal responsável pela expansão do mercado fotovoltaico no país [19].

No caso dos EUA nota-se que o número de estados que estão implementando programas de subsídio para a introdução de tecnologias de geração energética de forma limpa vem crescendo anualmente, sendo que os dois maiores programas de incentivo são o:

- *California Solar Initiative - CSI* (no estado da Califórnia) que fornece descontos ao consumidor residencial de energia renovável [18];
- *New Jersey Renewable Portfolio Standard -RPS* (no estado de Nova Jersey) é um dos mecanismos regulatórios que visam incentivar o uso das fontes renováveis e alternativas dos EUA [18].

Tem-se que o objetivo do *RPS* é aumentar a participação da energia renovável na matriz energética do país em 20% até 2017 [20].

Outra política comum no país são os incentivos fiscais/tributários, onde pode-se citar como exemplo a cidade de Nova York, cujos proprietários podem deduzir dos impostos prediais 20% dos gastos com instalação de sistemas fotovoltaicos, ao longo de quatro anos. Outra forma de incentivo fiscal é a concessão de descontos em taxas de compra de equipamentos utilizados em sistemas fotovoltaicos, onde tem-se que vinte Estados do país já eliminaram totalmente as taxas estaduais que recaiam sobre estes equipamentos fotovoltaicos.

## **2.4 Espanha**

Com relação ao mercado espanhol, viu-se que este se desenvolveu através da aplicação de sistemas isolados, mas foi à grande importância dada à pesquisa, desenvolvimento e inovação que fez a indústria fotovoltaica iniciar crescimento à partir dos anos 80.

Em 1997 através da Lei 54/1997 iniciou-se o processo de liberalização do setor de eletricidade e permitiu-se a conexão de sistemas de geração fotovoltaico com a rede elétrica [[20], [21], [22]] sendo que a forma de tarifação foi estabelecida somente em 98 através do Real Decreto 2818/1998 que estabeleceu uma tarifa específica para a energia solar fotovoltaica. No entanto, haviam incertezas quanto o retorno do investimento de instalação, pois as tarifas específicas só eram disponíveis até que a Espanha instalasse  $50 \times 10^3$  kW de potência [15].

Em 2004, através do Real Decreto 436/2004, estabeleceu-se uma tarifa com um período de tempo suficiente para amortizar o investimento da instalação. Esse fato juntamente com a alta do petróleo fez o mercado começar a se expandir.

Em 2007, através do Real Decreto 661/2007, estabeleceu-se um forte apoio tributário, além da obrigatoriedade de venda da eletricidade fotovoltaica gerada diretamente no mercado de energia elétrica, ao invés da venda para a fornecedora.

Como consequência o mercado fotovoltaico espanhol experimentou um notável crescimento, da ordem de 450%, em 2007.

## 2.5 Discussão Geral

Nos últimos anos a indústria fotovoltaica tem experimentado um acelerado crescimento, tendo celebrado em 2002 seu primeiro Gigawatt pico ( $10^6$   $^1$ kW<sub>p</sub>) de produção acumulada. Tais dados foram retirados através do Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica (*Photovoltaic Power Systems Programme -PVPS*) da Agência Internacional de Energia (*IEA*) [15].

O *PVPS* é um dos acordos colaborativos estabelecidos dentro da *IEA* que conta com 23 países membros, dos quais o Brasil ainda não se inclui. Estes países conduzem uma variedade de projetos comuns na aplicação da conversão da energia solar em eletricidade, sendo que os dez principais países que se destacavam mundialmente até 2012, estão apresentados na Tabela 2.1.

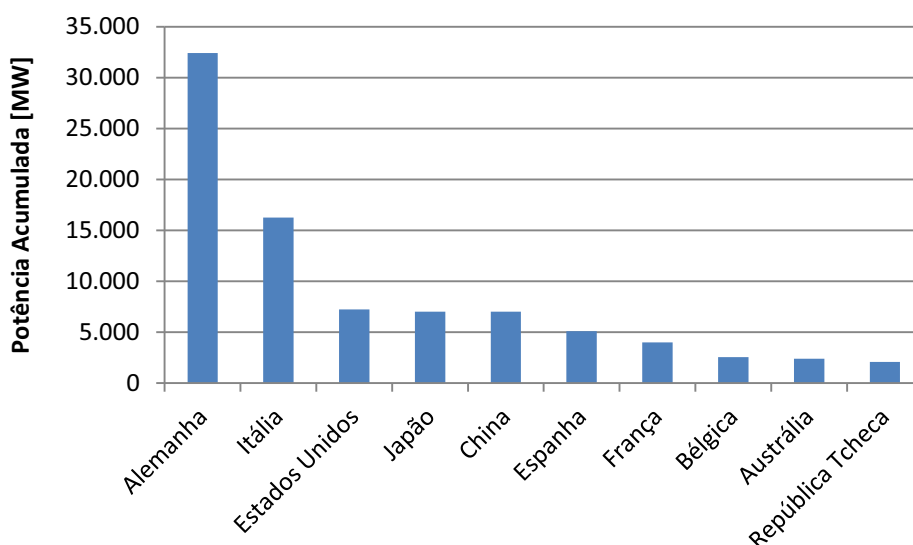
**Tabela 2.1:** Potência instalada e acumulada de sistemas fotovoltaicos, em  $10^3$ kW (2012) [23].

| <b>País</b>    | <b>Potência Instalada [MW]</b> | <b>País</b>      | <b>Potência Acumulada [MW]</b> |
|----------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Alemanha       | 7.604                          | Alemanha         | 32.411                         |
| China          | 3.510                          | Itália           | 16.250                         |
| Itália         | 3.337                          | Estados Unidos   | 7.221                          |
| Estados Unidos | 3.313                          | Japão            | 7.000                          |
| Japão          | 2.000                          | China            | 7.000                          |
| França         | 1.079                          | Espanha          | 5.100                          |
| Reino Unido    | 1.000                          | França           | 4.003                          |
| Austrália      | 1.000                          | Bélgica          | 2.567                          |
| Índia          | 980                            | Austrália        | 2.400                          |
| Grécia         | 912                            | República Tcheca | 2.085                          |

**Fonte:** IEA-PVPS, 2013.

A Figura 2.2 mostra que os países que mais se destacavam no mercado mundial eram Alemanha, Itália.

<sup>1</sup> **Wp:** Watt pico é uma medida de potência energética, normalmente associada à células fotovoltaicas. Usualmente expressa através dos múltiplos dessa unidade, sendo mais utilizados o kW<sub>p</sub> (potência multiplicada por  $10^3$ ) e MW<sub>p</sub> (potência multiplicada por  $10^6$ ). Dado que as condições de produção de energia elétrica dependem bastante de fatores externos à célula, o valor da potência dado em W<sub>p</sub> é um valor obtido em condições ideais. Assim, o valor da potência de um painel é obtida quando este é irradiado por uma fonte luminosa que simula a luz solar com a potência de  $1000 \text{ W/m}^2$ , à temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .



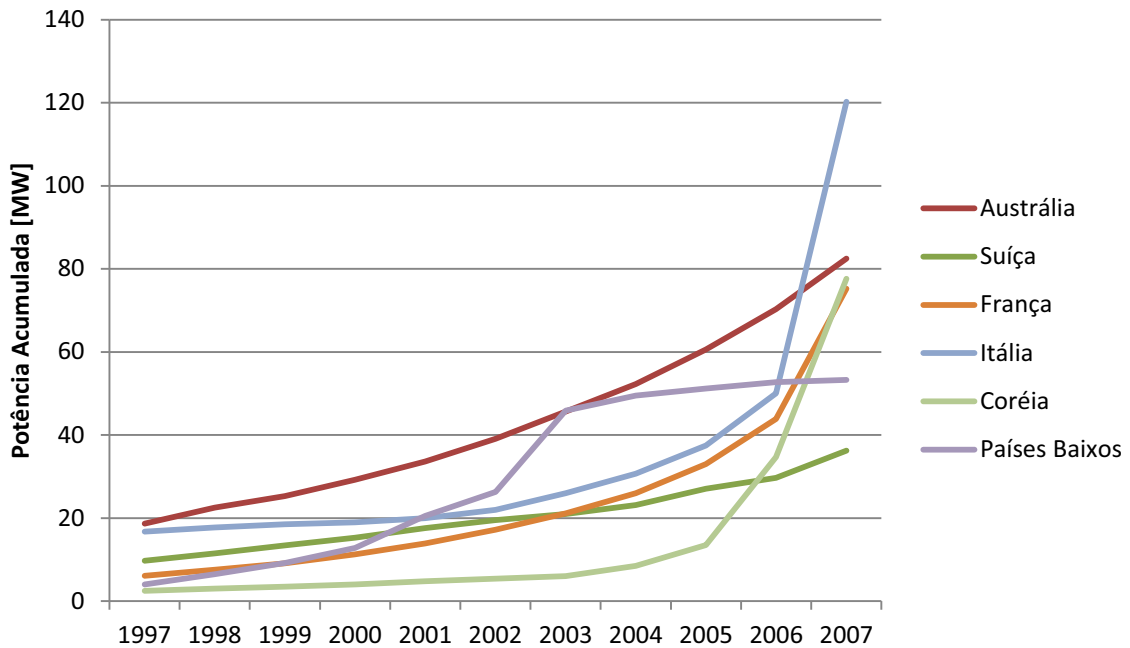
**Figura 2.2:** Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em  $10^3$  kW (2012) [15].

Em 2007 o mercado japonês instalou  $210 \times 10^3$  kW, o que representou um decréscimo de aproximadamente 25% se comparado ao ano anterior, isso fez com que atualmente ele ocupe a quarta posição do ranking. No entanto, a Espanha instalou  $537 \times 10^3$  kW e os EUA  $206 \times 10^3$  kW. Desse modo a Espanha se destacou em segundo lugar no mercado de instalação de sistemas fotovoltaicos, perdendo apenas para a Alemanha [15].

A Figura 2.3 mostra que o mercado espanhol não foi o único que apresentou crescimento no ano de 2007, mas também os mercados australiano, coreano, italiano e francês tiveram um crescimento considerável, graças à incentivos de seus próprios governos. Nota-se que graças a estes incentivos, a Itália ocupa a segunda posição do ranking de potência acumulada, como se pode ver na Figura 2.2.

Durante a década de 90 o mercado da indústria fotovoltaica cresceu a uma taxa média de 15% ao ano [24] e entre os anos 2000 a 2007 este crescimento foi de 40%, sendo que em 2007 a produção mundial de módulos fotovoltaicos ultrapassou os  $2,5 \times 10^6$  kW representando um aumento de 34% se comparado ao ano anterior.

Mas apesar do crescimento acelerado e da redução acentuada do preço, que ocorre à medida que o mercado cresce, passando de US\$ 30 por Watt pico em 1975 [25] para cerca de US\$ 3,75 [15] por Watt pico em 2006 e os atuais US\$ 1 por Watt pico, a indústria fotovoltaica apresenta-se como uma indústria cujo avanço dá-se com auxílio de subsídios e incentivos governamentais.



**Figura 2.3:** Potência acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos em  $10^3$  kW (1972-2007) [15].

## 2.6 Conclusões

Um fator importante a ser lembrado é que por trás dos níveis de crescimento experimentados pela Alemanha, Itália, Japão, EUA e Espanha estão os programas de incentivos desenvolvidos nos mesmos, aumentando a participação dos sistemas fotovoltaicos na geração de energia elétrica através de subsídios fornecidos pelo governo. Dessa forma, nota-se que o ponto chave para a maior utilização e disseminação da tecnologia fotovoltaica está no investimento massivo, principalmente com apoio governamental.

Nota-se também que todos incentivos convergem para a obrigatoriedade de aquisição da energia excedente dos sistemas fotovoltaicos ou de outras fontes alternativas e renováveis, por parte das concessionárias locais de distribuição de energia.



### 3. CENÁRIO NACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA TERMOSOLAR E FOTOVOLTAICA

#### 3.1 Potencial Brasileiro

A Tabela 3.1 indica o crescimento da Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil, onde nota-se que este indicador teve um crescimento de 41,18% de 2003 até 2012 [12], apresentando inclusive um crescimento da utilização das fontes renováveis.

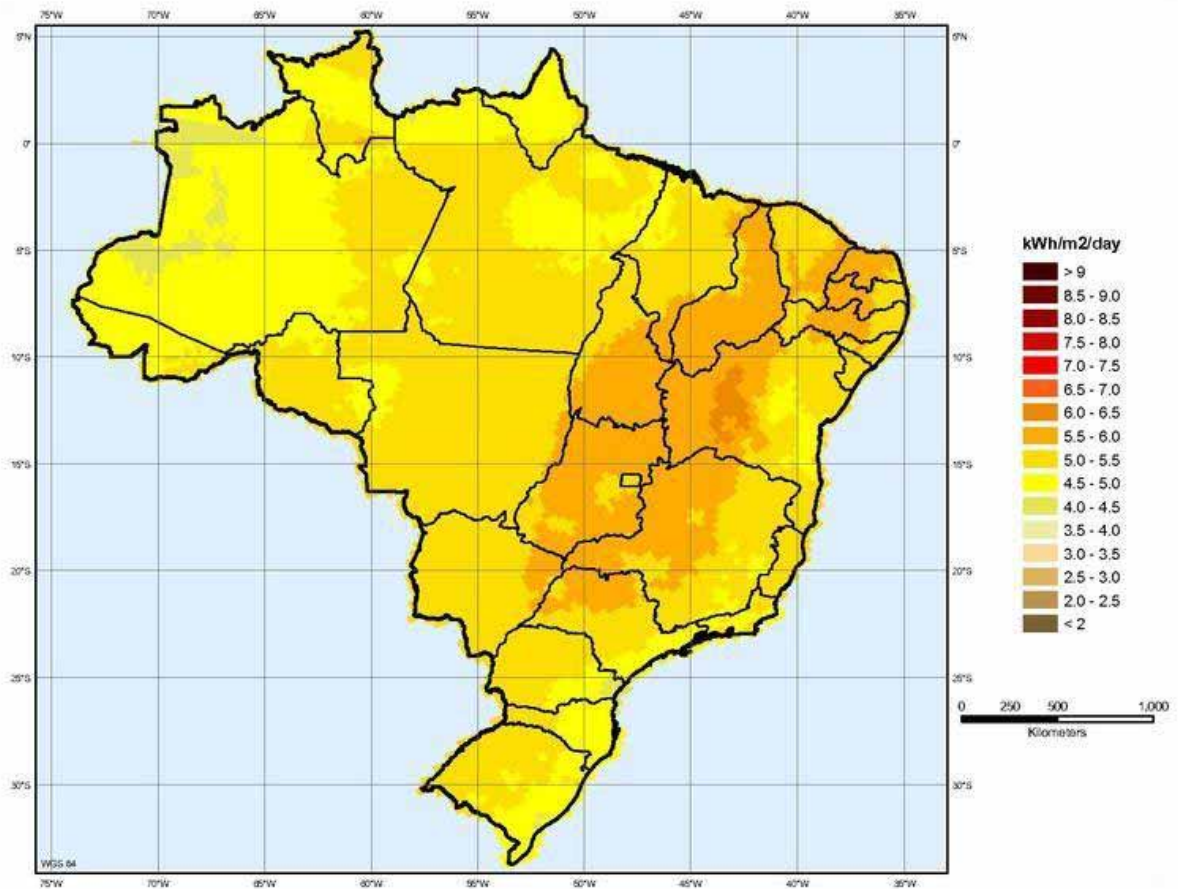
**Tabela 3.1:** Oferta Interna de Energia em mil tep (tonelada equivalente de petróleo).

| <b>Identificação</b>                    | <b>2003</b>    | <b>2004</b>    | <b>2005</b>    | <b>2006</b>    | <b>2007</b>    | <b>2008</b>    | <b>2009</b>    | <b>2010</b>    | <b>2011</b>    | <b>2012</b>    |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Energia Não Renovável</b>            | <b>112.669</b> | <b>119.348</b> | <b>120.619</b> | <b>123.737</b> | <b>128.321</b> | <b>135.822</b> | <b>128.136</b> | <b>147.569</b> | <b>152.529</b> | <b>163.365</b> |
| Petróleo e Derivados                    | 80.688         | 83.648         | 84.553         | 85.545         | 89.239         | 92.410         | 92.263         | 101.714        | 105.172        | 111.193        |
| Gás Natural                             | 15.512         | 19.061         | 20.526         | 21.716         | 22.199         | 25.934         | 21.329         | 27.536         | 27.721         | 32.598         |
| Carvão Mineral e Coque                  | 12.848         | 13.470         | 12.991         | 12.809         | 13.575         | 13.769         | 11.110         | 14.462         | 15.449         | 15.287         |
| Urânio (U <sub>3</sub> O <sub>3</sub> ) | 3.621          | 3.170          | 2.549          | 3.667          | 3.309          | 3.709          | 3.433          | 3.857          | 4.187          | 4.286          |
| <b>Energia Renovável</b>                | <b>88.206</b>  | <b>93.642</b>  | <b>97.317</b>  | <b>101.884</b> | <b>109.690</b> | <b>116.037</b> | <b>115.074</b> | <b>121.203</b> | <b>119.809</b> | <b>120.242</b> |
| Hidráulica                              | 29.477         | 30.804         | 32.379         | 33.537         | 35.505         | 35.412         | 37.036         | 37.663         | 39.923         | 39.181         |
| Lenha e Carvão Vegetal                  | 25.973         | 28.203         | 28.468         | 28.589         | 28.628         | 29.227         | 24.610         | 25.998         | 25.997         | 25.735         |
| Derivados da Cana de Açúcar             | 27.093         | 28.775         | 30.150         | 33.003         | 37.852         | 42.872         | 43.978         | 47.102         | 42.777         | 43.572         |
| Outras Renováveis                       | 5.663          | 5.860          | 6.320          | 6.754          | 7.705          | 8.526          | 9.450          | 10.440         | 11.113         | 11.754         |
| <b>Total</b>                            | <b>200.875</b> | <b>212.990</b> | <b>217.936</b> | <b>225.621</b> | <b>238.011</b> | <b>251.860</b> | <b>243.209</b> | <b>268.771</b> | <b>272.338</b> | <b>283.607</b> |

**Fonte:** Ministérios de Minas e Energia.

Analisando-se também o mapa brasileiro de irradiação solar (Figura 3.1) verifica-se que o país possui grande capacidade de geração energética por meio fotovoltaico sendo que os maiores valores de irradiação solar são observados no vale do rio São Francisco, na Bahia e na divisa entre os estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul [7].

De forma geral, a irradiação solar é consideravelmente distribuída entre as regiões centrais do país. No entanto, as áreas mais densamente povoadas do litoral leste do Rio Grande do Sul até o recôncavo baiano e a região norte do país, apresentam os menores índices de irradiação verificados.

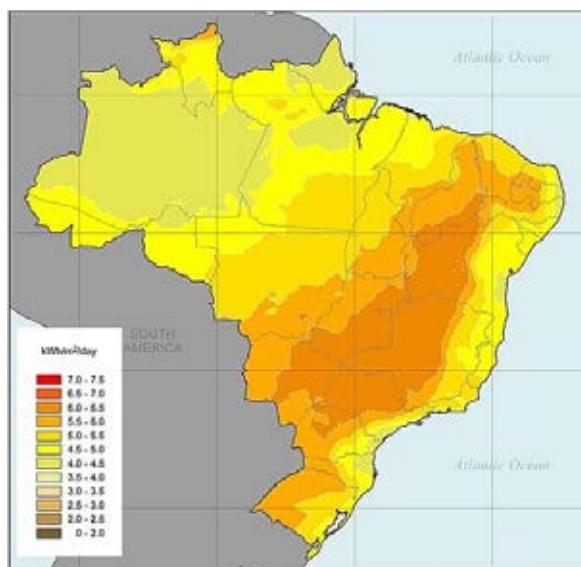


**Figura 3.1:** Irradiação solar direta diária, por regiões do Brasil [12]. Dados em kWh/m<sup>2</sup>.

A região Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação (de 5 a 6 kWh/m<sup>2</sup>), apresentando a maior média e a menor variabilidade anual entre as regiões geográficas. Os valores máximos de irradiação solar são observados na região centro-oeste do estado da Bahia e noroeste de Minas Gerais. Nota-se nesta região que as condições climáticas conferem um regime estável, de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar.

Na região Sul encontram-se os menores valores de irradiação global (de 4 a 4,5 kWh/m<sup>2</sup>). Notadamente as regiões da costa norte do estado de Santa Catarina, litoral do Paraná e litoral sul de São Paulo, também apresentam a maior variabilidade média anual, o que poderia indicar que a produção energética através de sistemas fotovoltaicos nessas regiões não fosse muito atraente.

No entanto, a Figura 3.2 indica que a radiação média anual no país varia entre 4 e 6,5 kWh/m<sup>2</sup> por dia, enquanto sabe-se que na Alemanha o valor máximo é de 3,4 kWh/m<sup>2</sup> por dia [12].



**Figura 3.2:** Média anual da radiação solar direta no Brasil [7].

Através de tal análise, nota-se que a irradiação média anual apresenta valores significativamente superiores à Alemanha que já utiliza a energia solar há bastante tempo.

Entretanto, embora o Brasil possua grande capacidade de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, estima-se que o país encontrará um grande desafio nas próximas décadas para buscar soluções em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

### 3.2 Fatos que Envolvem a Utilização da Energia Solar no País

A crise energética ocorrida em 2001 levou o país a repensar e ampliar a participação de outras fontes energéticas na matriz nacional, bem como levou a ações de redução de consumo que reduzissem a dependência das usinas hidroelétricas.

Dentre as alternativas governamentais propostas, destaca-se a Lei nº 10.295 de 2001, a qual estabeleceu uma Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, com objetivo central de reduzir a necessidade de investimentos para a ampliação da capacidade de geração do sistema elétrico [26]. Muito tempo depois, vieram as medidas e propostas no sentido de ampliação da geração, especialmente aquelas ligadas a fontes renováveis de energia.

Recentemente, ações governamentais como a publicação das resoluções citadas (482 e 502/2012) vêm criando mecanismos para a expansão do uso da energia solar no Brasil. No entanto, é necessário avançar em diversos aspectos, entre eles o regulatório. Destaca-se, por exemplo, um projeto de lei que tramita desde 2009 na Câmara Federal, o qual trata de

detalhes sobre a tarifação a serem praticados entre concessionárias, permissionárias e autorizadas do serviço público de distribuição com o consumidor [26].

No entanto, ainda que em um cenário de custos elevados e regulações incompletas ou pouco detalhadas, no dia 18 de novembro de 2013 a ANEEL realizou, na sede da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o Leilão de Energia A-3 para contratação de energia elétrica de novos empreendimentos de geração de fontes eólicas, solar e termelétrica a biomassa ou gás natural [27].

O início para o suprimento é previsto para janeiro de 2016 e das empresas que participaram, venceram trinta e nove empreendimentos eólicos nos estados da Bahia, Ceará, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Sul [27].

No caso da energia solar o leilão não teve sucesso, não tendo sido contratado nenhum empreendimento [27]. A causa do insucesso provavelmente se deu em virtude dos elevados custos de implementação das instalações, bem como as incertezas regulatórias. No entanto, espera-se que assim como ocorreu com a geração eólica, o preço caia nos próximos anos e o interesse por tais leilões aumente.

No dia 27 de dezembro de 2013, o governo de Pernambuco realizou seu primeiro leilão de energia solar, onde foram contratados 122,82 MW de energia, o que equivale a cerca de seis vezes mais que o total produzido hoje no país. Segundo o Governo, os investimentos chegarão a R\$ 597 milhões.

Empresas do Brasil, Itália, Alemanha, China e Espanha contrataram seis dos trinta e quatro projetos licitantes. Através do leilão, o preço médio de energia foi negociado a R\$ 228,63 (pra cada  $W_{\text{pico}}$  produzido), apresentando um decréscimo de 8,55% em relação ao preço inicial de R\$ 250,00. Espera-se que a energia solar tenha um potencial econômico agregador (assim como a energia eólica). Com o chamado *cluster* de energia solar, a expectativa é a geração de cerca de cinco mil empregos diretos durante as obras de instalação das empresas, que tem um prazo de 18 meses para serem concluídas [27].

Já com relação aos sistemas termosolares, embora não represente uma política pública muito abrangente, também vale ressaltar que iniciativas de instalação de aquecedores solares em casas do projeto Minha Casa Minha Vida vem sendo implementadas nos últimos anos [28].

Ações como estas poderiam ser ainda mais efetivas se leis municipais, estaduais ou federais exigissem a instalação ou preparação para a instalação de coletores solares nas construções e/ou reformas de edificações residenciais e comerciais. Atualmente apenas a cidade de São Paulo possui essa exigência, através do decreto nº 49148/2008, sendo que ela

torna obrigatório a instalação de sistema termosolar de uso residencial, apenas em edificações com mais de quatro banheiros e torna obrigatório a instalação em toda edificação comercial ou de serviços que possua demanda elevada de consumo diário de água.

Como os sistemas termosolares ainda apresentam um custo de instalação significativa, muitas pessoas e empresas ainda optam por não utilizar tal sistema.

O Brasil ainda carece de um incentivo governamental efetivo que seja capaz de impulsionar empresas e consumidores no sentido de utilizar, em ampla escala, sistemas de geração de energia ou aquecimento de água solares. Um bom exemplo neste sentido vem da cidade de Barcelona (Espanha), que depois de tornar obrigatório, em agosto de 2000, a instalação de coletores termosolares em novas edificações ou reformas, viu a instalação destes sistemas saltar de  $1,1\text{m}^2/1000$  habitantes para  $13\text{m}^2/1000$  habitantes em pouco mais de três anos.

No caso de sistemas fotovoltaicos tem-se um cenário um pouco mais complicado, pois além da necessidade de maiores áreas para sua instalação, de modo que estes apresentem uma boa capacidade de geração, ainda existe uma forte dependência de tecnologia estrangeira (o que eleva consideravelmente o custo de sua instalação), visto que o Brasil não possui fabricantes de painéis fotovoltaicos ou de muitos componentes eletrônicos utilizados.

### **3.3 Conclusões**

Com o exposto, conclui-se através de exemplos de países que já utilizam sistemas fotovoltaicos e termosolares há mais tempo que o Brasil, que embora o país possua um grande potencial para utilização destes sistemas, ainda há uma carência de incentivos governamentais que possibilitem que o custo de instalação e manutenção de sistemas termosolares e fotovoltaicos sejam mais acessíveis a uma parcela mais abrangente da população.

Além disto, também se observa que a existência de políticas e de iniciativas públicas que obrigassem a instalação e utilização de sistemas termosolares e/ou fotovoltaicos em novas construções ou em reformas (como no caso da Espanha) faria com que houvesse uma maior disseminação destes sistemas de modo mais abrangente e significativo.

No próximo capítulo será feita uma breve descrição das principais regulamentações nacionais e internacionais envolvendo os dois tipos de sistemas citados.



#### **4. NORMAS E LEGISLAÇÕES QUANTO A UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E TERMOSOLARES**

Além da questão financeira, outra possível razão que poderia ser apontadas para o pequeno aproveitamento da energia solar no Brasil é a questão normativa, a qual tarda a se consolidar, especialmente no caso dos sistemas fotovoltaicos.

Desta forma, este capítulo apresenta as principais legislações, normas e regulamentações envolvendo sistemas fotovoltaicos e termosolares no Brasil e no mundo, fazendo-se uma breve descrição e análise comparativa das mesmas.

O Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), criado em 1994 e que era coordenado pelo Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE) do Ministério de Minas e Energia, tinha por objetivo suprir às necessidades de energia elétrica de localidades isoladas e não atendidas pelo Sistema Interligado Nacional através de fontes renováveis locais, de modo a promoverem o desenvolvimento autossustentável, social e econômico dessas comunidades [29].

Este programa 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 fornecidos sem custo para os usuários, através de agências estaduais e concessionárias de energia [30].

Somente 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, que tinha como meta levar energia elétrica gratuitamente para dois milhões de famílias de baixa renda que não estavam assistidas pelo SIN. Entretanto, devido à elegibilidade de apenas alguns projetos, bem como a sua especificidade, o programa não possuía incentivos relevantes para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica. Devido a isso, o programa só foi capaz de atingir sua meta em maio de 2009, chegando a beneficiar aproximadamente treze milhões de pessoas [31].

Embora a concepção do programa fosse a utilização de qualquer fonte de energia renovável, este acabou priorizando a instalação de painéis fotovoltaicos. Com isso criaram-se inúmeros projetos de lei que buscavam incentivos legais para a tecnologia fotovoltaica. Dentre eles destaca-se o projeto PL-630/2003 [12] que propunha a criação de um fundo especial de financiamento de pesquisas e de fomento a produção de energia elétrica à partir de energia solar e eólica, além da produção de energia térmica à partir da energia solar.

Passando por emendas, este projeto de lei chegou a versão final em 2009, estabelecendo incentivos para produção de energia a partir de fontes renováveis que eram subsidiadas, obrigatoriamente pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas do serviço público de distribuição de energia elétrica do SIN, sendo obrigadas a comprar ou contratar uma quantia definida de potência proveniente de fontes alternativas de energia a partir de 2011.

Além disto, diversas outras leis, decretos e resoluções foram importantes para a utilização de energias alternativas na matriz energética nacional:

- **Lei nº 10438/2002:** dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica e dá outras providências [33];
- **Lei nº 10847/2004:** autorizou a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) [34];
- **Lei nº 10848/2004:** criou a figura da Geração Distribuída (GD) e dispôs a comercialização de energia elétrica [35];
- **Decreto nº 5163/2004:** regulamentou a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessão e autorizações de geração pelos GDs [36];
- **Decreto nº 5175/2004:** constituiu o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) [37];
- **Decreto nº 5177/2004:** dispôs sobre as atribuições, funcionamento e organização da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) [38];
- **Resolução Autorizativa ANEEL nº 328/2004:** aprovou o estatuto do ONS [39];
- **Decreto nº 5184/2004:** instituiu a criação da EPE [40];
- **Decreto nº 5879/2006:** dispôs sobre a realização de investimentos em pesquisas, desenvolvimento e eficiência energética por parte das concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica [41];
- **Resolução Normativa ANEEL nº 247/2006:** estabelece 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 500kW [42];



- **Lei nº 11488/2007:** criou o Regime Especial de Incentivos para Desenvolvimento da Infra-Estrutura (REIDI) [43];
- **Decreto nº 49148/2008:** obriga a cidade de São Paulo a instalar sistemas de aquecimento de água em novas edificações destinadas ao uso residencial e instalações de uso não residencial (ambientes de uso coletivo) [44];
- **Portarias nº 217/2008 e 61/2008:** estabelece a criação da Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P) através do Ministério do Meio Ambiente (MMA), possibilitando assim o uso da energia solar em todas as novas obras públicas e as existentes [45];
- **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 capacidade instalada [46].

A seguir, apresentam-se algumas leis e decretos que possibilitaram o desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos no país:

- **Lei nº 9074/1995:** instituiu a figura do Produtor Independente de Energia (PIE) e dessa forma garantiu livre acesso ao SIN por esses produtores, mediante ressarcimento do custo energético envolvido [47];
- **Lei nº 2003/1996:** regulamentou a produção de energia elétrica pelo PIE [48];
- **Lei nº 9427/1996:** instituiu a ANEEL [49];
- **Decreto nº 2655/1998:** regulamentou o Mercado Atacadista de Energia (MAE) e definiu regras para a criação do Operador Nacional do Sistema (ONS) [50];
- **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 de energia [51];
- **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 assim como as tarifas a serem cobradas [52];
- **Resolução ANEEL nº 371/1999:** regulamentou a contratação e o comércio de energia pelo PIE ou por autoprodutores para o atendimento a uma unidade consumidora conectada ao SIN [53];
- **Resolução ANEEL nº 482/2012:** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de

energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências [10];

- **Resolução ANEEL nº 502/2012:** Regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B [11].

Assim, com o objetivo de contextualizar o leitor quanto as principais legislações vigentes, no Brasil e no exterior, a seguir serão revistas algumas das normas referentes à utilização e implementação de sistemas de geração de energia elétrica ou aquecimento de água, através de sistemas fotovoltaicos e termosolares [54].

#### 4.1 Normas Internacionais

- **IEC 60364-7-712 (2002):** Traz especificações relativas às instalações elétricas de edificações, fazendo referência à instalação de sistemas de fornecimento de energia solar fotovoltaica [55];
- **IEC 62109-1 (2010):** Aplica-se a equipamentos de conversão de energia para uso em sistemas fotovoltaicos. Esta norma define as exigências mínimas para o projeto e fabricação de equipamentos de conversão, para que tenham proteção contra descarga elétrica, fogo, impactos mecânicos, entre outros [56];
- **IEC 62109-2 (2011):** Aborda especificamente a segurança de produtos com conversores CC-CA e CC-CC, assim como produtos que atuam ou funcionam com inversores [57].

Além das normas europeias IEC, destacam-se as recomendações do IEEE que fazem referência aos sistemas e equipamentos fotovoltaicos e termosolares:

- **IEEE Std 928 (1986):** Especifica critérios para a análise de desempenho de sistemas terrestres de geração de energia fotovoltaica, além de apresentar um quadro detalhado com padrões de desempenho de sistemas de energia fotovoltaica [58];
- **IEEE Std 929 (1988):** Especifica recomendações que asseguram a compatibilidade de operação de sistemas fotovoltaicos, além de abordar questões de segurança pessoal e qualidade da energia [59];
- **IEEE Std 1374 (1998):** Faz referência ao projeto, aplicabilidade de equipamentos e instalações de equipamentos de segurança, em sistemas isolados ou conectados à rede, para sistemas fotovoltaicos operando com potência de saída inferior à 50kW. Traz também uma breve discussão sobre sistemas de armazenamento e outros equipamentos de geração [60];

- **IEEE Std 1562 (2007):** Especifica o tamanho do arranjo de baterias de sistemas fotovoltaicos, com o objetivo de melhorar a eficiência, custo efetivo e tempo de vida de sistemas isolados [61];
- **IEEE Std 1547 (2008):** Discute as várias tecnologias de geração distribuída e os problemas associados à interconexão de geradores na rede elétrica [62].

#### 4.2 Normas Brasileiras

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), da ANEEL, trazem em seus módulos 1 e 3 referências quanto a utilização de sistemas solares, como sistemas de microgeração distribuída de energia. No entanto as normas vigentes de regulamentação são as provenientes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresentadas a seguir:

- **NBR 11704 (2008):** Classifica os sistemas de conversão fotovoltaica de energia solar em elétrica, quanto a sua configuração (puros, só utilizam gerador fotovoltaico ou híbridos, utilizam gerador fotovoltaico com outros tipos de geradores de energia elétrica) e, quanto a sua interligação com o sistema público de fornecimento de energia elétrica (podendo ser isolados ou conectados à rede elétrica) [63];
- **NBR 15569 (2008):** Estabelece os requisitos necessários para se implementar um sistema de aquecimento solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção, onde o fluido de transporte é a água [64];
- **NBR 15747-1 (2009):** Especifica os requisitos de durabilidade (incluindo resistência mecânica), confiabilidade, segurança e desempenho térmico dos coletores solares de aquecimento de líquidos. Também inclui disposições para a avaliação das conformidades com esses requisitos [65];
- **NBR 15747-2 (2009):** Especifica os métodos de ensaio para a validação dos requisitos de durabilidade, confiabilidade, segurança e desempenho térmico dos coletores solares de aquecimento de líquidos, conforme NBR 15747-1[66];
- **NBR 11876 (2010):** Especifica os requisitos e os critérios para aceitação de módulos fotovoltaicos para uso terrestre, de construção plana e sem concentradores, que utilizem dispositivos fotovoltaicos como componentes ativos, para converter diretamente a energia solar radiante em elétrica [67];

- **NBR IEC 62116 (2012):** Fornece um procedimento de ensaio para avaliar o desempenho das medidas de prevenção de ilhamento utilizadas em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica [68];
- **NBR 16149 (2013):** Estabelece as recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica e estabelece seus requisitos [69];
- **NBR 16150 (2013):** Especifica os procedimentos de ensaio para verificar se os equipamentos utilizados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia estão em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16149 [70];
- **NBR 16274 (2014):** Estabelece as informações e a documentação mínimas que devem ser compiladas após a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Também descreve a documentação, os ensaios de comissionamento e os critérios de inspeção necessários para avaliar a segurança da instalação e a correta operação do sistema [71].

Tais normas estabelecem desde o desenvolvimento dos sistemas de geração de energia por meio fotovoltaico, até a instalação de sistemas termosolares.

### 4.3 Comparativo entre as Normas Nacionais e Internacionais

Algumas normas internacionais estão em vigência há mais tempo do que as normas brasileiras, devido ao fato da matriz energética brasileira ainda ser fortemente hidráulica.

Ao se comparar a norma NBR 11876, com a recomendação normativa IEEE 1547, as quais especificam os requisitos do sistema de geração de energia por meio fotovoltaico, conclui-se que a resolução da IEEE apresenta um maior detalhamento ao especificar os sistemas, além de abordar critérios de interconexão. Já a norma NBR está mais voltada à caracterização de manutenção e instalação de componentes do sistema.

A norma IEC 60364-7-712 evidencia que desde 2002 existe a preocupação quanto à instalação e utilização de sistemas de geração fotovoltaica na Europa, enquanto no Brasil essa mesma preocupação tenha aparecido através das portarias nº 61 e 217, ambas de 2008, que possibilitavam o uso da energia solar em obras públicas. Nota-se que essa conscientização de instalação tornou-se mais evidente a partir das resoluções normativas da ANEEL 482 e 502, em 2012. Isso indica o quanto estamos atrasados com relação à utilização da tecnologia fotovoltaica.

Outro ponto interessante que pode ser ressaltado é o da IEEE 929-1988 apresentar uma preocupação quanto à qualidade da energia elétrica fornecida através dos sistemas fotovoltaicos. Tal preocupação tem sido alvo de inúmeros estudos na comunidade internacional [4], [13] e [72] ainda é pouco abordada na legislação nacional.

Ressalta-se também que existem muitas normas internacionais voltadas para os sistemas de armazenamento da energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos, o que ainda não é encontrado nas normas brasileiras.

#### **4.4 Conclusões**

Através do que foi apresentado pode-se notar que as normas brasileiras referentes aos sistemas fotovoltaicos e termosolares são recentes, se comparadas com as normas de países europeus. No entanto, verifica-se que os órgãos reguladores do país tem se preocupado com o assunto nos últimos anos, demonstrando que o país vem se desenvolvendo neste setor.

Através da pesquisa, verificou-se a existência de uma maior quantidade de normas referentes a sistemas fotovoltaicos, provavelmente em função da complexidade do sistema e da forte dependência tecnológica. A última norma encontrada referente a sistemas termosolares foi de 2008, enquanto normas referentes a sistemas fotovoltaicos continuam sendo publicadas (2014).

Verifica-se também que embora algumas regiões, como a da cidade de São Paulo através do decreto nº 49148/2008, apresentem a exigência legal de instalação de sistemas de aquecimento de água em novas edificações destinadas ao uso residencial, ainda existe um pequeno número de obras que atendem as exigências.



## 5. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS

Este capítulo apresenta uma breve revisão dos principais aspectos técnicos referentes a geração de energia elétrica à partir de sistemas fotovoltaicos.

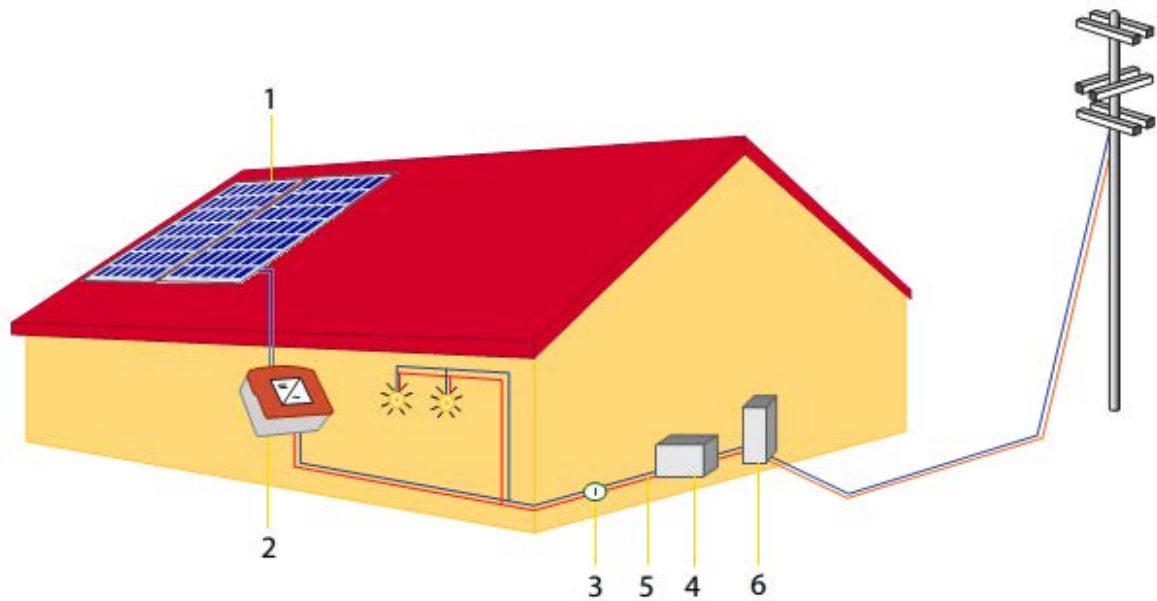
Um aspecto favorável para utilização da energia solar no país é a disponibilidade de quantidades significativas de irradiação solar verificadas ao longo do território brasileiro, no entanto, um dos agravantes e talvez o grande complicador que impeça a maior disseminação destes sistemas seja o fato da maioria dos equipamentos utilizados serem importados, o que faz com que eles tenham um custo considerável.

Para que o custo do sistema se torne menor, é necessária a instalação de sistemas de grande porte, como as usinas fotovoltaicas. Nesse tipo de sistema, utiliza-se um grande número de placas fotovoltaicas, mas como as placas fotovoltaicas possuem um custo ainda considerado elevado e sua geração de energia é baixa, costuma-se instalar as usinas solares em regiões planas e com alta incidência solar. Dessa forma, tem-se a geração de grandes potências, o que faz com que o preço da energia produzida seja menor se comparado a instalações residenciais.

Algumas das maiores usinas mundiais são: *Nevada Solar One* em Nevada, Estados Unidos (capacidade de 64MW), Parque Fotovoltaico de Olmedilla em La Mancha, Espanha (capacidade de 60MW) e Parque Solar de Strasskirchen em Strasskirchen, Alemanha (capacidade de 54MW).

No entanto, como o enfoque deste trabalho são sistemas de micro e mini geração, a seguir serão apresentadas algumas das principais características desses sistemas.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em sistemas autônomos e sistemas conectados à rede. Considerando-se que os sistemas conectados são os mais difundidos internacionalmente, este trabalho não tratará de sistemas autônomos. Assim, a Figura 5.1 apresenta os principais componentes dos sistemas fotovoltaicos conectados, os quais devem ser especificados de forma adequada aos objetivos de cada instalação.



**Figura 5.1:** Principais componentes de um sistema residencial conectado a rede [73].

onde:

- 1 - Módulos fotovoltaicos;
- 2 - Inversor CC/CA;
- 3 - Interruptor de segurança;
- 4 - Quadro de distribuição de energia;
- 5 - Rede elétrica;
- 6 - Medidor de energia.

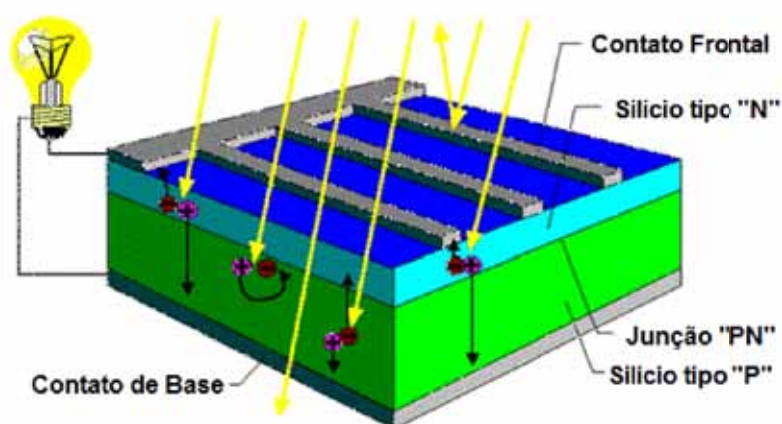
A seguir serão descritos os principais subsistemas apresentados na Figura 5.1.

### 5.1 Células Fotovoltaicas

São a unidade básica de um sistema fotovoltaico, pois são responsáveis pela conversão da radiação solar em eletricidade. Em virtude de uma única célula não ser capaz de gerar potência elétrica suficiente para ser utilizada por equipamentos elétricos, os fabricantes associam várias células e as encapsulam (para dar maior proteção mecânica), formando assim os módulos fotovoltaicos.

Uma célula fotovoltaica é um dispositivo semicondutor similar a um diodo de junção e é formada por material do tipo N (possuindo alta concentração de elétrons) e material do tipo P (possuindo alta concentração de lacunas). Os materiais P e N se encontram unidos através de uma junção PN que está em equilíbrio elétrico, como pode se visualizar na Figura 5.2





**Figura 5.2:** Representação de uma célula fotovoltaica.

Quando a célula recebe incidência luminosa, o material que a compõe perde o equilíbrio elétrico. A mecânica quântica demonstra que a luz é constituída de fótons, os quais têm uma determinada quantidade de energia. Quando um elétron da banda de valência é atingido por um fóton, ele absorve a energia do fóton e caso esta energia seja suficiente para retirar o elétron de sua ligação, este passa à banda de condução e torna-se livre, criando um par elétron-lacuna [74]. Quanto mais fótons atingirem os elétrons da junção, mais pares elétron-lacuna serão formados, causando um desequilíbrio elétrico na junção e consequentemente possibilitando a circulação de elétrons através de um condutor.

Como se pode obter diferentes tipos de células em virtude dos materiais tipo P e tipo N que as compõem, tem-se diferentes tipos de módulos comerciais, sendo que os principais tipos de células fotovoltaicas produzidas em escala comercial serão apresentadas na Tabela 5.1 [73].

**Tabela 5.1:** Tipos de células fotovoltaicas e suas especificações.

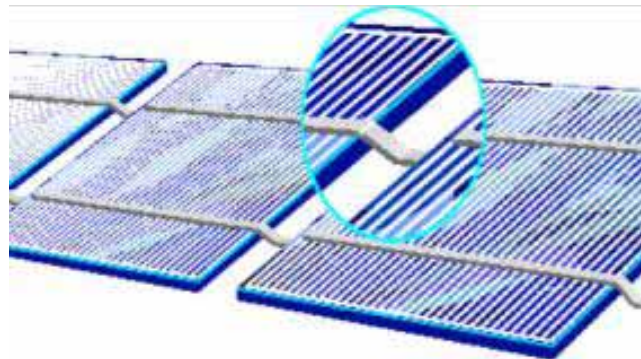
| Tipo de Célula                     | Eficiência | Cor  |
|------------------------------------|------------|--|
| Silício Monocristalino             | 15-18%     | Geralmente azul escuro ou quase preto (com antireflexo), cinza ou azul-acinzentado (sem antireflexo) |
| Silício Policristalino             | 13-15%     | Azul (com antireflexo), cinza prateado (sem antireflexo)   |
| Filme Fino                         | 5-9%       | Castanho avermelhado à azul escuro   |
| Disseleneto de cobre e Índio (CIS) | 7,5-9,5%   | Preto  |
| Telureto de Cádmio (CdTe)          | 6-9%       | Verde escuro à preto   |

Em virtude das células fotovoltaicas de silício apresentarem maior rendimento, são as células mais utilizadas atualmente. Por esta razão, este trabalho abordará módulos constituídos com estas células.

## 5.2 Módulos Fotovoltaicos

Uma célula fotovoltaica de silício cristalizado produz uma tensão de aproximadamente 0,46 à 0,56 V (volts) e uma corrente de aproximadamente  $30 \times 10^{-3}$  A (Ampères), para cada  $\text{cm}^2$ , sendo que as células comerciais geram de 1A até 7A [73].

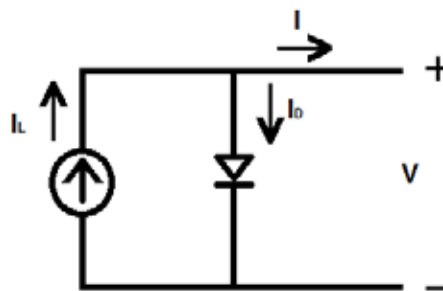
Para se alcançar as potências comerciais, os fabricantes de módulos fotovoltaicos conectam células fotovoltaicas entre si, geralmente em série, em um processo de conexão que é feito soldando-se os terminais da parte frontal de uma célula à parte traseira da seguinte e assim por diante, como se pode verificar na Figura 5.3. Para se construir um módulo de 12 volts de tensão nominal, conectam-se de 30 a 40 células [73]. Desse modo tem-se a tensão desejada de 12 V com uma corrente mais elevada, permitindo assim a obtenção de uma maior potência.



**Figura 5.3:** Conexão de células fotovoltaicas em série.

### 5.2.1 Circuito Equivalente do Gerador Fotovoltaico

A Figura 5.4 mostra o circuito equivalente simplificado de uma célula fotovoltaica, sendo que a fonte de corrente representa a corrente fotogerada ( $I_L$ ) pela célula fotovoltaica, enquanto a corrente  $I_D$  é a corrente que circula através do diodo.



**Figura 5.4:** Circuito equivalente simplificado de uma célula fotovoltaica [73].

Do circuito apresentado na Figura 5.4, obtêm-se a seguinte equação:

$$I = I_L - I_D \quad (5-1)$$

A corrente que flui através de um diodo, em função da tensão, é descrita pela equação (5-2):

$$I_D = I_0 \left\{ \exp \left[ \frac{eV}{mkT_{cel}} \right] - 1 \right\} \quad (5-2)$$

onde:

$I_0$  é a corrente de saturação reversa do diodo no escuro;

$V$  é a tensão aplicada aos terminais do diodo;

$e$  é a carga do elétron;

$m$  é o fator de idealidade do diodo;

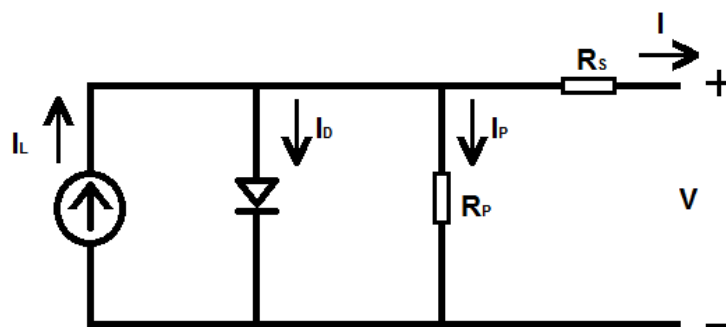
$k$  é a constante de Boltzmann;

$T_{cel}$  é a temperatura absoluta da célula fotovoltaica.

Para se obter a corrente da célula fotovoltaica, em função da tensão, basta inserir a equação (5-2) na equação (5-1), obtendo-se:

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[ \frac{eV}{mkT_{cel}} \right] - 1 \right\} \quad (5-3)$$

Em uma célula real existem outros efeitos que resultam na alteração do circuito equivalente apresentado na Figura 5.4, que são resistência série  $R_S$  (associada a resistência efetiva da célula) e resistência paralela  $R_P$  (associada às correntes de fuga). O novo circuito equivalente é válido para módulos fotovoltaicos e está apresentado na Figura 5.5.



**Figura 5.5:** Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.

Através do circuito apresentado na Figura 5.5, obtêm-se a equação (5-4)

$$I = I_L - I_D - I_P \quad (5-4)$$

onde  $I_P$  representa a corrente de fuga causada por microfissuras e imperfeições do material que compõe a célula fotovoltaica.

Inserindo-se o novo termo de corrente na equação (5-3), esta seria reescrita obtendo-se:

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[ \frac{eV}{mkT_{cel}} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (5-5)$$

### 5.2.2 Curva Característica I-V

Através da equação (5-5) pode-se levantar a curva I-V (Figura 5.6) de um módulo fotovoltaico, pois a partir desta curva é possível se obter os principais parâmetros que determinam a qualidade e o desempenho do módulo.

A curva característica I-V possui três pontos principais:

- **Tensão de Circuito Aberto  $V_{OC}$** : é a tensão na qual a corrente do módulo é nula;
- **Corrente de Curto-Circuito  $I_{SC}$** : é a corrente obtida quando os terminais do módulo são colocados em curto-circuito;
- **Ponto de Máxima Potência  $P_M$** : é o ponto em que o produto da corrente pela tensão resulta o máximo valor.

### 5.2.3 Efeito da Intensidade da Irradiância sobre a Curva Característica I-V

A Figura 5.6 representa as curvas características de uma célula de  $1\text{cm}^2$  mantida a temperatura constante e sob diferentes condições de iluminação. Nela pode-se observar um incremento na corrente de curto-circuito proporcional à intensidade de radiação solar incidente, enquanto a tensão de circuito aberto aumenta logarithmicamente, exceto para valores de irradiância muito baixos. Na Figura 5.6 tem-se que a curva 1 é obtida através de uma maior irradiância solar, enquanto a curva 3 é obtida com uma menor irradiância solar.

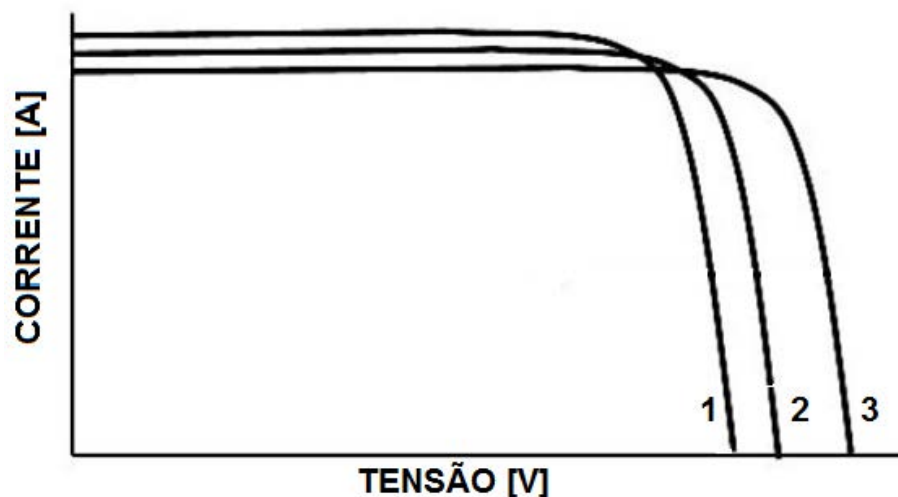


Figura 5.6: Curva I-V de um módulo fotovoltaico.

### 5.2.4 Efeito da Temperatura sobre a Curva Característica I-V

Atualmente existem muitas empresas produzindo painéis fotovoltaicos e devido a isso nota-se uma certa variação de preços no mercado fotovoltaico. No entanto, deve-se enfatizar que cada painel tem sua respectiva eficiência de conversão energética ( $\eta$ ), que é garantida e verificada através do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), que certifica os painéis inserindo selos de eficiência energética.

Alguns fabricantes mencionam, nas folhas de dados, a eficiência de seus módulos, mas mesmo quando essa informação não está explícita é possível identificar a eficiência do módulo à partir das suas características.

A eficiência de conversão pode ser obtida através da equação [75]:

$$\eta_p = \frac{P_{MAX}}{A_p \cdot 1000} \quad (5-6)$$

onde:

$P_{MAX}$  é a potência máxima ou de pico do módulo em watts [W];

$A_p$  é a área do módulo em  $m^2$  calculada à partir das dimensões do painel fornecidas na folha de dados.

Durante a escolha do módulo deve-se ter cuidado com a temperatura do meio em que este será instalado, pois esta influencia diretamente na eficiência energética.

Em virtude da célula fotovoltaica ser constituída por material semicondutor, ela se comporta de maneira semelhante a outros semicondutores. Dessa forma, quando a temperatura da célula for elevada, a energia térmica irá liberar mais elétrons livres para a banda de condução do material. Isso acarretará na redução do <sup>2</sup>GAP de energia do material semicondutor, fazendo com que a corrente fotogerada se eleve.

A elevação da corrente fotogerada, por sua vez, eleva a <sup>3</sup>corrente de saturação do material. O produto dessa corrente pelas resistências internas (série e paralela) provocam maiores perdas no módulo, fazendo com que a tensão de circuito aberto sofra uma redução. Com isso a tensão gerada pelo módulo será maior em temperaturas mais baixas e menor em temperaturas mais elevadas.

Como a potência gerada é produto da corrente pela tensão, tem-se uma redução da potência quando a temperatura aumenta. Desse modo, deve-se considerar esta redução na eficiência durante o projeto de um sistema fotovoltaico, de modo que o sistema seja capaz de

---

<sup>2</sup> **GAP:** Os átomos são formados por subníveis atômicos e cada subnível dá origem a uma banda de energia. Entre cada banda há uma região de energia onde não existem estados eletrônicos. Estas regiões são chamadas de “gap” de energia entre as bandas.

<sup>3</sup> **Corrente de Saturação:** é uma corrente de portadores de carga minoritários criada por excitação térmica.

entregar a potência elétrica desejada, sob as condições de temperatura nas quais pretende-se instalar os módulos.

### **5.2.5 Características Mecânicas**

Quanto as características físicas e mecânicas, tem-se que os módulos comerciais costumam ter forma quadrada ou retangular, possuem espessura de até 4 cm (desconsiderando-se a moldura), são relativamente leves e embora rígidos suportam ligeiras deformações. As caixas de conexão possuem isolamento para a conexão dos cabos dos módulos, além de possuírem ponto de aterramento, caso a conexão entre os módulos ultrapasse um determinado nível de tensão [73].

### **5.2.6 Associação dos Módulos Fotovoltaicos**

Em virtude da potência gerada por um módulo fotovoltaico não ser suficiente para alimentar sistemas com maior consumo elétrico, associa-se um conjunto de módulos eletricamente ligados entre si, de modo a se obter um potencial desejado.

Na associação em série, tem-se que as tensões dos módulos serão somadas, de modo que a tensão do painel seja a soma das tensões de cada um dos módulos que o compõem. Como a corrente será a média das correntes de cada módulo, aconselha-se não se utilizar módulos com capacidades distintas para a associação.

Na associação em paralelo tem-se o aumento direto da corrente, sendo que agora esta corresponde a soma da corrente de cada módulo. Já a tensão passa a ser a média das tensões geradas.

Na maioria dos casos associa-se os módulos em série, para se obter a tensão nominal do sistema, e em paralelo, para se obter a potência de pico calculada no projeto.

### **5.2.7 Sombreamento, Pontos Quentes e Diodos de Proteção**

Tem-se que em determinadas condições de operação, uma célula fotovoltaica pode receber uma sombra. Isso faz com que a mesma possa superaquecer de modo que o material semicondutor que a compõe seja danificado. Quando isso ocorre, chama-se este fenômeno de *hot-spots* (pontos quentes), sendo que estes trazem danos permanentes ao módulo, como pode-se verificar na Figura 5.7.

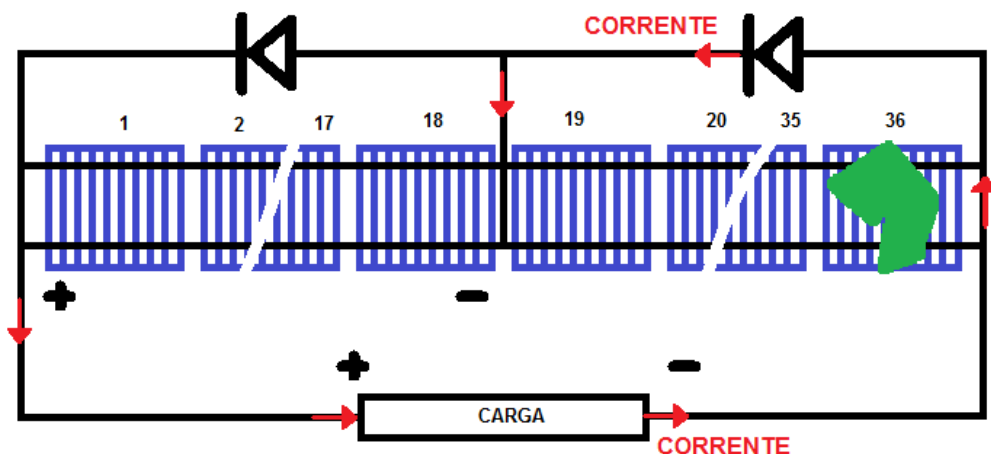


**Figura 5.7:** Pontos quentes em módulos fotovoltaicos.

À seguir serão apresentadas as circunstâncias típicas que causam o aparecimento dos pontos quentes, assim como formas de evitá-los.

O ponto quente ocorre quando o módulo está funcionando normalmente (gerando corrente) e por algum motivo uma célula é coberta. Isso faz com que esta célula seja reversamente polarizada, fazendo com que esta deixe de gerar e passe a receber corrente, o que faz com que essa corrente elétrica seja convertida em calor. Caso a corrente seja alta o suficiente, tem-se a formação do ponto quente.

Para se evitar isso, utilizam-se diodos de derivação, também chamados de diodos *bypass*, conectados de maneira inversamente polarizada em relação ao conjunto de células, inserindo-se um diodo a cada 18 ou 20 células fotovoltaicas, como se pode verificar na Figura 5.8. Desse modo, quando uma célula for bloqueada, a corrente passará através do diodo ao invés de circular pela célula, sem que esta sofra aquecimento [74].



**Figura 5.8:** Diodos de derivação desviando a corrente reversa.

Usualmente, quando se tem sombras causadas por objetos frontais aos módulos, deve-se calcular a sombra no solstício de inverno, pois é quando a projeção da sombra é maior.

Desse modo, ao se instalar os módulos em uma posição capaz de evitar a sombra nesse período, conseguirá se evitar sombras durante todo o ano.

Pode-se calcular as projeções de sombras frontais nos módulos através da equação [74]:

$$d = \frac{z}{\tan h_0} \quad (5-7)$$

onde :

$d$  é a distância (em metros) entre o painel e um obstáculo frontal;

$z$  é a altura (em metros) do obstáculo;

$h_0$  é a altura solar (em graus), no solstício de inverno, ao meio dia solar e pode ser calculado através da equação:

$$h_0 = (90^\circ - \text{latitude da localidade}) - 23,5^\circ \quad (5-8)$$

Já no caso de instalações que dispõem de grande quantidade de módulos, deve-se ter o cuidado que um painel não faça sombra em outro painel, como pode-se verificar na Figura 5.9. Desse modo, pode-se calcular a distância necessária entre os painéis de modo que não haja sombreamento, através da equação [74]:

$$d_1 = l \cdot \left( \frac{\sin \beta}{\tan h_0} + \cos \beta \right) \quad (5-9)$$

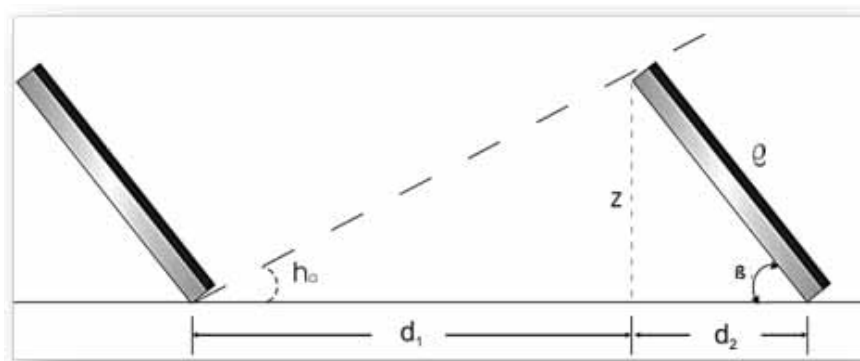
onde:

$d_1$  é a distância, em metros, entre painéis;

$l$  é a altura do painel em metros;

$\beta$  é a inclinação do painel em graus;

$h_0$  é a altura solar (em graus), no solstício de inverno, ao meio dia solar.



**Figura 5.9:** Distância entre painéis fotovoltaicos de modo a não se ter sombreamento entre eles.

Outra forma de se calcular a distância entre painéis é através da latitude do local de instalação dos mesmos, através da equação [76]:



$$d_1 = \frac{h_1}{\text{tg}(66,5^\circ - \text{latitude})} \quad (5-10)$$

onde:

$d_1$  é a distância, em metros, entre painéis;

latitude é a latitude em graus do local da instalação do painel;

$h_1$  é a altura de inclinação do módulo e é obtido através da equação:

$$h_1 = l \cdot \text{sen}(\text{inclinação}) \quad (5-11)$$

onde:

$l$  é o comprimento do modelo, em metros;

inclinação é a inclinação em graus adotada para os módulos.

### 5.2.8 Estruturas de Suporte e Fixação

Estruturas de suporte e fixação correspondem as estruturas fundamentais para a fixação dos módulos fotovoltaicos em telhados ou mesmo no solo. No caso de telhados, deve-se verificar se a estrutura do telhado (madeiramento e tipo de telha) suporta o peso dos módulos fotovoltaicos, além de se verificar as "cargas" de vento as quais os módulos estarão submetidos, pois estas adicionam esforços mecânicos aos suportes do módulo.

Deve-se levar em consideração, durante o projeto do sistema fotovoltaico, o espaço disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos, como se pode verificar na Figura 5.10. Além disso, deve-se ter em mente que telhados inclinados com telha de argila não devem receber estruturas para corrigir a inclinação dos painéis, em virtude dos esforços mecânicos provenientes das "cargas" de vento serem maiores nessas condições.



**Figura 5.10:** Painel fotovoltaico instalado em telhado.

Em construções onde pode se fixar os módulos fotovoltaicos no chão, tem-se uma maior flexibilidade quanto a orientação e inclinação dos mesmos, como pode-se verificar na Figura 5.11. Devido a isso, faz-se uso deste tipo de fixação para grandes instalações de

geração de energia fotovoltaica (usinas fotovoltaicas). No entanto, deve-se projetar a instalação dos módulos de modo a se evitar sombreamento dos mesmos.



**Figura 5.11:** Painéis fotovoltaicos instalados no solo.

Deve-se instalar o painel à altura mínima de 30 cm do chão de modo a evitar que o crescimento de ervas ou mesmo o acúmulo de sujeira possam obstruir as células do módulo, causando sombreamento. Em painéis instalados em telhados, tem-se que a altura mínima dos painéis é de 5 cm, que é o espaço necessário para que a água possa escoar, além de dividir a força do vento em duas componentes, diminuindo assim, a "carga" de vento sobre os módulos [74].

### **5.2.9 Orientação e Inclinação dos Módulos**

Deve-se orientar os módulos para o ponto azimutal, ou seja, para o hemisfério norte. Com isso os módulos terão a melhor captação energética ao longo do ano, lembrando-se que esta será maior no verão e menor no inverno.

Procura-se evitar ângulos de orientação superiores à 30°, tanto para Leste quanto para Oeste, sendo que para cada 15° de desvio do Norte geográfico, tem-se uma hora de diferença para a captação máxima de energia solar. Quando se orienta o módulo para Leste, tem-se um adiantamento, enquanto que para o Oeste tem-se um atraso. Em algumas situações o adiantamento pode ser benéfico, pois algumas regiões, como as tropicais, podem apresentar chuvas no meio ou fim da tarde o que poderia prejudicar a produção de energia.

Já a inclinação ideal dos painéis depende da latitude onde serão instalados os módulos e o tipo de sistema utilizado, pois sistemas isolados necessitam extrair o máximo de potência. Desse modo, são instalados com inclinações mais elevadas de modo a se garantir uma maior captação solar nos períodos de menor irradiância. No entanto, sistemas conectados à rede

necessitam de ângulos menores de inclinação, pois estes propiciam maior captação nos períodos de maior irradiância [74].

### 5.3 Inversores

Consistem em equipamentos eletrônicos que convertem a tensão e corrente contínuas (CC) em tensão e corrente alternadas (CA) e são necessários para alimentar consumidores em corrente alternada à partir da energia elétrica de corrente contínua produzida pelo painel fotovoltaico ou mesmo a energia armazenada na bateria [75].

Devido o fato da grande maioria dos equipamentos eletrodomésticos serem construídos para trabalhar em tensão alternada (127V ou 220V em 60Hz), ao se utilizar sistemas fotovoltaicos necessita-se dos inversores para fazerem a interface entre a tensão e corrente contínua com a alternada.

Inversores *grid-tie* são dispositivos elétricos que permitem os usuários de energia solar ou eólica, interligar seus sistemas com a rede da concessionária. Sendo assim, o excedente de energia produzido pelos sistemas alternativos (solar e eólico) pode alimentar outros consumidores da rede da concessionária. Tal sistema é muito comum em países onde os produtores vendem a energia excedente para a concessionária (durante o dia, por exemplo) e compram de volta quando o consumo aumenta (por exemplo, à noite).

A principal diferença entre um inversor padrão e um inversor *grid-tie* é que este último é capaz de se interligar com a rede da concessionária, devido a sua capacidade de sincronizar sua frequência (60 Hz, no Brasil) e a sua tensão de saída com a rede que se deseja conectar. Os inversores *grid-tie* também são capazes de se desconectar da rede elétrica quando esta não está fornecendo energia.

Os sistemas conectados têm uma grande vantagem com relação aos sistemas isolados por não utilizarem baterias e controladores de carga. Isso os torna cerca de 30% mais eficientes e também garante que toda a energia seja utilizada, ou localmente ou em outro ponto da rede. Sistemas de conexão à rede podem ser utilizados tanto para abastecer uma residência, como para produzir e injetar a energia na rede elétrica.

### 5.4 Aterramento e Sistemas de Proteção

Devido os sistemas fotovoltaicos utilizarem inversores que elevam o nível de tensão dos módulos fotovoltaicos, tem-se que estes sistemas de geração de energia são capazes de produzir tensões e correntes com níveis elevados e perigosos [77].

Dessa forma, deve-se aterrar os sistemas fotovoltaicos à fim de garantir a segurança do público utilizador do sistema fotovoltaico, dos instaladores e de profissionais que eventualmente venham realizar a manutenção do equipamento.

Além disso, como os equipamentos utilizados nos sistemas de geração fotovoltaica possuem custos elevados, é necessário protegê-los contra descargas atmosféricas e outros fenômenos transitórios.

Existem dois tipos principais de aterramento em sistemas elétricos, que são: aterramento do sistema (também conhecido como aterramento funcional) ou aterramento dos equipamentos (também conhecido como aterramento de proteção).

O aterramento de proteção é obrigatório e está relacionado à segurança de pessoas.

O aterramento funcional dá-se pelo fato de alguns módulos necessitarem de aterramento no terminal positivo ou negativo, para operar corretamente. Além disso, em alguns casos necessita se estabilizar a tensão com relação ao terra.

Os esquemas de aterramento utilizados no lado em corrente contínua podem ser classificados como TN-S (condutor vivo aterrado, polo positivo ou negativo, e massas aterradas) ou IT (condutores vivos não aterrados e massas aterradas). Em relação a faltas à terra, deve-se adotar os procedimentos apresentados na Tabela 5.2. A secção mínima dos condutores de aterramento deve ser de 6 mm<sup>2</sup> [78].

Visto algumas especificações e cuidados quanto ao aterramento dos sistemas fotovoltaicos, agora serão apresentadas, de maneira sucinta, algumas observações referentes aos sistemas de proteção.

**Tabela 5.2:** Requisitos para proteção contra faltas à terra [78].

| Sem separação galvânica  | Com separação galvânica  |   |
|--|--|---|
|  | IT   | TN-S  |
| Instalar dispositivo supervisor de isolamento e dispositivo de seccionamento automático da alimentação no lado em corrente alternada | Instalar dispositivo de supervisão de isolamento, que deverá alertar quando ocorrer a primeira falta a terra | Instalar dispositivo de seccionamento automático do condutor de aterramento quando ocorrer falta à terra. |
| O dispositivo de seccionamento automático do condutor de aterramento deve satisfazer os requisitos abaixo:                           |  |   |
| Potência do inversor   | Corrente nominal de atuação do dispositivo de seccionamento automático do condutor de aterramento            |   |
| ≤ 3 kVA  | ≤ 1 A  |   |
| > 3 kVA e ≤ 100 kVA  | ≤ 3 A  |   |
| > 100 kVA  | ≤ 5 A  |   |

Tem-se que a sobrecorrente em um sistema fotovoltaico é intrinsecamente limitada no lado em corrente contínua, pois os módulos fotovoltaicos fornecem corrente até o limite de seu curto-circuito.

Mesmo com essa limitação, é importante ter alguns cuidados com geradores fotovoltaicos com mais de duas séries de módulos em paralelo, pois uma falha em uma das séries pode provocar a circulação de corrente reversa nos módulos, acima do valor máximo tolerável, se não houver dispositivo de proteção.

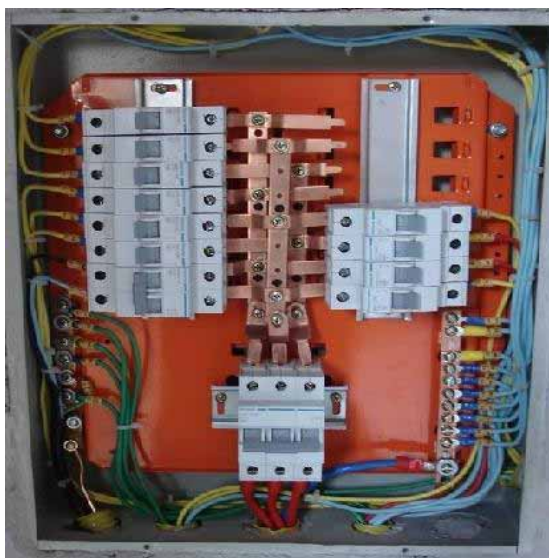
De modo a prevenir esta circulação de corrente indesejada, utilizam-se os dispositivos apresentados na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3:** Dispositivos de proteção para sistemas fotovoltaicos conectados a rede [78].

| <b>Dispositivo</b>   | <b>Características</b>  |
|--|---|
| Seccionamento  | Adequado para corrente contínua, pois interrompe os condutores positivo e negativo simultaneamente e não deve ser utilizado em sistemas com apenas uma série/arranjo de módulos fotovoltaicos |
| Proteção contra sobrecorrente  | Utilizado quando houver duas ou mais séries/arranjos em paralelo e deve ser instalado nos condutores positivo e negativo  |
| Barramento de paralelismo  | Deve ser conectado entre séries/arranjos de módulos fotovoltaicos   |
| Proteção contra sobrecorrente do gerador fotovoltaico                                    | Deve ser utilizado sempre, podendo ser um disjuntor ou fusível gPV  |
| Seccionamento do gerador   | Deve ser utilizado sempre e é capaz de interromper os condutores positivo e negativo simultaneamente  |
| Proteção contra surtos de tensão do  | Utilizado quando houver sistema de proteção contra descargas atmosféricas na edificação, devendo ser instalado o mais próximo possível de todos terminais do inversor                         |
| Detecção de corrente residual do lado em corrente alternada                              | Capaz de interromper todos os condutores de saída do inversor, deve ser utilizado sempre quando não houver isolamento galvânica entre os lados CC e CA  |
| Relé de proteção contra sobre/subtensão, sobre/subfrequencia, ilhamento e de sincronismo | Utilizados quando o inversor não incorporar tais funções ou quando houver regulamentação específica que obrigue a sua utilização  |
| Seccionamento automático   | Deve ser utilizado para proteção contra sobre/subtensão, sobre/subfrequencia, ilhamento e sincronismo. Seu controle deve ser feito pelos relés de proteção, quando houver, ou pelo inversor   |
| Transformador de acoplamento   | Utilizado quando o inversor não possuir transformador e a potência nominal do sistema for superior a 100 kW   |
| Seccionamento com a rede elétrica  | Utilizado quando os sistemas fotovoltaicos são conectados à rede, pois são capazes de interromper todos os condutores de conexão com à rede,  |

### 5.5 Quadro de Distribuição de Energia

A energia que chega até nossas residências, seja através da rede de distribuição da concessionária, ou seja, através de sistema de geração fotovoltaicos, deve ser distribuída para o restante da residência. Para que haja essa distribuição são utilizados quadros de distribuição de energia, como pode se visualizar na Figura 5.12



**Figura 5.12:** Quadro de Distribuição de Energia.

No caminho até os interruptores e tomadas, essa energia passa pelo quadro de medição que está associado a um equipamento o qual mede o consumo mensal de energia (medidor), então chega através de um ramal de entrada ao chamado quadro de distribuição de onde partem os circuitos que alimentarão a residência.

### 5.6 Medidor de Energia

Dispositivo ou equipamento eletromecânico ou eletrônico capaz de mensurar o consumo de energia elétrica de uma determinada instalação elétrica. Mede este consumo em quilo watts hora (kWh) e pode ser ligado diretamente entre a rede elétrica e a carga ou através de transformadores de acoplamento de tensão e/ou corrente.

Em sistemas de micro e mini geração de energia, como sistemas eólicos e fotovoltaicos, tem-se a necessidade de um sistema de medição mais complexo, chamado de medidor inteligente (*smart meter*). Estes medidores devem ser bidirecionais e capazes de mensurar a quantidade de energia que a residência consome e/ou fornece para a rede [11].

### 5.7 Conclusões

Através do que foi apresentado neste capítulo, viu-se que durante o projeto e dimensionamento de um sistema fotovoltaico, devem-se fazer considerações, levantamentos

de parâmetros e cálculos que são de extrema importância para a escolha do sistema a ser instalado. No Capítulo 7 será apresentado o projeto de um sistema fotovoltaico, trazendo-se uma estimativa dos custos de sua instalação.





## 6. SISTEMAS TERMOSOLARES PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA

Como um dos objetivos deste trabalho é abordar a economia financeira que sistemas solares podem trazer a uma instalação residencial, a seguir serão apresentados algumas características e considerações sobre sistemas termosolares para aquecimento de água, como alternativa a utilização de chuveiros elétricos.

Basicamente, os sistemas termosolares são constituídos por coletores solares, reservatório térmico, fonte auxiliar de energia (*boiler*), sistemas de controle e rede de distribuição de água aquecida, como pode se observar na Figura 6.1. São classificados de acordo com a NBR 15569 conforme o arranjo, circulação, armazenamento, alimentação e alívio de pressão.

A NBR 15569 classifica os sistemas termosolares em:

- **De circulação passiva ou termo-sifão natural:** aplicado quando a circulação de água ocorre exclusivamente por diferença de densidade;
- **De circulação ativa:** ocorre quando a circulação é forçada através de uma bomba.



**Figura 6.1:** Sistema termosolar de aquecimento de água.

A mesma norma não faz classificação quanto ao uso de aquecimento e consumo em circuitos distintos. Nesse caso o sistema pode ser direto, quando o fluido aquecido é o próprio fluido a ser consumido (água) ou pode ser indireto, quando se usa um circuito fechado para o fluido que circula nas placas e um trocador de calor para transferir a energia térmica absorvida nas placas e que será transferida para a água de consumo.

Quanto as instalações, classificam-se em três classes, que são [79]:

- **Pequena dimensão:** correspondem as instalações onde a área de captação através dos coletores solares é menor ou igual a  $10 \text{ m}^2$  e geralmente são

vendidos em formas de KITS contendo todas as peças necessárias para instalação, além de acompanhar um esquema de montagem do sistema;

- **Média dimensão:** correspondem as instalações cuja área de captação através dos coletores solares é superior à  $10 \text{ m}^2$  e inferior à  $100 \text{ m}^2$  e devido a sua maior complexidade exigem um projeto de todo o sistema;
- **Grande dimensão:** correspondem as instalações cuja área de captação através dos coletores solares é superior à  $100 \text{ m}^2$  e assim como os sistemas de média dimensão, exigem um projeto.

Basicamente os sistemas termosolares são compostos pelos elementos apresentados na Figura 6.2, lembrando-se que o sistema apresentado corresponde a um sistema completo, de modo a se exemplificar e se explicar os elementos que o compõem. Este sistema corresponde a um sistema de alta pressão (com pressão de água acima de 40 metros de coluna de água - mca), sendo que sistemas de baixa pressão (com pressão até 5 mca) são mais simples e não apresentam reservatório de expansão nem purgadores.

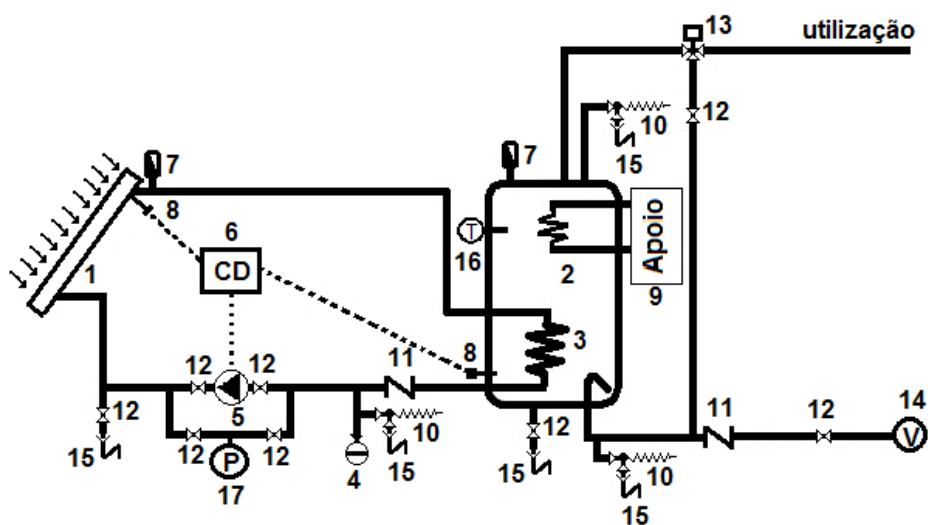


Figura 6.2: Sistema termosolar representado por seu esquema unifilar.

Legenda:

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1 coletor solar                         | 10 válvula de segurança |
| 2 depósito de acumulação (reservatório) | 11 válvula de retenção  |
| 3 permutador de calor                   | 12 válvula de passagem  |
| 4 vaso de expansão                      | 13 válvula misturadora  |
| 5 bomba circuladora                     | 14 contador de água     |
| 6 comando diferencial                   | 15 esgoto sifonado      |
| 7 purgador de ar                        | 16 termômetro           |
| 8 sonda de temperatura                  | 17 manômetro            |
| 9 energia de apoio                      |                         |

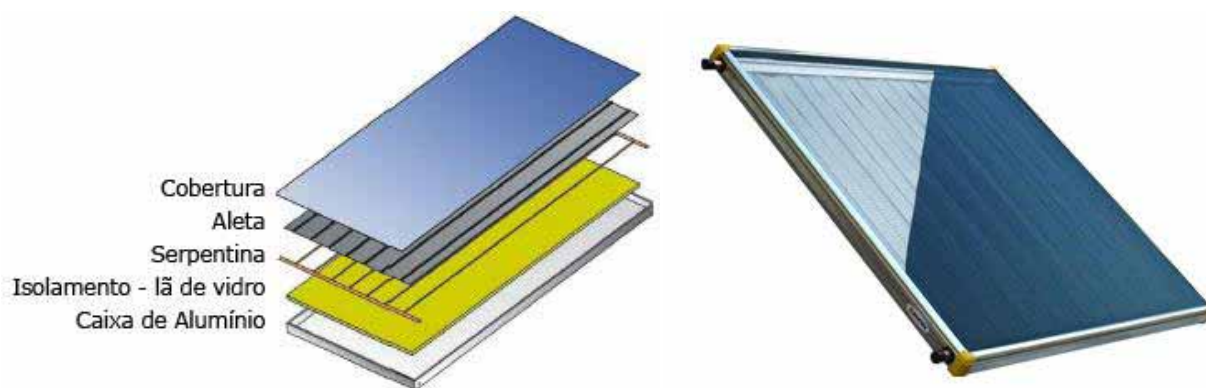
A seguir serão apresentados os elementos mais importantes que compõem um sistema termosolar de baixa pressão, ressaltando-se as características relevantes para sua utilização no sistema. Maiores detalhes podem ser obtidos em [79].

### 6.1 Coletor Solar

É o dispositivo responsável pela captação da energia solar e conversão desta em energia térmica. Existem diversos modelos de coletores e estes diferem quanto a sua construção e aplicação, sendo que cada um possui uma eficiência diferente e que deve ser considerada durante sua escolha.

Para uso em aquecimento residencial os coletores dividem-se em três tipos: coletores planos, de tubos evacuados e sem cobertura.

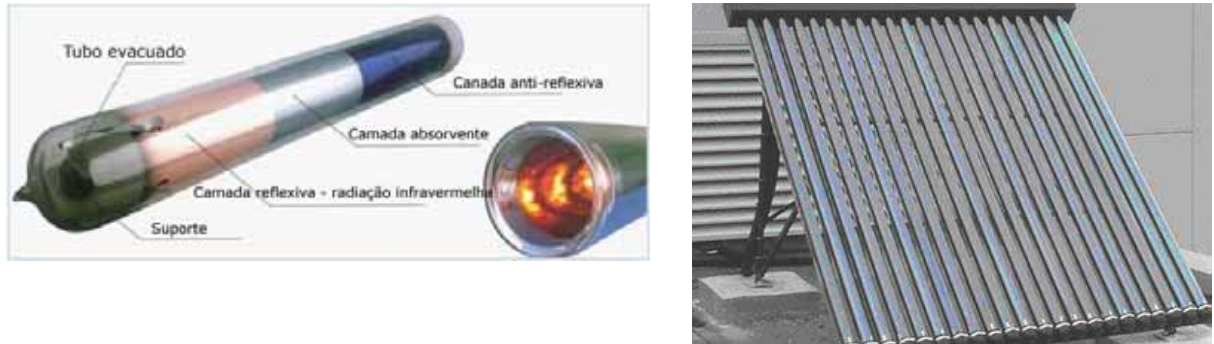
Os coletores planos, Figura 6.3, possuem concepção bastante simples, pois são compostos basicamente por uma placa absorvedora, um gabinete isolado termicamente e cobertura de vidro. Tais coletores são amplamente utilizados devido ao seu custo e eficiência.



**Figura 6.3:** Coletor Plano.

Os coletores de tubo evacuado, Figura 6.4, possuem tecnologia mais sofisticada, diferindo dos coletores de placa plana pelo uso do vácuo como isolante térmico e, em alguns casos, tubos de calor para transferir o calor da placa coletora para o fluido, permitindo obter eficiências maiores à temperaturas mais baixas. São amplamente utilizados em países onde a radiação solar é baixa ou em construções onde há uma pequena área disponível para instalação dos coletores, mas há necessidade de aquecimento de um grande volume de água, como o exemplo de um prédio.

Devido a suas características construtivas, os coletores de tubo evacuado conseguem aquecer a água à temperaturas de cerca de 80°C, isso faz com que sua utilização em residências com pequeno volume de água seja inviável, pois a temperatura que a água atinge traz problemas a tubulação de distribuição de água aquecida.



**Figura 6.4:** Coletor de Tubo Evacuado.

Os coletores sem cobertura, Figura 6.5, geralmente são construídos de material polimérico (plástico), não possuem isolamento térmico nem cobertura de vidro, o que faz com que sua eficiência seja baixa à temperaturas mais baixas. Tais coletores costumam ser usados com maior frequência para aquecimento de piscinas devido ao seu baixo custo e facilidade de instalação.



**Figura 6.5:** Coletor de tubo polimérico (sem cobertura).

Dos coletores apresentados, o mais amplamente utilizado em sistemas residenciais é o coletor plano, o qual se destina à produção de água quente com temperaturas de cerca de 40°C. Este sistema tem como vantagens a simplicidade construtiva, boa relação de custo para a temperatura de trabalho desejada, durabilidade e fácil manutenção.

A placa coletora funciona como uma alheta, transportando o calor do fluido para uma serpentina de tubos de cobre conectada termicamente à placa por onde circula o fluido a ser aquecido. O processo de acoplamento entre a placa e a serpentina deve garantir uma pequena resistência térmica. O isolamento localizado na parte posterior e nas laterais da placa diminui as perdas térmicas para o ambiente, enquanto que a cobertura de vidro diminui as perdas por radiação e minimiza a convecção sobre a placa coletora, mantendo uma camada de ar estacionária sobre a mesma. Por sua vez a cobertura de vidro deve ser limpa regularmente para manter sua eficiência com relação à passagem da irradiação solar [44].

Para se calcular a área do coletor solar térmico, a NBR 15569 recomenda a utilização do cálculo através da equação:

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \cdot FC_{\text{instal}} \cdot 4,901}{PMDEE \cdot I_g} \quad (6-1)$$

onde:

$A_{coletora}$  é a área coletora, expressa em  $m^2$ ;

$I_g$  é o valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em  $kWh/m^2 \cdot dia$ ;

$E_{\text{útil}}$  é a energia útil, diária, em kWh;

$E_{\text{perdas}}$  é o somatório das perdas térmicas, diárias, dos circuitos primário e secundário, expresso em kWh, e pode ser calculada pela soma das perdas ou pela equação :

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \cdot E_{\text{útil}} \quad (6-2)$$

$FC_{\text{instal}}$  é o fator de correção para a inclinação e orientação do coletor solar;

$PMDEE$  é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expresso em  $kWh/m^2$ .

### 6.1.1 Ligação entre Coletores

Tem-se diferentes tipos de coletores solares, com diferentes características que influenciam significativamente no funcionamento do sistema de aquecimento termosolar. Devido a isso, os coletores podem ser conectados de diversas maneiras, sendo que cada uma dessas formas de conexão traz vantagens ou desvantagens para o sistema. Desse modo, para melhor exemplificar as vantagens e desvantagens entre cada tipo de ligação dos coletores, montou-se a Tabela 6.1.

**Tabela 6.1:** Vantagens e desvantagens entre os diferentes tipos de ligação dos coletores solares.

| <b>Tipo de Ligação</b> | <b>Vantagens</b>   | <b>Desvantagens</b>   |
|------------------------|--|---|
| Ligação Série          | Possui baixo custo, apresenta instalação mais simples, pode-se utilizar qualquer coletor comercial   | Possui menor rendimento por apresentar maiores perdas de carga, deve-se consultar o máximo número de coletores com o fabricante |
| Ligação em Paralelo    | Possui maior rendimento por apresentar menores perdas de carga, aceita qualquer tipo de coletor comercial além de aceitar um número maior de coletores (sendo que o limitador para isto será o custo da instalação e a necessidade do equilíbrio hidráulico) | Apresenta custo mais elevado além de sua instalação ser mais complexa   |

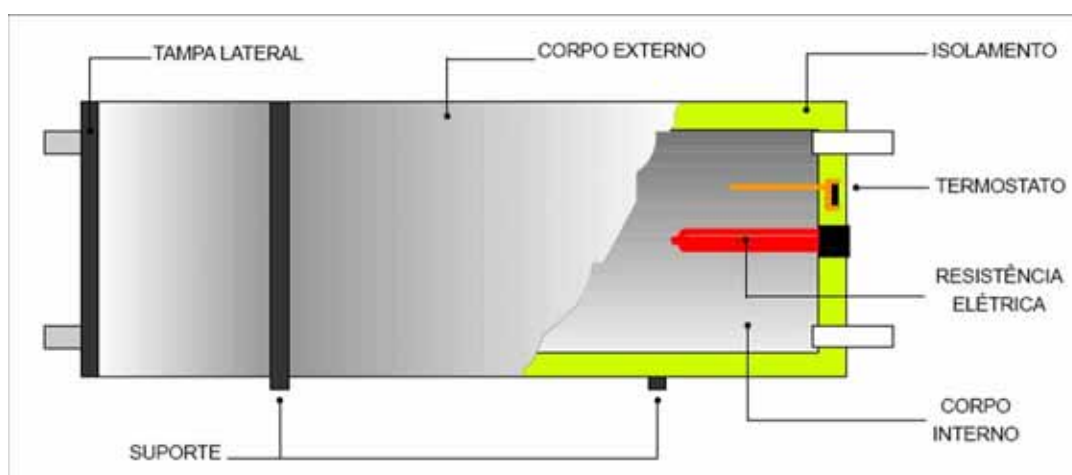
| Tipo de Ligação               | Vantagens  | Desvantagens   |
|-------------------------------|--|--|
| Ligação em paralelo de canais | Possui baixo custo e instalação simples, além de possuir um maior rendimento em virtude de menores perdas de carga | Só é possível utilizando-se coletores de 4 entradas, e aconselha-se utilizar no máximo 4 coletores |

## 6.2 Reservatórios Térmicos

Em virtude dos sistemas de aquecimento solar de água terem uma potência de aquecimento, através das placas coletoras, inferior à demanda instantânea de água aquecida, além do fato dos períodos de consumo ocorrerem em momentos distintos ao período de ganho de energia térmica solar, é necessário um sistema que realize o armazenamento da água aquecida, de modo que esta possa ser utilizada sem causar desconforto ao consumidor.

Na Figura 6.6 pode-se visualizar os elementos que compõem um reservatório térmico, destacando-se:

- o isolante térmico que tem a função de manter a temperatura da água armazenada em seu interior;
- a resistência, que tem a função de aquecer a água quando o coletor não for capaz de aquecê-la.



**Figura 6.6:** Reservatório térmico.

Usualmente o reservatório possui grande influência no custo global do sistema, devido ao seu desempenho e nível de confiabilidade. Desse modo, a sua escolha no momento de aquisição torna-se fundamental para o sucesso dos objetivos pretendidos com a instalação. Alguns fatores a serem considerados na escolha do reservatório térmico são: desempenho térmico, volume de água necessário, sistema de aquecimento auxiliar, necessidade de trocador de calor, material de revestimento, finalidade do uso da água, qualidade da água disponível, localização, espaço e acessibilidade [44].

Devido à variação do peso específico da água, em função de sua temperatura, ocorre dentro do reservatório a estratificação vertical de temperaturas. Em outras palavras a água fria que entra no tanque tende a se posicionar abaixo da água aquecida que já se encontra no mesmo. Neste sentido, tanques verticais são os mais recomendados, pois acentuam a estratificação térmica melhorando a eficiência global do sistema. Porém, no mercado brasileiro tanques horizontais são mais comuns devido ao uso da circulação natural, o que faz com que reservatórios verticais tenham seu uso limitado por causa da altura disponível dentro dos telhados residenciais.

Para se calcular o volume necessário do reservatório, tem-se a seguinte equação:

$$V_{\text{armaz}} = \frac{V_{\text{consumo}} \cdot (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}}} \quad (6-3)$$

onde:

$V_{\text{armaz}}$  é o sistema de armazenamento em  $\text{m}^3$  e deve corresponder a cerca de 75% do  $V_{\text{consumo}}$ ;

$V_{\text{consumo}}$  é o volume de consumo diário, expresso em  $\text{m}^3$ ;

$T_{\text{consumo}}$  é a temperatura de consumo de utilização em  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{\text{ambiente}}$  é a temperatura ambiente média anual do local de instalação  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{\text{armaz}}$  é a temperatura de armazenamento da água em  $^{\circ}\text{C}$ .

### 6.3 Sistema de Aquecimento Auxiliar

Para que um sistema de aquecimento solar forneça toda a demanda de água quente desejada seria necessário dimensioná-lo considerando-se o pior cenário possível em termos de disponibilidade de radiação solar, resultando em um sistema superdimensionado para a maior parte do tempo de uso e, conseqüentemente, com uma baixa viabilidade econômica. Neste sentido usa-se frações solares na faixa de 60 à 80% de radiação solar, tornando-se necessário o uso de uma fonte auxiliar de calor para períodos de insolação insuficiente [44].

Usualmente, a grande maioria dos reservatórios vem com um aquecedor elétrico instalado em seu interior, devido à simplicidade e ao baixo custo desse tipo de instalação. Em sistemas de grande porte também são utilizados sistemas de aquecimento auxiliar à gás, internos ou externos ao reservatório térmico.

Deve-se ressaltar que os sistemas de aquecimento elétrico que já vem inseridos nos reservatórios de água vêm configurados, de fábrica, para operar com uma determinada temperatura.

Os aquecedores atuam constantemente de modo a se manter a temperatura da água do reservatório com aquela temperatura programada e isso faz com que haja um grande consumo

de energia elétrica, de forma desnecessária, pois o sistema irá aquecer a água durante períodos do dia em que esta não será utilizada, como durante o período da noite, por exemplo.

As empresas que realizam a instalação dos sistemas termosolares de aquecimento desligam esses sistemas auxiliares de aquecimento fazendo com que eles possam ser acionados manualmente ou através de sistemas automáticos.

Os sistemas manuais possuem um menor custo, porém apresentam um consumo elétrico maior do que os sistemas automáticos, em virtude dos sistemas automáticos serem ajustados com o perfil de utilização do consumidor. Isto permite com que a água seja aquecida de maneira mais eficiente, possibilitando assim uma redução no consumo elétrico.

#### 6.4 Controle e Acionamentos

A função dos sistemas de controle e acionamento é garantir que o sistema de aquecimento solar funcione aproveitando ao máximo a energia solar disponível, ao mesmo tempo em que as demandas de aquecimento necessárias sejam atendidas. Esses sistemas podem incorporar diversas alternativas, permitindo acrescentar métodos de controle mais sofisticados, que permitam alterar configurações de funcionamento para melhorar o desempenho do sistema [44].

Basicamente, três controles estão disponíveis:

- **acionamento do sistema de aquecimento auxiliar:** o sistema mais comum é um termostato ligado diretamente no reservatório térmico. Outra possibilidade é usar um controlador que habilita ou desabilita o fornecimento de energia para o sistema de aquecimento auxiliar de acordo com a temperatura medida no reservatório. Em ambos os casos é necessário manter uma diferença entre as temperaturas de acionamento e desligamento do aquecimento auxiliar para evitar que isso ocorra com uma frequência muito alta.
- **acionamento da bomba de circulação para os coletores:** necessária em sistemas de grande porte ou quando as placas estão situadas acima do nível do reservatório, impedindo a circulação natural. O controle de acionamento da bomba é um controle diferencial feito com dois sensores de temperatura, um situado nas placas e outro no reservatório térmico. Dessa forma a bomba só será acionada quando uma diferença de temperatura desejada for alcançada e será desligada a partir do momento que a diferença seja pequena, sinalizando que não existe mais ganho da circulação de água pelas placas. O mesmo controle também pode ser utilizado para evitar o congelamento das placas, ligando a bomba sempre que a temperatura das placas ficar próxima de 0°C.



- **agenda de eventos:** é uma forma de controle que anula a possibilidade de ligar o sistema de aquecimento auxiliar mesmo que a temperatura no reservatório térmico esteja abaixo da indicada pelo termostato. A utilidade desse controle é evitar o aquecimento desnecessário da água no reservatório em períodos em que não há consumo. Por exemplo, durante a madrugada a água não deverá ser aquecida, pois só haverá consumo no dia seguinte e, caso esse consumo não seja no período matinal, ele pode, inclusive, ser suprido pelo próprio sistema de aquecimento solar. Outra finalidade da agenda de eventos é evitar o ligamento do sistema de aquecimento solar durante o horário de pico, servindo, dessa forma, como uma ferramenta de gerenciamento pelo lado da demanda.

### **6.5 Conclusões**

Através do que foi apresentado neste capítulo, viu-se que durante o projeto e dimensionamento de um sistema termosolar, devem-se fazer considerações quanto ao consumo desejado de água, a temperatura ambiente média, inclinação do telhado, etc., para a escolha do sistema a ser instalado.

Nota-se que tais sistemas são relativamente mais simples se comparados aos sistemas fotovoltaicos e necessitam de áreas menores para instalação dos painéis solares.



## 7. ESTUDO DE CASOS

Visando verificar os benefícios econômicos que a instalação de sistemas termosolares e fotovoltaicos trariam a uma dada residência, criou-se um cenário onde se pode comparar as despesas com consumo de energia elétrica proveniente de uma concessionária, juntamente com a economia que tais sistemas solares trariam a este consumidor residencial.

Para isso, adotou-se uma instalação residencial padrão de classe média, prevendo-se uma família de quatro moradores, o que resultou em um determinado consumo elétrico, como será descrito adiante.

### 7.1 Sistema Fotovoltaico

#### 7.1.1 Levantamento de Dados

O telhado do modelo escolhido possui uma orientação de 23°29'1.613" S e 47° 28'42.734" O e uma inclinação de 18°. Com relação à área disponível, esta mede cerca de 120m<sup>2</sup> e não possui objetos próximos que possam causar sombreamento dos painéis. No entanto, apenas metade do telhado se apresenta útil para instalação de painéis fotovoltaicos, sendo que a irradiação solar na outra metade é baixa.

#### 7.1.2 Consumo de Energia Elétrica

Para este estudo, levantou-se o consumo mensal e diário de energia elétrica no período de um ano, conforme apresentado na Tabela 7.1

**Tabela 7.1:** Consumo elétrico da residência escolhida como cenário para o estudo de caso.

| Mês                | Dias | Consumo Elétrico<br>[kWh] | Média Diária<br>[kWh] | Custo Financeiro<br>[R\$] |
|--------------------|------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Abr/13             | 30   | 184                       | 6,13                  | 56,10                     |
| Maio               | 31   | 186                       | 6,00                  | 49,20                     |
| Junho              | 30   | 157                       | 5,23                  | 47,79                     |
| Julho              | 31   | 190                       | 6,13                  | 58,23                     |
| Agosto             | 31   | 167                       | 5,38                  | 51,41                     |
| Setembro           | 30   | 183                       | 6,10                  | 55,68                     |
| Outubro            | 31   | 191                       | 6,16                  | 58,61                     |
| Novembro           | 30   | 152                       | 5,06                  | 50,04                     |
| Dezembro           | 31   | 168                       | 5,41                  | 53,42                     |
| Janeiro            | 31   | 151                       | 4,87                  | 49,58                     |
| Fevereiro          | 28   | 137                       | 4,89                  | 43,30                     |
| Março              | 31   | 160                       | 5,16                  | 52,29                     |
| Abr/14             | 30   | 188                       | 6,26                  | 62,56                     |
| <b>Total Anual</b> |      | 2.214kWh                  | 72,78kWh              | R\$ 688,21                |

O consumo total anual foi de 2.214 kWh, a média mensal foi de 184,5 kWh e a média diária foi de 6,06 kWh, valor este que foi utilizado como meta de geração para o sistema fotovoltaico. Desta forma, o sistema de geração de energia teria capacidade de geração para

suprir uma quantidade diária de energia similar à energia consumida na instalação. Vale ressaltar que esta é uma meta exagerada com relação às práticas de mercado, onde em geral capacidade de geração do sistema fotovoltaico é inferior à demanda de energia da instalação. Entretanto, tal escolha torna-se interessante para a análise de viabilidade financeira do sistema.

### 7.1.3 Irradiação Solar

Com o objetivo de se verificar o potencial de geração do sistema fotovoltaico, utilizou-se o *software SunData* [80] para se determinar o índice de irradiação solar no local onde deseja-se instalar o sistema fotovoltaico.

Verificou-se que para o município de Sorocaba não existem dados disponíveis. Entretanto, verificou-se que existem dados para latitudes e longitudes próximas que correspondem as cidades de Itapetininga (23,5° S ; 48,053055° O ; distante 58,7 km de Sorocaba), Campinas (22,8° S; 47,060833° O ; distante 87,3 km de Sorocaba) e Piracicaba (22,7° S; 47,649166° O ; distante 89 km de Sorocaba).

O *software* disponibiliza as curvas de irradiação solar no plano horizontal (inclinação de 0° com o norte) e no plano inclinado (inclinação de 22° a 33° com o norte).

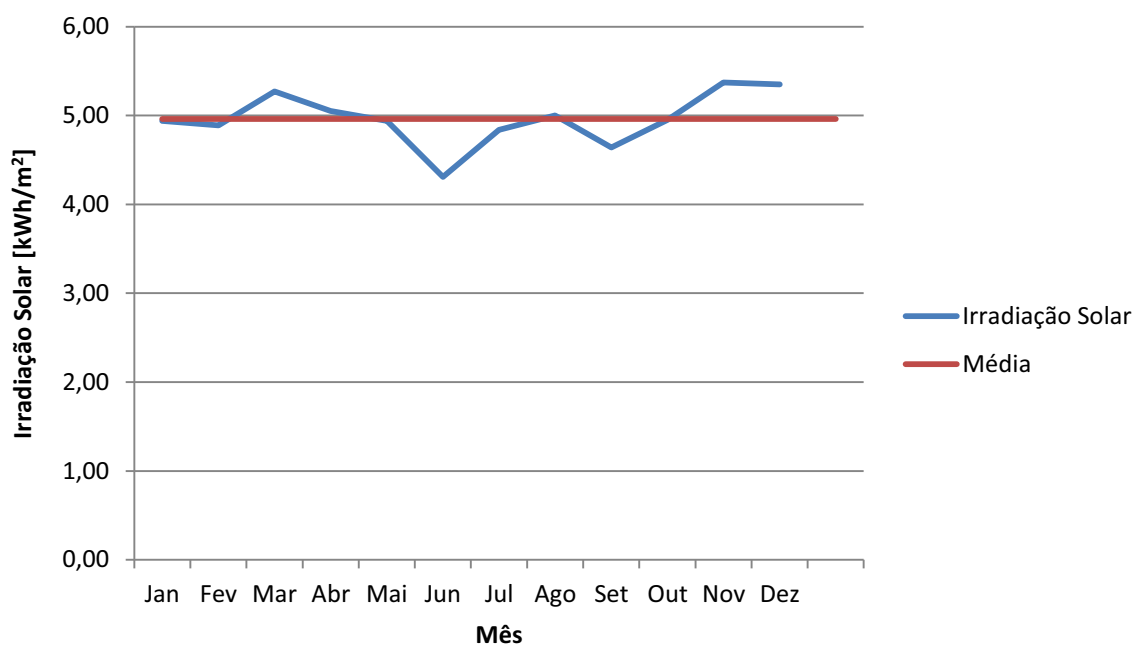
Em virtude das três cidades apresentarem coordenadas próximas as da cidade de Sorocaba, será utilizada a cidade de Itapetininga como referência devido estar mais próxima da cidade de Sorocaba.

A Tabela 7.2 apresenta os valores médios mensais de irradiação solar na cidade de Itapetininga. Através de sua análise, pode-se verificar que os maiores valores médios anuais se encontram próximos da inclinação para um ângulo igual ao da latitude (23° N). Dessa forma, tem-se que os painéis serão orientados com 22° para o norte.

**Tabela 7.2:** Irradiação solar diária média mensal [kWh/m<sup>2</sup>].

|                          | Inclinação   | Jan         | Fev         | Mar         | Abr         | Mai         | Jun         | Jul         | Ago         | Set         | Out         | Nov         | Dez         | Média       |
|--------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Plano Horizontal         | 0° N         | 5,44        | 5,11        | 5,11        | 4,44        | 3,94        | 3,31        | 3,75        | 4,22        | 4,36        | 5,06        | 5,86        | 6,00        | 4,72        |
| Ângulo igual a latitude  | 23° N        | 4,94        | 4,89        | 5,27        | 5,05        | 4,94        | 4,31        | 4,84        | 5,00        | 4,64        | 4,95        | 5,37        | 5,35        | 4,96        |
| <b>Maior média anual</b> | <b>22° N</b> | <b>4,97</b> | <b>4,91</b> | <b>5,28</b> | <b>5,04</b> | <b>4,91</b> | <b>4,27</b> | <b>4,80</b> | <b>4,98</b> | <b>4,64</b> | <b>4,97</b> | <b>5,41</b> | <b>5,39</b> | <b>4,96</b> |
| Maior mínimo mensal      | 33° N        | 4,57        | 4,63        | 5,15        | 5,13        | 5,19        | 4,58        | 5,13        | 5,15        | 4,60        | 4,73        | 4,99        | 4,90        | 4,90        |

A Figura 7.1 apresenta a curva de irradiação solar para uma inclinação dos painéis com ângulo igual a latitude do local de instalação (23° N). Como a inclinação da casa modelo é de 18° N e os maiores valores médios se encontram em 22° N, o sistema poderia ser instalado sem grandes complicações.



**Figura 7.1:** Média mensal de irradiação solar diária, no plano inclinado, para o município de Itapetininga.

#### 7.1.4 Distância Mínima entre Módulos

Para este estudo, analisaram-se três modelos de painéis e dois inversores, cujos dados detalhados estão apresentados no Anexo A.

Através dos dados levantados, pode-se montar a Tabela 7.3, onde estão apresentadas as informações mais relevantes de cada um dos painéis analisados.

**Tabela 7.3:** Dados dos painéis fotovoltaicos [81].

| Fabricante                   | Kyocera      | Solar Leading | Kyocera      |
|------------------------------|--------------|---------------|--------------|
| Modelo                       | KD245GH-4FB2 | SL6P60-240W   | KD250GH-4FB2 |
| Potência Nominal [W]         | 245          | 240           | 250          |
| Tensão a máxima potência [V] | 29,8         | 29,8          | 29,8         |
| Comprimento [m]              | 1,662        | 1,64          | 1,662        |
| Largura [m]                  | 0,99         | 0,992         | 0,99         |
| Área [m <sup>2</sup> ]       | 1,64         | 1,62          | 1,64         |
| Eficiência [%]               | 14,9         | 14,8          | 15,2         |
| Custo [R\$]                  | 1.075,00     | 989,00        | 1.075,00     |

Para este estudo de casos, optou-se pela utilização dos módulos SL6P60-240W da *Solar Leading*, por possuírem um menor custo e uma eficiência próxima dos modelos da Kyocera.

Através da equação (7-1) pode-se levantar a altura de inclinação do módulo:

$$h_i = l_1 \cdot \text{sen}(\text{inclinação}) \quad (7-1)$$

$$h_i = 1,64 \cdot \text{sen}(22)$$

$$h_i = 0,614m$$

Com a altura de inclinação, pode-se calcular a distância entre módulos, através da equação (7-2):

$$d_1 = \frac{h_i}{\text{tg}(66,5^\circ - \text{latitude})} \quad (7-2)$$

$$d_1 = \frac{0,614}{\text{tg}(66,5^\circ - 23,48^\circ)}$$

$$d_1 = 0,657m$$

Portanto os módulos devem ser instalados com uma distância mínima de cerca de 0,66m para evitar o sombreamento de um módulo sobre o outro.

### 7.1.5 Especificação do sistema

Com base no valor da energia média diária desejada para o sistema, pode-se calcular o número aproximado de módulos fotovoltaicos necessários, através da equação [82]:

$$N = \frac{E}{G \cdot n \cdot A} \quad (7-3)$$

onde:

N é o número de módulos;

E é o consumo médio diário, em kWh;

G é a irradiação média diária, em kWh/m<sup>2</sup>;

n é a eficiência do módulo;

A é a área do módulo, em m<sup>2</sup>.

Como esse equacionamento não considera variações de temperatura de operação dos módulos, eficiência do inversor e as perdas no cabeamento e conectores do sistema, deve-se estimar um consumo diário médio 25% superior ao desejado [82]. Com isso o valor médio que era de 6,06 kWh passaria a ser 7,58 kWh.

Dessa forma, a equação (7-3) ficaria:

$$N = \frac{E}{G.n.A} \quad (7-3)$$

$$N = \frac{7,58}{4,96.0,148.1,62}$$

$$N = 6,37$$

Como o valor de painéis foi de 6,37, pode-se aproximar para 7 painéis sem causar problemas ao sistema. Lembrando-se que neste caso (extremo) estudado, a meta é reduzir ao máximo o consumo de energia elétrica proveniente da rede.

Esta associação de painéis seria capaz de fornecer uma potência máxima de 1680 W (7x240W), valor este que deve utilizado para a especificação do inversor do sistema.

A escolha do inversor depende de diversas características técnicas e de desempenho desejáveis ao sistema, incluindo a potência nominal do mesmo. Para este estudo de caso, dentre os modelos avaliados, destacam-se os inversores da Fronius (detalhados no Anexo A).

**Tabela 7.4:** Dados dos inversores Grid-Tie [81].

| Fabricante<br>Modelo              | Fronius Galvo<br>Galvo 1.5-1 | Fronius Galvo<br>Galvo 3.1-1 |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Potência Nominal [W]              | 1500                         | 3000                         |
| Corrente Máxima de<br>Entrada [A] | 13,4                         | 20                           |
| Eficiência Máxima<br>[%]          | 95,8                         | 96                           |
| Tensão Mínima de<br>Entrada [V]   | 140                          | 185                          |
| Tensão Nominal de<br>Entrada [V]  | 260                          | 330                          |
| Tensão de Saída [V]               | 208                          | 240                          |
| Custo [R\$]                       | 6.899,00                     | 7.499,00                     |

Com base na Tabela 7.4, escolheu-se o inversor Galvo 1.5-1 da Fronius, em virtude do seu menor custo e de potência nominal mais próxima da especificada no projeto.

Uma vez levantada a quantidade de painéis necessários e escolhido o inversor para o suprimento de energia gerada, deve-se verificar a forma como os painéis devem ser instalados, série ou paralelo. Desse modo, utilizando-se a equação (7-4), tem-se:

$$N_{Série} = \frac{V_{Inversor}}{V_{Módulo}} \quad (7-4)$$

$$N_{Série} = \frac{260}{29,8}$$

$$N_{Série} = 8,72$$

Com isso, o número de módulos ligados em série deveria ser de 8 unidades.

Em sistemas conectados à rede não se verifica uma preocupação quanto à corrente que os módulos devem produzir. Por outro lado, tem-se uma preocupação quanto à tensão contínua que os módulos devem fornecer, uma vez que eles alimentam o inversor.

Como a corrente dos módulos é menor do que a corrente máxima do inversor, não haverá nenhum problema de projeto. Desse modo, o sistema seria formado por 8 módulos ligados em série.

### 7.1.6 Estimativa de tempo de retorno (*payback*)

A seguir são apresentados os orçamentos levantados de sistemas fotovoltaicos, onde se apresentarão os elementos que compõem cada sistema juntamente com seu custo, Tabela 7.5.

**Tabela 7.5:** Custo do sistema projetado.

| Componentes do Sistema  | Quantidade   | Custo [R\$]      |
|---|--------------|------------------|
| Painéis Fotovoltaicos 240Wp                                       | 8            | 7.912,00         |
| Inversor  | 1            | 6.899,00         |
| Estrutura Completa de Fixação                                     | 1            | 1.200,00         |
| Kit de Conexão com a Rede Elétrica, incluindo Sistema de Proteção | 1            | 750,00           |
| Serviço de Instalação do Sistema Fotovoltaico com Conexão à Rede  | 1            | 500,00           |
|   | <b>TOTAL</b> | <b>17.261,00</b> |

Para se calcular o valor de reais por watt pico, basta se dividir o custo do sistema pela energia máxima de pico. Neste caso corresponde a 1920Wp, provenientes de 8 módulos de 240Wp.

Desse modo tem-se:

$$R\$/W_p = \frac{17261}{1920} = 8,99 \quad (7-5)$$

Como esse levantamento, pode-se calcular o tempo de retorno do investimento realizado (*payback time*) de modo a se verificar se a instalação do sistema é viável ou não.

Assim, apresentado o orçamento para sistemas fotovoltaicos, pode-se expandir a Tabela 7.1 obtendo-se a Tabela 7.6 onde se verifica o novo consumo elétrico da residência, considerando-se a energia produzida (7,58 kWh por dia) pelo sistema fotovoltaico em cada mês.

Através da Tabela 7.6 nota-se que a residência deixaria de consumir cerca de 780,1 kWh de energia ao longo de um ano.

Para se calcular a economia que o sistema fotovoltaico traria no custo financeiro da conta de energia elétrica, considerou-se o valor cobrado sobre o consumo de energia elétrica, ou seja, o custo sobre cada kWh de consumo, junto à uma concessionária de energia elétrica



do Estado de São Paulo. A Tabela 7.7 apresenta a tarifa cobrada, por cada kWh consumido, que é de R\$ 0,27824.

**Tabela 7.6:** Consumo elétrico da residência após instalação do gerador fotovoltaico.

| <b>Mês</b>   | <b>Número<br/>Dias</b> | <b>Energia Gerada<br/>[kWh]</b> | <b>Consumo sem<br/>Gerador [kWh]</b> | <b>Consumo com<br/>Gerador [kWh]</b> |
|--------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Abr/13       | 30                     | 227,40                          | 184                                  | 2,2                                  |
| Maio         | 31                     | 234,98                          | 186                                  | -1,86                                |
| Junho        | 30                     | 227,40                          | 157                                  | -24,8                                |
| Julho        | 31                     | 234,98                          | 190                                  | 2,14                                 |
| Agosto       | 31                     | 234,98                          | 167                                  | -20,86                               |
| Setembro     | 30                     | 227,40                          | 183                                  | 1,2                                  |
| Outubro      | 31                     | 234,98                          | 191                                  | 3,14                                 |
| Novembro     | 30                     | 227,40                          | 152                                  | -29,8                                |
| Dezembro     | 31                     | 234,98                          | 168                                  | -19,86                               |
| Janeiro      | 31                     | 234,98                          | 151                                  | -36,86                               |
| Fevereiro    | 28                     | 212,24                          | 137                                  | -32,68                               |
| Março        | 31                     | 234,98                          | 160                                  | -27,86                               |
| Abr/14       | 30                     | 227,40                          | 188                                  | 6,2                                  |
| <b>TOTAL</b> |                        | 2766,7                          | 2214                                 | -780,1                               |

**Tabela 7.7:** Tarifa da Classe de Consumo Residencial CPFL - Piratininga, vigente de 23/10/2013 à 22/10/14.

| <b>Grupo B</b>                        | <b>TUSD R\$ / kWh</b> | <b>TE R\$/kWh</b> | <b>Desconto %/kW</b> |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Residencial Normal</b>             | 0,10357               | 0,17467           |                      |
| <b>Baixa Renda</b>                    |                       |                   |                      |
| 0 a 30 kWh                            | 0,03409               | 0,06113           | 65%                  |
| 31 a 100 kWh                          | 0,05844               | 0,10480           | 40%                  |
| 101 a 220 kWh                         | 0,08766               | 0,15720           | 10%                  |
| > a 200 kWh                           | 0,09740               | 0,17467           |                      |
| <b>Rural</b>                          | 0,07250               | 0,12227           | -                    |
| <b>Coop. Eletrificação Rural</b>      | 0,080010              | 0,12252           | -                    |
| <b>Serviços Públicos de Irrigação</b> | 0,06858               | 0,10502           | -                    |
| <b>Demais Classes</b>                 | 0,10346               | 0,17497           | -                    |
| <b>Iluminação Pública</b>             |                       | -                 |                      |
| B4a - Rede de Distribuição            | 0,05894               | 0,09777           | -                    |
| B4b - Bulbo da Lâmpada                | 0,06430               | 0,10666           | -                    |

De modo a melhor apresentar a economia monetária a cada mês, montou-se a Tabela 7.8.

**Tabela 7.8:** Redução monetária proveniente do sistema fotovoltaico.

| <b>Mês</b>   | <b>Potência Gerada [kWh]</b> | <b>Valor Economizado [R\$]</b> |
|--------------|------------------------------|--------------------------------|
| Abril 2013   | 227,40                       | 63,31                          |
| Maio         | 234,98                       | 65,42                          |
| Junho        | 227,40                       | 63,31                          |
| Julho        | 234,98                       | 65,42                          |
| Agosto       | 234,98                       | 65,42                          |
| Setembro     | 227,40                       | 63,31                          |
| Outubro      | 234,98                       | 65,42                          |
| Novembro     | 227,40                       | 63,31                          |
| Dezembro     | 234,98                       | 65,42                          |
| Janeiro      | 234,98                       | 65,42                          |
| Fevereiro    | 212,24                       | 59,09                          |
| Março        | 234,98                       | 65,42                          |
| Abril 2014   | 227,40                       | 63,31                          |
| <b>Total</b> |                              | <b>833,62</b>                  |

Dessa forma, em um ano se teria uma economia de R\$ 833,62 (desconsiderando-se a elevação da tarifa cobrada mensalmente). Lembrando que esta economia se transformará em lucro, quando o sistema estiver totalmente pago.

Se a tarifa de energia fosse mantida constante, sem que houvesse correção monetária (o que faz com que a tarifa sofra uma elevação no seu custo de venda), poderia se calcular o retorno do investimento dividindo-se o custo de instalação do sistema pelo valor economizado anualmente, obtendo-se :

$$Payback\_time = \frac{custo\_do\_investimento}{economia\_monetaria\_anual} \quad (7-6)$$

$$Payback\_time = \frac{17261}{833,62}$$

$$Payback\_time = 20,70anos$$

Pode-se perceber que o retorno de investimento será com pouco mais de 20 anos, o que tornaria a instalação e utilização do sistema pouco viável, visto que a vida útil dos equipamentos está em torno de 25 anos.

Considerando-se o custo da energia nos demais estados brasileiros (verificados no Anexo B), verifica-se que o custo da energia utilizado neste trabalho é um dos mais baixos. Se refizermos os cálculos para outros estados brasileiros, serão verificados tempos de retorno inferiores a 20 anos de investimento. De modo a se ter um custo estimado médio para a energia no território brasileiro, fez-se a média entre o menor valor verificado (R\$ 0,19729 no Amapá) com o maior valor verificado (R\$ 0,47977 no Pará), obtendo-se um valor de R\$ 0,33853.

Ao se analisar a tabela do Anexo B verifica-se que muitos estados têm tarifas próximas a este valor. Sendo assim, a Tabela 7.8, poderia ser reescrita, obtendo-se a Tabela 7.9.

**Tabela 7.9:** Redução monetária média ao longo do território brasileiro.

| <b>Mês</b>   | <b>Potência Gerada [kWh]</b> | <b>Valor Economizado [R\$]</b> |
|--------------|------------------------------|--------------------------------|
| Abril 2013   | 227,40                       | 76,98                          |
| Maio         | 234,98                       | 79,55                          |
| Junho        | 227,40                       | 76,98                          |
| Julho        | 234,98                       | 79,55                          |
| Agosto       | 234,98                       | 79,55                          |
| Setembro     | 227,40                       | 76,98                          |
| Outubro      | 234,98                       | 79,55                          |
| Novembro     | 227,40                       | 76,98                          |
| Dezembro     | 234,98                       | 79,55                          |
| Janeiro      | 234,98                       | 79,55                          |
| Fevereiro    | 212,24                       | 71,85                          |
| Março        | 234,98                       | 79,55                          |
| Abril 2014   | 227,40                       | 76,98                          |
| <b>Total</b> |                              | <b>1.013,59</b>                |

Dessa forma, em um ano se teria uma economia de R\$ 1.013,59 (desconsiderando-se a elevação da tarifa cobrada mensalmente).

Se a tarifa de energia fosse mantida constante, sem que houvesse correção monetária (o que faz com que a tarifa sofra uma elevação no seu custo de venda), poderia se calcular o retorno do investimento dividindo-se o custo de instalação do sistema pelo valor economizado anualmente, obtendo-se :

$$\text{Payback\_time} = \frac{\text{custo\_do\_investimento}}{\text{economia\_monetaria\_anual}} \quad (7-7)$$

$$\text{Payback\_time} = \frac{17261}{1013,59}$$

$$\text{Payback\_time} = 17,03 \text{anos}$$

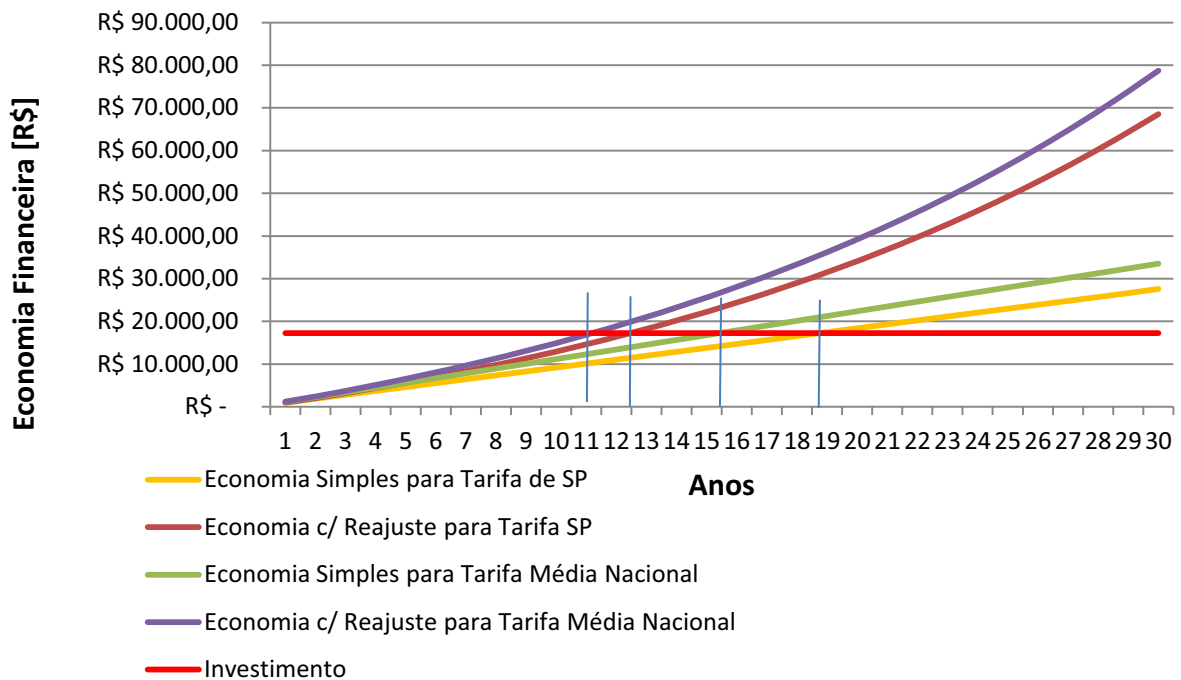
Nota-se que agora o retorno de investimento seria pouco superior a 17 anos.

Agora se fosse considerado um cenário de elevação da tarifa energética no país, seria possível verificar que este tempo de retorno poderia ser ainda menor.

Se fosse considerado uma taxa de inflação da energia elétrica de 5% ao ano e uma taxa de retorno de investimento financeiro (considerando-se que o dinheiro investido no sistema fotovoltaico renderia da mesma maneira que renderia sendo aplicado em uma poupança) de 6% ao ano, teríamos um tempo de retorno de investimento menor do que os obtidos anteriormente.

Para melhor apresentar estes novos tempos de retorno, levantou-se as curvas de economia financeira que estão apresentadas na Figura 7.2. Através da Figura 7.2 pode-se notar que considerando regiões onde a tarifa possui custo superior a tarifa do Estado de São Paulo e um reajuste anual na tarifa de energia elétrica, o tempo de retorno seria próxima de 12 anos.

Ressalta-se que os tempos de *payback* dos casos de economia simples tanto para a tarifa de São Paulo quanto para a média nacional estariam, de fato, um pouco abaixo do que foi calculado nas equações (7-6) e (7-7). Essa diferença justifica-se pelo fato do número de painéis utilizados ser 8 e não 6, como calculado na equação (7-3). Desse modo, o sistema está gerando uma quantidade de energia superior a 7,58kWh, que foram utilizados para os cálculos (7-6) e (7-7).



**Figura 7.2:** Econômica monetária ao longo dos anos.

## 7.2 Sistema Termosolar

Para o estudo dos sistemas termosolares, o modelo de consumo desenvolvido deveria suprir uma demanda de quatro banhos diários com duração máxima de quinze minutos cada.

Para se projetar um sistema termosolar, deve-se levantar o volume de água necessário para suprir a necessidade do consumidor. Desse modo, estimou-se que o consumo de água aquecida será proveniente de quatro banhos diários com duração máxima de quinze minutos, lembrando que a quantidade de banhos pode variar em alguns dias, assim como o tempo médio de cada banho poderá ser menor do que o considerado.

O chuveiro do estudo tem potência de 5500W e vazão de cerca de 6L/min (valores usualmente encontrados no mercado). Desse modo, tem-se um consumo de aproximadamente 90L de água por banho, ou seja, aproximadamente 360L de água aquecida por dia.

Este equacionamento pode ser observado na equação (7-8):

$$Demanda_{Banho} = vazão \times tempo \quad (7-8)$$

$$Demanda_{Banho} = 6 \times 15$$

$$Demanda_{Banho} = 90L$$

$$Demanda_{Diária} = Demanda_{Banho} \times Quantidade_{Banhos}$$

$$Demanda_{Diária} = 90 \times 4$$

$$Demanda_{Diária} = 360L$$

Através da equação 6-3 pode-se calcular o volume do reservatório necessário, onde tem-se :

$$V_{\text{armaz}} = \frac{V_{\text{consumo}} \cdot (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}}} = \frac{0,36 \cdot (37 - 22,35)}{45 - 22,35} = 0,232m^3 \quad (7-9)$$

$$V_{\text{armaz}} = 232L$$

Para se levantar a temperatura ambiente, utilizou-se da base de dados CIIAGRO [83], onde se obteve a média de temperatura para a cidade de Sorocaba no período de um ano, que está apresentada na Tabela 7.10. Afim de obter uma temperatura média anual, fez-se a média de todas as temperaturas médias, obtendo-se assim o valor de 22,35°C

Tem-se que a temperatura ideal para um banho está entre 29 °C e 37 °C, desse modo utilizou-se a temperatura de 37 °C, por ser a temperatura mais extrema a ser utilizada. Com relação a temperatura de armazenamento, tem-se que os painéis fotovoltaicos devidamente instalados tem a capacidade de aquecer a água à temperaturas acima de 45 °C. Desse modo escolheu-se este valor de modo a se ter um cálculo condizente com a realidade do projeto.

**Tabela 7.10:** Temperatura Média da cidade de Sorocaba no período de 14/04/2013 à 14/04/2014

| Mês       | Dias | Temperatura Média Diária | Temperatura Média Diária Máxima | Temperatura Média Diária Mínima |
|-----------|------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Janeiro   | 31   | 22,7                     | 25,8                            | 19,9                            |
| Fevereiro | 28   | 27,5                     | 31,2                            | 23,4                            |
| Março     | 31   | 25,2                     | 28,7                            | 21,9                            |
| Abril     | 30   | 22,7                     | 26,9                            | 19,2                            |
| Mai       | 31   | 20,1                     | 24,1                            | 15,8                            |
| Junho     | 30   | 19,2                     | 21,6                            | 15,9                            |
| Julho     | 31   | 18,2                     | 22,9                            | 9,0                             |
| Agosto    | 31   | 19,3                     | 23,6                            | 12,1                            |
| Setembro  | 30   | 21,6                     | 25,2                            | 14,2                            |
| Outubro   | 31   | 22,3                     | 26,6                            | 17,5                            |
| Novembro  | 30   | 23,8                     | 31,1                            | 18,3                            |
| Dezembro  | 31   | 25,6                     | 29,4                            | 22,0                            |

Como se pode verificar, o reservatório calculado corresponde a cerca de 64% do volume de água necessária para o banho. Usualmente, utilizam-se reservatórios menores do que o volume estimado de consumo em virtude dos coletores aquecerem a água a temperaturas superiores à desejada para o banho, o que faz com que essa água seja "misturada" a água fria, fazendo assim com que apenas uma parte da água aquecida seja utilizada.

Outra razão para se utilizar reservatórios menores consiste no fato dessa água não ser totalmente utilizada, na maioria dos casos, uma vez que esse volume corresponde a 4 banhos que podem não ser tomados simultaneamente ou em sequência, o que dá ao sistema um certo intervalo de tempo para reabastecer e aquecer novamente a água que foi utilizada. Caso esse volume seja utilizado em sua totalidade, ou caso a irradiação solar seja pouca, impedindo assim que a temperatura de armazenamento esteja próxima dos 45 °C, será mais fácil para a resistência interna (*Boyle*) aquecer um volume menor de água do que um grande volume.

Desse modo, mesmo que a resistência precise ser utilizada para aquecer a água, o fato do reservatório apresentar um tamanho menor contribui para uma economia do consumo de energia elétrica.

Em seguida, através da equação (6-1), calcula-se a área coletora necessária para o sistema desejado. No entanto, para se realizar este cálculo deve-se fazer uso de dados adquiridos através de banco de dados de irradiação solar e de informações dos fornecedores/fabricantes de painéis coletores termosolares. Em virtude da maior complexidade destes cálculos, é usual se adotar que cada metro quadrado de área coletora aquece cerca de 100L de água, desde que o painel coletor esteja instalado apontado diretamente para o norte, ou seja, o desvio para o norte seja 0 (zero) [84].

Adotando-se um reservatório de 300L de água, seriam necessários três painéis coletores.

De modo a se realizar os orçamentos com as empresas especializadas em sistemas termosolares, levantou-se os dados necessários do local onde será instalado o sistema, de modo a se verificar se este terá uma boa eficiência. Tais dados estão apresentados na Tabela 7.11.

**Tabela 7.11:** Dados considerados para o projeto do sistema termosolar.

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Demanda Considerada        | 360 L |
| Temperatura Média Desejada | 45 °C |
| Desvio do Norte Geográfico | 18°   |
| Inclinação do Telhado      | 20°   |

Com isso, levantou-se três orçamentos com três empresas diferentes, que serão chamadas de empresa A, B e C. Cada empresa realizou um projeto de instalação dos sistemas de aquecimento, sendo que seus orçamentos serão apresentados na Tabela 7.12.

Tem-se, nos três orçamentos, que a marca dos equipamentos e componentes utilizados por cada uma das empresas é diferente. Todos os orçamentos foram realizados com base em elementos de qualidade, com boa eficiência e certificados pelo INMETRO, no entanto os materiais necessários para instalação (canos de água, cotovelos, junções, entre outras peças hidráulicas) podem alterar o valor destes orçamentos em virtude de serem calculados arbitrariamente.

Como o intuito deste trabalho é o de levantar a economia que o sistema traria no consumo elétrico de uma residência, assim como o tempo de retorno do investimento realizado, adotou-se este valor arbitrário dos kits com material de instalação.

Nota-se, na Tabela 7.12, que o projeto realizado pela empresa A está mais próximo do que foi calculado neste trabalho.

**Tabela 7.12:** Custo do Sistema da Empresa A.

| <b>Componentes do Sistema</b>               | <b>Quantidade</b> | <b>Custo [R\$]</b> |
|---|-------------------|--------------------|
| Coletor Solar                               | 3                 | 3.685              |
| Reservatório 300L para Baixa Pressão        | 1                 |                    |
| Válvula Anti-Congelante                     | 1                 |                    |
| Kit com Material Necessário para Instalação | 1                 | 300                |
| Serviço de Instalação do Sistema Termosolar | 1                 |                    |
| <b>TOTAL</b>                                |                   | <b>3.985</b>       |

Na Tabela 7.13 e Tabela 7.14 nota-se que o reservatório utilizado é de 500L, fazendo com que o sistema esteja super dimensionado, de modo a suprir um consumo maior do que o esperado no momento do projeto.

**Tabela 7.13:** Custo do Sistema da Empresa B.

| <b>Componentes do Sistema</b>               | <b>Quantidade</b> | <b>Custo [R\$]</b> |
|---|-------------------|--------------------|
| Coletor Solar                               | 4                 | 1.520              |
| Reservatório 500L para Baixa Pressão        | 1                 | 1.480              |
| Válvula Anti-Congelante                     | 1                 | 730                |
| Kit com Material Necessário para Instalação | 1                 |                    |
| Serviço de Instalação do Sistema Termosolar | 1                 | 400                |
| <b>TOTAL</b>                                |                   | <b>4.130</b>       |

Esse superdimensionamento pode trazer alguns problemas para a eficiência do sistema, pois caso os painéis não estejam devidamente instalados, tendo assim um bom aproveitamento solar e conseqüentemente, tendo uma boa eficiência de aquecimento da água, o sistema terá de fazer maior uso da resistência interna do reservatório de água. Isso aumentará o consumo elétrico da residência, pois a resistência terá de aquecer uma quantidade maior de água, para que o consumidor faça uso de apenas uma parte dessa.

Deve-se então tomar muito cuidado durante a escolha do sistema que será instalado, pois embora a diferença de valor entre os orçamentos das empresas seja pequena, corre-se o risco do custo final, com os sistemas instalados pelas empresas B e C, possa se tornar elevado ao longo dos anos em virtude dessa maior quantidade de água que deve ser aquecida e que pode não estar sendo totalmente utilizada.

Na Tabela 7.14 nota-se que o reservatório utilizado possui capacidade igual ao do orçamento da empresa B. No entanto, vê-se que diferentemente da empresa B, este orçamento faz uso de apenas três coletores solares. Desse modo, deve-se verificar a eficiência deste sistema, pois caso esta não seja elevada, o sistema fornecido pela empresa C poderá trazer um aumento no consumo elétrico da residência, ao invés de trazer a redução do mesmo.



**Tabela 7.14:** Custo do Sistema da Empresa C.

| <b>Componentes do Sistema</b>               | <b>Quantidade</b> | <b>Custo [R\$]</b> |
|---|-------------------|--------------------|
| Coletor Solar                               | 3                 | 1.653              |
| Reservatório 500L para Baixa Pressão        | 1                 | 1.606              |
| Válvula Anti-Congelante                     | 1                 | 156                |
| Kit com Material Necessário para Instalação | 1                 | 987                |
| Serviço de Instalação do Sistema Termosolar | 1                 | 400                |
| <b>TOTAL</b>                                |                   | <b>4.802</b>       |

Apresentados os orçamentos e fazendo-se a média entre os valores deles, obtêm-se o valor médio de R\$4.305,67, para a instalação de um sistema termosolar de baixa pressão.

Como a residência modelo possui chuveiro de 5500 W, que será utilizado diariamente por um período aproximado de uma hora (referentes a quatro banhos de quinze minutos), teríamos que o consumo diário de energia, seria de 5500 Wh.

Para obter o consumo mensal gerado por este chuveiro, levantou-se a

**Tabela 7.15:** Consumo mensal de energia através de chuveiro elétrico.

| <b>Mês</b>         | <b>Número de Dias</b> | <b>Consumo Elétrico [kWh]</b> |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Janeiro            | 31                    | 170,5                         |
| Fevereiro          | 28                    | 154                           |
| Março              | 31                    | 170,5                         |
| Abril              | 30                    | 165                           |
| Maio               | 31                    | 170,5                         |
| Junho              | 30                    | 165                           |
| Julho              | 31                    | 170,5                         |
| Agosto             | 31                    | 170,5                         |
| Setembro           | 30                    | 165                           |
| Outubro            | 31                    | 170,5                         |
| Novembro           | 30                    | 165                           |
| Dezembro           | 31                    | 170,5                         |
| <b>Total Anual</b> |                       | <b>2.007,5 kWh</b>            |

Deve-se ressaltar que o consumo do chuveiro aqui apresentado é um valor estipulado para o pior cenário de consumo. Desse modo este não representa totalmente o consumo elétrico real da casa, como se pode verificar na Tabela 7.1, onde se verifica valores muito próximos aos do consumo elétrico estipulado para o chuveiro.

Como se deseja caracterizar a economia que o sistema de aquecimento solar traria ao consumidor, procurou-se detalhar a conta de energia elétrica de forma mais minuciosa, de maneira semelhante a realizada no tópico 7.1 deste capítulo.

Inicialmente, será considerado apenas o valor cobrado sobre o consumo de energia elétrica, ou seja, o custo sobre cada kWh de consumo.

Para se calcular a eficiência total do equipamento, deve-se calcular a fração solar do sistema, pois esta considera dados como a radiação solar global no plano do coletor, radiação

solar média anual, temperatura média anual do local onde os coletores serão instalados, altitude, latitude, emitância da superfície do local onde serão instalados os coletores (considerando-se o tipo de material do telhado ou tipo de solo), inclinação do telhado, desvio do norte, consumo elétrico residencial, volume de água consumido, área do coletor, quantidade de coletores utilizados, índice de absorção, índice de perdas de energia por parte do coletor, além das características construtivas de cada componente que compõe o sistema termosolar [85].

Com essa fração solar, obtêm-se a eficiência solar total do sistema e com isso pode-se obter a quantidade de energia elétrica que será economizada fazendo-se uso deste sistema.

Devido a complexidade em se obter todos estes dados necessários para o cálculo da fração solar, utilizou-se a tabela do INMETRO, pois esta traz informações relevantes de eficiência e de produção média anual para os inúmeros coletores solares existentes e que são certificados pelo INMETRO.

Devido ao tamanho da tabela, apresentou-se (no ANEXO C) apenas a parte referente as informações do coletor utilizado neste estudo de casos. Nota-se que o coletor TRANSSSEN ITAPUÃ V 1.7 tem uma produção média mensal de energia de 133,4 kWh. Como serão utilizados 3 coletores, haveria uma produção média mensal de energia de 400,2 kWh, totalizando uma produção média anual de 4.802,4 kWh. O equacionamento pode ser visto na equação (7-10):

$$Produção\_média_{Total} = Produção\_média_{Mensal} \times número\_módulos \quad (7-10)$$

$$Produção\_média_{Total} = 133,4 \times 3$$

$$Produção\_média_{Total} = 400,2 kWh$$

$$Produção\_média_{Anual} = Produção\_média_{Total} \times número\_meses$$

$$Produção\_média_{Anual} = 400,2 \times 12$$

$$Produção\_média_{Anual} = 4.802,4 kWh$$

Considerando-se a eficiência apresentada na tabela do Anexo C, que é de 54,8%, a produção média anual passaria de 4802,4 kWh para 2631,72 kWh, como pode se verificar na equação (7-11):

$$Produção\_média = Produção\_média_{Anual} \times eficiência \quad (7-11)$$

$$Produção\_média = 4.802,4 \times 0,548$$

$$Produção\_média = 2.631,72 kWh$$

Lembrando-se que este valor é aproximado, pois é obtido através das condições ideais de funcionamento do coletor, ou seja, não se considerando os fatores de instalação do coletor solar tais como inclinação, desvio, radiação solar, entre outros.

Multiplicando-se essa produção média anual de 2.631,72 kWh pelo custo de R\$ 0,27824 nota-se que em um ano se teria uma economia de R\$ 732,25, como se pode verificar na equação (7-12):

$$Economia = Produção \_ média_{Mensal} \times custo \_ energia \quad (7-12)$$

$$Economia = 2.631,72 \times 0,27824$$

$$Economia = R\$732,25$$

Dividindo-se o custo de instalação do sistema pelo valor economizado ao longo de um ano, como se pode verificar na equação (7-13), projeta-se um retorno de cerca de 5,88 anos do investimento realizado, o que é um tempo considerável visto que a garantia dos equipamentos que compõem o sistema possuem 10 anos.

$$Payback = \frac{Custo_{Investimento}}{Economia} \quad (7-13)$$

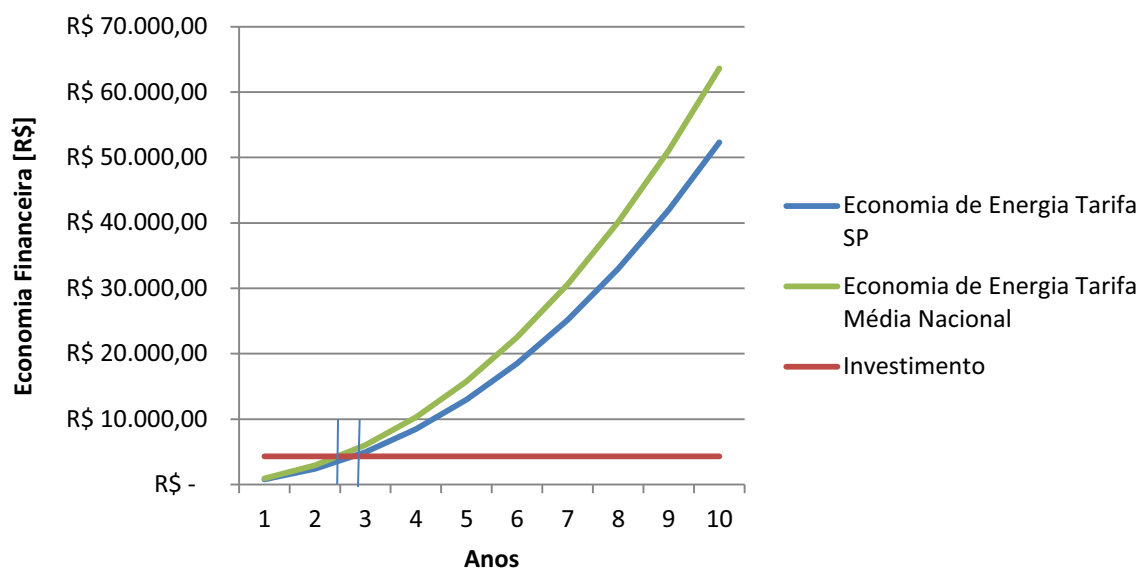
$$Payback = \frac{4.305,67}{732,25}$$

$$Payback = 5,88anos$$

De maneira semelhante a realizada durante o estudo dos sistemas fotovoltaicos, agora será considerado um cenário mais próximo da realidade. Desse modo, será considerada a taxa de reajuste financeiro da tarifa de eletricidade (que é estimada em 5% ao ano) além da taxa de aplicação do dinheiro (que é estimada em 6% ao ano) que é economizado através da utilização do sistema termosolar.

Com esses dados, levantou-se a curva de economia, apresentada na Figura 7.3, onde se pode verificar que se o sistema termosolar fosse instalado no Estado de São Paulo, teria um tempo de retorno pouco superior a 3 anos (devido a utilização da tarifa de R\$ 0,27824 por kWh para a projeção levantada).

Caso fosse utilizada a tarifa média de R\$ 0,33853 por kWh, este tempo de retorno seria pouco inferior a 3 anos, como pode-se verificar na Figura 7.3.



**Figura 7.3:** Economia financeira através de sistema termosolar.

### 7.3 Conclusões

Através da análise realizada, pode-se verificar que embora os sistemas fotovoltaicos apresentem inúmeros benefícios para a matriz energética nacional, seu custo de instalação ainda é relativamente elevado, o que faz com que o tempo de retorno do investimento seja considerável.

Embora o sistema fotovoltaico seja viável no Estado de São Paulo e em muitos outros Estados brasileiros, acredita-se que uma grande parcela da população não apresenta poder aquisitivo para fazer uso destes sistemas, sem linhas de financiamento específicas e/ou isenções fiscais adequadas, o que pode inviabilizar a instalação massiva por grande parte da população nacional.

Já com relação aos sistemas termosolares, o tempo de retorno é sensivelmente menor do que o de sistemas fotovoltaicos, o que faz com que estes sistemas sejam mais utilizados nas residências brasileiras. No entanto, deve-se lembrar que grande parte da população ainda não possui a capacidade financeira de instalar tais sistemas, o que também indica para a necessidade de linhas de crédito ou isenção fiscal, bem como normativas que levem a obrigatoriedade dos mesmos.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da realidade nacional, que possui um grande potencial solar, não se pode deixar de lado o uso dessa fonte limpa e renovável de energia. Enquanto o país necessita de energia para crescer e se desenvolver, faz-se necessário olhar para o território brasileiro e identificar os recursos que podem ser melhor aproveitados, de forma limpa e renovável.

Embora o Brasil ainda esteja bem atrasado na utilização de sistemas fotovoltaicos, verifica-se que graças às resoluções 482 e 502 da ANEEL, o país começou a caminhar rumo à utilização destes sistemas de geração de energia elétrica.

Como se pôde verificar no Capítulo 5, os sistemas fotovoltaicos possuem um custo considerável de instalação, o que faz com que seu tempo de retorno do investimento seja superior a 11 anos no estado de São Paulo. Embora este tempo de retorno seja aceitável em função da vida útil dos equipamentos, acredita-se que a maior parcela da população não tem poder aquisitivo para instalação deste tipo de sistema de geração de energia elétrica, sem qualquer tipo de incentivo (isenção fiscal, financiamento, etc.).

Se houvesse um incentivo financeiro por parte do governo, os investimentos necessários por parte dos consumidores seriam menores. Desse modo, ter-se-ia um menor tempo de retorno do investimento, o que permitiria que este sistema se tornasse mais acessível e com isso, passasse a ser utilizado por uma maior parcela da população brasileira.

Portanto, conclui-se que os incentivos públicos através de redução de tarifas, normas, projetos de lei ou financiamentos com longos prazos de carência e/ou amortização, juntamente com uma mudança de consciência da população, fariam com que mais sistemas fotovoltaicos e termosolares fossem instalados.

Ressalta-se ainda a importância de uma conscientização mais efetiva da sociedade, de modo que esta entenda a importância da utilização de sistemas fotovoltaicos e termosolares, seja para o meio ambiente, seja para a economia (familiar e empresarial) em médio e longo prazo.

Do ponto de vista tecnológico, constata-se que embora todos os dispositivos necessários à instalação de sistemas fotovoltaicos ou termosolares estejam disponíveis comercialmente no Brasil, muitos deles ainda são importados, especialmente no caso de sistemas fotovoltaicos. Daí a necessidade de planejamento e investimentos governamentais e privados em pesquisa e desenvolvimento nas áreas correlatas.



## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MARQUES, J. **Turbinas Eólicas: Modelo, Análise e Controle do Gerador de Indução com Dupla Alimentação**. 2004. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- [2] DUARTE, R. S. M. **Transição Energética: As Escolhas Governamentais no Brasil e no Mundo para o Planejamento Energético no Contexto das Mudanças Climáticas e Aquecimento Global**. 2013. 59p. Monografia (Bacharelado em Ciência Política) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- [3] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Indicadores de Energia no Mundo**. Disponível em: <  
[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/boletins\\_de\\_energia/boletins\\_atuais/25\\_-\\_Energia\\_no\\_Mundo\\_-\\_OIEx\\_OIEE\\_e\\_Indicadores\\_-\\_Arquivo\\_Excel.xls](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/boletins_de_energia/boletins_atuais/25_-_Energia_no_Mundo_-_OIEx_OIEE_e_Indicadores_-_Arquivo_Excel.xls) > Acesso em: 22 nov 2013.
- [4] YAN, H. ; ZHOU, Z e LU, H. Photovoltaic industry and market investigation. **International Conference on Sustainable Power Generation and Supply**, Nanjing, IEEE, p. 1-4, apr. 2009.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <  
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp?>>. Acesso em: 27 julho 2014.
- [6] CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Matriz Energética e Emissão de Gases de Efeito Estufa**. Brasília, 2008. 34p.
- [7] SWERA. **Solar Irradiation**. Renewable Energy Data Exploration. Disponível em: <  
<http://en.openei.org/apps/SWERA/>>. Acesso em: 31 outubro 2013.
- [8] PEREIRA, C. D. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia**. v. 2. Florianópolis: LabEEE, 2010. p. 17-19.
- [9] MME, Ministério de Minas e Energia. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas) 2004-2014**. Brasília, 2014.
- [10] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n.º 482: estabelece as condições gerais para acesso, sistema de compensação, outras providências**. 2012. 5p.
- [11] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n.º 502: sistemas de medição**. 2012. 3p.
- [12] COGEN, Associação da Indústria de Cogeração de Energia. **Inserção da Energia Solar no Brasil**. São Paulo, 2012. 79p.
- [13] TIMBUS, A. **Grid monitoring and advanced control of distributed power generation systems**. 2007. 234p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia, Ciência e Medicina, Aalborg University, Denmark, 2007.
- [14] SILVA, H. G. e AFONSO M. **Energia Solar Fotovoltaica: Contributo para um Roadmapping do seu Desenvolvimento Tecnológico**. 2009. 55p. Trabalho realizado em disciplina do curso de Mestrado em Engenharia Elétrica - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2009.

- [15] VARELLA, F. K. d. O. M. **Estimativa do Índice de Nacionalização dos sistemas Fotovoltaicos no Brasil**. 2009. 148p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- [16] HAAS, R; SUNA, D; POLO, A. L. An international comparison of market drivers for grid connected PV systems. **21st European Photovoltaic Solar Energy Conference**, Germany, p. 2979-2988, sept. 2006.
- [17] ALEMANHA. Germany's 100,000 Roof Photovoltaic Programme, 1 January 1999. Aim to create a total energy-generating capacity of 300 MW within six years.
- [18] International Energy Agency. PVPS Annual Report 2006. IEA, 2006. 121p.
- [19] Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Propostas para Inserção solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. ABINEE, 2012. 176p.
- [20] CAVALIERO, C. K. N. **Mecanismos Regulatórios para Geração de Energia Elétrica à Partir de Fontes Renováveis Alternativas de Energia**. 2004. 284p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- [21] ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA FOTOVOLTAICA. Solar Generation V - Electricidad Solar para Más de Mil Millones de Personas y dos Millones de Puestos de Trabajo para el Año 2020. Greenpeace International, 2008. 76p.
- [22] ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA FOTOVOLTAICA. Hacia Un Suministro Sostenible de Electricidad: La Energía Solar Fotovoltaica en Españã. Madri, 2008. 66p.
- [23] International Energy Agency. PVPS Photovoltaic Power Systems Programme: Report a Snapshot of Global PV 1992-2012. IEA, 2013. 12p.
- [24] RUTHER, R. Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e o Trabalho do LABSOLAR nesta Área- Fontes Não Convencionais de Energia: As Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa. Florianópolis: CNI / SEBRAE, 1998, v. 1, p. 9-26.
- [25] TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: CENERGIA, COPPE-Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação em Engenharia, UFRJ-Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003. 515p.
- [26] BRASIL. Projeto de Lei n. 1859, de 13 de julho de 2011. Dispõe sobre incentivos à utilização da energia solar e dá nova redação ao artigo 82 da Lei n. 11.977, de 7 de julho de 2009. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=512620>>. Acesso em: 20 jun. 2013.
- [27] LEIAJA.COM. **Primeiro leilão de energia solar no país é realizado em PE**. Disponível em: <<http://pernambuco.ig.com.br/noticias/2013/12/27/primeiro-leilao-de-energia-solar-no-pais-e-realizado-em-pe/>>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- [28] CORREIO BRAZILIENSE. **Mais de 183 mil casas do Minha Casa Minha Vida têm aquecimento solar**. Lugar Certo.com.br. Disponível em: <[http://correio braziliense.lugarcerto.com.br/app/noticia/ultimas/2013/09/25/interna\\_ultimas,47415/mais-de-183-mil-casas-do-minha-casa-minha-vida-tem-aquecimento-solar.shtml](http://correio braziliense.lugarcerto.com.br/app/noticia/ultimas/2013/09/25/interna_ultimas,47415/mais-de-183-mil-casas-do-minha-casa-minha-vida-tem-aquecimento-solar.shtml)>. Acesso em: 19 out. 2013.



- [29] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Outlook 2013**. International Energy Agency, 2013. 312p.
- [30] TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 249-260, jan. 2012.
- [31] AHMED, S. et al. Renewables 2011. Global Status Report. Paris: REN21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**. Disponível em: <[www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/GSR2011\\_Master18.pdf](http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/GSR2011_Master18.pdf)>, 2011.
- [32] BRASIL. Projeto de Lei n. 630, 2003. Altera o art. 1º da Lei nº8.001, de 13 de março de 1990. Constitui fundo especial para financiar pesquisas e fomentar a produção de energia elétrica e térmica a partir da energia solar e da energia eólica, e dá outras providências.
- [33] BRASIL. Lei n. 10438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE).
- [34] BRASIL. Lei n. 10847, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética -EPE e dá outras providências.
- [35] BRASIL. Lei n. 10848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis n. 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997.
- [36] BRASIL. Decreto nº 5163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.
- [37] BRASIL. Decreto n. 5175, de 9 de agosto de 2004. Constitui o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE de que trata o art. 14 da Lei no 10.848, de 15 de março de 2004.
- [38] BRASIL. Decreto n. 5177, de 12 de agosto de 2004. Regulamenta os arts. 4º e 5º da Lei n. 10.848, de 15 de março de 2004, e dispõe sobre a organização, as atribuições e o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE.
- [39] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Autorizativa n.º 328**: aprova o estatuto do operador nacional do sistema elétrico - ONS. 2004. 18p.
- [40] BRASIL. Decreto n. 5184, de 16 de agosto de 2004. Cria a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, aprova seu Estatuto Social e dá outras providências.
- [41] BRASIL. Decreto n. 5879, de 22 de agosto de 2006. Regulamenta o inciso III do art. 4º da Lei n. 9.991, de 24 de julho de 2000, que dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias e permissionárias.
- [42] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n.º 247**: estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual à 500kW e dá outras providências. 2006. 6p.

- [43] BRASIL. Lei n. 11488, de 15 de Junho de 2007. Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infra-Estrutura - REIDI.
- [44] SÃO PAULO. (Estado). Decreto n. 49148, de 21 de Janeiro de 2008. Regulamenta a Lei n.º 14.459, de 3 de julho de 2007, que acrescenta o item 9.3.5 à Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei nº 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações), e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo.
- [45] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agenda Ambiental na Administração Pública - A3P. Brasília, 2008. 100p.
- [46] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n.º 390:** estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes alternativas de energia, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e dá outras providências. 2009. 11p.
- [47] BRASIL, Lei n. 9074, de 7 de julho 1995. Estabelece Normas para Outorga e Prorrogações das Concessões e Permissões de Serviços Públicos e da Outras Providencias.
- [48] BRASIL, Lei n. 2003, de 10 de setembro 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências.
- [49] BRASIL, Lei n. 9427, de 26 dezembro 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.
- [50] BRASIL, Decreto n. 2655, de 2 de julho de 1998. Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico, de que trata a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e dá outras providências.
- [51] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n.º 112:** estabelece os requisitos necessários à obtenção de registro ou autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia. 1999. 8p.
- [52] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n.º 281:** estabelece as condições gerais de contratação do acesso, compreendendo o uso e a conexão aos sistemas de transmissão de energia elétrica. 1999. 10p.
- [53] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n.º 371:** regulamenta a contratação e comercialização de reserva de capacidade por autoprodutor ou produtor independente, para atendimento a unidade consumidora diretamente conectada às suas instalações de geração. 1999. 4p.
- [54] BRASIL. Decreto n. 49148, de 21 de janeiro de 2008. Regulamenta a Lei n.º 14.459, de 3 de julho de 2007, que acrescenta o item 9.3.5 à Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei nº 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações), e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo.
- [55] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **International Standard 60364-7-712:** requirements for special installations or locations - solar photovoltaic power supply systems. 2002. 6p.

- [56] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **International Standard. 62109-1**: general requirements. 2010. 14p.
- [57] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **International Standard. 62109-2**: particular requirements for inverters. 2011. 16p.
- [58] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 928-1986**: recommended criteria for terrestrial photovoltaic power systems. 1984. 15p.
- [59] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 929-1988**: recommended practice for utility interface of photovoltaic systems. 1986. 32p.
- [60] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 1374-1998**: guide for terrestrial photovoltaic power system safety. 1998. 64p.
- [61] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 1562-2007**: guide for array and battery sizing in stand-alone photovoltaic systems. 2008. 34p.
- [62] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 1547.2-2008**: standard for interconnecting distributed resources with electric power systems. 2009. 219p.
- [63] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11704:2008**: classificação de sistemas fotovoltaicos. 2008. 4p.
- [64] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569:2008**: projeto e instalação de sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto. 2008. 36p.
- [65] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15747-1:2009**: sistemas solares térmicos e seus componentes- Coletores. 2009. 11p.
- [66] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15747-2:2009**: métodos de ensaio de sistemas solares térmicos e seus componentes. 2009. 122p.
- [67] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11876:2010**: especificações de módulos fotovoltaicos . 2010. 11p.
- [68] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 62116:2012**: procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 2012. 21p.
- [69] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16149:2013**: características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição de sistemas fotovoltaicos. 2014. 12p.
- [70] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16150:2013**: sistemas fotovoltaicos - características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição e procedimento de ensaio de conformidade. 2013. 24p.
- [71] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16274:2014**: requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. 2014. 52p.
- [72] MARAFÃO, F. P.; PAREDES, H. K. M.; COSTABEBER, A. e BRANDÃO, D. I. Inverter control strategy for DC systems based on the conservative power theory. **Energy Conversion Congress and Exposition**, Denver, IEEE, p. 3283-3290, sept. 2013

- [73] BLUE SOL EDUCACIONAL. **Introdução a Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica**. Ribeirão Preto, [20--]. 114p.
- [74] PRIEB, C. W. M. **Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos**. 2002. 67p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- [75] VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2012. 224p.
- [76] GUIMARÃES, R. A. e GONÇALVES, R. C. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Análise do Panorama Mundial e Brasileiro**. 2012. 170p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- [77] ASSAIFE, B. M. **Aterramento e Proteção de Sistemas Fotovoltaicos**. 2013. 41p. Trabalho de Conclusão de Curso ( Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.
- [78] ALMEIDA, M. P. **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. 2012. 173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- [79] PROGRAMA DE INCENTIVO À MODERNIZAÇÃO DA ECONOMIA. **Guia para Instaladores de Coletores Solares**. Lisboa, 2004. 39p.
- [80] CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO. **Potencial Energético Solar SunData**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>>. Acesso em: 5 jun. 2014.
- [81] L&F COMÉRCIO, PROJETOS E CONSULTORIA LTDA. **Minha Casa Solar**. Disponível em: <<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/sistema/home.asp?IDLoja=14743>>. Acesso em: 10 ago. 2014.
- [82] GRANDE, A. A. D. **Sistemas Fotovoltaicos para Geração de Energia Elétrica**. 2013. 88p. Trabalho de Conclusão de Curso ( Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- [83] CIIAGRO. **Temperatura Média Mensal**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QTmedPeriodo.asp>>. Acesso em: 14 abr. 2014.
- [84] RODRIGUES, D.; MATAJS, R. **Um banho de sol para o Brasil**, São Paulo: Vitae Civillis, 2004. p. 16-34

## ANEXO A - ESPECIFICAÇÕES DOS MÓDULOS E INVERSORES

Valores levantados em Condições Padrões de Teste (CPT : Irradiação de 1000W / m<sup>2</sup>, Espectro de Massa de Ar 1.5 e Temperatura de Célula de 25°C)

### Painel Solar Fotovoltaico Policristalino de 240W Solar Leading – SL6P60-240W

R\$ 989,00

## Mono 235-250W

### Features

-  **High module conversion efficiency**  
(Up to 15.56 %), through superior cell technology and rigorous quality control.
-  **Positive tolerance**  
Guaranteed positive tolerance from 0 to 10mm.
-  **Splendid appearance**  
Meticulous systemized appearance control meeting the highest quality regulatory standards.
-  **Low PID rate**  
Minimizing potential induced degradation rate with high glass transmission, low interconnect transmission loss and high EVA absorption rate.
-  **Smart auto-recognition of weak light performance.**  
Smart light auto-recognition under the condition of low irradiance and hazy light (mornings, evenings and cloudy days).
-  **Steady resistance to strong hailstone, wind and snow loads.**  
Special frame construction certified to ensure high wind loads (2400 Pascal) and hailstone, snow loads (5400 Pascal).
-  **Solar Leading sorting standards.**  
All Solar Leading modules sorted and packaged by power reducing mismatch losses of up to 3%.
-  **Certified manufacturing facility.**  
Manufacturing facility certified by TÜV Rheinland to ISO 9001:2008, ISO 14001:2004.



Certifications and standards:  
IEC 61215, IEC 61730, conformity to CE



SOLAR LEADING

### Warranty

10 years material and workmanship warranty.  
12 years warranty on 90% of nominal power output.  
25 years warranty on 80% of nominal power output.

### Packing Configuration

| Module Size (mm) | Packing Size (mm) | Packing Type                            |
|------------------|-------------------|---|
| 1640*1021*50     |                   |   |
| 1690*1030*110    |                   | 2 Pcs/Ctn, 17 Ctns/Pallet, 204 Pcs/20GP |
| 1690*1030*160    |                   | 2 Pcs/Ctn, 17 Ctns/Pallet, 204 Pcs/20GP |
| 1690*1030*1120   |                   | 15 Pcs/Ctn, 390 Pcs/40GP                |
|                  |                   | 20 Pcs/Ctn, 520 Pcs/40HQ                |



Special designed drainage holes and rigid construction steadily prevent frame from freezing and warping.



IP67 rated junction box and high performance connectors certified as IEC 61215 improve module performance effectively by minimizing the interconnected transmission output loss.

### Electrical Specifications

Electrical Specifications at STC (1000w/m<sup>2</sup>, AM1.5, cell temperature 25°C)

| Type                  |                | SL6-60-235 | SL6-60-240 | SL6-60-245 | SL6-60-250 |
|-----------------------|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Max. Power            | $P_{max}$ (Wp) | 235        | 240        | 245        | 250        |
| Max.Power Voltage     | $U_{mp}$ (V)   | 29.7       | 30.0       | 30.1       | 30.2       |
| Max.Power Current     | $I_{mp}$ (A)   | 7.92       | 8.00       | 8.14       | 8.28       |
| Open-Circuit Voltage  | $V_{oc}$ (V)   | 35.9       | 36.0       | 36.1       | 36.2       |
| Short-Circuit Current | $I_{sc}$ (A)   | 8.62       | 8.71       | 8.82       | 8.91       |
| Cell Efficiency       | (%)            | ≥16.90     | ≥17.26     | ≥17.62     | ≥17.99     |
| Module Efficiency     | (%)            | ≥14.36     | ≥14.66     | ≥14.97     | ≥15.27     |
| FF                    | (%)            | 76.0       | 76.5       | 77.0       | 77.5       |

### Mechanical Properties

|                  |  |
|------------------|--|
| Frame            | Aluminium anodized, screwed design   |
| Dimensions       | 1640*992*50mm (156*156 mm cell)  |
| Weight           | 19.5 kg  |
| Front Cover      | 3.2 mm ultra clear, low iron tempered glass, with high light transmittance |
| Backside Cover   | TPT  |
| Cells per Module | 60 pcs   |
| Cell Type        | Monocrystalline 156*156 mm   |

### System Integration

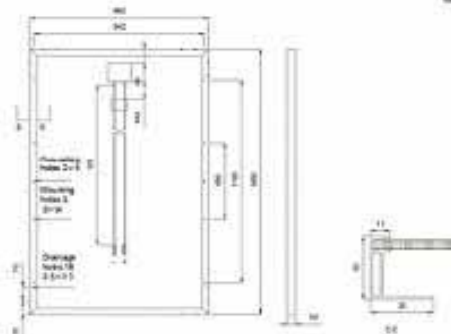
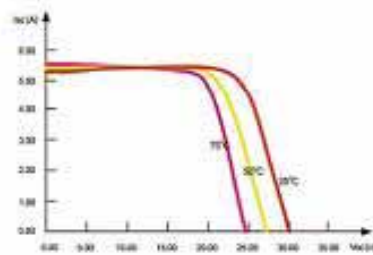
|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Class of Usage (IEC 61730)      | A   |
| Fire Rating (IEC 61730)         | C   |
| Tolerance Range (%)             | D to 10Watt                               |
| Max. Series Fuse                | 15 A                                      |
| Cable (TUV Checked)             | 2 * 900 mm, 4mm <sup>2</sup>              |
| Type of Connector (TUV Checked) | MC4 Compatible                            |
| Junction Box (TUV Checked)      | IP 67, 6 Bypass Diodes                    |
| Allowable Hal Load              | 242 steel ball fallen down from 1m height |
| Max. Systems Voltage (DC)       | 1000 V (IEC)                              |

### Thermal Characteristics

|  |             |
|--|-------------|
| Normal Operating Cell Temp. (NOCT)     | 47°C (+2°C) |
| Temp. Coefficient Voltage ( $V_{oc}$ ) | -0.35%/°C   |
| Temp. Coefficient Current ( $I_{sc}$ ) | +0.04%/°C   |
| Temp. Coefficient Power (Pm)           | -0.48%/°C   |

SOLAR LEADING

I-V CURVES OF PV MODULE XTH6-60 AT VARIOUS CELL TEMPERATURES



13080021

## Painel Solar Fotovoltaico Policristalino de 245W Kyocera Solar – KD245GH-4FB2

R\$ 1.075,00



# KD245GH-4FB

### CUTTING EDGE TECHNOLOGY

As a pioneer with over 37 years in the solar energy industry, Kyocera demonstrates leadership in the development of solar energy products. Kyocera's Kaizen Philosophy, commitment to continuous improvement, is shown by repeated achievement of world record cell efficiencies, supported by proven field performance.

### QUALITY & SAFETY BUILT IN

- Manufactured in our own production plants using a fully automated and integrated production process
- UV stabilized, aesthetically pleasing black anodized frame
- Easily accessible grounding points on all four corners for fast installation
- Proven junction box technology with encapsulation
- Pre-configured with connection wires and SMK plug connectors
- Frame reinforced on back side with two cross struts for added strength and durability
- Passed TUV surface load testing to 5400N/m<sup>2</sup>

### PROVEN RELIABILITY

- First module manufacturer to pass rigorous Long-Term Sequential Test performed by TÜV Rheinland
- Proven superior field performance with more than 25 years of field data from a number of real world operating systems
- Tight power tolerance
- Confirmed as Potential Induced Degradation (PID) resistant by Fraunhofer CSP Testing, with zero degradation



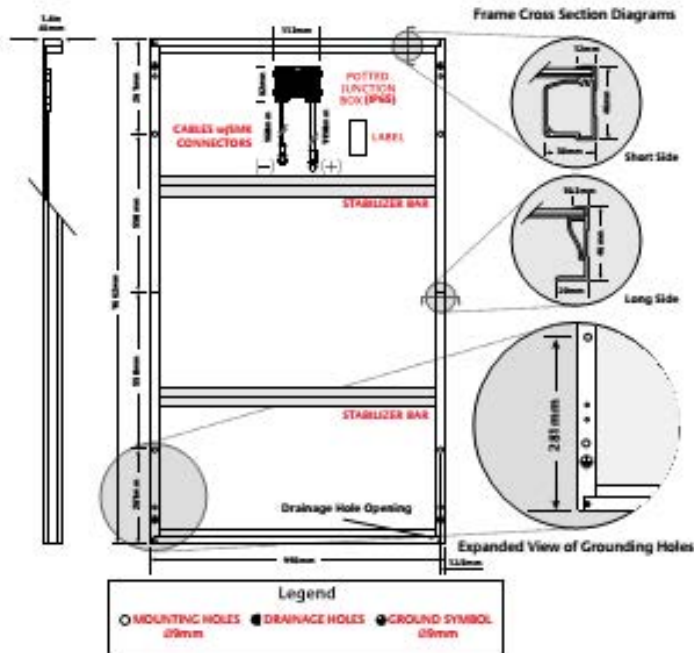
### QUALIFICATIONS AND CERTIFICATIONS



IEC 61215 ed.2 IEC 61730 and Application Class A  
IEC 61701 (Salt Mist Corrosion Testing)  
TUVdoCom-ID: 0000023299

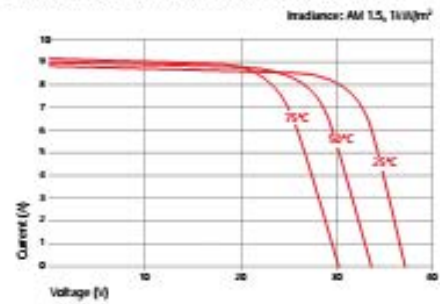
Kyocera is ISO 9001 and ISO 14001 certified and registered

## SPECIFICATIONS

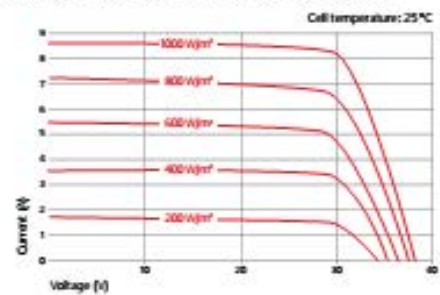


## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics at various cell temperatures



Current-Voltage characteristics at various irradiance levels



## ELECTRICAL PERFORMANCE

### At 1000 W/m² (STC)\*

|                                    |      |   |
|------------------------------------|------|---|
| Maximum Power                      | 245  | W |
| Maximum Power Voltage ( $V_{mp}$ ) | 29.8 | V |
| Maximum Power Current ( $I_{mp}$ ) | 8.23 | A |
| Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )  | 36.9 | A |
| Short Circuit Current ( $I_{sc}$ ) | 8.91 | A |
| Efficiency                         | 14.8 | % |

### At 800 W/m² (NOCT)\*\*

|                                    |      |    |
|------------------------------------|------|----|
| Maximum Power                      | 176  | W  |
| Maximum Power Voltage ( $V_{mp}$ ) | 26.8 | V  |
| Maximum Power Current ( $I_{mp}$ ) | 6.58 | A  |
| Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )  | 33.7 | A  |
| Short Circuit Current ( $I_{sc}$ ) | 7.21 | A  |
| NOCT                               | 45   | °C |

### Other Electrical Characteristics

|   |       |     |
|---|-------|-----|
| Power Tolerance                         | +5/-3 | %   |
| Maximum System Voltage                  | 1000  | V   |
| Maximum Reverse Current                 | 15    | A   |
| Series Fuse Rating                      | 15    | A   |
| Temperature Coefficient of ( $V_{oc}$ ) | -0.36 | %/C |
| Temperature Coefficient of ( $I_{sc}$ ) | 0.06  | %/C |
| Temperature Coefficient of Max. Power   | -0.46 | %/C |

## MODULE CHARACTERISTICS

### Dimensions

|                                |                  |    |
|--------------------------------|------------------|----|
| Length                         | 1662 (±2.5)      | mm |
| Width                          | 990 (±2.5)       | mm |
| Depth (Including Junction Box) | 46               | mm |
| Weight                         | 21               | kg |
| Cable                          | (+)1190 / (-)960 | mm |
| Connection Type                | PV-03 (5MM)      |    |
| Junction Box                   | 113 x 82 x 15    | mm |
| Number of Bypass Diodes        | 3                |    |
| IP Code                        | IP65             |    |

### Cells

|                          |                   |    |
|--------------------------|-------------------|----|
| Cell Per Module          | 60                |    |
| Cell Technology          | multi-crystalline |    |
| Cell Dimensions (Square) | 156 x 156         | mm |
| Cell Bonding             | 3 busbar          |    |

\* Electrical values under standard test conditions (STC) = irradiance of 1000 W/m², air mass AM 1.5, and cell temperature of 25°C.

\*\* Electrical values under normal operating test conditions (NOCT) = irradiance of 800 W/m², air mass AM 1.5, wind speed of 1m/s, and ambient temperature of 20°C.

KYOCERA reserves the right to modify these specifications without notice.



## Painel Solar Fotovoltaico Policristalino de 250W Kyocera Solar – KD250GH-4FB2

R\$ 1.095,00



# KD250GH-4FB2

### CUTTING EDGE TECHNOLOGY

As a pioneer with over 38 years in the solar energy industry, Kyocera demonstrates leadership in the development of solar energy products. Kyocera's Kaizen Philosophy, commitment to continuous improvement, is shown by repeated achievement of world record cell efficiencies, supported by proven field performance.

### QUALITY & SAFETY BUILT IN

- Manufactured in our own production plants using a fully automated and integrated production process
- UV stabilized, aesthetically pleasing black anodized frame
- Easily accessible grounding points on all four corners for fast installation
- Proven junction box technology with encapsulation
- Pre-configured with connection wires and SMK plug connectors
- Frame reinforced on back side with two cross struts for added strength and durability
- Passed TUV surface load testing to 5400N/m<sup>2</sup>

### PROVEN RELIABILITY

- First module manufacturer to pass rigorous Long-Term Sequential Test performed by TÜV Rheinland
- Proven superior field performance with more than 25 years of field data from a number of real world operating systems
- Confirmed as Potential Induced Degradation (PID) resistant by Fraunhofer CSP Testing, with zero degradation



### WARRANTY

- Kyocera standard 25 year power output warranty
- 10 year workmanship warranty



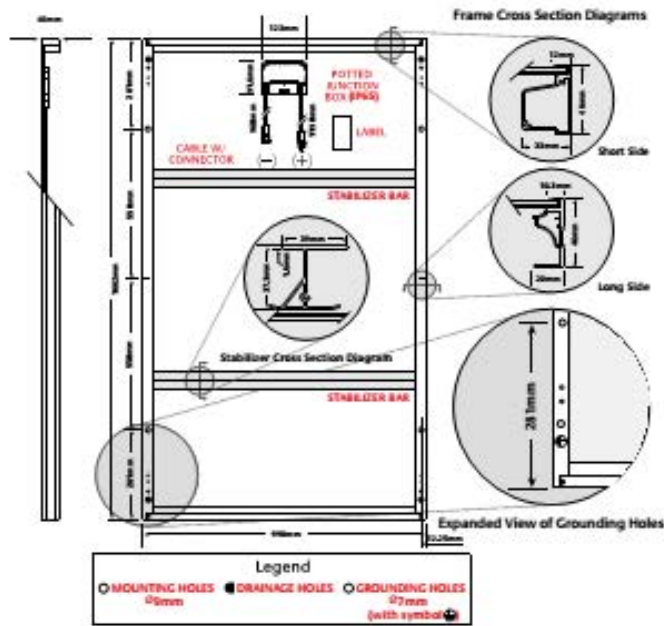
### QUALIFICATIONS AND CERTIFICATIONS



IEC 61215 ed.2 IEC 61730 and Application Class A  
IEC 61701 (Salt Mist Corrosion Testing)

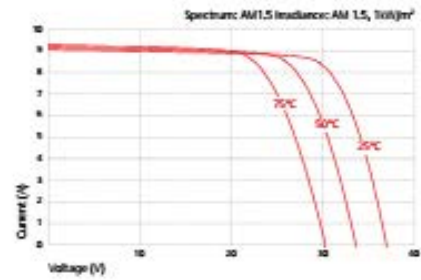
Kyocera is ISO 9001 and ISO 14001 certified and registered

## SPECIFICATIONS

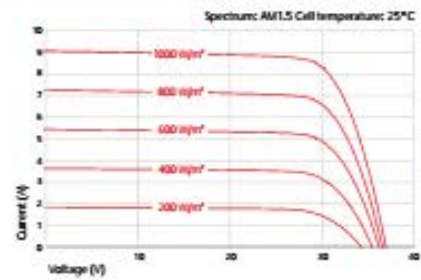


## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics at various cell temperatures



Current-Voltage characteristics at various irradiance levels



## ELECTRICAL PERFORMANCE

| At 1000 W/m <sup>2</sup> (STC)*               |       |      |
|---|-------|------|
| Maximum Power                                 | 250   | W    |
| Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )      | 29.8  | V    |
| Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )      | 8.39  | A    |
| Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )       | 36.9  | V    |
| Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )      | 9.09  | A    |
| Efficiency                                    | 15.1  | %    |
| At 800 W/m <sup>2</sup> (NOCT)**              |       |      |
| Maximum Power                                 | 180   | W    |
| Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )      | 26.8  | V    |
| Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )      | 6.72  | A    |
| Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )       | 33.7  | V    |
| Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )      | 7.36  | A    |
| NOCT  | 45    | °C   |
| Other Electrical Characteristics              |       |      |
| Power Tolerance                               | +5/-3 | %    |
| Maximum System Voltage                        | 1000  | V    |
| Maximum Reverse Current                       | 15    | A    |
| Series Fuse Rating                            | 15    | A    |
| Temperature Coefficient of (V <sub>oc</sub> ) | -0.36 | %/°C |
| Temperature Coefficient of (I <sub>sc</sub> ) | 0.06  | %/°C |
| Temperature Coefficient of Max. Power         | -0.46 | %/°C |

## MODULE CHARACTERISTICS

| Dimensions                     |                                |    |
|--------------------------------|--------------------------------|----|
| Length                         | 1662 (±2.5)                    | mm |
| Width                          | 990 (±2.5)                     | mm |
| Depth (Including Junction Box) | 46                             | mm |
| Weight                         | 20                             | kg |
| Cable                          | (+)1190 / (-)960               | mm |
| Connection Type                | R51-7/P51-7 (SMK PV403 Series) |    |
| Junction Box                   | 123 x 91.6 x 16                | mm |
| Number of Bypass Diodes        | 3                              |    |
| IP Code                        | IP65                           |    |
| Cells                          |                                |    |
| Cell Per Module                | 60                             |    |
| Cell Technology                | multi-crystalline              |    |
| Cell Dimensions (Square)       | 156 x 156                      | mm |
| Cell Bonding                   | 3 busbar                       |    |

\* Electrical values under standard test conditions (STC) = irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, airmass AM 1.5, and cell temperature of 25°C.

\*\* Electrical values under normal operating test conditions (NOCT) = irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, airmass AM 1.5, wind speed of 1m/s, and ambient temperature of 20°C.

KYOCERA reserves the right to modify these specifications without notice.

## Inversor Grid-tie com potência de 1,5KW Fronius Galvo – Galvo 1.5-1

R\$ 6.899,00

## Inversor Grid-tied com potência de 3,1KW Fronius Galvo – Galvo 3.1-1

Preço: R\$ 7.499,00

# FRONIUS GALVO

/ The future-proof inverter for small self-consumption systems.



/ PC board replacement possible



/ SleepOverseer Technology



/ HiF transformer switchover



/ Integrated data communication



/ Smart Grid Ready



/ With power categories ranging from 1.5 to 3.1 kW, the Fronius Galvo is perfect for households – and is especially suitable for self-consumption systems. The integrated energy management relay allows the self-consumption component to be maximised. A host of other smart features make the Fronius Galvo one of the most future-proof inverters in its class: for example, the integrated datalogging, the simple connection to the internet by WLAN, or the plug-in card technology for retrofitting additional functions.

### TECHNICAL DATA FRONIUS GALVO

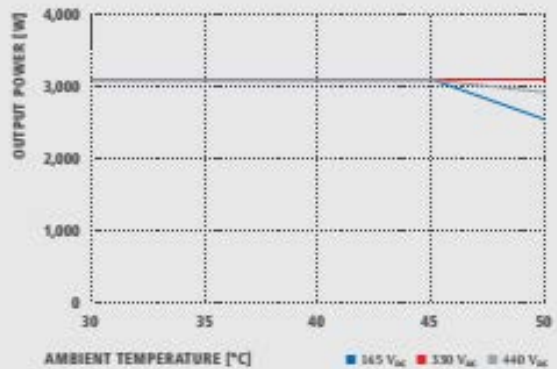
| INPUT DATA  | GALVO 1.5-1   | GALVO 2.0-1 | GALVO 2.5-1 | GALVO 3.0-1 <sup>*)</sup> | GALVO 3.1-1 |
|---|---|-------------|-------------|---------------------------|-------------|
| Max. input current ( $I_{in, max}$ )                | 13.3 A  | 17.8 A      | 16.6 A      | 19.8 A                    | 20.7 A      |
| Max. array short circuit current                    | 20.0 A  | 26.8 A      | 24.8 A      | 29.8 A                    | 31.0 A      |
| Min. input voltage ( $U_{in, min}$ )                | 120 V   |             | 165 V       |                           |             |
| Free-start voltage ( $U_{in, free-start}$ )         | 140 V   |             | 185 V       |                           |             |
| Nominal input voltage ( $U_{in, N}$ )               | 210 V   |             | 330 V       |                           |             |
| Max. input voltage ( $U_{in, max}$ )                | 420 V   |             | 550 V       |                           |             |
| MPP voltage range ( $U_{MPP, min} - U_{MPP, max}$ ) | 120 - 335 V   |             | 165 - 440 V |                           |             |
| Number of MPP trackers                              | 1   |             |             |                           |             |
| Number of DC connections                            | 3   |             |             |                           |             |
| OUTPUT DATA   | GALVO 1.5-1   | GALVO 2.0-1 | GALVO 2.5-1 | GALVO 3.0-1 <sup>*)</sup> | GALVO 3.1-1 |
| AC nominal output ( $P_{out}$ )                     | 1,500 W   | 2,000 W     | 2,500 W     | 3,000 W                   | 3,100 W     |
| Max. output power                                   | 1,500 VA  | 2,000 VA    | 2,500 VA    | 3,000 VA                  | 3,100 VA    |
| Max. output current ( $I_{out, max}$ )              | 7.2 A   | 9.7 A       | 12.1 A      | 14.5 A                    | 15.0 A      |
| Grid connection (voltage range)                     | 1-NPE 230 V (+17 % / -20 %)   |             |             |                           |             |
| Frequency (frequency range)                         | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)  |             |             |                           |             |
| Total harmonic distortion                           | < 4 %   |             |             |                           |             |
| Power factor (cos $\phi_{max}$ )                    | 0.95 - 1 incl. / cap.   |             |             |                           |             |
| GENERAL DATA  | GALVO 1.5-1   | GALVO 2.0-1 | GALVO 2.5-1 | GALVO 3.0-1 <sup>*)</sup> | GALVO 3.1-1 |
| Dimensions (height x width x depth)                 | 645 x 431 x 204 mm  |             |             |                           |             |
| Weight  | 16.8 kg   |             | 18.8 kg     |                           |             |
| Degree of protection                                | IP 65   |             |             |                           |             |
| Protection class                                    | I   |             |             |                           |             |
| Overvoltage category (DC / AC) <sup>*)</sup>        | 2 / 3   |             |             |                           |             |
| High-line consumption                               | < 1 W   |             |             |                           |             |
| Inverter concept                                    | HiF transformer   |             |             |                           |             |
| Cooling   | Regulated air cooling   |             |             |                           |             |
| Installation  | Indoor and outdoor installation   |             |             |                           |             |
| Ambient temperature range                           | -25 - +50 °C  |             |             |                           |             |
| Permitted humidity                                  | 0 to 100 %  |             |             |                           |             |
| Max. altitude                                       | 2,000 m / 3,000 m (unrestricted / restricted voltage range)   |             |             |                           |             |
| DC connection technology                            | Screw terminal connection 2.5 mm <sup>2</sup> - 16 mm <sup>2</sup>  |             |             |                           |             |
| AC connection technology                            | Screw terminal connection 2.5 mm <sup>2</sup> - 16 mm <sup>2</sup>  |             |             |                           |             |
| Certification and compliance with standards         | DVE / GNBEM E 8001-4-712, AS 4777-2, AS 4777-3, AS 3100, DIN V VDE 01 28-1-1/AL, VDE AR N 4105, IEC 62109-1-2, IEC 62116, IEC 61727, CER 06-190, CEI 0-21, EN 50438, GSI, G59 |             |             |                           |             |

<sup>\*)</sup> Available for countries where 3 kW restrictions apply. <sup>\*)</sup> Testing to IEC 62109-1.  
 Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

**FRONIUS GALVO 3.1-1 EFFICIENCY CURVE**



**FRONIUS GALVO 3.1-1 TEMPERATURE DERATING**



**TECHNICAL DATA FRONIUS GALVO**

| EFFICIENCY                                 | GALVO 1.5-1          | GALVO 2.0-1   | GALVO 2.5-1          | GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup> | GALVO 3.1-1          |
|--|----------------------|---|----------------------|---------------------------|----------------------|
| Max. efficiency                            | 95.9 %               | 96.0 %  |                      | 96.1 %                    |                      |
| European efficiency (η <sub>ETI</sub> )    | 94.5 %               | 94.9 %  | 95.2 %               | 95.4 %                    | 95.4 %               |
| η at 5 % P <sub>ac,t</sub> <sup>2)</sup>   | 84.5 / 86.0 / 86.0 % | 84.2 / 86.1 / 85.9 %  | 85.6 / 89.6 / 89.4 % | 88.2 / 89.2 / 89.1 %      | 88.4 / 89.4 / 89.4 % |
| η at 10 % P <sub>ac,t</sub> <sup>2)</sup>  | 87.5 / 89.7 / 89.6 % | 89.6 / 91.4 / 91.3 %  | 91.2 / 92.3 / 91.4 % | 91.8 / 93.1 / 92.1 %      | 91.9 / 93.3 / 92.3 % |
| η at 20 % P <sub>ac,t</sub> <sup>2)</sup>  | 91.3 / 93.3 / 93.1 % | 92.6 / 94.3 / 93.9 %  | 94.0 / 94.8 / 94.5 % | 94.4 / 95.0 / 94.9 %      | 94.5 / 95.0 / 95.0 % |
| η at 25 % P <sub>ac,t</sub> <sup>2)</sup>  | 92.4 / 94.1 / 93.9 % | 93.3 / 94.9 / 94.5 %  | 94.5 / 95.1 / 95.0 % | 94.8 / 95.5 / 95.3 %      | 94.8 / 95.5 / 95.4 % |
| η at 30 % P <sub>ac,t</sub> <sup>2)</sup>  | 93.0 / 94.6 / 94.3 % | 93.6 / 95.2 / 94.9 %  | 94.8 / 95.5 / 95.3 % | 94.8 / 95.7 / 95.6 %      | 94.9 / 95.8 / 95.6 % |
| η at 50 % P <sub>ac,t</sub> <sup>2)</sup>  | 93.9 / 95.5 / 95.2 % | 94.3 / 95.8 / 95.2 %  | 95.0 / 95.7 / 95.2 % | 95.0 / 96.0 / 95.5 %      | 95.0 / 96.1 / 95.6 % |
| η at 75 % P <sub>ac,t</sub> <sup>2)</sup>  | 94.2 / 95.6 / 95.4 % | 94.0 / 95.9 / 95.6 %  | 94.8 / 95.9 / 95.6 % | 94.6 / 95.8 / 95.6 %      | 94.5 / 95.6 / 95.6 % |
| η at 100 % P <sub>ac,t</sub> <sup>2)</sup> | 94.0 / 95.9 / 95.6 % | 93.5 / 95.6 / 95.5 %  | 94.4 / 95.7 / 95.5 % | 93.9 / 95.4 / 95.3 %      | 93.7 / 95.2 / 95.3 % |
| MPP adaptation efficiency                  |                      |   | > 99.9 %             |                           |                      |
| PROTECTION DEVICES                         | GALVO 1.5-1          | GALVO 2.0-1   | GALVO 2.5-1          | GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup> | GALVO 3.1-1          |
| DC insulation measurement                  |                      | Warning/shutdown (depending on country setup) at R <sub>BD</sub> < 600 kOhm |                      |                           |                      |
| Overload behavior                          |                      | Operating point shift, power limitation                                     |                      |                           |                      |
| DC disconnect                              |                      | Included  |                      |                           |                      |
| INTERFACES                                 | GALVO 1.5-1          | GALVO 2.0-1   | GALVO 2.5-1          | GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup> | GALVO 3.1-1          |
| WLAN / Ethernet LAN                        |                      | Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)              |                      |                           |                      |
| 6 inputs and 4 digital inputs/outputs      |                      | Interface to ripple control receiver  |                      |                           |                      |
| USB (A socket) <sup>4)</sup>               |                      | Data logging, inverter update via USB flash drive                           |                      |                           |                      |
| 2x RS422 (RJ45 socket) <sup>4)</sup>       |                      | Fronius Solar Net, interface protocol                                       |                      |                           |                      |
| Signalling output <sup>4)</sup>            |                      | Energy management (floating relay output)                                   |                      |                           |                      |
| Datalogger and Webserver                   |                      | Included  |                      |                           |                      |
| RS485 <sup>4)</sup>                        |                      | Modbus RTU SunSpec or meter connection                                      |                      |                           |                      |

<sup>1)</sup> Available for countries where 1 kW restrictions apply. <sup>2)</sup> And at U<sub>app,max</sub> / U<sub>dc</sub> / U<sub>app,max</sub>. <sup>3)</sup> Also available in the light version. <sup>4)</sup> Available from autumn 2014. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

**ANEXO B – PREÇO DO KWH COMERCIALIZADO PELAS  
FORNECEDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

| <b>Concessionária</b>                                  | <b>Preço [R\$]</b> | <b>Vigência</b>                        |
|--|--------------------|--|
| AES SUL Distribuidora Gaúcha de Energia S/A.           | 0,33793            | 19/04/2014<br><b>até</b><br>18/04/2015 |
| Amazonas Distribuidora de Energia S/A                  | 0,27685            | 01/11/2013<br><b>até</b><br>31/10/2014 |
| Ampla Energia e Serviços S/A                           | 0,38931            | 15/03/2014<br><b>até</b><br>14/03/2015 |
| Bandeirante Energia S/A.                               | 0,30494            | 23/10/2013<br><b>até</b><br>22/10/2014 |
| Boa Vista Energia S/A                                  | 0,24758            | 01/11/2013<br><b>até</b><br>31/10/2014 |
| Caiuá Distribuição de Energia S/A                      | 0,33804            | 10/05/2014<br><b>até</b><br>09/05/2015 |
| Companhia de Eletricidade do Amapá                     | 0,19729            | 24/01/2013<br><b>até</b><br>29/11/2014 |
| Companhia Energética de Alagoas                        | 0,30674            | 28/08/2013<br><b>até</b><br>27/08/2014 |
| CEB Distribuição S/A                                   | 0,25647            | 26/08/2013<br><b>até</b><br>25/08/2014 |
| Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica | 0,31257            | 25/10/2013<br><b>até</b><br>24/10/2014 |
| Celesc Distribuição S.A.                               | 0,35349            | 07/08/2014<br><b>até</b><br>06/08/2015 |
| Celg Distribuição S.A.                                 | 0,29350            | 12/09/2013<br><b>até</b><br>11/09/2014 |
| Centrais Elétricas do Pará S/A.                        | 0,47977            | 07/08/2014<br><b>até</b><br>06/08/2015 |
| Companhia Energética de Pernambuco                     | 0,35058            | 29/04/2014<br><b>até</b><br>28/04/2015 |

| <b>Concessionária</b>                                | <b>Preço [R\$]</b> | <b>Vigência</b>                        |
|--|--------------------|--|
| Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins | 0,42080            | 04/07/2014<br><b>até</b><br>03/07/2015 |
| Companhia Energética do Maranhão                     | 0,34357            | 28/08/2013<br><b>até</b><br>27/08/2014 |
| Centrais Elétricas Matogrossenses S/A.               | 0,38107            | 08/04/2014<br><b>até</b><br>07/04/2015 |
| CEMIG Distribuição S/A                               | 0,39642            | 08/04/2014<br><b>até</b><br>07/04/2015 |
| Companhia Energética do Piauí                        | 0,32573            | 28/08/2013<br><b>até</b><br>27/08/2014 |
| Centrais Elétricas de Rondônia S/A.                  | 0,39194            | 30/11/2013<br><b>até</b><br>29/11/2014 |
| Companhia Energética de Roraima                      | 0,22890            | 01/11/2013<br><b>até</b><br>31/10/2014 |
| Companhia Força e Luz do Oeste                       | 0,38018            | 29/06/2014<br><b>até</b><br>28/06/2015 |
| Companhia Hidroelétrica São Patrício                 | 0,37709            | 12/09/2013<br><b>até</b><br>11/09/2014 |
| Companhia Nacional de Energia Elétrica               | 0,32886            | 10/05/2014<br><b>até</b><br>09/05/2015 |
| Companhia Campolarguense de Energia                  | 0,34574            | 24/06/2014<br><b>até</b><br>23/07/2015 |
| Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia         | 0,33634            | 22/04/2014<br><b>até</b><br>21/04/2015 |
| Companhia Energética do Ceará                        | 0,35922            | 22/04/2014<br><b>até</b><br>21/04/2015 |
| Copel Distribuição S/A                               | 0,32637            | 24/06/2014<br><b>até</b><br>23/06/2015 |
| Companhia Energética do Rio Grande do Norte          | 0,34250            | 22/04/2014<br><b>até</b><br>21/04/2015 |

| <b>Concessionária</b>                                    | <b>Preço [R\$]</b> | <b>Vigência</b>                        |
|--|--------------------|--|
| Companhia Jaguari de Energia                             | 0,23838            | 03/02/2014<br><b>até</b><br>02/02/2015 |
| Companhia Leste Paulista de Energia                      | 0,29037            | 03/02/2014<br><b>até</b><br>02/02/2015 |
| Companhia Luz e Força de Mococa                          | 0,32762            | 03/02/2014<br><b>até</b><br>02/02/2015 |
| Companhia Luz e Força Santa Cruz                         | 0,34007            | 03/02/2014<br><b>até</b><br>02/02/2015 |
| Companhia Sul Paulista de Energia                        | 0,30272            | 03/02/2014<br><b>até</b><br>02/02/2015 |
| Companhia Piratininga de Força e Luz                     | 0,27824            | 23/10/2013<br><b>até</b><br>22/10/2014 |
| Companhia Paulista de Força e Luz                        | 0,31686            | 08/04/2014<br><b>até</b><br>07/04/2015 |
| Departamento Municipal de Energia de Ijuí                | 0,38604            | 29/06/2014<br><b>até</b><br>28/06/2015 |
| DME Distribuição S.A                                     | 0,30169            | 28/10/2013<br><b>até</b><br>27/10/2014 |
| Energisa Borborema ? Distribuidora de Energia S.A.       | 0,28980            | 04/02/2014<br><b>até</b><br>03/04/2015 |
| Empresa de Distribuição de Energia Vale Paranapanema S/A | 0,35534            | 10/05/2014<br><b>até</b><br>09/05/2015 |
| Empresa Elétrica Bragantina S/A.                         | 0,37843            | 10/05/2014<br><b>até</b><br>09/05/2015 |
| Elektro Eletricidade e Serviços S/A.                     | 0,31188            | 27/08/2013<br><b>até</b><br>26/08/2014 |
| Companhia de Eletricidade do Acre                        | 0,42798            | 30/11/2013<br><b>até</b><br>29/11/2014 |
| Centrais Elétricas de Carazinho S/A.                     | 0,41119            | 29/06/2014<br><b>até</b><br>28/06/2015 |

| <b>Concessionária</b>                                   | <b>Preço [R\$]</b> | <b>Vigência</b>                        |
|---|--------------------|--|
| Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A | 0,28117            | 04/07/2014<br><b>até</b><br>03/07/2015 |
| Energisa Minas Gerais - Distribuidora de Energia S.A.   | 0,39288            | 18/06/2014<br><b>até</b><br>17/06/2015 |
| Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A.           | 0,35708            | 08/04/2014<br><b>até</b><br>07/04/2015 |
| Energisa Nova Friburgo - Distribuidora de Energia S.A.  | 0,36820            | 18/06/2014<br><b>até</b><br>17/06/2015 |
| Energisa Paraíba - Distribuidora de Energia             | 0,30445            | 28/08/2013<br><b>até</b><br>27/08/2014 |
| Espírito Santo Centrais Elétricas S/A.                  | 0,36660            | 07/08/2014<br><b>até</b><br>06/08/2015 |
| Energisa Sergipe - Distribuidora de Energia S.A.        | 0,34479            | 22/04/2014<br><b>até</b><br>21/04/2015 |
| Força e Luz Coronel Vivida Ltda                         | 0,29410            | 27/08/2013<br><b>até</b><br>26/08/2014 |
| Hidroelétrica Panambi S/A.                              | 0,42603            | 29/06/2014<br><b>até</b><br>28/06/2015 |
| Iguaçu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda           | 0,32502            | 07/08/2014<br><b>até</b><br>06/08/2015 |
| Jari Celulose, Papel e Embalagens S.A.                  | 0,37079            | 07/08/2014<br><b>até</b><br>06/08/2015 |
| Light Serviços de Eletricidade S/A.                     | 0,32874            | 07/11/2013<br><b>até</b><br>06/11/2014 |
| Muxfeldt Marin & Cia. Ltda                              | 0,37690            | 29/06/2014<br><b>até</b><br>28/06/2015 |
| Rio Grande Energia S/A.                                 | 0,35069            | 19/06/2014<br><b>até</b><br>18/06/2015 |
| Companhia Sul Sergipana de Eletricidade                 | 0,35115            | 14/12/2013<br><b>até</b><br>13/12/2014 |



| <b>Concessionária</b>                | <b>Preço [R\$]</b> | <b>Vigência</b>                        |
|--------------------------------------|--------------------|--|
| Usina Hidroelétrica Nova Palma Ltda. | 0,42341            | 19/04/2014<br><b>até</b><br>18/04/2015 |

Fonte: ANEEL [85]



## ANEXO C – TABELA INMETRO DE COLETORES SOLARES

Tabela INMETRO de Classificação de coletores fotovoltaicos.

| Fabricante | Modelo       | Área Externa do Coletor [m <sup>2</sup> ] | Produção Média Mensal de Energia (Por coletor) [kWh/mês] | Eficiência Energética Média [%] | Classificação | Fr( $\tau\alpha$ ) $\eta$ | FrUL  |
|------------|--------------|---|--|---------------------------------|---------------|---------------------------|-------|
| Transsen   | Itapuã V 1.7 | 1,73                                      | 133,4  | 54,8                            | A             | 0,709                     | 6,443 |