

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2011

SATUKI CAMILA KOYAMA

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA
ENERGIA SOLAR E EÓLICA EM UMA PROPRIEDADE
RURAL PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE,
BOMBEAMENTO E AQUECIMENTO DE ÁGUA.

Trabalho de Graduação apresentado ao
Conselho de Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Faculdade de
Engenharia do Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista, como parte
dos requisitos para obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

Guaratinguetá
2011

K886a	Koyama, Satuki Camila Análise técnica e econômica da utilização da energia solar e eólica em uma propriedade rural para geração de eletricidade, bombeamento e aquecimento de água / Satuki Camila Koyama – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 63 f : il. Bibliografia: f. 61-63 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
	1. Energia solar 2. Energia eólica I. Título
	CDU 620.91

SATUKI CAMILA KOYAMA

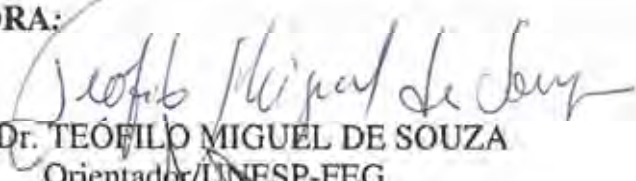
**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA
ENERGIA SOLAR E EÓLICA EM UMA PROPRIEDADE
RURAL PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE,
BOMBEAMENTO E AQUECIMENTO DE ÁGUA.**

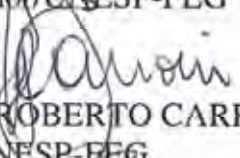
**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA
DE GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

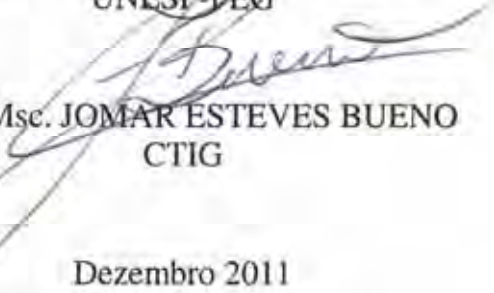
**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. LUIZ ROBERTO CARROCCI
UNESP-FEG


Prof. Msc. JOMAR ESTEVES BUENO
CTIG

Dezembro 2011

DADOS CURRICULARES

SATUKI CAMILA KOYAMA

NASCIMENTO	13.10.1984 – JACAREÍ / SP
FILIAÇÃO	Osamu Koyama Yoko Koyama
1999/2002	Curso Técnico Mecânica Industrial – Escola Técnica Professor Everardo Passos.
2005/2011	Curso de Graduação Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista

Dedicatória

Ao meu esposo Caio que com muito amor e paciência me apoiou e me deu forças e a minha filha Luana que veio pela benção de Deus.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por tudo que há na minha vida,
ao meu orientador, *Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza* que como excelente professor e desde a primeira dúvida sobre o Trabalho de Graduação me apoiou que respondeu as minhas dúvidas.

a todos professores que ao longo do curso nos passaram conhecimento.

ao meu pai *Osamu*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivou meus estudos.

a minha mãe *Yoko*, que mesmo não presente sei que me apoiaria em todos os momentos.

a minha madrastra *Maria*, que me criou com muito carinho e amor.

ao meu irmão *Fábio* e minha irmã *Natália* pelo companheirismo até quando estavam longe.

a amizade da *Edna* e *Adriana* que iniciaram na Faculdade e fizeram parte dessa caminhada.

aos funcionários da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá e da Secretária da Graduação pela dedicação e paciência, sempre ajudando.

“A arte de viver consiste em tirar o maior bem
do maior mal”

Machado de Assis

KOYAMA, S. C. Análise técnica e econômica da utilização da energia solar e eólica em uma propriedade rural para geração de eletricidade, bombeamento e aquecimento de água. 2011. 63 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Este trabalho visa o estudo de caso de uso de energia solar e eólica para uma propriedade rural. Para isso coletaram-se os dados dessa propriedade, como consumo de água quente e quantidade de moradores. Através desses dados estimam-se quantos coletores termosolares convencionais ou de garrafa PET e o tamanho do reservatório necessário para abastecer a propriedade com água aquecida. Também se calcula a quantidade de painéis fotovoltaicos e os principais acessórios para converter a energia solar em energia elétrica. Para o bombeamento de água o uso de painel solar é descartado e dimensionou-se um cata-vento.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar fotovoltaica. Energia termosolar. Energia eólica.

KOYAMA, S. C. Technical and economic analysis of the use of solar and wind energy on a farm for electricity generation, heating and pumping water. 2011. 63 f. Monograph (Graduation in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

This paper is about a case study of using solar energy and wind energy in a farm. For this purpose were collected from the property, such as water consumption and amount of residents. So, we estimate how many conventional panels or PET bottle panels and boiler needed to supply the farm with warm water. It also calculates the amount of photovoltaic panels and the main accessories for converting solar energy into electrical energy. For the pumping of water using photovoltaic panels is dismissed and dimensioned to be a watermill.

KEYWORDS: Photovoltaic solar energy. Thermo energy. Wind energy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Variação da radiação solar no Brasil	16
FIGURA 2 – Potencial eólico brasileiro	17
FIGURA 3 – Corte transversal de um painel fotovoltaico	19
FIGURA 4 – Configurações básicas de sistemas fotovoltaicos	21
FIGURA 5 – Sistema de bombeamento fotovoltaico – Santa Cruz I.....	21
FIGURA 6 – Posto de combustível em Londres.....	22
FIGURA 7 – Planta em Kobern-Gondorf na Alemanha	22
FIGURA 8 – Diagrama esquemático de um coletor solar sem concentração	23
FIGURA 9 – Diagrama esquemático de um coletor solar com concentração	23
FIGURA 10 – Sistema termosolar de pequeno porte	24
FIGURA 11 – Coletor solar para aquecimento de água de banho	25
FIGURA 12 – Coletor solar de garrafa PET	26
FIGURA 13 – Distribuição geral dos ventos.....	27
FIGURA 14 – Demonstração de um sistema eólico no bombeamento.....	29
FIGURA 15 – Foto aérea da propriedade rural	31
FIGURA 16 – Desenho esquemático do poço artesiano e caixa de água da propriedade rural.....	32
FIGURA 17 – Exemplo de um reservatório térmico	35
FIGURA 18 – <i>Layout</i> do sistema	35
FIGURA 19 – Exemplo do coletor solar.....	36
FIGURA 20 – Diagrama de montagem do coletor solar de garrafa PET	38
FIGURA 21 – Sistema fotovoltaico	39
FIGURA 22 – Gabarito para instalação do painel fotovoltaico	40
FIGURA 23 – Exemplo do painel fotovoltaico.....	41
FIGURA 24 – Exemplo de bateria	43
FIGURA 25 – Curva do sistema x curva de procura	43
FIGURA 26 – Controlador de carga	44
FIGURA 27 – Exemplo de Inversor.....	46
FIGURA 28 – Gráfico de vazão de água x altura	48
FIGURA 29 – Cata-vento.....	49

FIGURA 30 – Gráfico do custo x número de coletores do sistema termosolar.....	55
FIGURA 31 – Comparativo de custo do coletor comum x coletor de garrafa PET	55
FIGURA 32 – Gráfico do custo x número de painéis fotovoltaicos	56
FIGURA 33 – Gráfico do custo de cada item do sistema fotovoltaico.....	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Eficiência de conversão e custos de células solares	20
TABELA 2 – Escala de Beaufort para estimativa da velocidade do vento.....	28
TABELA 3 – Consumo de água quente em uma residência.....	33
TABELA 4 – Estimativa de consumo de água quente	33
TABELA 5 – Exemplo de catálogo de fabricante de reservatório térmico	34
TABELA 6 – Levantamento do consumo médio diário.....	39
TABELA 7 – Catálogo de painel fotovoltaico	41
TABELA 8 – Exemplo de fabricante de controladores de carga.....	45
TABELA 9 – Exemplo de fornecedor de inversor.....	47
TABELA 10 – Tabela de fornecedor bomba de água.....	48
TABELA 11 – Custo dos reservatórios térmicos.....	51
TABELA 12 – Custo dos coletores solares.....	51
TABELA 13 – Custo do coletor solar de garrafa PET.....	52
TABELA 14 – Custo dos painéis fotovoltaicos	52
TABELA 15 – Custo das baterias	53
TABELA 16 – Custo dos controladores de carga	53
TABELA 17 – Custo dos inversores	54
TABELA 18 – Consumo de energia elétrica para aquecimento de água.....	57

LISTA DE SIGLAS.

BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
EDP bandeirante	- Bandeirante de Energias S.A.
IEA	- International Energy Agency
PCH	- Pequena Central Hidrelétrica
PET	- Polietileno Tereftalato
Proinfa	- Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PVC	- Policloreto de polivinila
WWEA	- World Wind Energy Association

LISTA DE ABREVIATURAS E UNIDADES.

B_{total}	- Quantidade total de baterias	Unitário
Bateria _{CAP}	- Capacidade mínima da bateria	Ah
Bat _{paralelo}	- Quantidade de baterias em paralelo	Unitário
Bat _{série}	- Quantidade de baterias em série	Unitário
c	- Calor específico da água	J/kg. K
Cap _{mod}	- Capacidade de cada módulo	Ah/dia
CE	- Custo inicial dos equipamentos	R\$
CE _{eólica}	- Custo do equipamento para energia	R\$
CE _{elétrica}	- Custo do equipamento para energia	R\$
CMD	- Consumo médio diário	Ah/dia
CTMD	- Consumo total médio diário	Ah/dia
Corrente _{cat}	- Corrente encontrada no catálogo	A
CP	- Canos conectados em paralelo	Unitário
CT _{paralelo}	- Controladores em paralelo	Unitário
D _{pás}	- Diâmetro das pás do cata-vento	m
FC	- Razão de horas de vento por dia	Sem unidade
GE	- Gasto por mês com energia	R\$/mês
H	- Horas por dia de vento	h
Imp	- Corrente a máxima potência	A
Imp _{fator}	- Corrente a potência máxima com fator	A
Inv _{surto}	- Potência de surto do inversor	W
Isc	- Corrente de curto circuito do módulo	A
m	- Massa	kg
Nh	- Número de horas de pico de irradiação	Horas
PB	- <i>Payback</i>	R\$
P _{BOMBA}	- Potência da bomba	W
P _{MOTOR}	- Potência do motor	W
P _{paralelo}	- Quantidade de painéis em paralelo	Unitário
P _{série}	- Quantidade de painéis em série	Unitário
P _{total}	- Quantidade total de painéis	Unitário
PT	- Potência total	W
Q	- Carga que será aquecida	Litros
Q _v	- Vazão	m ³ /s
S	- Superfície coletora	m ²
T	- Tensão do sistema	V
t _f	- Temperatura final	K
TG	- Total de garrafas PET	Unitário
t _i	- Temperatura inicial	K
η	- Rendimento	%
γ	- Peso específico	kg/m ³

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA.....	19
2.1 Energia fotovoltaica.....	19
2.2 Energia termosolar.....	23
2.2.1 Coletor solar de garrafa PET	25
2.3 Energia eólica	27
3 ESTUDO DE CASO	31
3.1 Dados da propriedade rural	31
3.2 Dimensionamento do sistema termosolar.....	32
3.2.1 Cálculo da demanda diária	33
3.2.2 Dimensionamento do reservatório térmico (<i>boiler</i>)	34
3.2.3 <i>Layout</i> do sistema	35
3.2.4 Dimensionamento do coletor solar convencional	36
3.2.5 Dimensionamento do coletor solar de garrafa PET	37
3.3 Dimensionamento do sistema com painel fotovoltaico.....	38
3.3.1 Levantamento do consumo médio diário	39
3.3.2 Levantamento da radiação solar	40
3.3.3 Dimensionamento do módulo solar.....	41
3.3.4 Dimensionamento do banco de baterias	42
3.3.5 Dimensionamento do controlador de carga.....	44
3.3.6 Seleção do Inversor	46
3.4 Bombeamento de água com painel fotovoltaico.....	47
3.5 Bombeamento de água com cata-ventos.....	49
4 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.	51
4.1 Custos dos itens de cada sistema dimensionado	51
4.1.1 Sistema termosolar para aquecimento de água.....	51
4.1.2 Sistema com painel fotovoltaico	52
4.1.3 Bombeamento de água com cata-vento.....	54
4.2 Custo total de cada sistema.....	54
4.2.1 Sistema termosolar para aquecimento de água.....	55
4.2.2 Sistema com painel fotovoltaico	56
4.3 <i>Payback</i> dos equipamentos.....	57
4.3.1 Sistema termosolar para aquecimento de água.....	57
4.3.2 Sistema com painel fotovoltaico	58
4.3.3 Bombeamento de água com cata-vento	58
5 CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS	61
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	63

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade é a forma de energia mais versátil e a que está mais bem adaptada à sociedade atual. O uso dessa energia vem crescendo no mundo todo, isso não é devido só pelo aumento da produção industrial ou populacional, mas principalmente pelo aumento do consumo que as pessoas utilizam aparelhos que são carregados através de energia elétrica. Há então a necessidade de gerar mais energia para atender essa demanda, porém hoje existe uma grande preocupação da sociedade com os impactos que isso pode acarretar no meio ambiente (Scheer, 2002)

A pressão para redução da queima de combustíveis fósseis vem tomando corpo desde a década de 80 e com isso espera-se um aumento da utilização de fontes energia limpa. Mesmo no Brasil, o impacto ambiental causado pelas emissões de CO₂ na atmosfera, ocasionado pelo uso de combustíveis fósseis na geração elétrica, seja pequeno, é importante considerar os efeitos negativos do sistema energético atual. Os grandes projetos hidroelétricos causam transtornos ambientais ao alargar terras e a consequente perda da biodiversidade local, além dos problemas sociais relacionados. (ANEEL, 2008)

Conforme decreto nº 5.025, de 2004, foi criado o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, o PROINFA, cujo objetivo principal do Programa é financiar, com suporte do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), projetos de geração de energias eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH). O intuito é promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira. O grande desafio do programa foi o índice de 60% de nacionalização dos empreendimentos (MME, 2011).

A energia solar tem uma pequena participação na matriz energética mundial, mesmo crescendo 2000% entre 1996 e 2006. Segundo IEA (International Energy Agency) em 2007 a potência instalada foi de 7,8 mil MW que corresponde à metade da produção de energia elétrica produzida em Itaipu (ANEEL, 2008).

Estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB, 1999).

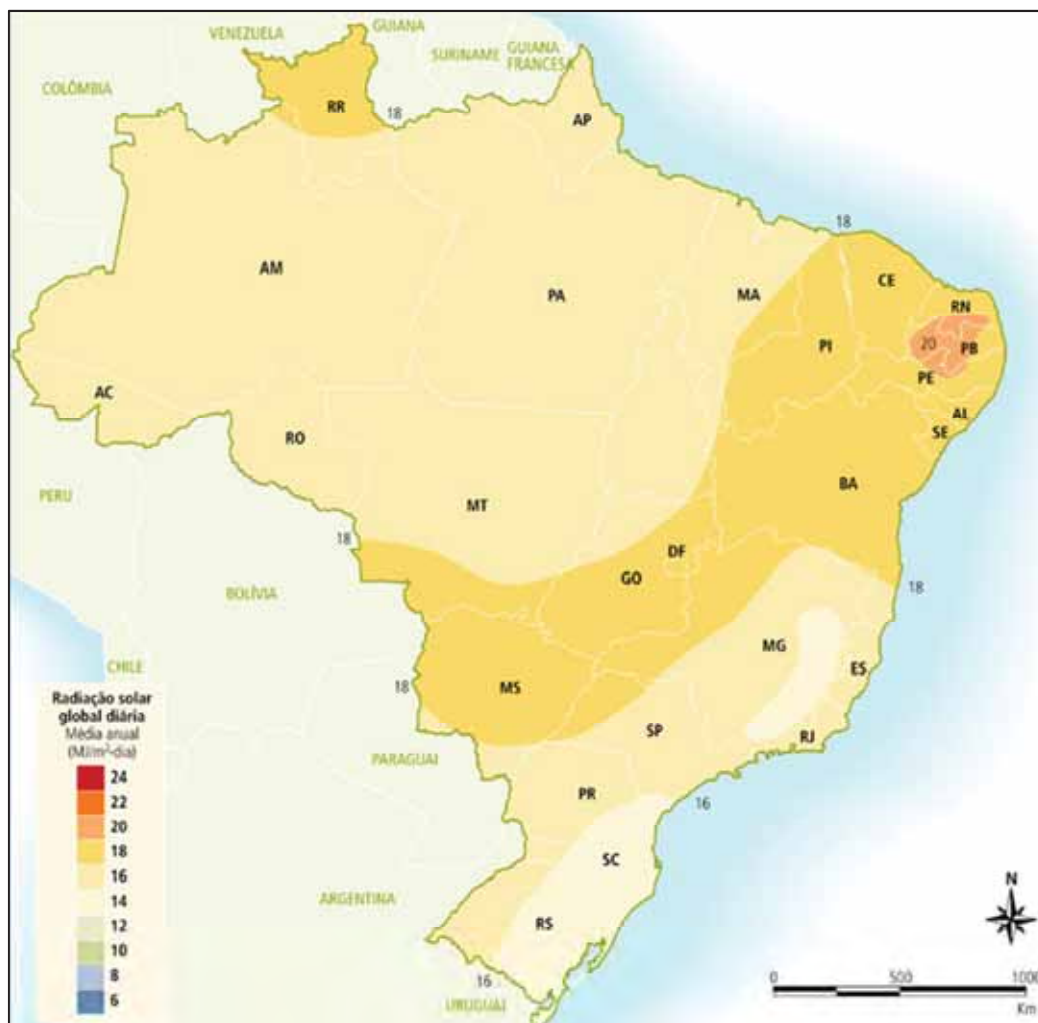


Figura 1 – Variação da radiação solar no Brasil (Fonte: ANEEL, 2005).

O Brasil tem um regime de insolação privilegiado, Figura 1, e a região mais carente de águas superficiais, o nordeste, é, também, uma das mais desprovidas de energia elétrica. O Nordeste possui radiação comparável às melhores regiões do mundo, como no deserto do Sudão. Os menores índices são no litoral sul-sudeste, incluindo serra do mar. É importante ressaltar que mesmo as regiões com menor índice de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético (ANEEL, 2005).

Outro tipo de fonte alternativa é a energia eólica que consiste no aproveitamento da movimentação do ar, na forma de vento. A capacidade instalada mundial aumentou 1115% entre 1997 e 2007, como registram a World Wind Energy Association (WWEA). Mas ela representa uma parcela muito pequena da demanda mundial (ANEEL, 2005).

Segundo a WWEA em 2007 houve a instalação de 20 mil MW de geração eólica em todo mundo e o país que liderou essa produção foi da Alemanha, seguida do EUA e da Espanha. Juntos representavam 60% da produção mundial (ANEEL, 2002).

Além das aplicações de grande porte, no entanto, existem também os sistemas de pequeno porte, cuja utilização está mais associada à eletrificação de áreas rurais e atendimento de outras demandas isoladas da rede.

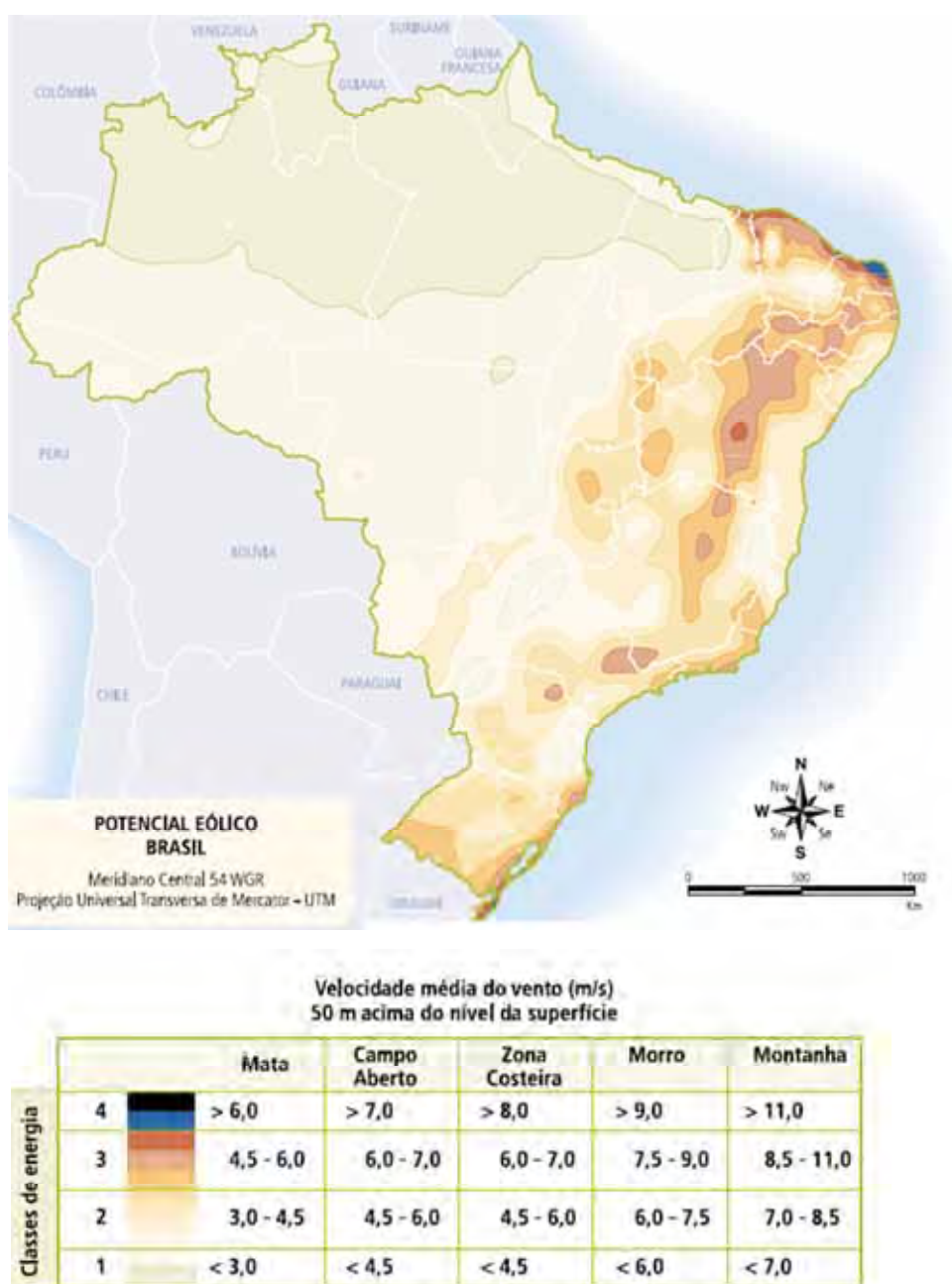


Figura 2 – Potencial eólico brasileiro (Fonte: ANEEL, 2005).

O Brasil possui um grande potencial eólico ainda não explorado. Foi em Fernando de Noronha, em Pernambuco, a instalação da primeira central eólica no Brasil, com potência de 75 kW. Em 2007 a capacidade instalada no Brasil é de cerca de 20 MW, com turbinas eólicas de médio e grande porte, conectadas à rede elétrica. No Brasil, como no resto do mundo, é pequena a participação da energia eólica na produção de energia no país. A viabilidade deste tipo de investimento pode ser observada na região Nordeste, Figura 2. Nesta região, no período de menor disponibilidade hídrica, existe uma maior disponibilidade do potencial eólico (FAPEFE, 2007).

Segundo o Balanço Energético Nacional 2011, a geração eólica se destacou com crescimento de 75,8%, alcançando 1.238 GWh. A fonte foi beneficiada pelo crescimento de 54,1% na capacidade instalada, que chegou a 928 MW no fim de 2010 (CERPCH, 2011).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia fotovoltaica

A energia fotovoltaica consiste na conversão direta da luz do Sol em eletricidade. Um painel fotovoltaico faz a conversão em eletricidade, normalmente fabricado com ligas de Silício. O silício apresenta-se normalmente em forma de areia e, através de métodos adequados, pode ser obtido em forma pura. O cristal de silício puro é um mal condutor e não tem elétrons livres, mas a dopagem de cristais com átomos do Grupo V (fósforo) ou do Grupo III (boro) resulta na existência de cargas móveis.

Na Figura 3, a luz do Sol composta de fótons que atinge o painel fotovoltaico, que pode ser refletida ou absorvida. E são somente os fótons absorvidos que fornecem energia para gerar eletricidade.

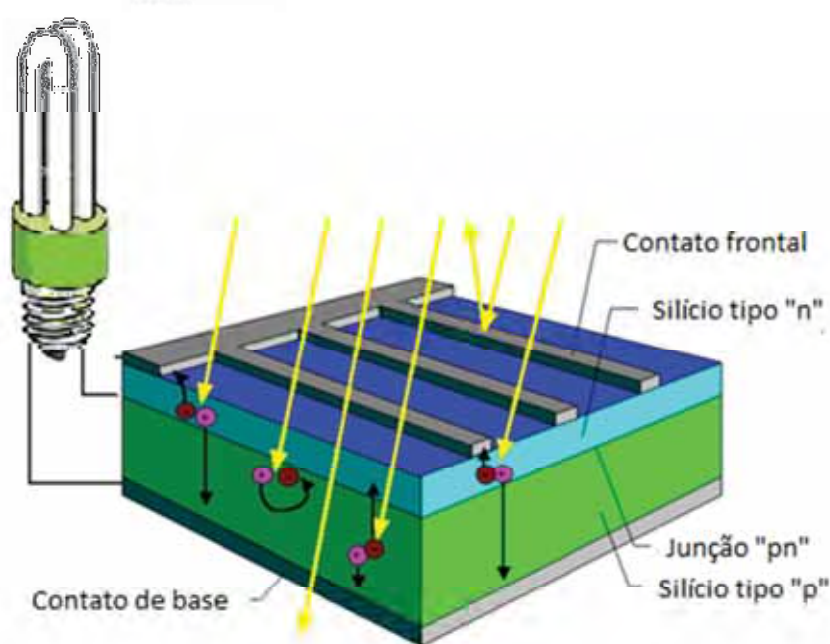


Figura 3 – Corte transversal de um painel fotovoltaico (fonte: Adaptado CRESESB, 1999).

O fluxo de eletricidade é formado quando ocorre desequilíbrio de cargas entre a parte frontal e posterior da célula. A célula fotovoltaica é a unidade básica do sistema fotovoltaico e as células individuais variam entre 1 e 10 cm e produzem apenas 1 ou 2

W. Para aumentar a potência de saída, as células são eletricamente conectadas na forma de um módulo fotovoltaico. Os módulos podem ser conectados formando diversos arranjos, permitindo obtenção de diversos valores de tensão e potência (FAPEPE, 2007).

A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente na superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Na Tabela 1 a eficiência por tipo de célula as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25%. Para a geração de eletricidade em grande escala, o principal obstáculo tem sido o custo. Têm-se observado, contudo, grandes reduções, como indicam estudos feitos pela IEA em 1999 (ANEEL, 2005).

Tabela 1 – Eficiência de conversão e custos de células solares (Fonte: ANEEL, 2002).

Tipo de célula	Eficiência (%)			Custo (US\$/Wp)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de cristal simples	30,0	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício concentrado	27,0	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício policristalino	25,0	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício amorfo 17,0	13,0	4 a 7	3 a 5	

No sistema fotovoltaico mais simples o gerador fotovoltaico é conectado diretamente à carga, não possuem baterias para armazenamento, nem componentes eletrônicos e tem uma boa confiabilidade do sistema. Utiliza-se, sobretudo, em pequenos sistemas de bombeamento de água com motor de corrente contínua.

Em sistemas com armazenamento pode-se utilizar uma bateria ou banco de baterias. Nessa mesma configuração pode-se conectar um controlador de carga entre o gerador fotovoltaico e a bateria, aumentando o tempo de vida da bateria, pois evita que a bateria não se sobrecarregue.

Quando há necessidade de alimentação de cargas de corrente alternada pode-se incluir um inversor na interface do sistema. A potência gerada pelo sistema fotovoltaico pode ser transformada integralmente em corrente alternada ou poderá alimentar-se simultaneamente as cargas de corrente contínua ou corrente alternada.

Essas diferentes configurações podem ser mostrada na Figura 4.

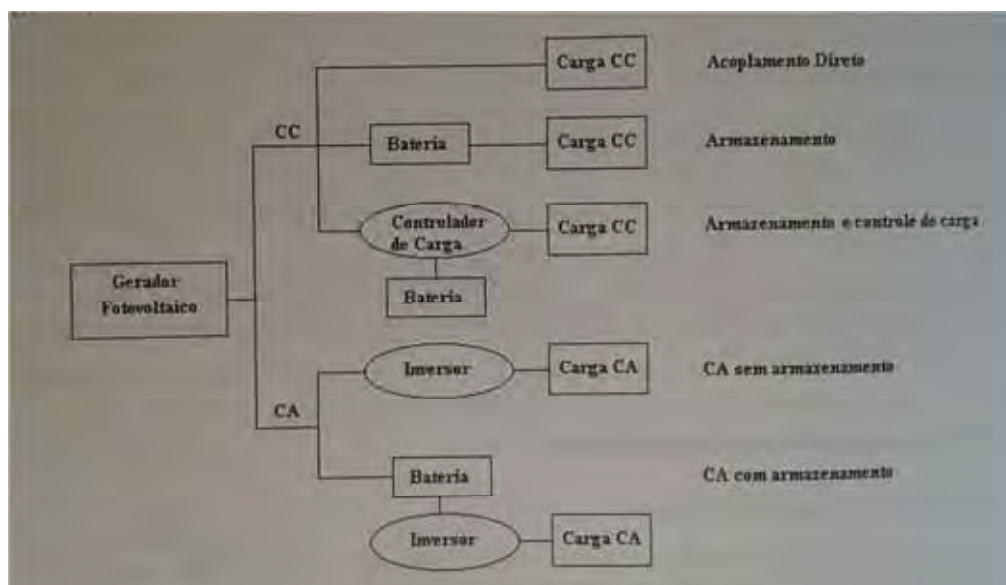


Figura 4 – Configurações básicas de sistemas fotovoltaicos (Fonte: Tomasquim, 2003)

O painel fotovoltaico tem diversas aplicações como prover energia elétrica em locais onde é inconveniente ou inexistente a energia convencional, um exemplo é o bombeamento de água para irrigação, na região do Pontal do Paranapanema (Extremo-Oeste do Estado de São Paulo) na Figura 5.



Figura 5 – Sistema de bombeamento fotovoltaico – Santa Cruz I (Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE. São Paulo: 2000.).

Também pode ser utilizado como fonte ou backup de energia para residências, isso é mais comum em países desenvolvidos devido ao seu alto custo. É aplicado também em edifícios comerciais ou industriais, normalmente parte da energia utilizado no edifício é abastecida pelo painel fotovoltaico, um exemplo é um posto de combustível em Londres em que o telhado é todo em painel fotovoltaico fornecendo energia para iluminação e para as bombas de combustível, Figura 6. Existem as plantas para produção de energia em larga escala, Figura 7, como a planta Kobern-Gondorf na Alemanha que produz 340KW (Boyle, 2004).



Figura 6 – Posto de combustível em Londres (Fonte: Boyle, 2004).



Figura 7 – Planta em Kobern-Gondorf na Alemanha (Fonte: Boyle, 2004).

2.2 Energia Termo Solar.

A principal aplicação da energia térmica solar atualmente é no aquecimento de piscinas, aquecimento de água para consumo doméstico e aquecimento de ambientes. Os aquecedores solares são classificados, de forma geral, em duas categorias que são: sem concentração e com concentração. No tipo sem concentração, mostrado na Figura 8, a área do coletor (que é a área que intercepta a radiação solar) é igual à área de absorção (que é área que absorve a radiação). No coletor com concentração, mostrado na Figura 9, a área que intercepta a radiação solar é maior, em alguns casos centenas de vezes maior que a área de absorção. Para aplicações como aquecimento de ambientes e aquecimento de água para utilização doméstica as placas planas sem concentração são suficientes.

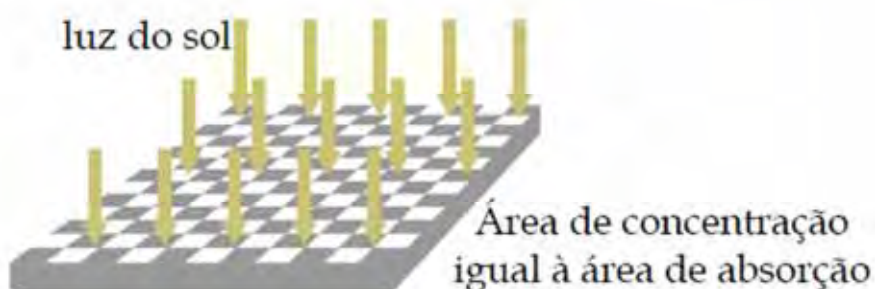


Figura 8 – Diagrama esquemático de um coletor solar sem concentração (Fonte: FAPEFE, 2007).

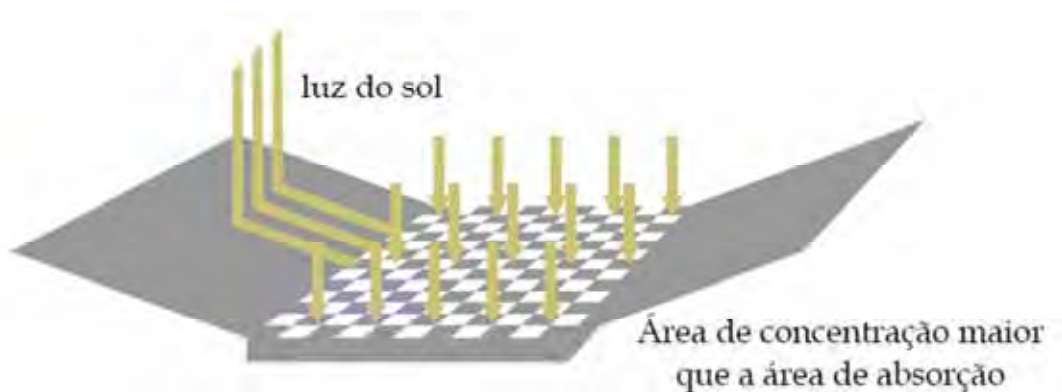


Figura 9 – Diagrama esquemático de um coletor solar com concentração (Fonte: FAPEFE, 2007).

Em 2001, o Brasil estava com 1,3 milhões m^2 de coletores instalados, sendo que 80% desse valor representa o aquecimento em instalações residenciais. Esse sistema de pequeno porte se constitui principalmente de coletores solares, reservatórios térmicos,

conhecidos como Boilers e reservatório de água fria, conforme Figura 10 (Tolmasquim, 2003).

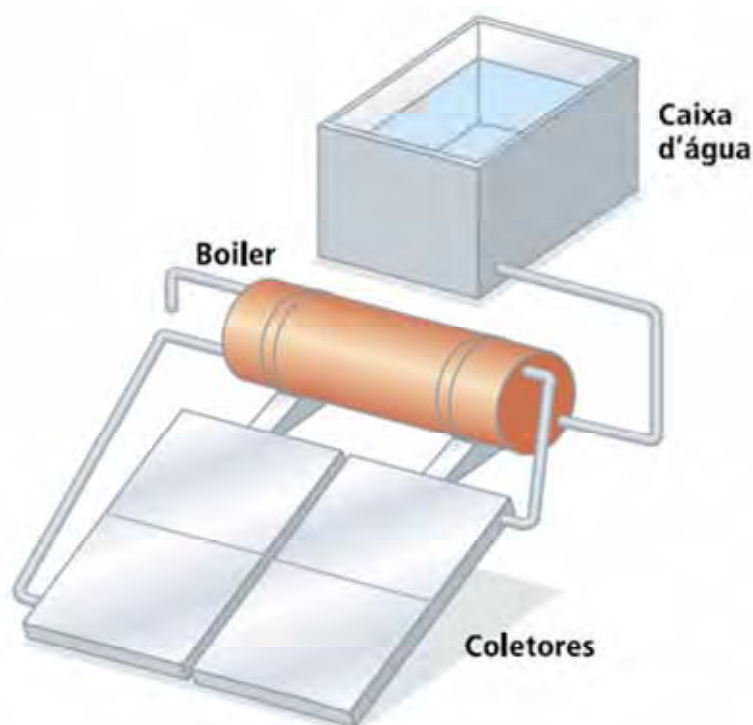


Figura 10 – Sistema termosolar de pequeno porte (Fonte: ANEEL, 2005).

Em instalações de médio e grande porte em que a capacidade de aquecimento é superior a 1.500 litros, recomenda-se a utilização de um sistema de bombeamento para circulação entre os coletores e o reservatório térmico.

Os coletores solares, Figura 11, utilizados para aquecimento de água para banho normalmente são constituídos: por uma caixa externa que geralmente é feita de alumínio que suporta todo o conjunto, isolamento térmico feito normalmente de lã de vidro ou de rocha ou espumas de poliuretano que minimiza as perdas de calor para o meio, tubos que são as flautas/calhas superior e inferior feitos normalmente de cobre e através dele que o fluido escoar no interior do coletor, aletas que são responsáveis pela absorção e transferência da energia solar para o fluido de trabalho e à cobertura transparente que geralmente é de vidro, policarbonato ou acrílico que permite a passagem da radiação solar e minimiza a perda de calor por convecção e radiação para o meio ambiente. (PALZ, 1981)

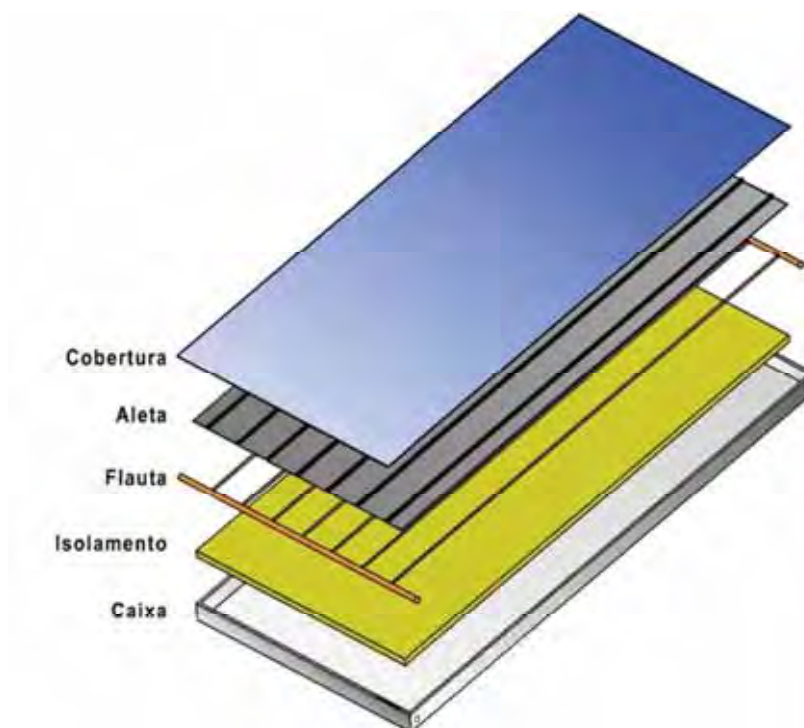


Figura 11 – Coletor solar para aquecimento de água de banho (Fonte: ABRAVA, 2011).

Cada metro quadrado de coletor solar instalado, utilizado durante um ano, equivale a 56 metros quadrados de áreas inundadas (hidrelétricas), 215 quilos de lenha, 66 litros de diesel ou 55 quilos de gás (ABRAVA, 2011).

No Brasil, a oferta de aquecedores solares de água é composta basicamente de micros e pequenas empresas que tiveram uma evolução acentuada a partir de 1999 e consolidou-se com a crise do setor elétrico brasileiro de 2001. A utilização de aquecimento de água com energia solar em residências contribui para a redução do consumo de energia elétrica no horário de pico, ou seja, entre 19 e 21 horas, quando há um grande aumento de demanda de energia em decorrência do hábito das pessoas tomarem banho com chuveiro elétrico (FRANCO, 2002).

2.2.1 Coletor solar de garrafa PET.

Pensando em pagar as dívidas de sua geração com o futuro do planeta que o aposentado José Alcino Alano desenvolveu coletores solares de baixo custo utilizando tubos e conexões de PVC (policloreto de polivinila), garrafas PET (Polietileno

Tereftalato) e embalagens longa vida. O projeto desenvolvido em 2002 está disponível na Internet e pode ser usado por qualquer um, desde que não tenha fins comerciais.

E foi na UNESP de Guaratinguetá que o Centro de Energias renováveis desenvolveu um painel similar, Figura 12, ao do aposentado José Alcino, porém utilizava apenas garrafa PET e tubos de PVC. O módulo com área aproximadamente $1,8 \text{ m}^2$ atende à necessidade de uma pessoa com cinquenta litros de água e para o caso de uma família se deve construir um módulo para cada pessoa e depois conectá-los em série (artigo informal) ¹.

O funcionamento do aquecedor solar de baixo custo baseia-se no princípio de que quando os raios solares incidem sobre as garrafas PET em seu interior parte da radiação infravermelha fica retida, formando uma espécie de estufa que passa a funcionar como um armazenador temporário de calor. Essa energia armazenada, por sua vez, aquece o ambiente interno da garrafa e os tubos de PVC, e conseqüentemente a água que esta circulando pelo painel.



Figura 12 – Coletor solar de garrafa PET
(Foto do autor no Centro de Energias Renováveis – UNESP-FEG).

¹ SOUZA, Teófilo Miguel de. **Release: Sistema de aquecimento de água utilizando a energia solar.** Artigo informal entregue aos visitantes do Centro de Energias Renováveis, em Guaratinguetá, com o intuito de informá-los sobre os projetos existentes no Centro de Energias Renováveis.

2.3 Energia Eólica

Um fato interessante é o de que a energia eólica provém da energia solar, o vento sobre os continentes e oceanos ocorre devido às diferenças de temperatura ao redor da terra como na Figura 13. Alguns locais, principalmente aqueles próximos do equador, recebem maior incidência de luz solar direta do que aqueles próximos dos polos Norte e Sul. Como resultado, o ar sobre as áreas mais quentes se aquece e se eleva. O ar frio das áreas próximas se movimenta de forma a preencher o espaço deixado pelo ar que se elevou, criando o vento de superfície.



Figura 13 – Distribuição geral dos ventos (Fonte: ECO, 2009).

A tomada de medida da velocidade dos ventos é feito com anemômetros, porém é possível caracterizar o vento local por fenômenos naturais, como mostra a tabela 2. Mas é importante observar o vento várias vezes ao dia e durante vários dias.

Para que haja bombeamento de água aproveitando a energia eólica, é necessário adquirir um cata-ventos, uma caixa de rolamentos, uma torre reforçada para fixação do cata-ventos e uma bomba hidráulica. Essa bomba deve ser instalada próxima ao fluxo de água e estar acoplada a uma haste metálica ligada diretamente ao eixo do rotor por meio de uma engrenagem. Desta forma, o vento, ao passar pelo rotor, possibilitará que a haste suba e desça, bombeando água para um reservatório, conforme mostra a Figura 14 (FAPEFE, 2007).

Tabela 2 - Escala de Beaufort para estimativa da velocidade do vento

Número de Beaufort	Descrição	Critérios de apreciação na terra	Velocidade do vento (m/s)
0	Calmaria	A fumaça eleva-se verticalmente	0 – 0,4
1	Ar leve	O vento inclina a fumaça, mas não faz girar o cata-vento	0,5 – 1,5
2	Brisa leve	As folhas se movem e o vento é sentido no rosto.	1,6 – 3,4
3	Brisa suave	As folhas e os ramos pequenos se movem continuamente.	3,5 – 5,5
4	Brisa moderada	O vento levanta o pó e as folhas. Os ramos se agitam	5,6 – 8,0
5	Brisa fresca	Pequenas árvores começam a balançar.	8,1 – 10,9
6	Vento forte	Os ramos grandes se movem. Os fios elétricos vibram. Dificuldade em se usar o guarda-chuva.	11,4 – 13,9
7	Temporal moderado	As árvores se agitam. Há um incômodo ao andar contra o vento.	14,1 – 16,9
8	Temporal	Rompem-se os ramos pequenos das árvores. Difícil andar contra o vento.	17,4 – 20,4
9	Temporal forte	Os ramos médios das árvores se quebram	20,5 – 23,9
10	Temporal muito forte	As árvores são arrancadas e danos são espalhados	24,4 – 28,0
11	Tempestade	Destroços extensos. Tetos arrancados, etc.	28,4 – 32,5
12	Furacão	Produz efeitos devastadores	32,6 – 60,0

Um cata-vento possui de 16 a 32 pás e chegam a ter 15 m de altura. Eles são conhecidos também como moinhos americanos, por serem muito encontrados em fazendas americanas. São mais usados para bombeamento de água e produzem baixa potência devido ao número elevado de pás (CERPCH, 2011).

Os pequenos moinhos de ventos foram largamente utilizados para bombeamento de água e processamento de grãos (aplicações diretamente ligadas à agricultura). Hoje

as turbinas eólicas são utilizadas para gerar energia elétrica para abastecimento urbano, através da conversão de energia cinética. A utilização dessa energia vem sendo difundida entre os diversos países, iniciada na Alemanha, Dinamarca, Holanda e Estados Unidos, além de ter uma crescente penetração em países da América latina, África e Ásia.

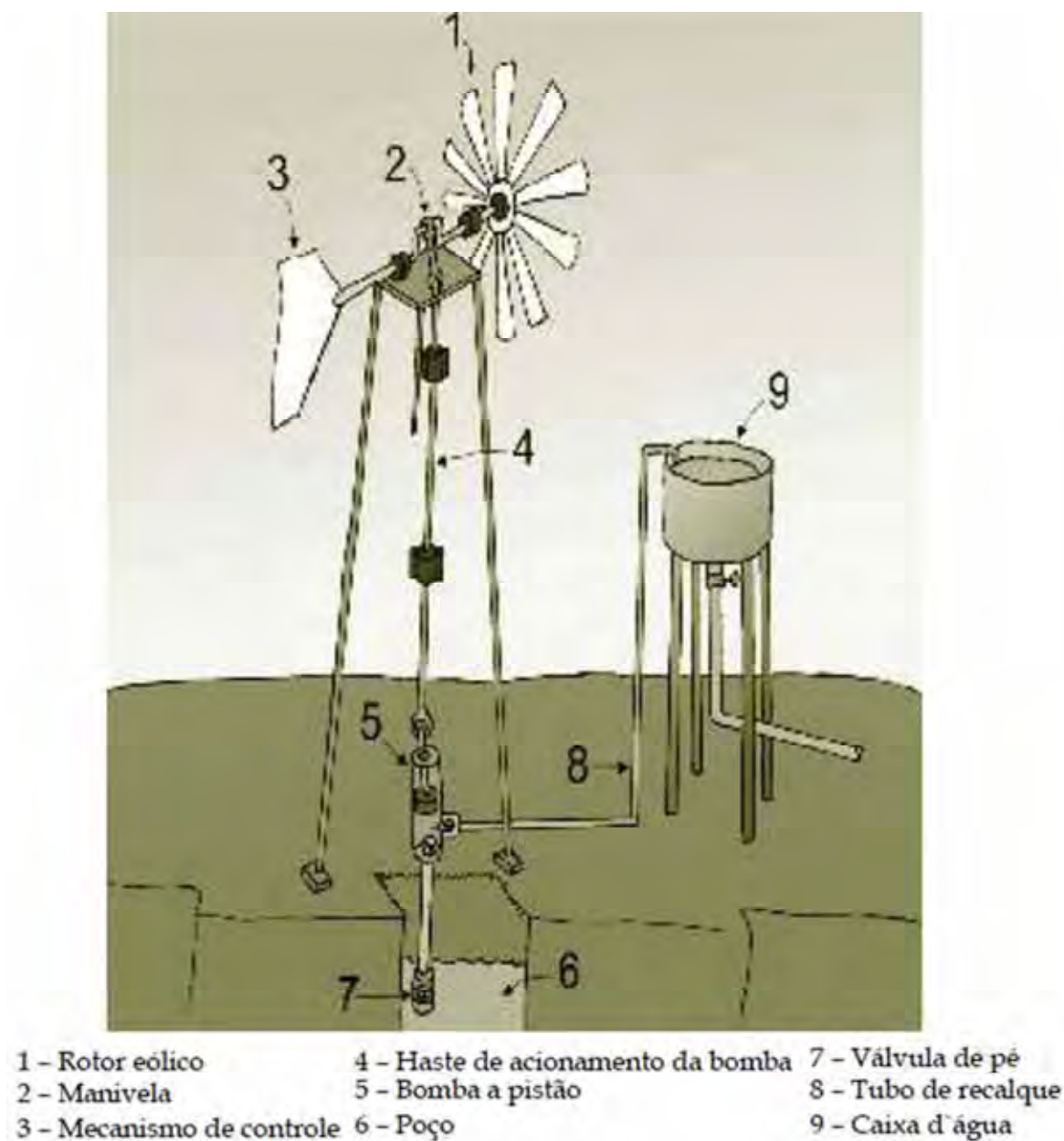


Figura 14- Demonstração de um sistema eólico no bombeamento (Fonte: Fapefe, 2007).

Quanto à capacidade de geração elétrica, as primeiras turbinas eólicas desenvolvidas em escala comercial tinham potências nominais entre 10 kW e 50 kW.

No início da década de 1990, a potência aumentou para 100 kW a 300 kW. Em 1995, a maioria dos fabricantes de grandes turbinas ofereciam modelos de 300 kW a 750 kW. Em 1997 já existiam as turbinas 1 e 1,5MW. Surgiram as primeiras turbinas de 2MW em 1999. A capacidade média das turbinas eólicas instaladas na Alemanha em 2002 foi de 1,4MW. (BOYLE, 2004).

Quanto ao porte, as turbinas eólicas podem ser classificadas da seguinte forma: pequenas – potência nominal menor que 500 kW; médias – potência nominal entre 500 kW e 1000 kW; e grandes – potência nominal maior que 1 MW.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 PROPRIEDADE RURAL

A propriedade rural de acordo com a Figura 15 possui 12 alqueires e está situada no município de Guararema, região metropolitana da capital paulista. Porém somente 6.000 m² de estufas são utilizados para o cultivo de flores. Na propriedade reside a família que é composta por três pessoas. Conforme na Figura 16, toda água utilizada para o cultivo e para uso próprio provem de um poço artesiano vazão de 15.000 litros/dia.



Figura 15 – Foto aérea da propriedade rural.

A energia elétrica é fornecida em 220 V pela EDP Bandeirante e é pago a tarifa de energia rural.

Para o estudo do caso as características necessárias foram enumeradas:

- 03 moradores
- 01 chuveiro de 7.500 W (um banho quente de dez minutos por morador/dia)

- 01 banheira convencional de 5.200 W
- 01 máquina de lavar roupa de 1.000 W
- 01 torneira de água quente na cozinha de 5.500 W
- 02 lâmpadas fluorescentes de 11 W (sala e cozinha)
- 05 lâmpadas fluorescentes de 9 W (quartos e área externa)
- 01 televisão de 32" de 140 W
- 01 receptor de antena parabólica de 10 W
- 01 liquidificador de 200 W
- 01 notebook de 120 W

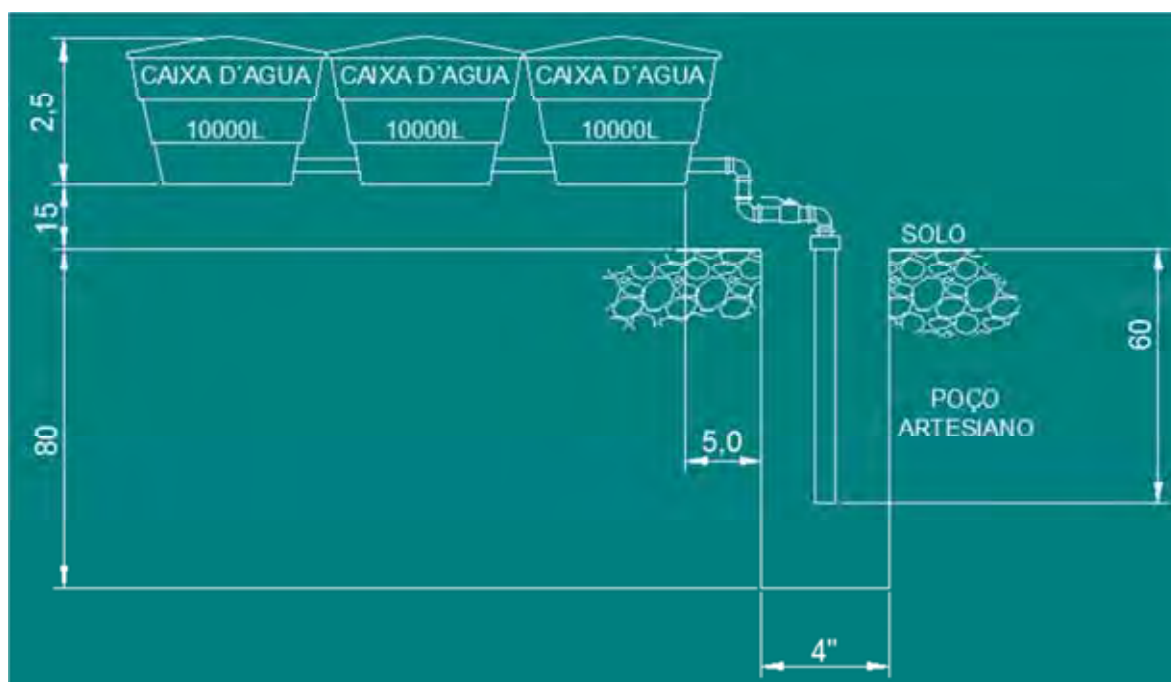


Figura 16 – Desenho esquemático do poço artesiano e caixa de água da propriedade rural.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA TERMOSOLAR

Com o levantamento das necessidades diárias de água quente para as residências inicialmente elaborase o dimensionamento da instalação do sistema termosolar adaptado do fabricante Soletrol.

3.2.1 Cálculo da demanda diária.

A demanda diária é o consumo de água quente que os moradores da residência utilizam por dia.

Segundo Krause (2002) o volume de consumo médio de água quente utilizado em uma residência corresponde à Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de água quente em uma residência (Fonte: Krause, 2002).

DESCRIÇÃO	CONSUMO
Chuveiro	50 litros por banho
Banheira convencional (1 pessoa)	100 litros por banho
Banheira dupla (2 pessoas)	200 litros por banho
Torneira de água quente na cozinha	50 litros por dia (uso moderado)
Máquina de lavar pratos	150 litros por dia
Máquina de lavar roupas	150 litros por dia

Utilizando os dados da propriedade rural que foram enumeradas no item 3.1 e com os valores citados na Tabela 3 calcula-se a demanda diária que está na Tabela 4.

Tabela 4 – Estimativa de consumo de água quente

Atividade	Consumo de água quente (l)
Banho chuveiro	3 x 50
Banheira convencional	1 x 100
Lavar roupa	150
Torneira da cozinha	150
Total	550

3.2.2 Dimensionamento do reservatório térmico (*Boiler*).

O reservatório térmico, também conhecido como *Boiler* na Figura 17 é o recipiente onde a água aquecida será armazenada para ser consumida. Ele é formado por dois cilindros, um interno e outro externo, com o espaço entre eles preenchido por um material que seja um bom isolante térmico (lã de vidro, lã de rocha, espuma de poliuretano). A função desse preenchimento é diminuir as perdas de calor da água aquecida para o ambiente.

Existem boilers de baixa pressão e os de alta pressão. Os de baixa pressão são mais econômicos e são indicados para instalações nos projetos em que a caixa de água fria esteja logo acima do boiler, sendo que o seu nível de água deverá estar no máximo com 4 m.c.a (metros de coluna de água), ou seja, o desnível máximo entre a parte superior do reservatório de água e a parte baixa do boiler deve ser de no máximo 4 metros e não podem ser pressurizados ou alimentados com água da rede pública. Os boilers de alta pressão são recomendados para sistemas pressurizados e instalações onde a caixa de água fria está muito elevada. (máx. 40 m.c.a). Alguns fabricantes trabalham com boiler de média pressão que trabalham em média até 7 m.c.a.

Será possível instalar o boiler logo abaixo da caixa d'água e então se pode escolher a opção de baixa pressão. Considerando cerca 20% de margem de segurança tem-se a necessidade de água de 660l. Os reservatórios são fabricados com volumes padronizados e, portanto, deve-se escolher aquele com volume mais próximo do volume diário calculado. Para isso pode-se consultar tabelas de fabricantes, como por exemplo, a Tabela 5 e de acordo com a tabela o boiler escolhido é então um de 700l.

Tabela 5 – Exemplo de catálogo de fabricante de reservatório térmico

Medidas em mm									
Litros	100	200	300	400	500	600	700	800	1000
Compr.	1000	1200	1200	1600	1900	2300	2700	3000	3600
Altura	500	500	700	700	700	700	700	700	700
Watts	3000 w/ 220volts/ monofásico							6000 w/ 220 v/monof.	
Bitola Hidr.	1"							1.1/2"	



Figura 17 - Exemplo de um reservatório térmico
(Foto do autor no Centro de Energias Renováveis – UNESP-FEG).

3.2.3 *Layout* do sistema

Com as dimensões calculadas para o sistema, o próximo passo é a escolha do arranjo, que será feita de acordo com as características do equipamento escolhido e do telhado.

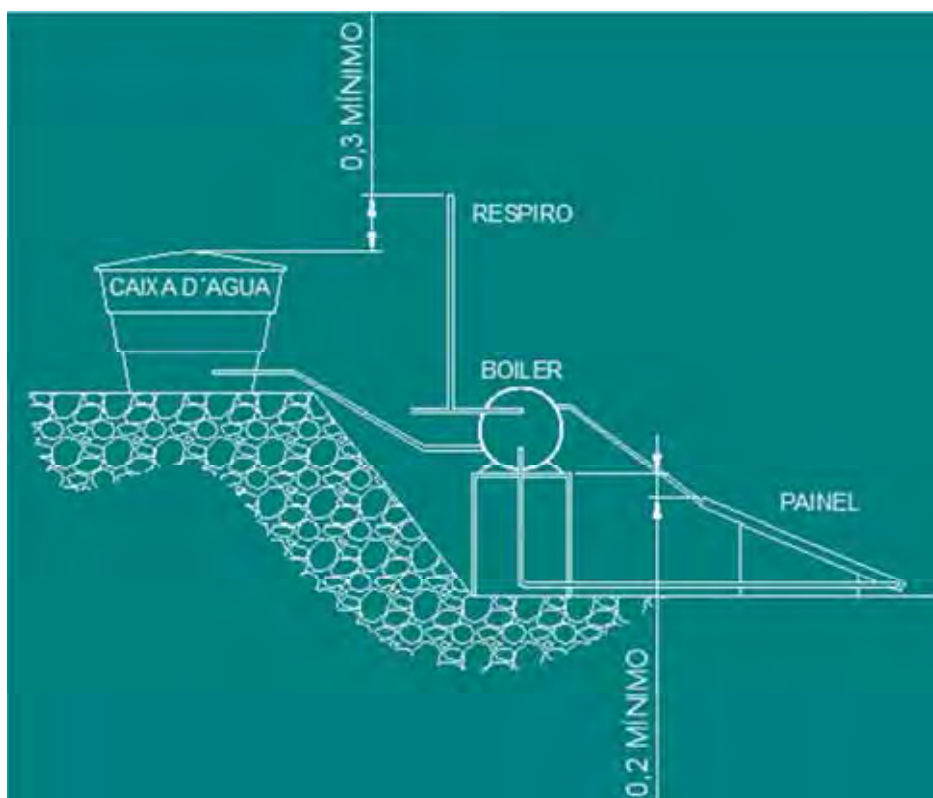


Figura 18 – *Layout* do sistema

A caixa d'água já está instalada e fica fora da casa, então um arranjo usual para este caso é fixar o boiler logo abaixo da caixa d'água. Para sistemas de baixa pressão, é obrigatório o uso de respiro, no mínimo a 30 cm acima do nível da caixa d'água fria a partir da saída do consumo de água quente do boiler e a distância mínima entre a parte alta dos coletores e a parte baixa do boiler é 20 cm. Na Figura 18 tem-se um *layout* do sistema.

3.2.4 Dimensionamento do coletor solar convencional.

O último passo é a escolha do painel coletor solar, Figura 19, que é feita com base no volume de água que se quer aquecer. De forma geral em um dia ensolarado, quase sem nuvens, uma área coletora de 1m^2 é capaz de aquecer 60 litros de água a uma temperatura de 60°C . Com esses dados pode-se calcular a área total de coletores necessária, através de uma regra de três simples.

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^2 \dots 60 \text{ litros} \\ X\text{m}^2 \dots 660 \text{ litros} \end{array}$$

Será necessária, portanto, uma área coletora de 11m^2 . Logo, se forem utilizados coletores solares de $1,0\text{m}^2$, serão necessários 11 coletores. No caso de coletor de $1,6\text{m}^2$ seriam necessários 7 e se fossem usados $2,0\text{m}^2$, seriam necessários 6.



Figura 19 – Exemplo do coletor solar
(Foto do autor no Centro de Energias Renováveis – UNESP-FEG).

3.2.5 Dimensionamento do coletor solar de garrafa PET.

Utilizamos o artigo informal² como referência para dimensionamento do coletor de garrafa pet.

Primeiro se calcula a carga que será aquecida através da Equação (1):

$$Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) \rightarrow 660 \cdot 1 \cdot (60 - 20) \rightarrow Q = 26.400 \text{ kcal} \quad (1)$$

Onde:

m = quantidade = 660 kg = 660 litros

c = calor específico da água = 4.186,0 J/kg. K = 1,0 cal/g. °C

t_f = temperatura final (K) = 333,15 K = 60 °C

t_i = temperatura inicial (K) = 293,15 K = 20 °C

Cada tubo do aquecedor tem comprimento de 2m e diâmetro de 12 mm, pintado de preto fosco. São conectadas, em série, 6 garrafas de 2 litros-diâmetro com espessura 0,1m, com o tubo passando por dentro.

Então se calcula a superfície coletora através da Equação (2):

$$S = Q/1.500 \rightarrow 26.400/1.500 \rightarrow S = 17,6\text{m}^2 \quad (2)$$

Cada 0,2 m² tem 6 garrafas de 2 litros. O total de garrafas PETs de 2 litros será de acordo com a Equação (3):

$$TG = 27 \cdot S \rightarrow 27 \cdot 17,6 \rightarrow TG = 476 \text{ garrafas} \quad (3)$$

A quantidade de tubos conectados em paralelo (com 6 garrafas cada) será de acordo com a Equação (4):

$$CP = TG/6 \rightarrow 476/6 \rightarrow 79,3 \rightarrow CP = 80 \text{ canos em paralelo} \quad (4)$$

² SOUZA, Teófilo Miguel de. **Release: Sistema de aquecimento de água utilizando a energia solar.** Artigo informal entregue aos visitantes do Centro de Energias Renováveis, em Guaratinguetá, com o intuito de informá-los sobre os projetos existentes no Centro de Energias Renováveis.

Para cada tubo de 2 metros de comprimento em paralelo é utilizado a mesma quantidade de canos de 0,08 metros e o dobro de conexão “tês”. Também é necessário um joelho e duas torneiras. A Figura 20 é um diagrama esquemático desse painel.

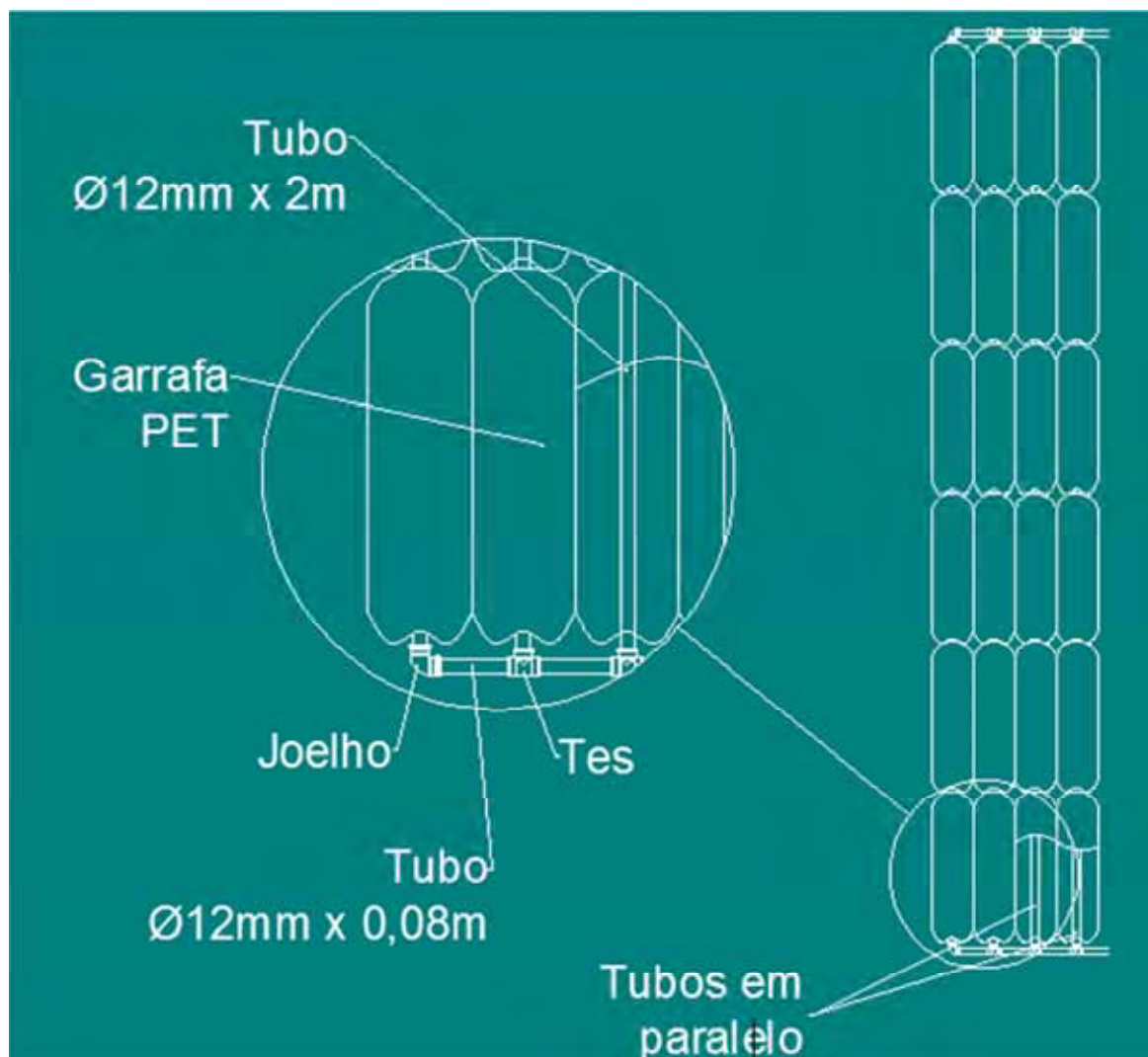


Figura 20 - Diagrama de montagem do coletor solar de garrafa PET.

3.3 Dimensionamento do sistema com painel fotovoltaico.

Para abastecer a residência com energia elétrica será feito um dimensionamento adaptado do CRESESB (1999) de um sistema fotovoltaico com os itens ilustrados na Figura 21.

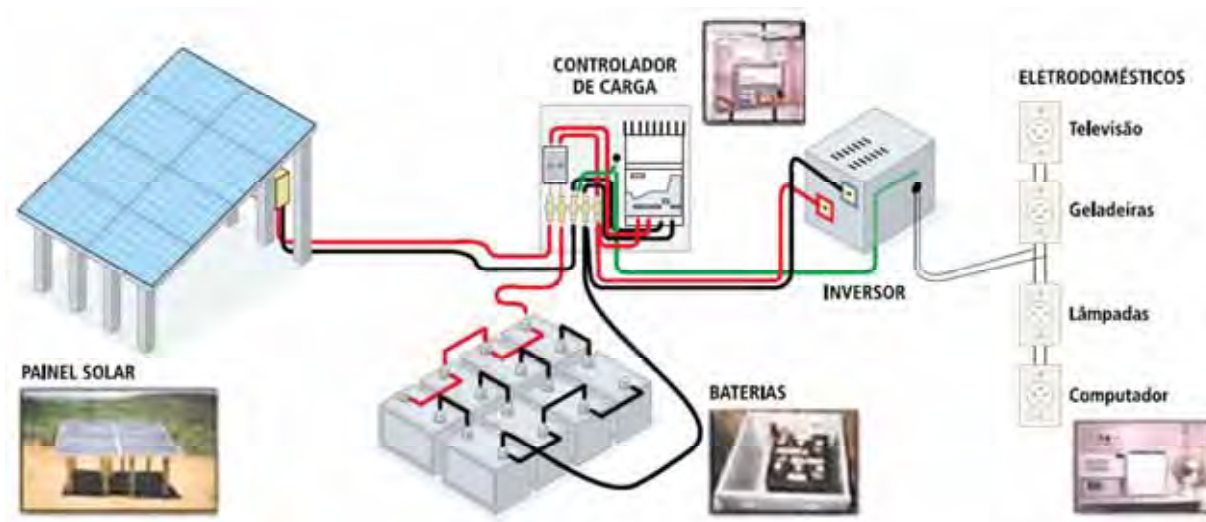


Figura 21 - Sistema fotovoltaico (fonte: CRESESB. 1999).

3.3.1 Levantamento do consumo médio diário

Levando em conta as limitações dos sistemas fotovoltaicos monta-se a Tabela 6 com os dados básicos relativos às cargas dos itens em que se deseja alimentar através do painel fotovoltaico.

Tabela 6 - Levantamento do consumo médio diário

Descrição	Potência (W)	Corrente (A)	Tempo de uso (h/dia)	Consumo (Wh/dia)	Consumo (Ah/dia)
5 lâmpadas	45	0,36	1,5	67,5	0,54
2 lâmpadas	22	0,178	3	66	0,534
1 liquidificador	200	16,667	0,1	20	1,667
1 Receptor	10	0,8	3	30	2,4
1 TV 32" LED	140	11,7	3	420	35,1
1 notebook	120	10	1	120	10
Total				723,5	50,24

Consideram-se dois dias sem sol, isto se refere ao número de dias em que se prevê que diminuirá ou não haverá geração e que deverão ser tidos em conta no

dimensionamento das baterias. O consumo médio diário (CMD) corresponde ao consumo diário (Ah/dia) multiplicado pelo número de dias sem sol, então será 100,48 Ah/dia. Com fator de segurança, eficiência das baterias e as perdas multiplica-se esse valor por 1,2, então o consumo total médio diário (CTMD) fica igual 120,58 Ah/dia. A potência total (PT) é 723,5 W.

3.3.2 Levantamento da radiação solar

É de grande importância a localização geográfica de onde será instalado o painel fotovoltaico, pois é de acordo com a latitude local em que é feito um levantamento do número de horas de insolação diária e também a inclinação para instalação do painel.

A média anual no Brasil é de 5h de insolação diária. A cidade está a -23° latitude e para facilitar a colocação dos painéis pode-se construir o gabarito para instalação dos painéis conforme Figura 22. Para as cidades que se localizam no sul os painéis devem ficar inclinados para o norte. Os painéis podem ser colocados diretamente no telhado, mastro ou torre.

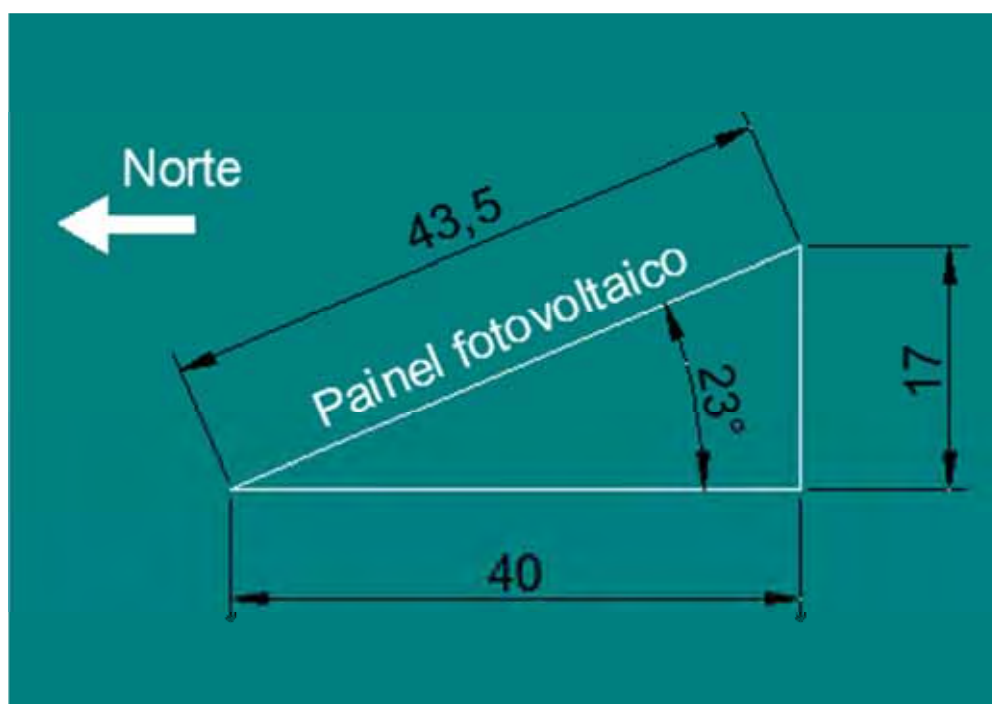


Figura 22 - Gabarito para instalação do painel fotovoltaico

3.3.3 Dimensionamento do módulo solar

Com as necessidades da residência o próximo passo é o dimensionar os painéis conforme os tamanhos da Figura 23.



Figura 23 – Exemplo do painel fotovoltaico (fonte: Kyocera).

Existem diversos modelos no mercado, pode-se escolher um catálogo de um fornecedor como a tabela 7 e escolhemos placas de 130 W que gera 7,39 A de corrente à máxima potência (I_{mp}).

Tabela 7 – Catálogo de painel fotovoltaico (fonte: Kyocera)

Modelos	KD205 GX-LP	KD180 GX-LP	KC130 TM	KC85 T
Máxima potência	205 W	180 W	130 W	85 W
Máxima tensão do sistema	600 V	600 V	400 V	600 V
Tensão de máxima potência	26,6 V	23,6 V	17,6 V	17,4V
Corrente de máxima potência	7,71 A	7,63 A	7,39A	5,02A
Corrente de curto circuito	8,36	8,35	8,02	5,34

A capacidade de cada módulo é dada pela Equação (5):

$$\text{Cap}_{\text{mod}} = \text{Nh} \cdot \text{Imp} \rightarrow 5.7,39 \rightarrow \text{Cap}_{\text{mod}} = 36,95\text{Ah/dia} \quad (5)$$

Onde:

Cap_{mod} = Capacidade de cada módulo (Ah/dia)

Nh = número de horas de pico de irradiação solar (h)

Imp = corrente a máxima potência (A)

Para os painéis montados em paralelo utiliza-se a Equação (6):

$$P_{\text{paralelo}} = \text{CTMD}/\text{Cap}_{\text{mod}} \rightarrow 120,58 / 36,95 \rightarrow 3,3 \quad (6)$$

$$P_{\text{paralelo}} \cong 4 \text{ painéis}$$

Para os painéis montados em série utiliza-se a Equação (7):

$$P_{\text{série}} = T/12 \rightarrow P_{\text{série}} = 12/12 \rightarrow P_{\text{série}} = 1 \text{ painel} \quad (7)$$

A quantidade total de painéis é calculada pela Equação (8):

$$P_{\text{total}} = P_{\text{paralelo}} \cdot P_{\text{série}} \rightarrow 4.1 \rightarrow P_{\text{total}} \cong 4 \text{ painéis} \quad (8)$$

Onde:

P_{total} = quantidade total de painéis

P_{paralelo} = quantidade de painéis em paralelo

$P_{\text{série}}$ = quantidade de painéis em série

CTMD: consumo total médio diário (Ah/dia)

Cap_{mod} : Capacidade de cada módulo (Ah/dia)

T = tensão do sistema (V)

3.3.4 Dimensionamento do banco de baterias.

Lembrando que o banco tem a função de armazenar energia, pois em horas matutinas os módulos começam a gerar, mas se a corrente que fornecerem for menor que aquela que a carga exige, a bateria na Figura 24 deverá contribuir.



Figura 24 – Exemplo de bateria (fonte: Freedom)

A partir de uma determinada hora da manhã a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos supera a energia média procurada. Os módulos não só atenderá à demanda, Figura 25, exigida como, além disso, o excesso será armazenado na bateria que começará a carregar-se e a recuperar-se da sua descarga da noite anterior. Finalmente durante a tarde, a corrente gerada diminui e qualquer diferença em relação à demanda será suprida pela bateria. Durante a noite, a produção é nula e todo o consumo vem da(s) bateria(s) de acumuladores.

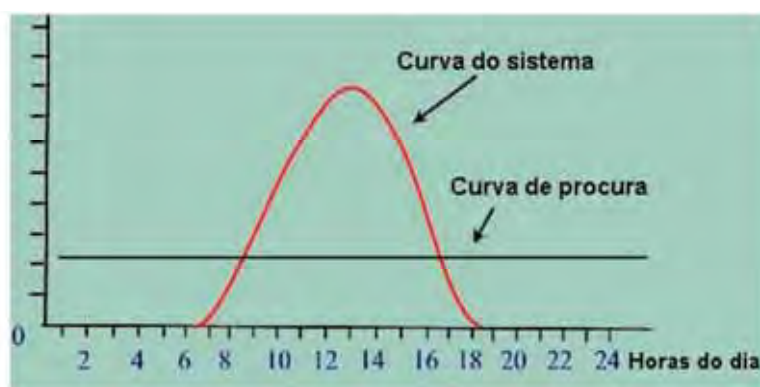


Figura 25 - Curva do sistema x curva de procura

Utilizando dados da bateria escolhida através de catálogo de fornecedor, calcula-se a capacidade mínima da bateria com a Equação (9):

$$\text{Bateria}_{\text{CAP}} = \text{CMTD} \cdot 6,25 \rightarrow 120,58 \cdot 6,25 \rightarrow \text{Bateria}_{\text{CAP}} = 753,63 \text{ Ah} \quad (9)$$

Onde:

$\text{Bateria}_{\text{CAP}}$ = Capacidade mínima da bateria (Ah)

Para as baterias montadas em paralelo utiliza-se a Equação (10):

$$\text{Bat}_{\text{paralelo}} = \text{Bateria}_{\text{CAP}} / \text{CapBat}_{\text{cat}} \rightarrow 753,63 / 105 \rightarrow 7,2 \quad (10)$$

$$\text{Bat}_{\text{paralelo}} \cong 8 \text{ baterias}$$

Para as baterias montadas em série utiliza-se a Equação (11):

$$\text{Bat}_{\text{série}} = T/12 \rightarrow 12/12 \rightarrow \text{B}_{\text{série}} = 1 \text{ bateria} \quad (11)$$

O total de baterias é então dado pela Equação (12):

$$\text{B}_{\text{total}} = \text{Bat}_{\text{paralelo}} \cdot \text{Bat}_{\text{série}} \rightarrow 8 \cdot 1 \rightarrow \text{B}_{\text{total}} \cong 8 \text{ baterias} \quad (12)$$

Onde:

B_{total} = total de baterias

$\text{Bat}_{\text{paralelo}}$ = quantidade de baterias em paralelo

$\text{Bat}_{\text{série}}$ = quantidade de baterias em série

$\text{CapBat}_{\text{cat}}$ = capacidade da bateria dado de catálogo (Ah)

3.3.5 Dimensionamento do controlador de carga.

O controlador de carga na Figura 26 tem a função de controlar a utilização da energia gerada e permitir que a bateria funcione bem, sem desgaste desnecessário e redução de sua vida útil.



Figura 26 – Exemplo de controlador de carga (fonte: Kyocera).

O controlador é dimensionado de acordo com a corrente que será conduzida do painel para a bateria. Primeiramente calcula-se a corrente a potência máxima com fator (Imp_{fator}) multiplicando-se a corrente Imp (7,39) encontrada no catálogo pelo fator de segurança 1,1 que resulta em 8,2 A. E depois se calcula através da Equação (13) a corrente de curto circuito do módulo solar (Isc).

$$Isc = Imp_{fator} \cdot P_{paralelo} \cdot 1,3 \rightarrow Isc = 8,2 \cdot 4 \cdot 1,3 \rightarrow Isc \cong 42,64 \text{ A} \quad (13)$$

Onde:

Imp_{fator} = corrente a potência máxima com fator segurança (A)

Isc = corrente de curto circuito (A)

Tabela 8 - Exemplo de fabricante de controladores de carga

Controladores de carga e descarga inteligentes				
Código	Modelo	Corrente máxima	Potência	Tensão de trabalho
91101	CCD1205	5 A	60 W	12 V
91102	CCD1210	10 A	120 W	12 V
91105	CCD1215	15 A	180 W	12 V
91106	CCD1220	20 A	240 W	12 V
91110	SR30	30 A	450 W	12 OU 24 V
91111	PPC1250	50 A	600 W	12 V
91112	PPC4830	30 A	1440 W	48 V

O controlador de carga selecionado para o sistema é o modelo com corrente máxima de 20A e potência de 240 W conforme Tabela 8.

Para calcular a potência de surto do controlador ($CT_{potsurto}$) se multiplica a potência do controlador por 2 que resulta em 480 w.

A quantidade de controladores em paralelo é calculada pela Equação (14):

$$CT_{\text{paralelo}} = I_{sc}/\text{Corrente}_{\text{cat}} \rightarrow 42,64/20 \rightarrow 2,1 \cong 3 \text{ Controladores} \quad (14)$$

Onde:

$\text{Corrente}_{\text{cat}}$ = corrente encontrada no catálogo (A)

CT_{paralelo} = quantidade de reguladores em paralelo.

3.3.6 Seleção do Inversor

O inversor da Figura 27 é necessário para permitir a alimentação de equipamentos em tensão alternada.



Figura 27 – Exemplo de Inversor (fonte: Kyocera)

De acordo com a Tabela 6 a potência total (PT) é de 723,5 Watts por dia.

O cálculo da potência de surto do inversor é dada pela Equação (15):

$$Inv_{\text{surto}} = PT.2 \rightarrow 723,5.2 \rightarrow Inv_{\text{surto}} = 1.447 \quad (15)$$

É escolhido então um inversor que tenha a potência maior do que a potência de surto do inversor, isso depende dos tipos de inversores fornecidos pelo fabricante, como exemplo a Tabela 9 mostra os dados nominais de alguns modelos de inversores, o inversor escolhido é o de 1.750 W.

Tabela 9 – Exemplo de fornecedor de inversor

Inversor	Código	Descrição - entrada x saída	Watts
Inversores Senóide modificada Xantrex	92705	Entrada (In): 127Vdc Saída (out): 115Vdc	175 W
	92706		400 W
	92707		700 W
	92710		1.200 W
	92711	PWM Technology - Semi-sinowave	1.750 W

3.4 Bombeamento de água com painel fotovoltaico

O sistema de bombeamento solar dispensa a rede elétrica e o motor diesel, sendo auto-suficiente eletricamente. É eficiente, confiável, necessita de pouca manutenção, não necessita de bateria e o bombeamento sem ruído e sem poluição. Uma característica favorável ao uso dessa tecnologia refere-se ao casamento perfeito entre a fonte energética, a radiação solar, e a necessidade de água.

Mas um sistema de bombeamento solar, para que seja atrativo, deve preencher os seguintes quesitos:

- Baixa vazão
- Baixa pressão
- Local não eletrificado.

À medida que o custo da tecnologia se reduz, o acionamento de bombas de água por meio de geração fotovoltaica torna-se mais viável. Segundo Cresesb (2004) ao ser comparado a um sistema de bombeamento Diesel, as bombas solares mostram-se mais vantajosas para vazões menores que 50 m³/dia e alturas manométricas inferiores a 20 m. A prática tem mostrado que, na realidade, a vantagem acontece quando o produto da vazão pela altura manométrica se encontra em valores até 500 m⁴/dia. No entanto é importante ressaltar que condições locais, níveis de insolação e custo de combustíveis interferem na avaliação.

Como no caso estudado a vazão necessária para suprir as necessidades da propriedade é 15.000 litros/dia ($15\text{m}^3/\text{dia}$) e a altura manométrica total da elevação são 97,5m (profundidade do poço + altura da caixa em relação ao solo + altura do reservatório) o produto desses valores é 1.462,5 e esse valor é maior do que o aceitável para uso de bombeamento solar.

Usam-se tabelas de fabricantes para tentar selecionar um sistema que atende a altura manométrica e a vazão citada, mas para este caso não foi encontrado um exemplo de fornecedor de está indicado na Tabela 10 e na Figura 28.

Tabela 10 - Tabela de fornecedor bomba de água (fonte: Solenerg)

Altura Manométrica (m)	Número de Módulos Fotovoltaicos - 100W										
	Vazão diária média (m^3/dia)										
	1	1,5	3	4	5	7,5	10	15	20	25	30
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
8	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	4
10	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	5
15	1	1	2	2	2	2	3	4	5	6	7
20	1	1	2	2	2	2	3	5	6	8	-
25	1	2	2	2	2	3	4	6	8	-	-
30	1	2	2	2	2	3	4	8	-	-	-
40	2	2	3	3	3	4	5	-	-	-	-
50	2	2	3	3	4	5	6	-	-	-	-
60	2	2	3	4	4	5	-	-	-	-	-
70	2	2	3	4	5	7	-	-	-	-	-
80	2	3	4	4	6	-	-	-	-	-	-
90	2	3	4	6	7	-	-	-	-	-	-
100	2	3	4	7	8	-	-	-	-	-	-
110	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

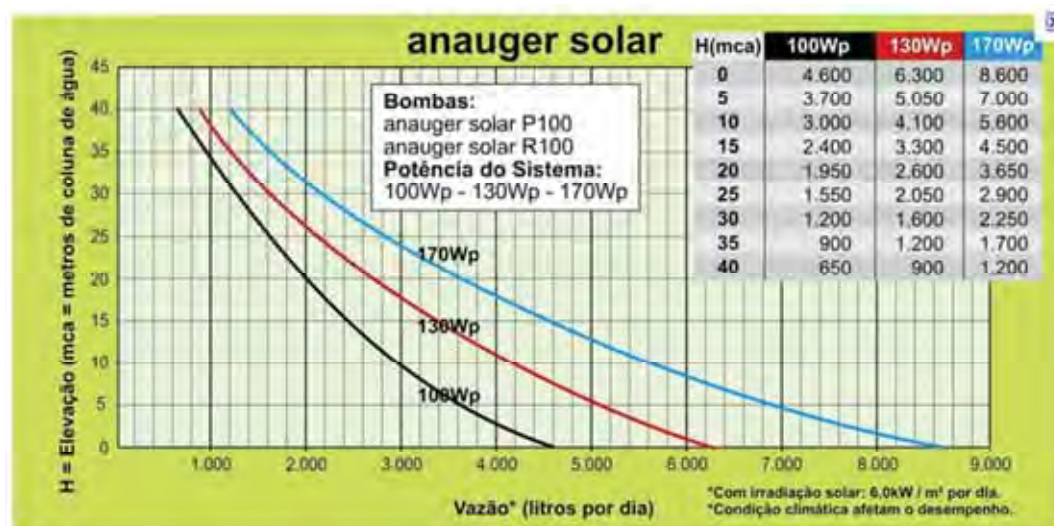


Figura 28 – Gráfico de vazão de água x altura (fonte: CRESESB).

3.5 Bombeamento de água com cata-ventos

Conforme item 3.4 não foi encontrado uma boa opção e a próxima sugestão para bombeamento é o cata-vento na Figura 29.



Figura 29 – Cata-ventos (Foto do autor no Centro de Energias Renováveis – UNESP-FEG).

O dimensionamento e as considerações foram adaptadas conforme CRESESB. A velocidade do vento (V) do local foi considerada 5,0 m/s que corresponde a brisa suave, item 3 da escala Beaufort da Tabela 2. A altura do bombeamento (H) de acordo com a Figura 16 é 97,5m, porém com margem de segurança multiplica-se esse valor por 1,1 resultando em 107,25m e é considerado 10h por dia de vento.

A razão de horas de vento por dia é calculado através da Equação (16):

$$FC = H/24 \rightarrow 10/24 \rightarrow FC = 0,4167 \quad (16)$$

A vazão do equipamento é calculada pela Equação (17):

$$V_z = C/(FC \times 86.400) \rightarrow 15000/(0,417 \times 86.400) \rightarrow V_z = 0,416 \text{ l/} \quad (17)$$

E pela Equação (18) se calcula o diâmetro da pá:

$$D_{pás} = \sqrt{Q_v \cdot H / (0,08 \cdot V^3)} \rightarrow \sqrt{0,416 \cdot 107,25 / (0,08 \cdot 5^3)} \rightarrow D_{pás} = 2,1 \text{ m} \quad (18)$$

Onde:

FC = razão de horas de vento por dia por 24

H = horas por dia de vento (h)

C = consumo de água (l)

Q_v = vazão (l/s)

$D_{pás}$ = diâmetro das pás do cata-vento (m)

De acordo com dados do fabricante o diâmetro é menor que 3,5 m e então pode-se usar um cata-vento.

4 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.

4.1 Custo dos itens de cada sistema dimensionado.

Foi feito um levantamento do custo de cada parte do sistema dimensionamento que fizemos no item anterior, através de sites e orçamentos de fornecedores.

4.1.1 Sistema termosolar para aquecimento de água

Na Tabela 11 comparam-se os custos dos reservatórios térmicos de 700 litros ou mais próximo variando o fabricante. O mais econômico foi do fabricante Dinasol. Na Tabela 12 se compara a quantidade de coletores solares versus os tamanhos de 0,1, 0,16 e 2 m². O menor custo é o 7 coletores de 0,16 m² da Unisol.

Tabela 11 – Custo dos reservatórios térmicos

Modelo	Custo (R\$)
Unisol 700 Litros	2.184,05
Dinasol 700 Litros	1.900,00
Maxtech Solar 800 Litros	1.976,74

Tabela 12 – Custo dos coletores solares

Modelo	Custo (R\$)	Custo total
Unisol 0,1 m ² – 11 coletores	349,0	3.839,0
Unisol 0,16 m ² – 7 coletores	449,0	3.143,0
Unisol 0,2 m ² – 6 coletores	549,0	3.294,0
Dinasol 0,1 m ² – 11 coletores	384,42	4.228,6
Dinasol 0,16 m ² – 7 coletores	492,0	3.444,0
Dinasol 0,2 m ² – 6 coletores	690,00	4.140,0

Na Tabela 13 somam-se os custos dos itens necessários para fabricação do coletor solar de garrafa PET.

Tabela 13 – Custo do coletor solar de garrafa PET.

Modelo	Custo (R\$)	Custo total (R\$)
Cano ½” PVC 2 m	7,25	580,0 (80x)
Cano ½” PVC 0,08 (37,5 pedaços)	10,85	32,5 (3x)
“tês” 1/2”	1,65	264,0 (160x)
Joelho ½”	1,90	1,90
Total		878,4

4.1.2 Sistema com painel fotovoltaico

Na Tabela 14 compara-se a quantidade de painéis de cada potência versus o custo de compra. A melhor combinação para esse caso é de três painéis de 135 w.

Tabela 14 – Custo dos painéis fotovoltaico

Modelo	Custo (R\$)	Custo total
Kyocera 210 w – 3 painéis	1.650,0	4.950,0
Kyocera 135 w – 3 painéis	980,0	2.940,0
Kyocera 83 w – 5 painéis	815,0	4.075,0
Kyocera 65 w – 7 painéis	665,0	4.655,0
Kyocera 54 w – 8 painéis	600,0	4.800,0
SW 135 w – 3 painéis	1.300,0	3.900,0
SW 85 w – 5 painéis	910,0	4.550,0
SW 50 w – 8 painéis	600,0	4.800,0

Na Tabela 15 compara-se o custo com a quantidade de baterias. O melhor custo encontrado foi de 5 baterias de 150Ah.

Tabela 15 – Custo das baterias

Modelo	Custo (R\$)	Custo total
Bateria Freedom 45Ah – 17 baterias	269,0	4.573,0
Bateria Freedom 60Ah – 13 baterias	310,0	4.030,0
Bateria Freedom 105Ah – 7 baterias	499,0	3.493,0
Bateria Freedom 150Ah – 5 baterias	719,0	3.595,0
Bateria Freedom 170Ah – 5 baterias	789,0	3.945,0

Na Tabela 16 compara-se o custo entre os controladores de carga. Os que oferecem menor custo são os de 10A.

Tabela 16 – Custo dos controladores de carga

Modelo 12 v	Custo unitário (R\$)	Custo total 8 painéis 54 w	Custo total 7 painéis 65 w
BRH 10A	145,0	580,0 (4x)	580,0 (4x)
BRH 20A	350,0	700,0 (2x)	700,0 (2x)
BRH 30A	450,0	900,0 (2x)	900,0 (2x)
Morningstar 10A	225,0	900,0 (4x)	900,0 (4x)
Morningstar 20A	310,0	620,0 (2x)	620,0 (2x)
Morningstar 30A	515,0	1030,0 (2x)	1030,0 (2x)

Tabela 16 – continuação - custo dos controladores de carga

Modelo 12 v	Custo total 5 painéis 83 w	Custo total 3 painéis 135 w
BRH 10A	580 (4x)	435 (3x)
BRH 20A	700,0 (2x)	700,0 (2x)
BRH 30A	900,0 (2x)	900,0 (2x)
Morningstar 10A	900,0 (4x)	675,0 (3x)
Morningstar 20A	620,0 (2x)	620,0 (2x)
Morningstar 30A	1.030,0 (2x)	1.030,0 (2x)

Na Tabela 17 têm-se marcas diferentes de inversores, porém de mesma potência os inversores. O menor custo é o BRH, seguido do Xpower.

Tabela 17 – Custo dos inversores

Modelo Inversor 12 v	Custo (R\$)
BRH 1500W	950,0
XANTREX 1500 w	1.399,0
Xpower 1500W	1.000,0

4.1.3 Bombeamento de água com cata-vento

De acordo com o fornecedor cata-vento com torre quadrangular de 18 metros de altura, máquina grande, roda com 3.40 x 18 pás, pistão de 3", 01 válvula de pé de 1.1/4, 15 metros de redutores de 1.1/2 o custo total é R\$ 10.150,00.

4.2 Custo total de cada sistema

4.2.1 Sistema termosolar para aquecimento de água

Na Figura 30 apresenta-se o custo total do equipamento para sistema termosolar de aquecimento de água. Variando o número de coletores solares, o menor custo é sistema com o reservatório térmico da Dinasol e com 7 coletores de 0,16m². Na Figura 31 é a comparação desse sistema com 7 coletores com o coletor de garrafa PET. Sendo coletor de garrafa PET o mais econômico.

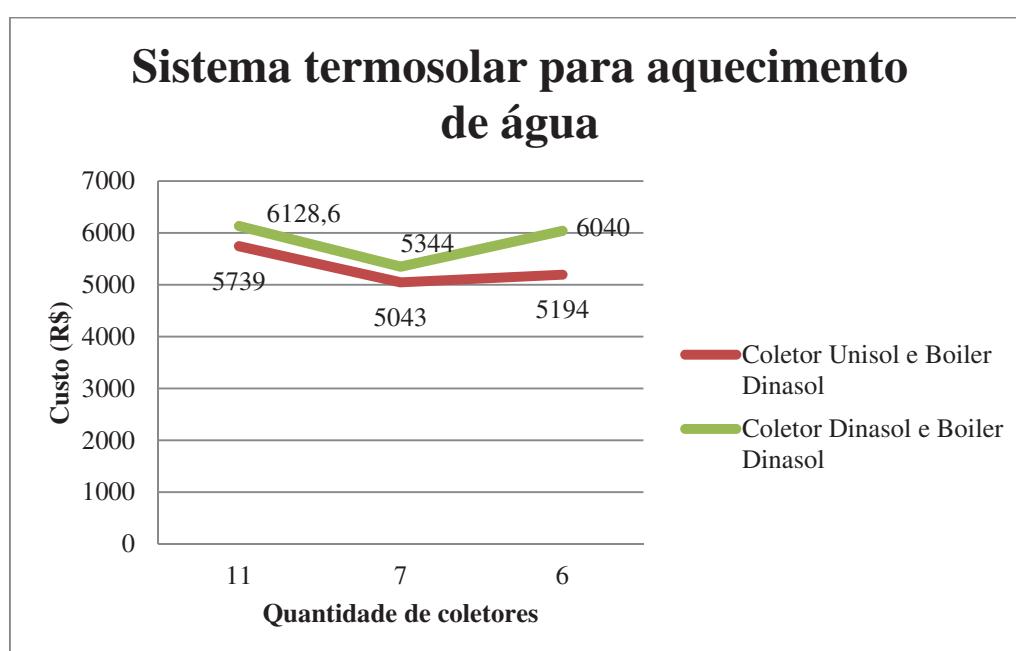


Figura 30 – Gráfico do custo x número de coletores do sistema termosolar

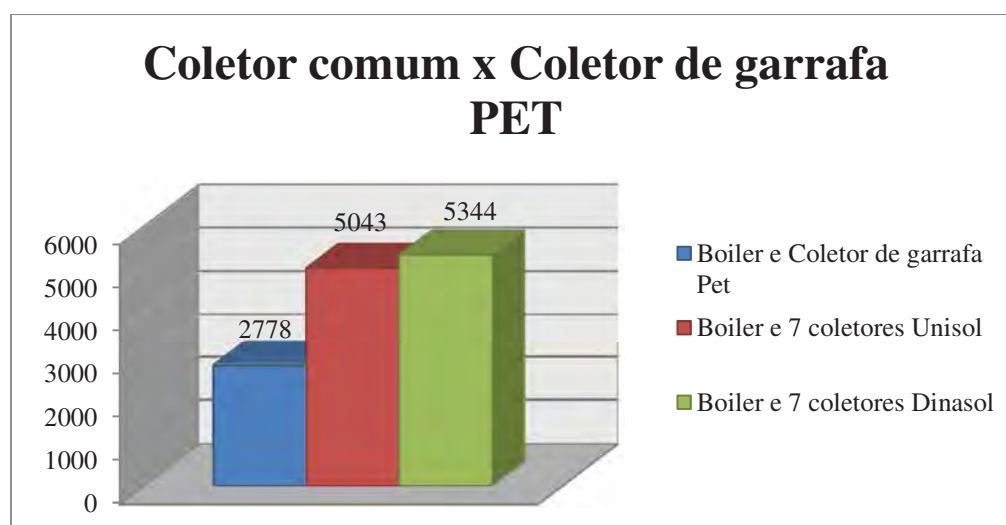


Figura 31 – Comparativo de custo coletor comum x coletor de garrafa PET

4.2.2 Sistema com painel fotovoltaico

Na Figura 32 se compara os custos dos painéis fotovoltaicos. Para ambas as marcas pesquisadas o uso da combinação de 3 painéis de 135 w é o mais econômico. Na Figura 33 para esse sistema temos percentual do custo de cada item em relação ao sistema completo. A bateria é o que representa maior custo seguido pelo painel fotovoltaico.

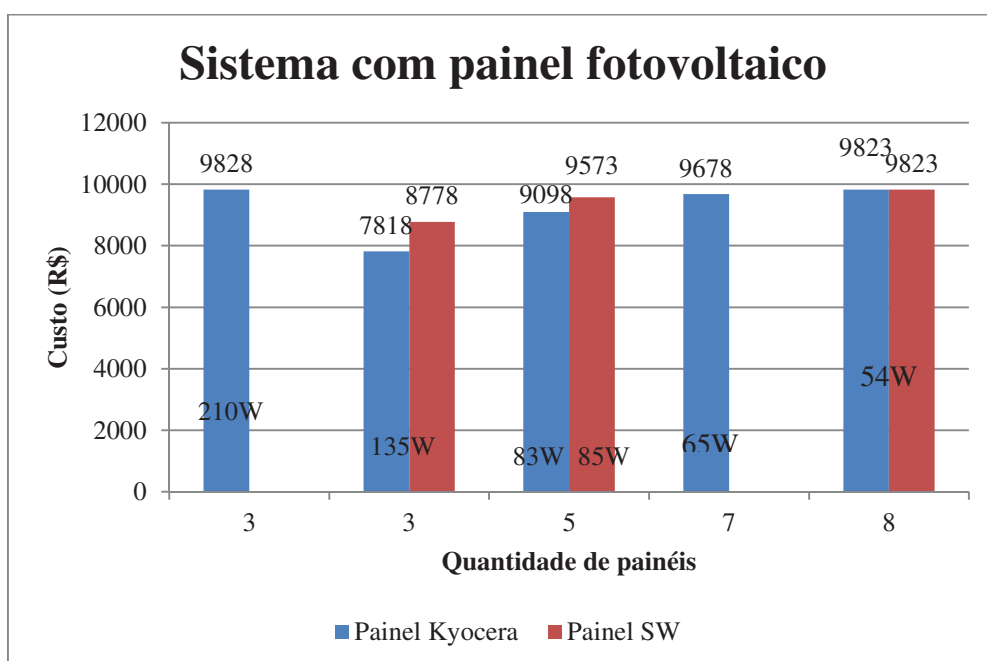


Figura 32 – Gráfico do custo x número de painéis fotovoltaicos

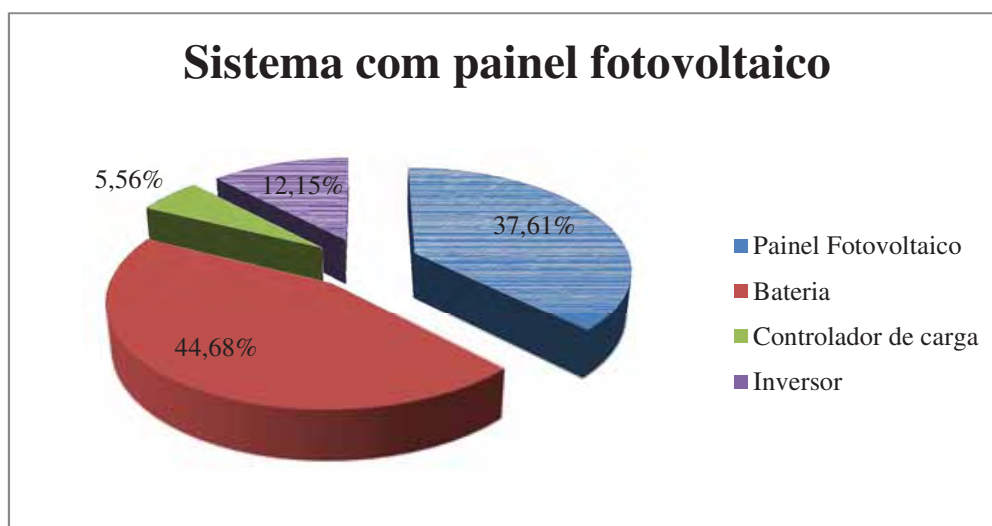


Figura 33 – Gráfico do custo de cada item do sistema fotovoltaico

4.3 Payback dos equipamentos.

O cálculo do *payback* visa saber quantos anos ou meses em que será preciso para recuperar o investimento realizado em cada um dos sistemas.

O caso estudado se localiza em ambiente rural e sua taxa tarifária segundo a fornecedora de energia é 202,53 R\$/MWh.

4.3.1 Sistema termosolar para aquecimento de água

Na Tabela 18 temos o consumo (kWh/mês) dos itens que seriam usados para aquecer água através da rede elétrica. Para o banho de chuveiro estipulou-se 1 banho por dia para cada morador de 10 minutos, a torneira elétrica da cozinha será utilizada 30 minutos por dia e para banheira é considerado 3 banhos de meia hora por semana.

Tabela 18 – Consumo de energia elétrica para aquecimento de água

Item	Consumo (kWh/mês)
Chuveiro elétrico 7500 w	112,5
Torneira elétrica 5500 w	82,5
Banheira Motor 5200 w	31,2
Total	226,2

Multiplica-se esse consumo total obtido na Tabela 18 pela tarifa da energia citada no item anterior o resultado é R\$45,81 por mês.

O tempo de *payback* do painel convencional calcula-se através da Equação (19):

$$PB = CE/GE \rightarrow 5043,0/45,81 \rightarrow PB = 110 \text{ meses ou } 9,2 \text{ anos} \quad (19)$$

O tempo de *payback* do painel de garrafa pet calcula-se através da Equação (20):

$$PB = CE/GE \rightarrow 2778,4/45,81 \rightarrow PB = 61 \text{ meses ou } 5,1 \text{ anos} \quad (20)$$

Onde:

GE = Gastos por mês (R\$/mês)

CE = Custo inicial dos equipamentos (R\$)

4.3.2 Sistema com painel fotovoltaico

Segundo a Tabela 6 o consumo dos equipamentos é 723,5 Wh/dia multiplica-se esse valor por 30 dias temos 21,705 KWh/mês e multiplica-se o valor pela tarifa de energia temos o gasto mensal que é 4,4 reais.

O tempo de payback do sistema fotovoltaico calcula-se através da equação (21):

$$PB = CE/GE \rightarrow 7818,0/4,4 \rightarrow PB = 1776 \text{ meses ou } 148 \text{ anos} \quad (21)$$

Onde:

GE = Gastos por mês (R\$/mês)

CE = Custo inicial dos equipamentos (R\$)

4.3.3 Bombeamento de água com cata-vento.

Se não fosse utilizado o cata-vento para o poço artesiano teríamos que fazer o bombeamento de água através de uma moto bomba. O dimensionamento desse equipamento adaptado do fabricante. A altura de recalque é 97,5 metros, porém esse valor multiplica-se por 1,1 então o valor a serem considerados 107,25 metros. A vazão já mencionada é 15000 litros por dia e divide-se esse valor por 5 horas de funcionamento a vazão é em $8,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

Para a potência da bomba usa-se a Equação (22):

$$P_{\text{BOMBA}} = (\gamma \cdot Q_V \cdot H) / (75 \cdot \eta) \rightarrow (1000 \cdot 8,3 \cdot 10^{-4} \cdot 107,25) / 75 \cdot 0,4 \quad (22)$$

$$P_{\text{BOMBA}} = 2,96 \text{ CV}$$

Para a potência do motor é dada pela Equação (23):

$$P_{\text{MOTOR}} = P_{\text{BOMBA}}/\eta \rightarrow 2,96/0,8 \rightarrow P_{\text{MOTOR}} = 3,7 \cong 4 \text{ CV} \quad (23)$$

O gasto com energia consumida por mês desse motor é dado pela Equação (24):

$$GE = 30 \cdot P_{\text{BOMBA}} \cdot \text{Horas} \cdot 736 \cdot \text{CT}/1000 \rightarrow 30 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 736 \cdot 202 \cdot 10^{-3}/1000 \quad (24)$$

$$GE = 89,20 \text{ reais/mês}$$

O custo total para compra da bomba de 3 CV com o motor de 4 CV é de R\$2.100,0 (1.500+600) reais.

O tempo de *payback* do sistema de bombeamento por cata-vento se calcula através da Equação (25):

$$PB = CE_{\text{eólica}} - CE_{\text{elétrica}}/GE \rightarrow 10150 - 2100/89,20 \quad (25)$$

$$PB = 91 \text{ meses ou } 7,6 \text{ anos}$$

5 CONCLUSÃO

Como verificado, pelo cálculo do *payback*, o sistema de aquecimento de água é muito vantajoso, pois em 5 anos o custo inicial do investimento do sistema com garrafa PET é pago pela diferença do gasto com energia elétrica. Lembrando que também o uso de garrafa PET contribui para o reuso dessas garrafas. E caso fosse optado pelo sistema do coletor convencional o retorno é a partir de 10 anos. O tempo de vida médio segundo fabricantes é de 20 anos, resultando de 10 a 15 anos de lucro para o proprietário. Para instalação do coletor deve-se tomar o cuidado para que ele fique o mais próximo da residência da propriedade.

No sistema fotovoltaico para geração de energia o *payback* é muito elevado, porém não foi considerado o custo que o proprietário pagou para que a energia chegasse até a sua propriedade. Esse sistema também deve ser instalado mais próximo do local onde será fornecido energia para a propriedade.

Mesmo o bombeamento de água através do painel fotovoltaica sendo uma tecnologia madura e desenvolvida ficou inviável devido à bomba usada em conjunto com painéis fotovoltaicos não serem compatíveis com a vazão e altura de recalque do caso estudado. Apesar de o cata-vento ter um investimento inicial relativamente alto é uma excelente opção devido ao fato de que o *payback* ser de 9 anos. Depois de adquirido o cata-vento além de não ser necessária à troca de peças ou componentes, o custo de manutenção é muito baixo devido apenas à troca de óleo a cada 20 anos. A instalação desse equipamento deve ser feito em locais em que não tenha árvores nas proximidades.

Esse trabalho de graduação enfocou-se no custo para instalação desses sistemas devido às necessidades da propriedade rural, mas deve-se enfatizar que é necessário a conscientização do uso de energia limpa.

REFERÊNCIAS

Atlas de Energia Elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica, 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. 236p.

Atlas de Energia Elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica, 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. 243p.

BOYLE, Godfrey. Renewable Energy: Power for a sustainable future. 2.ed. New York: Editora Oxford, 2004. 452 p.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, CRESESB, 1999. 204p

Eólica / Carlos Adriano Rosa e Geraldo Lúcio Tiago Filho; Itajubá, MG : FAPEPE, 2007. 48p. (Série Energias Renováveis).

FRANCO, José Raphael Bicas. Aquecimento solar no contexto da crise energética. In: Cadernos da fundação Luís Eduardo Magalhães. FLEM, 2002. 208p.

KRAUSE, Cláudia Barroso et al. Manual de prédios eficientes em energia elétrica. Rio de Janeiro: IBAM/ELETROBRAS/PROCEL, 2002. 228p.

PALZ, Wolfgang. Energia solar e fontes alternativas. São Paulo. Ed. Hemus, 1981. 358p.

SCHEER, Hermann. Economia solar global: Estratégia para a modernidade. CRESESB-CEPEL, Rio de Janeiro, 2002. 323 p.

Solar / Carlos Adriano Rosa e Geraldo Lúcio Tiago Filho; Itajubá, MG : FAPEPE, 2007. 44p. (Série Energias Renováveis).

TOLMASQUIM, Mauricio Tiommo. Fontes Renováveis de Energia do Brasil. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003. 515 p

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento, www.abrava.com.br/ acessado 20/10/2011.

CERPCH - Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas brasileira, www.cerpch.unifei.edu.br acessado 21/10/2011.

MME - Ministério de Minas e Energia,
<http://www.mme.gov.br/programas/proinfra/> acessado 20/10/2011.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

Atlas de Energia Elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2002. 153p.

Centro de Energias Renováveis. Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <www.feg.unesp.br/energiasrenovaveis>. Acessado em: 15 out. 2011.

Paraná (Estado). Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Híbridos. Manual: Aquecedor solar produzido com materiais recicláveis. Paraná: 2006, 41p.

<http://www.brasilhobby.com.br/> acessado 02/10/2011

<http://www.freedomestacionaria.com.br/> acessado 02/10/2011

<http://www.kyocerasolar.com.br/site/index.php> acessado 02/10/2011

<http://www.mundosol.com.br/> acessado 02/10/2011

<http://www.neosolar.com.br/> acessado 01/10/2011

<http://www.solarbrasil.com.br/> acessado 01/10/2011