

JOSÉ RICARDO PONTES SANTOS

**POTENCIALIDADES DE APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NO
ESTADO DO CEARÁ**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia para a obtenção de título de Especialista em Fontes Alternativas de Energia.

Orientador

Prof. GILMAR TAVARES

LAVRAS

MINAS GERAIS – MG

2005

JOSÉ RICARDO PONTES SANTOS

**POTENCIALIDADES DE APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NO
ESTADO DO CEARÁ**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia para a obtenção de título de Especialista em Fontes Alternativas de Energia.

APROVADO em ____ de _____ de 2005

Prof. Gilmar Tavares
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2005

A Deus em primeiro plano, a Daniella, Felipe e Carolina,
ao meu pai e a minha mãe que sempre acreditaram e
estiveram presentes em todos os momentos da
minha vida, principalmente nos momentos
mais difíceis.

Ao professor Gilmar Tavares (UFLA)
que em todas as fases da elaboração deste trabalho,
através de uma orientação precisa e consistente, sempre
se mostrou acessível e a completa disposição.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO	10
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	11
1.2 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	13
1.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	18
2. DEFINIÇÕES E COMPONENTES	20
2.1 SISTEMAS SOLARES	21
2.2 COMPONENTES	27
2.2.1 Módulo fotovoltaico	27
2.2.2 Células solares	29
2.2.3 Aquecedores solares	33
2.2.4 Banco de baterias	34
2.2.5 Inversor	36
2.2.6 Controlador de cargas	40
3. EMPREGO DE SISTEMAS SOLARES	43
3.1 INTRODUÇÃO	43
3.2 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR	44
3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	48

4. EMPREGO DA ENERGIA SOLAR NO ESTADO DO CEARÁ	59
4.1 INTRODUÇÃO	59
4.2 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NO CEARÁ	67
5. CONCLUSÕES	76
5.1 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	76
APÊNDICE A	80
APÊNDICE B	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: curva de tensão X corrente de uma célula solar.	31
FIGURA 2.2: curva de tensão X potência de uma célula solar.	32
FIGURA 2.3: Curva da expectativa de vida útil em função da descarga.	36
FIGURA 2.4: Eficiência típica de um inversor de tecnologia digital.	39
FIGURA 2.5: Operação de uma bateria acoplada a um controlador.	42
FIGURA 3.1: Aquecimento solar no SESI – São Paulo, SP.	45
FIGURA 3.2: Aquecimento solar no Clube Naval – Brasília, DF.	46
FIGURA 3.3: Aquecimento solar em residência.	46
FIGURA 3.4: Sistema de armazenamento.	47
FIGURA 3.5: Aquecimento de piscina.	47
FIGURA 3.6: Esquema de um sistema solar isolado. Fonte: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, Rio de Janeiro – RJ.	54
FIGURA 3.7: Esquema de um sistema solar híbrido. Fonte: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica	55

Sérgio de Salvo Brito, Rio de Janeiro – RJ.	
FIGURA 3.8: Esquema de um sistema solar conectado. Fonte: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, Rio de Janeiro – RJ.	56
FIGURA 3.9: Casa Solar. Fonte: CEPEL – Centro de Pesquisas em Energia Elétrica, Rio de Janeiro – RJ.	56
FIGURA 3.10: Aviso marítimo composto de sistema híbrido eólico/fotovoltaico.	57
FIGURA 3.11 Aplicação fotovoltaica em satélite.	57
FIGURA 3.12: Aplicação fotovoltaica em residência rural.	57
FIGURA 3.13: Aplicação fotovoltaica do Parque Ecológico do Porto de Sauípe - BA.	58
FIGURA 3.14: Aplicação fotovoltaica em sistema telefônico.	58
FIGURA 4.1: Aquecimento solar no interior de residência.	71
FIGURA 4.2: Bomba a energia solar, BNB – ASE – IDER, 1999.	72
FIGURA 4.3: Escola do Projeto ALVORADA – PRODEEM, 2002.	72
FIGURA 4.4: Sistema de residencial.	73
FIGURA 4.5: Sistema de refrigeração.	73
FIGURA 4.6: Sistema de capacitação de água.	74
FIGURA 4.7: Sistema de capacitação de água.	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1: Oferta interna de energia por fonte (dados em 10 ³ tep = mil tonelada equivalente de petróleo), Balanço Energético 2003.	15
TABELA 2.1: Produção total mundial de módulos fotovoltaicos no ano de 2000.	29
TABELA 2.2: Dados estatísticos de utilização mundial de coletores solares térmicos no ano de 1999.	33
TABELA 2.3: Estado atual de disponibilidades das baterias de Chumbo-ácido.	34
TABELA 4.1: Dados solarimétricos da cidade de Fortaleza (3.728°S, 38.529W) – Ceara. Fonte: SUNDATA - CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), Rio de Janeiro – RJ.	65
TABELA 4.2: Dados solarimétricos da cidade de Sobral (3.659°S, 40.350W) – Ceara. Fonte: SUNDATA - CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), Rio de Janeiro – RJ.	66

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é estudar uma alternativa de produção de energia elétrica através do uso da energia solar, no Estado do Ceará.

Este trabalho visa dá uma contribuição atualizada das potencialidades de aplicação da energia solar no estado do ceará.

Relaciona os aspectos técnicos da aplicação da energia solar, tanto como aquecimento de água quanto em relação ao atendimento fotovoltaico.

Aborda os aspectos relacionados com a aplicação da energia solar de aquecimento e fotovoltaica, principalmente nas comunidades de baixa renda do interior do estado, onde o fornecimento convencional da energia elétrica é deficiente.

Mostra os projetos em andamento pelo governo federal e as iniciativas que poderão melhorar as condições de vida da população, retratando a aplicação da energia solar de caráter público, social e comunitário.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – OBJETIVOS

O Brasil, país de dimensões continentais, possui diversos desafios a enfrentar na busca do desenvolvimento eficaz de suas estruturas sociais, políticas e institucionais.

Um destes desafios está relacionado com a geração de energia elétrica necessária à manutenção do crescimento. Situação que vai desde a geração em larga escala (através dos meios convencionais de geração) à geração localizada para atender determinada localidade ou consumidor específico.

Em determinadas localidades do país, principalmente no interior das regiões menos desenvolvidas, como a Região Norte e a Região Nordeste, a geração de energia é um fator complicador atrelado às condições inadequadas, como o difícil acesso.

Na Amazônia brasileira, por exemplo, são inúmeras as localidades fixadas em solos de difícil acesso e de grande carência de assistência pelas instituições do governo. A ação de fornecer assistência em setores básicos como saúde, emprego, religião, entre outros, são extremamente dificultadas.

No Nordeste brasileiro, em particular, na região do sertão nordestino, a carência de recursos naturais implica uma realidade desalentadora para a população local. Dentro deste contexto, encontra-se o Estado do Ceará, com suas características regionais evidenciadas pelo pouco desenvolvimento social e econômico do seu interior.

Este trabalho tem por finalidade oferecer uma visão atualizada das potencialidades do uso de energias alternativas, em particular a aplicação da energia solar no estado do Ceará. Consiste, substancialmente, em mostrar uma alternativa de solução para problemas de geração de energia em pequena escala, diretamente relacionado com o emprego da energia solar.

Inicialmente, serão relacionados os aspectos técnicos da aplicação da energia solar, tanto para o uso como aquecimento de água quanto em relação ao atendimento fotovoltaico.

Prosseguindo, abordará os aspectos relacionados com a aplicação da energia solar de aquecimento e fotovoltaica, principalmente nas comunidades de baixa renda do interior do Estado do Ceará, onde o fornecimento convencional da energia elétrica é deficiente.

Procurará mostrar quais os projetos em andamento pelo governo federal e as iniciativas que poderão melhorar as condições de vida da população, retratando a aplicação da energia solar de caráter público, social e comunitário.

As alternativas apresentadas neste trabalho visam, sobretudo, as características peculiares da região, principalmente no que se refere à confiabilidade e níveis de atuação dos sistemas.

Este texto estará sendo conduzido a partir de situações de emprego do potencial técnico encontrado no país, onde serão mostrados os sistemas de geração de energia do tipo fotovoltaico como uma forma possível de solução para estes problemas de geração de energia. Uma escola, uma residência, ou mesmo uma geladeira de um hospital no interior do país necessitará de energia elétrica para atender suas necessidades básicas de permanência em operação.

A construção em localidades afastadas dos grandes centros, de sistemas de fornecimento de energia elétrica pode impulsionar o desenvolvimento de comunidades, que, em muitos casos, necessitam apenas de uma condição mínima para que possam se desenvolver. Nestas localidades onde a situação de

permanência pode vir a ser bastante inóspita, poderia ser amenizada com o emprego de um sistema de geração de energia elétrica, confiável e adequado.

Os sistemas, baseados na geração fotovoltaica, e o próprio emprego dos geradores de calor, calcados na energia solar, tornam-se uma alternativa para se enfrentar, dentre outras, as situações acima dispostas. Claro está que cada caso deve ser analisado individualmente em relação às condições que cercam o evento em questão. Dados climatológicos, econômicos, entre outros, fazem parte da análise mais aprofundada de qual a técnica deverá ser empregada.

1.2 – MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

O processo de crescimento econômico e industrial de um país está intimamente relacionado ao consumo e à auto-suficiência de seus recursos energéticos. O Brasil não foge a esta regra, como em todos os países do mundo, após a II Guerra Mundial apresentou crescentes índices de utilização de energia. Com a crise do petróleo nos anos 70, os governos de quase todos os países do mundo vieram com medidas de redução de consumo de produtos derivados do petróleo e sua conseqüente dependência externa.

Até recentemente os problemas de poluição do meio ambiente eram mais levados em consideração pelos governos dos países considerados desenvolvidos.

As legislações e os instrumentos de proteção são peculiares a cada país e estão se tornando cada vez mais severos. A qualidade do ar tem sido alvo de discussão em quase todas as grandes cidades do mundo.

Os danos provocados na natureza, tais como acidificação dos solos, morte de rios e lagos, a atrofia das florestas e a extinção de certas espécies de animais e vegetais se apresentam como uma ameaça à qualidade de vida do futuro.

Grande parte da poluição do mundo é causada pela queima de combustíveis fósseis e a dificuldade de combatê-la reside, em parte, na necessidade de instalações de equipamentos especiais que envolvem altos custos.

A poluição do ar provoca uma das maiores preocupações ambientais atuais, sendo objeto de regulamentação cada vez mais rígida. Além de seus componentes naturais (azoto, oxigênio, gases raros, vapor de água e CO₂), o ar contém, em concentrações variáveis, conforme o local, produtos gerados por combustão e evaporação de hidrocarbonetos, solventes e produtos químicos.

Nos países industrializados, os grandes setores de atividade responsáveis pela poluição do meio ambiente são, por ordem decrescente, os transportes rodoviários, as indústrias, as termelétricas e o uso doméstico.

A demanda energética continua crescendo, porém a reprodução dos cenários energéticos, atualmente em uso, torna-se cada vez mais inviável face à grande dificuldade de sobrepor os efeitos negativos associados ao progressivo aumento no uso de energias convencionais. Por todas estas razões, observa-se que existe um esforço mundial, encabeçado pelos países de médio e grande desenvolvimento tecnológico, com o propósito de se desenvolver o mercado para as fontes de energia renováveis, em particular, a solar, a eólica, a biomassa e a dos combustíveis não derivados de fontes não renováveis, como é o caso do álcool brasileiro.

A energia é um fator básico de produção de um país e determina os padrões da sociedade, mostrando uma íntima correlação com o PNB (Produto Nacional Bruto) – países ricos, em geral, apresentam altos níveis de consumo de energia.

A Oferta Interna de Energia, em 2002, foi de 198 milhões de toneladas equivalentes de petróleo – tep, montante 196% superior ao de 1970 e equivalente a 2% da demanda mundial. Importante setor da infra-estrutura econômica, a indústria de energia no Brasil responde pelo abastecimento de 86% do consumo

nacional. Os 14% restantes são importados - principalmente petróleo e derivados, carvão mineral, gás natural, e, em quantidade menor, energia elétrica.

No Brasil, cerca de 41% da oferta interna de energia tem origem em fontes renováveis, enquanto que no mundo essa taxa é 14% e nos países desenvolvidos é de apenas 6%. Dos 41% de energia renovável, 14 pontos percentuais correspondem à geração hidráulica e 27 a biomassa. Os 59% restantes da oferta interna de energia vieram de fontes fósseis e outras não renováveis.

Essa característica, bastante particular do Brasil, resulta do grande desenvolvimento do parque gerador de energia hidrelétrica desde a década de 50 e de políticas públicas adotadas após a segunda crise do petróleo, ocorrida em 1979, visando a redução do consumo de combustíveis oriundos dessa fonte e dos custos correspondentes à sua importação, à época, responsáveis por quase 50% das importações totais do País.

A Tabela 1.1 abaixo reflete a oferta interna de energia pelas diferentes fontes disponíveis no Brasil.

TABELA 1.1: Oferta interna de energia por fonte (dados em 10³ tep = mil tonelada equivalente de petróleo), Balanço Energético 2003.

Oferta interna de energia por fonte - mil tep					
Fonte	1990	1995	2000	2001	2002
Não-renováveis	71641	88159	110395	113872	113128
Petróleo, Gás natural e derivados	62086	76210	96838	100523	100123
Carvão mineral e derivados	9555	11949	13557	13349	13005
Renováveis	70301	74781	80046	80055	84817

Hidráulica e Eletricidade	20051	24866	29980	26282	27639
Lenha e Carvão vegetal	28537	23266	23060	22443	23545
Produtos da cana	18988	22814	20761	22916	24980
Outras	2725	3835	6245	8414	8653
t o t a l – 10³tep	141942	162940	190441	193927	197945

A afeição por recursos energéticos é um dos reflexos naturais da estruturação de um país que tenta se desenvolver. O Brasil possui um dos melhores campos de recursos naturais de geração de energia do mundo. Condições geográficas, climáticas e geológicas são diversificadas e favoráveis.

O Brasil, reconhecidamente, possui recursos naturais de valores incalculáveis que coloca o país em patamares elevadíssimos dentro do cenário mundial.

Em muitas regiões brasileiras, parcela de suas comunidades é suprida de energia elétrica de forma precária, com intervalos de atendimento que variam de 4 a 8 horas diárias. Em outras localidades este serviço nem chega a se estabelecer. A escassez de energia tem como resultante principal limitação do ritmo e das tendências de crescimentos econômico, social e humano.

Os recursos financeiros necessários aos grandes investimentos na área de geração são, muitas das vezes, inadequados e ineficientes no que se refere ao pronto atendimento e oportunidade de uso. Com isso as grandes usinas hidroelétricas, entre outras formas de geração de grande porte, tornam-se, em alguns casos, um meio dispendioso a ser implantado.

A geração de pequeno porte, através da produção de energia via fontes alternativas, poderá vir a ser uma das formas mais corretas de obtenção das condições de desenvolvimento das regiões menos favorecidas.

O recurso da energia solar, em particular sob a forma da energia solar térmica e fotovoltaica, apesar de ser muito abundante em nosso país tem tido, até então, um uso diminuto.

Avanços tecnológicos alcançados na área fotovoltaica, com o aumento da eficiência das células, com novas formas e geometrias dos painéis, adequadas até em usos na construção civil, e as perspectivas de redução de custos ainda maiores com o aumento do mercado, estão colocando a energia solar entre as opções economicamente viáveis, para uma série de aplicações, inclusive a geração de energia para injeção na rede elétrica.

Paralelamente, deve-se continuar incrementando a pesquisa de equipamentos e periféricos mais eficientes, o estabelecimento de incentivos e mecanismos de financiamento e finalmente a definição de modelos de gestão adequados para a operação, manutenção e comercialização da energia a um custo que recupere o investimento.

Inserir as energias renováveis como uma vertente energética para as ações integradas para o desenvolvimento social de áreas isoladas e de regiões carentes do País é antes de tudo uma meta e uma necessidade proeminente.

Dentro deste contexto, faz-se necessário que o país desenvolva meios técnicos em pessoal e material, capacitando profissionais com a adequabilidade específica e fundamental para se enfrentar todas as adversidades do setor energético.

Neste trabalho será feita uma abordagem de sistemas solares do tipo fotovoltaico e de aquecimento, ou seja, baseado na geração suplementar utilizando fonte límpida, disponível em grande escala na natureza e totalmente de graça: a energia solar.

1.3 – DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este trabalho constará de um capítulo introdutório mostrando as motivações que levaram a escolha deste tema.

Serão desenvolvidos no segundo capítulo, através de uma parte dissertativa, os diversos aspectos peculiares dos sistemas solares, suas definições, características e componentes. Serão colocadas as definições preliminares necessárias para o entendimento de todo o contexto.

O terceiro capítulo abordará situações de emprego dos sistemas solares como uma das soluções possíveis no que se refere a busca de fonte de energia elétrica e de aquecimento.

No quarto capítulo será dado um enfoque principalmente nas potencialidades do emprego da energia solar no Estado do Ceará, calcado em critérios de operacionalidade, segurança, confiabilidade, conforto, redução de disparidades sócio-econômicas nas localidades onde for aplicado. Abordará os aspectos de oportunidade do emprego, exemplificando as ações governamentais em andamento no setor.

A última etapa do trabalho (quinto capítulo) será dedicada à apresentação das conclusões da abordagem realizada acima, bem como, às sugestões diversas advindas de observações colhidas durante a realização deste trabalho.

O trabalho contará com apêndices que retratam o Plano Plurianual do Governo Federal, referente ao assunto em questão e no último apêndice os mapas solarimétricos pertinentes ao Estado do Ceará.

Dar-se-á um cunho crítico das dificuldades encontradas e, sobretudo, serão mostrados meios alternativos onde pode ser aplicado esta tecnologia e mecanismos auxiliares que poderão ser utilizados em futuras dissertações e/ou teses sobre o assunto em questão. Dentro deste enfoque, este trabalho não visa

esgotar o assunto, muito pelo contrário, visa ser um estímulo para novas abordagens relativas ao tema em questão.

CAPÍTULO 2

DEFINIÇÕES E COMPONENTES

2.1 – SISTEMAS SOLARES

A energia solar é a energia eletromagnética proveniente do sol, onde é produzida através de reações nucleares, e que, propagando-se através do espaço interplanetário, incide na superfície da Terra. O total de energia solar que incide na superfície da terra por ano é superior a 10.000 vezes o consumo anual de energia da humanidade.

A energia solar é medida por instrumentos denominados solarímetros ou radiômetros, normalmente operados por instituições de pesquisa científica. A potência solar instantânea que incide em determinado ponto é normalmente medida em W/m^2 (potência/área) e o total de energia por dia que atinge este ponto é normalmente medido em $kWh/m^2/dia$ (energia/área/dia). Muitas outras unidades são também utilizadas correntemente (J/m^2 , cal/cm^2min , BTU/ft^2dia , etc).

Os dados referentes à radiação solar são coletados e dispostos de forma ordenada em um banco de dados. Estes bancos de dados são colocados em forma de cartas solarimétricas, ou mapas solarimétricos. O **CEPEL (Centro de Pesquisas em Energia Elétrica)**, localizado na cidade do Rio de Janeiro, desenvolve trabalhos neste sentido.

Conforme é esperado, o Brasil, com seu território situado em sua maioria em latitudes entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, apresenta uma incidência de energia solar bastante favorável. O máximo de potência instantânea

incidente em qualquer parte da Terra é de cerca de $1000\text{W}/\text{m}^2$. A média anual de energia incidente na maior parte do Brasil varia entre $4\text{kWh}/\text{m}^2/\text{dia}$ e $5\text{kWh}/\text{m}^2/\text{dia}$. Está disponível nesta página do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito), localizado na cidade do Rio de Janeiro, um programa para o cálculo da disponibilidade de radiação solar no Brasil, denominado Sundata. Um Atlas Solarimétrico baseado em dados de satélite encontra-se disponível na Universidade Federal de Santa Catarina (Labsolar- <http://www.labsolar.ufsc.br>).

A radiação solar é uma forma de radiação eletromagnética que se propaga com velocidade da luz no vácuo e apresenta aspectos corpusculares e ondulatórios. Constitui uma fonte de fornecimento de energia praticamente inesgotável. Isto reflete, sobretudo, o grande potencial de utilização deste recurso.

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera provém de uma região chamada de fotosfera e apresenta uma certa irregularidade, tendo em vista, principalmente a influência de outras camadas da estrutura solar.

Ao atravessar a atmosfera, os componentes atmosféricos atuam sobre a radiação solar, refletindo, absorvendo e dispersando esta radiação. A radiação que chega aos níveis da superfície da terra é absorvida parcialmente pelo solo e refletida de volta à atmosfera. O resultado destes efeitos decompõe a radiação solar incidente sobre um receptor em três componentes bem distintas:

- A **componente direta** que consiste na parcela da radiação proveniente diretamente do sol;
- A **componente difusa** que consiste na parcela da radiação que sofreu algum tipo de interação com a atmosfera antes de chegar ao solo;
- A **componente refletida** que consiste na parcela da radiação proveniente do solo e que foi refletida.

Parte da radiação que chega ao topo da atmosfera é perdida ao longo do trajeto. Os fenômenos de reflexão e absorção na atmosfera são responsáveis por esta atenuação. Antes de atingir o solo, as características da radiação são alteradas. Estas alterações dependem da espessura da camada atmosférica, traduzida pelo coeficiente “Massa de ar”, do ângulo de incidência (Zenital) e das condições meteorológicas.

O tipo de conversão da energia solar a ser empregado dependerá, fundamentalmente, do processo e da forma de utilização. As conversões são relacionadas em três principais tipos:

- Conversão **direta para aquecimento**: aquecimento de água, aquecimento de ambientes, secagem de materiais, aquecimento industrial, cozinha, etc;
- Conversão **com etapa termodinâmica**: destilação de água, refrigeração, etc;
- Conversão **direta para eletricidade**: conversão fotovoltaica, conversão termoelétrica, etc.

Uma das vantagens do uso de forma direta da energia solar está na condição altamente favorável em relação ao equilíbrio térmico do ambiente. O impacto no equilíbrio térmico ambiental é muito menor utilizando-se a energia solar do que o proporcionado pela utilização de combustíveis fósseis.

A disponibilidade de energia solar não é constante, variando em decorrência das estações do ano (mínimo no inverno e máximo no verão), bem como do clima do local.

Existem duas formas principais de aproveitamento da energia solar:

- **Fotovoltaico** – geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos;

- **Térmico** – aproveitamento sob forma de calor para aquecimento de água, secagem de produtos agropecuários, geração de energia através de processo termodinâmico, etc.

Os sistemas fotovoltaicos têm sido, no Brasil, tradicionalmente utilizados para eletrificação rural, atendendo a cargas elétricas distantes da rede elétrica convencional. Nestes casos, tais sistemas são economicamente viáveis, em função dos elevados custos de expansão da rede elétrica. Por exemplo, pequenos sistemas fotovoltaicos autônomos de geração de energia elétrica (100Wp a 150Wp) para atender a uma residência (iluminação básica e pequena TV) rural já são bastante conhecidos em muitas regiões rurais do mundo, inclusive o Brasil. Em países como o Japão, Estados Unidos e diversos países da Europa, estão se tornando comuns sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, que eliminam o uso de acumuladores.

Os sistemas fotovoltaicos autônomos são compostos pelos seguintes equipamentos, que serão detalhados nos subitens deste capítulo:

- **Painel fotovoltaico** - composto por um ou mais módulos fotovoltaicos, funciona como gerador de energia elétrica;
- **Banco de baterias** - composto por uma ou mais baterias, normalmente baterias Chumbo-ácido 12V seladas, funciona como elemento armazenador de energia elétrica para uso durante a noite e em períodos de nebulosidade, onde não há disponibilidade de radiação solar;
- **Controlador de carga** – dispositivo eletrônico que protege as baterias contra sobrecarga ou descarga excessiva;
- **Inversor** – dispositivo eletrônico que converte a energia elétrica em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de forma a permitir a utilização de eletrodomésticos convencionais; Alguns sistemas pequenos não

empregam inversor e utilizam cargas (luminárias, TV, etc.) alimentadas diretamente por corrente contínua (CC).

Os sistemas são bastante duráveis e precisam de pouca manutenção. Os módulos fotovoltaicos normalmente têm garantia de 20 anos e vida útil estimada em 30 anos. Os dispositivos eletrônicos (inversores, controladores de carga) têm vida útil superior a 10 anos. As baterias são consideradas o ponto fraco do sistema, mas quando este é bem projetado elas têm vida útil entre quatro e cinco anos (baterias de excelente qualidade poderão durar sete anos).

Os módulos fotovoltaicos são normalmente mantidos limpos pela ocorrência natural de chuva, mas em locais de muito pouca pluviosidade podem necessitar de limpeza periódica; as baterias, caso não sejam sem manutenção, necessitam de reposição periódica (seis meses em média) de água destilada.

Os custos dos sistemas fotovoltaicos ainda são bastante altos, contabilizando o custo total do sistema instalado e em funcionamento. Porém, com o passar do tempo, estes custos têm declinado continuamente, tendência esta que deve continuar no futuro. Os custos são praticamente independentes das tecnologias de fabricação.

Existem inúmeras aplicações, tais como: cercas eletrificadas para criação de animais, bombeamento de água, refrigeração de medicamentos e vacinas em postos de saúde, iluminação pública, etc. O bombeamento de água é considerado particularmente uma aplicação de grande importância no interior do Brasil. Os sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água são compostos pelos seguintes equipamentos:

- **Painel fotovoltaico** - composto por um ou mais módulos fotovoltaicos, funciona como gerador de energia elétrica;

- **Controlador de bomba** – dispositivo eletrônico que condiciona a energia gerada pelo painel fotovoltaico de forma a ser utilizada pelo motor de forma eficiente;
- **Conjunto motor/bomba** – pode ser de diversos tipos, e utilizar motores elétricos CC ou CA (depende do fabricante);
- **Sistema hidráulico** – reservatório, registros, etc.

Em muitos países (Japão, Estados Unidos, Alemanha, Itália) existem programas governamentais para subsidiar a instalação deste tipo de sistema, pois eles ainda não são economicamente viáveis, se comparados com o custo da energia convencional disponível.

Existem também inúmeras aplicações técnicas dos sistemas fotovoltaicos. Entre muitas outras, podem se citar:

- **Estações repetidoras de telecomunicações** (microondas, TV, rádio, telefone celular) – a Embratel utiliza energia solar fotovoltaica para estações repetidoras de microondas no Brasil desde a década de 70;
- **Sinalização náutica** (faróis e bóias de navegação) – a Marinha do Brasil utiliza energia solar fotovoltaica para esta aplicação também desde fins da década de 70;
- **Sinalização rodoviária e telefones de socorro rodoviários** – já usados também em algumas rodovias no Brasil;
- **Sinalização ferroviária;**
- **Estações de monitoramento ambiental** (estações meteorológicas, hidrológicas, poluição, etc);
- **Proteção catódica contra corrosão de estruturas metálicas** (oleodutos, gasodutos, torres de linhas de transmissão, etc.);
- **Aplicações militares** – instalações de campanha, acampamentos, postos avançados, postos de fronteira, etc;

- **Sistemas de eletrificação rural**, entre outras.

A distribuição da utilização da energia solar fotovoltaica por aplicações no mundo, segundo dados de 1998, é a seguinte:

- **Sistemas conectados à rede elétrica:** 36%;
- **Sistemas autônomos para eletrificação rural:** 27%;
- **Sistemas autônomos para aplicações técnicas:** 28%;
- **Equipamentos:** 9% (relógios, calculadoras, brinquedos, rádios, etc).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica são compostos pelos seguintes equipamentos:

- **Painel fotovoltaico** - composto por um ou mais módulos fotovoltaicos, funciona como gerador de energia elétrica;
- **Inversor para injeção na rede** – dispositivo eletrônico que converte a energia elétrica em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), adequada à injeção direta na rede elétrica.

Os sistemas conectados à rede geralmente não são dotados de armazenamento de energia (baterias), de forma que produzem energia somente durante o dia, atendendo, portanto, apenas parcialmente ao consumo da instalação. Existem no Brasil somente pequenos sistemas experimentais. Citamos como exemplo sistemas da USP (Universidade de São Paulo), localizado na cidade de São Paulo e da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), localizado na cidade de Florianópolis. Não existem sistemas fotovoltaicos conectados à rede em utilização real no Brasil.

2.2 – COMPONENTES

2.2.1 – Módulo Fotovoltaico

Os módulos são dispositivos que convertem a energia luminosa diretamente em energia elétrica com corrente contínua (CC), os quais, quando expostos à radiação solar funcionam como geradores de energia elétrica. São normalmente produzidos a partir de Silício (material semiconductor), que é o mesmo material utilizado nos "chips" de computador, com base em tecnologia semelhante à utilizada na indústria eletrônica. As três principais tecnologias de fabricação disponíveis são denominadas: mono-Si (Silício mono-cristalino), poly-Si (silício poly-cristalino) e a-Si (Silício amorfo).

Os módulos fotovoltaicos foram originalmente desenvolvidos pelos programas espaciais na década de 1960 para aplicação em satélites, sendo que nesta época apresentavam custos extremamente elevados. Os desenvolvimentos técnicos e as reduções de custo verificadas desde então possibilitam atualmente a sua utilização em aplicações mais corriqueiras.

Seu princípio físico de funcionamento é denominado efeito fotovoltaico (foto= luz; volt= eletricidade). Os módulos fotovoltaicos são construídos com células fotovoltaicas, as quais são essencialmente junções pn, equivalentes a diodos semicondutores de Silício, de grande área. A incidência de fótons (energia luminosa) nesta junção causa o aparecimento de cargas elétricas, sob forma de par elétron-lacuna, e, conseqüentemente, de uma corrente elétrica.

Os módulos fotovoltaicos são medidos, em determinadas condições, pelo padrão internacional. A potência produzida nestas condições é expressa em uma unidade denominada Wp (Watts pico). Deve-se, contudo, ter consciência que a

produção de energia dos módulos fotovoltaicos não é constante, variando de forma diretamente proporcional à luminosidade incidente.

A geração fotovoltaica será sempre proporcional à luminosidade incidente, podendo variar aproximadamente entre 60% e 10% da geração verificada em um dia de céu limpo. Em um dia pouco encoberto poderá atingir os 60%, enquanto que em dias pesadamente encobertos poderá ser de menos de 10%.

Os módulos fotovoltaicos, utilizados em sistemas fotovoltaicos devidamente projetados, podem fornecer energia para alimentar quaisquer cargas elétricas. A principal limitação para a aplicação de tais sistemas em larga escala é normalmente a viabilidade econômica, muito embora existam ainda algumas limitações técnicas.

Os módulos fotovoltaicos não consomem qualquer tipo de combustível, não geram nenhum tipo de emissão, não têm partes móveis e não produzem qualquer ruído. Na sua composição não existem substâncias tóxicas ou nocivas ao meio ambiente.

Mundialmente existem dezenas de fabricantes de módulos fotovoltaicos. A título de informação pode-se citar: Kyocera (Japão), Sharp (Japão), Sanyo (Japão), Siemens (Alemanha), BP Solarex (Grã-Bretanha/Estados Unidos), Shell (Holanda), ASE (Estados Unidos), Photowatt (França), Heliodinâmica (Brasil), Uni-Solar (Estados Unidos), Anit (Itália), Isofoton (Espanha) etc.

A produção total mundial de módulos fotovoltaicos foi de 277,8MWp (MWp – Megawatts pico) no ano 2000, com a seguinte distribuição pelas diferentes tecnologias:

TABELA 2.1: Produção total mundial de módulos fotovoltaicos no ano de 2000.

Tipo	Produção (MWp)
mono-Si	89,8
poly-Si	129,1
a-Si	26,5
Outros	32,4

2.2.2 – Células solares

O principal componente do sistema fotovoltaico é, sem dúvida, o painel fotovoltaico, constituído da união de células solares que são o elemento básico onde se realiza a conversão da radiação luminosa em energia sob forma de corrente x tensão contínua.

A célula fotovoltaica constitui o elemento unitário do processo de conversão de energia solar em energia elétrica. Ela é formada por material semicondutor e realiza a conversão através do efeito fotoelétrico.

O material semicondutor mais utilizado dentro do processo de conversão de energia em questão é o SILÍCIO. A maior parte das células solares é feita à base de Silício.

O semicondutor, antes de se tornar uma célula fotovoltaica, sofre diversas etapas de transformação que vão desde a purificação, passando pela dopagem e conseqüente introdução de impurezas em níveis preestabelecidos para construção da junção pn.

As células solares são classificadas de acordo com a tecnologia desenvolvida em sua elaboração, sendo que as mais comuns são:

- **Células de Silício policristalino;**
- **Monocristalino;**
- **Silício amorfo.**

As células de Silício policristalino são as mais empregadas nos dias de hoje, porém todas as tecnologias empregadas possibilitam produtos de baixos custos e bom rendimento.

As células são fabricadas por processos diferentes, enquanto que as células de Silício monocristalino são resultantes de fatias de um único cristal, as de Silício policristalino são constituídas por um bloco de vários cristais.

Cada célula solar é capaz de gerar aproximadamente 0,4V, sendo necessário, com isso, a associação de várias células em série para se obter tensões maiores.

As células solares são devidamente encapsuladas e ligadas em série e a este agrupamento de células dar-se o nome de módulo solar ou módulo fotovoltaico.

Os módulos, então, são associados em série e/ou paralelo formando os painéis fotovoltaicos comumente conhecidos como PV. Importante observar que estes grupamentos, normalmente são de módulos de características idênticas.

O estabelecimento de parâmetros para cada etapa de fabricação é necessário para a obtenção de características reprodutíveis dos dispositivos fabricados. As técnicas de caracterização utilizadas são de curvas de corrente e tensão (IxV) para medidas de tensão de circuito aberto, corrente de curto circuito, eficiência, resistência série e paralela.

Os fabricantes de módulos solares especificam os seus produtos em diversos parâmetros como, por exemplo:

- **Voltagem de circuito aberto:** A tensão medida entre os terminais do módulo quando o mesmo está exposto ao sol e sem nenhum circuito elétrico externo conectado. Este valor é representado por V_{oc} .
- **Corrente de curto circuito:** A corrente medida quando interligamos diretamente os terminais do módulo, desde que não haja nenhum circuito elétrico externo conectado. Este valor é representado por I_{sc} . A Figura 2.1 representa a curva de tensão e corrente de uma célula solar.

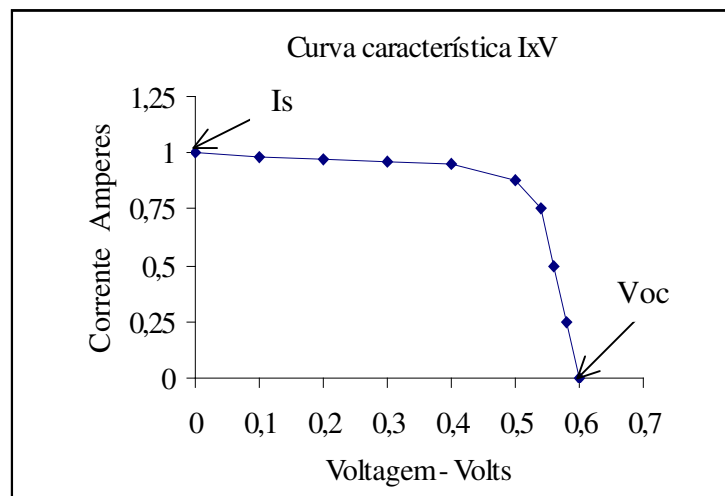


FIGURA 2.1: Curva de tensão X corrente de uma célula solar.

- **Potência de pico:** Máxima potência alcançada pelo painel, sendo caracterizada pelo produto da voltagem de potência máxima (V_{mp}) e a corrente de potência máxima (I_{mp}). A figura 2.2 representa a curva de tensão e potência de uma célula solar.

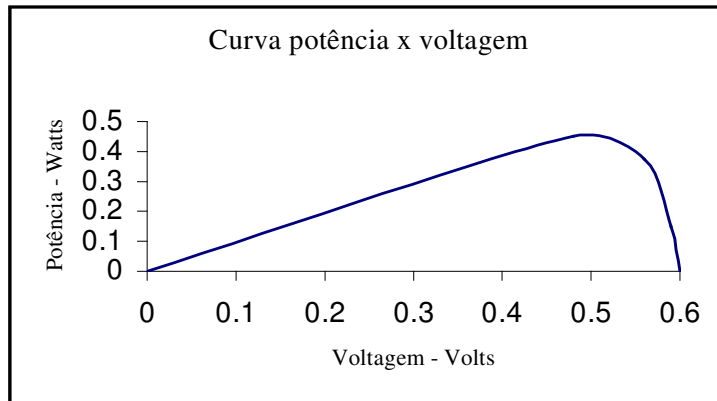


FIGURA 2.2: Curva de tensão X potência de uma célula solar

- **Curva característica IxV:** Representa a curva obtida das medidas simultâneas de tensão e corrente de um módulo de acordo com as mudanças das condições de carga. A Figura 2.1 mostra uma curva IxV de uma célula de silício.

A intensidade de iluminação tem direta influência no rendimento das células, assim como o aumento da temperatura provoca um decaimento no rendimento. Os painéis fotovoltaicos submetidos ao aumento da temperatura produzem tensões cada vez menores e uma conseqüente perda de rendimento. Este fator é traduzido pelo coeficiente de temperatura ($V/^\circ C$).

Diversos fatores são determinantes no que se refere a painéis e células solares. Para que haja uma padronização nos procedimentos internacionais, foram criados parâmetros de uso universal como referência. As condições padrões de teste internacionalmente são as seguintes:

- **Irradiância** ----- 1 kw/m^2
- **Distribuição espectral** ----- Am 1,5
- **Incidência** ----- normal
- **Temperatura da célula** ----- 25°c

2.2.3 – Aquecedores solares

É um dispositivo destinado a aquecimento de água utilizando energia solar, que pode ser utilizado por consumidores residenciais. É construído por uma serpentina de Cobre solidária a uma superfície negra boa absorvedora de energia luminosa, encapsulada em uma caixa com isolamento térmico e um vidro frontal. Existem inúmeros fabricantes e fornecedores de tais sistemas no Brasil.

Normalmente este tipo de sistema é considerado economicamente viável para consumidores residenciais que utilizam energia elétrica para o aquecimento de água, por exemplo, o chuveiro elétrico. O investimento inicial é relativamente alto, mas o tempo de retorno é normalmente de dois anos. O custo de um sistema básico para 4 pessoas com coletor de 2m² e reservatório de 200L situa-se na faixa de R\$1.300,00.

Abaixo, encontram-se alguns dados estatísticos de utilização mundial de coletores solares térmicos planos para aquecimento de água, nos países que mais utilizam esta tecnologia, datados de fins de 1999. Estes dados são expressos em área de coletores (m²) por 1000 habitantes.

TABELA 2.2: Dados estatísticos de utilização mundial de coletores solares térmicos no ano de 1999:

Pais	M²/1000 hab	
1	Israel	67,1
2	Áustria	17,5
3	Grécia	15,2
4	Coréia do Sul	10,8
5	Japão	7,9

6	Turquia	6,8
7	Alemanha	5,1

2.2.4 – Banco de baterias

O banco de baterias é o subsistema do sistema solar fotovoltaico responsável pelo armazenamento de energia que será utilizada, fora do período de geração, quando a carga conectada ao sistema demandar.

O banco é formado por uma ou mais baterias individuais interligadas em série e/ou paralelo, por sua vez cada bateria é formada por um ou mais células interligadas.

As baterias utilizadas nos sistemas fotovoltaicos possuem características peculiares, principalmente pelo regime de uso a que são submetidas. A tecnologia mais utilizada é a de baterias de Chumbo-ácido, abertas (acesso ao eletrólito) ou seladas (sem acesso ao eletrólito). Abaixo, na Tabela 2.3, estão relacionados estes tipos e alguns aspectos inerentes.

TABELA 2.3: Estado atual de disponibilidades das baterias de Chumbo-ácido

Tipo	Disponibilidade	Aplicação	Custo*	Ah**
Aberta	Mundo inteiro	Aplicação fotovoltaica	80-120	50-10000
Selada	Mundo inteiro	Automotivos	100-160	60-6000

* Dólar por kWh armazenado.

** Faixa de capacidade em Ah alcançada.

A célula será caracterizada, também, por alguns aspectos tais como:

- **Capacidade nominal:** exemplifica a quantidade de Ah que pode ser extraída de uma bateria nova para valores especificados de corrente de descarga, temperatura e tensão de corte;
- **Capacidade disponível:** exemplifica a quantidade de Ah que pode ser extraída de uma bateria sob um conjunto específico de condições operacionais, incluindo taxa de descarga, temperatura e tensão final de corte;
- **Capacidade de energia:** exemplifica a quantidade de Watts-hora que pode ser extraída de uma bateria plenamente carregada;
- **Célula:** Unidade eletroquímica básica de uma bateria. Combinação de dois eletrodos e um eletrólito;
- **Carregamento:** processo onde a célula realiza a conversão de energia elétrica em energia potencial no interior da mesma bateria;
- **Descarga:** processo de retirada de corrente através da conversão de energia potencial em energia elétrica no interior da bateria;
- **Taxa de descarga:** valor de corrente durante o processo de descarga. Normalmente normalizada em relação à capacidade nominal da célula ou bateria;
- **Estado de carga:** capacidade disponível expressa como percentagem da capacidade nominal (%);
- **Ciclo:** seqüência de descarga e carga em um determinado nível;
- **Autodescarga:** processo natural de descarga ao longo do tempo de uma bateria em repouso;
- **Tensão de circuito aberto:** tensão medida entre os terminais da bateria quando não há nenhum circuito elétrico conectado;
- **Tensão nominal:** tensão média da bateria durante o processo de descarga com determinada taxa de descarga e temperatura definida;

- **Tensão final de corte:** tensão na célula onde o processo de descarga é interrompido. Pode ser especificada em função das condições operacionais ou pode ser o valor determinado pelos fabricantes;
- **Curva de descarga:** número de ciclos envolvidos dependendo da descarga e do coeficiente de descarga da célula.

A vida útil de uma bateria está relacionada com o número de ciclos de descarga e a profundidade de descarga à qual está submetido o equipamento. A temperatura de utilização, também, é outro fator de importância quando se refere à vida útil do equipamento.

As baterias fotovoltaicas são projetadas para suportar taxas de descargas rasas e reduzidas em ciclos diários, porém deve-se admitir, ocasionalmente, descargas mais profundas. A Figura 2.3 retrata a expectativa de vida útil de uma bateria em função da descarga.

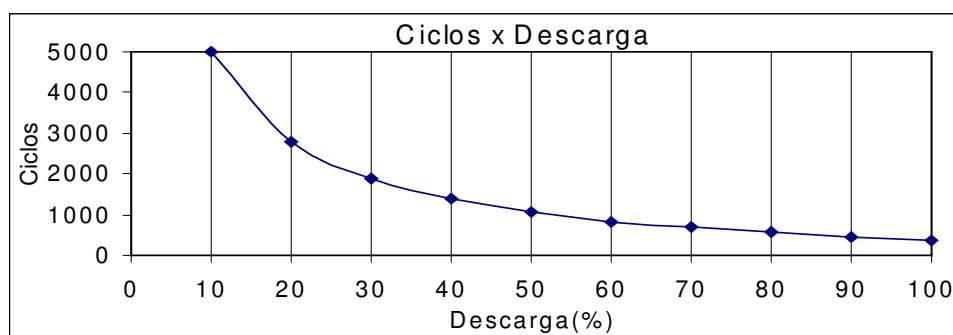


FIGURA 2.3: Curva da expectativa de vida útil em função da descarga.

2.2.5 – Inversor

O subsistema do inversor é o responsável pela resposta de saída em tensão regulada e controlada em relação a uma tensão de entrada, seja esta saída uma tensão CC ou CA.

Este estudo abordará os inversores CC-CA, onde são priorizados alguns aspectos inerentes à eficácia, robustez, frequência adequada (60Hz) e, sobretudo, à confiabilidade do equipamento, tendo em vista o tipo de operação a que o equipamento será submetido. Este inversor será o responsável pela transformação da tensão contínua de entrada em tensão alternada de saída.

O inversor que será utilizado neste trabalho deve ser composto por um circuito de potência que será o responsável pela conversão em tensão alternada ou contínua e pelo circuito de controle que responderá pelo controle da tensão de saída.

A operação do circuito de potência será comandada pelo circuito de controle através de pulsos que acionam dispositivos de chaveamentos para alterar o fluxo de corrente dentro de uma lógica preconcebida envolvendo semicondutores de potência.

Existem basicamente dois tipos de inversores: Os inversores estáticos e os inversores eletromecânicos (rotativos). O mais antigo inversor é o eletromecânico, também chamado de rotativo. Consiste de um motor CC diretamente acoplado a um gerador CA. O motor CC deve ter uma tensão CC de entrada compatível com a saída CC do sistema fotovoltaico e o gerador CA uma tensão CA adequada à carga CA que será alimentada. Os inversores rotativos são menos eficientes, porém são bastante robustos, contudo necessitam de manutenção periódica de suas partes móveis.

De acordo com a aplicação, existem diversos tipos de inversores. Pode-se utilizar um inversor para atender a uma carga específica, por exemplo, um motor CA. Este inversor será projetado unicamente em função das características particulares desta carga: tensão nominal, forma de onda, potência nominal, potência de pico, etc.

Os inversores também são classificados de acordo com a forma de onda produzida. Os tipos mais comuns de forma de onda encontradas são:

- **Quadrada;**
- **Quadrada modificada ou retangular;**
- **Senoidal.**

A forma de onda de saída do inversor é uma indicação da qualidade do equipamento. Ela depende do método de conversão e filtragem utilizados no processo de conversão.

Os inversores de onda quadrada geralmente são mais baratos, porém não devem ser utilizados para cargas indutivas como motores. A onda quadrada é simplesmente obtida pela reversão da tensão e da corrente.

Os inversores de onda retangular geralmente são adequados para uma maior variabilidade de cargas, incluindo motores, equipamentos eletrônicos e lâmpadas. A onda retangular é o resultante de um chaveamento utilizado para uma melhor aproximação da onda senoidal.

Os inversores de onda senoidal geralmente são mais caros. Projetados e dimensionados adequadamente são os que produzem uma tensão de saída mais adequada e podem operar qualquer aparelho CA ou motor, dentro de sua classificação de potência.

No circuito de controle estão incluídos os mecanismos de proteção (normalmente proteção contra sobre-corrente e sobre-tensão) ao equipamento.

O inversor deve proporcionar uma dissipação minimizada em potência de modo que não haja grandes perdas, além de trabalhar em sincronismo com a fonte principal de energia (rede elétrica, gerador diesel, etc).

Dependendo do tipo de ligação com a rede elétrica existente pode se chamar o inversor de:

- **Inversor autônomo:** aplicado independente do sistema elétrico existente. Produz corrente e tensão;
- **Inversor conectado à rede:** interligado ao sistema elétrico, produz apenas corrente e aproveita a tensão existente na rede.

A especificação de um inversor é feita através da definição de alguns parâmetros característicos:

- **Tensão de entrada:** tensão(V_{in}) presente nos bornes de entrada do equipamento, oscilará em função do estado de carga do banco de bateria. O equipamento deve ser capaz de operar numa faixa de entrada de +20% e/ou -10% do valor nominal.
- **Tensão de saída:** tensão(V_{out}) presente nos bornes de saída do equipamento. O aparelho deve ser capaz de operar numa faixa de +10% e/ou -5% do valor nominal.
- **Potência nominal:** potência média que pode fornecer o equipamento em condições normais de operação.
- **Eficiência:** eficiência retrata a relação entre a potência de entrada e a potência de saída levando-se em conta uma carga puramente resistiva.

Esta eficiência normalmente no mercado encontra uma variação dentro de uma faixa de até 95%. Os valores catalogados referem-se aos valores máximos que se pode obter. A Figura 2.4 retrata a curva de eficiência típica de um inversor.

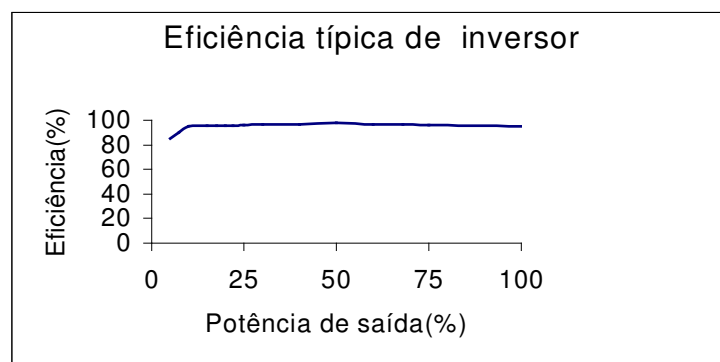


FIGURA 2.4 - Eficiência típica de um inversor de tecnologia digital.

Os inversores normalmente diminuem sua eficiência quando submetidos à carga muito abaixo de sua carga nominal.

2.2.6 – Controlador de carga

O controlador de carga é um equipamento eletrônico que tem como função primordial controlar o carregamento do banco de baterias, a partir da corrente produzida pelos painéis fotovoltaicos.

Os objetivos básicos do controlador de carga são o de proteger o banco de baterias contra cargas e descargas excessivas, aumentando a vida útil, bem como fornecer uma indicação do estado de carga do banco.

Os controladores de cargas são componentes críticos nos sistemas fotovoltaicos abordados neste trabalho, pois caso venham a falhar, o banco de baterias ou a carga poderão sofrer danos irreversíveis. Eles devem ser projetados considerando-se as especificidades dos diversos tipos de baterias.

O equipamento a ser escolhido deverá efetuar o devido desligamento da alimentação quando o banco estiver completamente carregado, bem como, efetuar o religamento quando ocorrer uma descarga predefinida.

O uso do controlador proporciona uma maior proteção a descargas excessivas e sobrecargas. O aparelho deve satisfazer os objetivos básicos e proporcionar uma informação confiável do estado de carga das baterias em um instante específico. Os controladores mais utilizados são baseados no controle através de níveis de tensão. Eles devem proporcionar o ajuste dos seus parâmetros e a escolha do método de controle adequado.

Os parâmetros para a especificação dos controladores de carga devem ser obtidos das curvas características, de carga e de descarga e da vida útil das baterias. A especificação de um controlador de carga é feita através da definição de alguns parâmetros característicos:

- **Tensão nominal:** tensão (V) de operação do equipamento.
- **Ajustes:** permite ao usuário otimizar a relação entre o controlador e banco de baterias.

- **Tensão de início de carregamento:** ajuste de tensão com o qual é realizada a conexão do sistema fotovoltaico, permitindo a entrada de corrente no banco de baterias.

- **Tensão de fim de carregamento:** ajuste de tensão com o qual é realizada a desconexão do sistema fotovoltaico, interrompendo a entrada de corrente no banco de baterias.

- **Tensão de reconexão da carga:** ajuste de tensão com o qual é realizada a reconexão do banco, permitindo o fornecimento de corrente pelo banco a uma carga conectada ao sistema.

- **Tensão de desconexão da carga:** ajuste de tensão com o qual é realizada a desconexão do banco de baterias, interrompendo o fornecimento de corrente pelo banco a uma carga conectada ao sistema.

Estes parâmetros são importantíssimos na definição da estratégia de controle do sistema.

A Figura 2.5 retrata o funcionamento de um banco de baterias controlado em seus níveis de tensão por um controlador de carga. A proporção que a bateria adquire carga sua tensão cresce até atingir o nível de tensão do ponto **A**, nesta situação, o controlador **reconecta a saída** da bateria, que a partir deste momento fornecerá corrente às cargas conectadas ao sistema (Ajuste do controlador).

Caso a carga exigida seja menor do que a capacidade do sistema de alimentar a bateria, a bateria continua adquirindo carga e aumenta sua tensão até o ponto **B**.

Neste ponto a bateria terá atingido a tensão máxima e o controlador **desligará o carregamento** (Ajuste do controlador). A tensão começa a decrescer até atingir o ponto **C**.

Neste ponto o controlador **religa o carregamento** (Ajuste do controlador) e a tensão volta a crescer até atingir o ponto **D**, igual ao nível de tensão do ponto **B**.

Se a partir do ponto D o painel fotovoltaico deixar de fornecer corrente, a tensão irá cair até o ponto E onde sofrerá um decaimento muito mais lento devido à acomodação de carga já ter ocorrido anteriormente.

Se a partir do ponto F uma carga consumir uma corrente constante da bateria, a tensão cai até atingir o ponto G e o controlador **desconecta a saída** (Ajuste do controlador) evitando-se que a bateria descarregue além dos limites preestabelecidos.

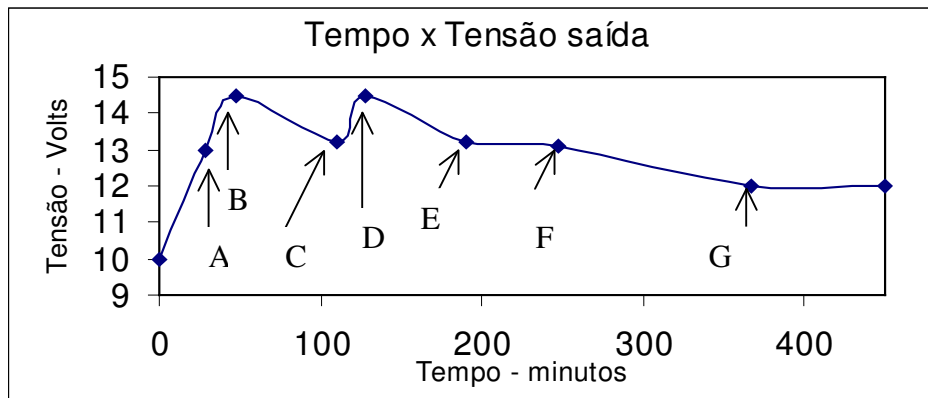


FIGURA 2.5 - Operação de uma bateria acoplada a um controlador.

CAPÍTULO 3

EMPREGO DE SISTEMAS SOLARES

3.1 – INTRODUÇÃO

A busca de novas formas de se obter energia constitui um desafio a ser enfrentado pelo Brasil e por todo o resto do planeta.

A geração de energia elétrica necessária faz-se necessária ao caminho do crescimento social, em todos os níveis. A geração através da energia solar é uma forma de obtenção de energia, que com o passar do tempo mostra-se indispensável, principalmente para atender demandas localizadas e/ou consumidores específicos.

Como foi relacionado em capítulo anterior, existem duas formas principais de aproveitamento da energia solar:

- **Fotovoltaico** – geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos;
- **Térmico** – aproveitamento sob forma de calor para aquecimento de água, secagem de produtos agropecuários, geração de energia através de processo termodinâmico, etc.

Neste capítulo serão mostradas algumas formas de aplicação da energia solar. Soluções simples que, substancialmente, mostram-se como alternativa de solução para problemas de geração de energia em pequena escala.

Inicialmente, serão relacionados os aspectos técnicos da aplicação da energia solar, tanto para o uso como aquecimento de água quanto em relação ao

atendimento fotovoltaico. Este capítulo abordará situações de emprego dos sistemas solares como uma das soluções possíveis no que se refere à busca de fonte de energia elétrica e de aquecimento.

3.2 –SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Nesse caso, estamos interessados na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente neste mesmo corpo. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar à energia solar foto-térmica são conhecidos como **coletores solares**.

Os coletores solares são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e são classificados em *coletores concentradores* e *coletores planos* em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. O fluido depois de aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu destino final. Como exemplo, podem ser citados os seguintes: água aquecida para banho; ar quente para secagem de grãos; gases para acionamento de turbinas, etc.

A tecnologia do aquecedor solar já vem sendo utilizada há bastante tempo no mundo, porém, no Brasil, apenas a partir da década de 60, época em que surgiram as primeiras pesquisas e o seu emprego começou a ser difundido. Em 1973, algumas empresas passaram a utilizá-la comercialmente.

Hoje, os sistemas de aquecimento solar no Brasil beneficiam mais de 500 mil residências, economizando energia elétrica equivalente ao consumo de uma cidade de 1,1 milhões de famílias (dados da ABRAVA –Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, sediada na cidade de

São Paulo). Estima-se que, nos dias atuais, mais de dois milhões de pessoas já se beneficiam do uso da tecnologia do aquecimento solar, sendo aquecidos cerca de 200 milhões de litros de água para banho diariamente.

Essa tecnologia é aplicada, principalmente, em residências, hotéis, motéis, hospitais, vestiários e restaurantes industriais; sendo também cada vez mais empregada no aquecimento de piscinas. Em Belo Horizonte já são mais de 950 edifícios que contam com este benefício e, em Porto Seguro 130 hotéis e pousadas (dados da ABRAVA –Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, sediada na cidade de São Paulo). Sua aplicação em conjuntos habitacionais e casas populares, como nos projetos Ilha do Mel, Projeto Cingapura, Projeto Sapucaias em Contagem, Conjuntos Habitacionais SIR e Maria Eugênia (COHAB) em Governador Valadares vêm sendo ampliada.

Abaixo, serão mostradas algumas fotos de aplicações da tecnologia do aquecimento solar:



FIGURA 3.1: Aquecimento solar no SESI – São Paulo, SP.



FIGURA 3.2: Aquecimento solar no Clube Naval – Brasília, DF.



FIGURA 3.3: Aquecimento solar em residência.



FIGURA 3.4: Sistema de armazenamento.



FIGURA 3.5: Aquecimento de piscina.

3.3 –SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sistemas de geração de energia fotovoltaica têm sido propostos e utilizados em diversas formas possíveis.

A primeira situação seria a utilização do sistema fotovoltaico como sistemas únicos de geração, em localidades remotas, que não contam com o fornecimento de energia elétrica através do sistema convencional ou em locais de difícil acesso à rede de energia. Nesta situação, a energia gerada pelos painéis deve ser parcialmente armazenada em bancos de baterias. A idéia aqui é, que o excesso de energia elétrica gerada durante períodos de elevada irradiação solar ou de baixo consumo, seja armazenada para utilização em períodos de baixa irradiação e durante a noite. Sistemas fotovoltaicos deste tipo podem ser utilizados como fonte principal de energia para consumo residencial e em outras atividades, como por exemplo, o bombeamento de água da fonte para um reservatório elevado num sistema de irrigação.

Uma outra situação possível envolve a utilização de um sistema de geração fotovoltaico como uma fonte local de eletricidade conectada em paralelo com a rede elétrica, num esquema de co-geração. No esquema de co-geração, o consumidor utiliza primariamente a energia gerada localmente pelos painéis fotovoltaicos. Qualquer diferença entre o consumo e a geração local é fornecida pela rede de energia convencional, dispensando o uso das baterias acumuladoras.

O sistema de co-geração fotovoltaica apresenta vantagens específicas tanto para o consumidor como para o próprio sistema de energia elétrica, além dos ganhos ambientais, sociais e econômicos, associados à utilização desta fonte de energia renovável, ou seja, o Sol. Do ponto de vista do consumidor, a

vantagem é a redução direta do custo da conta de energia elétrica. Do ponto de vista do sistema de energia, as vantagens são a liberação de capacidade de geração e transmissão de energia, o nivelamento da curva de carga, a redução de custos de investimentos e a descentralização da geração de energia, entre outros.

Os sistemas de co-geração fotovoltaica vêm recebendo grande atenção em vários países. Projetos como Niewland (complexo residencial de 5000 casas, 1 MW de capacidade de geração fotovoltaica), na Holanda, bem como outros projetos igualmente expressivos nos EUA, Japão e Alemanha, são indicativos da determinação destes países em promover a utilização da energia fotovoltaica em centros urbanos mais populosos. Cabe registrar que nestes países a geração de energia elétrica é essencialmente realizada a partir de usinas termelétricas a carvão, considerada bastante poluidora, o que aumenta o interesse na energia solar sob o ponto de vista ambiental.

No caso do Brasil, a extensão territorial e os níveis elevados de irradiação solar durante todo o ano e em praticamente todo o território nacional, estão entre os principais fatores que justificariam uma política de apoio à co-geração fotovoltaica.

Um aspecto interessante a ser levantado está no fato de que, atualmente, os painéis fotovoltaicos estão disponíveis em várias apresentações além da forma plana clássica. Esta diversidade de apresentações possibilita a integração dos painéis fotovoltaicos às edificações com um mínimo de impacto arquitetônico. Eles podem ser adquiridos na forma de telhas, laminados flexíveis, placas semitransparentes (que associam a geração de energia elétrica ao conforto ambiental em edifícios comerciais) e outros.

É importante destacar que a utilização de sistemas de co-geração em edifícios comerciais parece particularmente vantajosa, considerando que as atividades nestes edifícios concentram-se no mesmo período de disponibilidade da energia solar, além da própria redução no consumo de energia, em termos reais e absolutos. Edifícios comerciais apresentam também grandes áreas laterais e de teto, que podem ser aproveitadas para a instalação de painéis fotovoltaicos.

Além dos painéis, a tecnologia de geração fotovoltaica inclui o emprego de inversores estáticos de frequência (conversores CC-CA) que controlam o fluxo de energia entre os painéis e a carga ou a rede de energia. Estes conversores são controlados de forma a extrair dos painéis fotovoltaicos, a máxima potência elétrica associada ao nível de irradiação solar e temperatura. Outra função associada aos inversores é minimizar o impacto da geração descentralizada sob o sistema de energia elétrica. Este impacto inclui a minimização de distorções harmônicas nas formas de onda de tensão e corrente no ponto de acoplamento com a rede de energia, em sistemas de co-geração, ou com a carga, em sistemas isolados, e ainda evitar a formação de "ilhas".

Aspectos relacionados à operação de sistemas de energia elétrica impõem a necessidade de desligamento dos sistemas de co-geração caso haja interrupção no fornecimento de energia elétrica naquela área. Sob determinadas condições, é possível que o sistema de co-geração não consiga detectar este desligamento e continue em operação. Esta situação deve ser evitada através de metodologias adequadas de controle do inversor de frequência.

Entre as aplicações típicas para sistemas de geração de energia alternativa, o bombeamento de água para uso humano, animal ou para irrigação se destaca destas soluções pelo seu apelo ambiental e social.

O uso da geração a base do consumo do óleo diesel, para acionar bombas, apesar de simples e inicialmente de baixo custo, demanda constante manutenção e suprimento de combustível, além de constituir-se em uma solução potencialmente de maior forma de poluição, tanto na forma sonora como atmosférica.

Existem, também, sendo bastante utilizados, os sistemas eólicos de bombeamento de água, disponíveis no mercado na faixa entre 1 e 10kW, principalmente aqueles que possuem uma conversão intermediária em forma de eletricidade, são os sistemas de menor custo entre as aplicações de energia eólica. Isto se deve à ausência de baterias e conversores estáticos, à baixíssima manutenção, ao uso de motobombas convencionais e a possibilidade de separação na alocação da bomba e do rotor eólico de até 1 km.

O uso de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água, além de se constituir em uma fonte limpa, sem ruído e sem peças móveis, possui uma característica única na relação natural entre a disponibilidade de energia solar e a demanda de água. Estes sistemas geralmente não demandam baterias de acumuladores e a energia gerada nos painéis em corrente contínua é convertida através de um inversor estático para corrente alterada que alimenta a bomba. A operação da bomba transcorre naturalmente à velocidade variável, devido à alimentação e a frequência variável, permitindo a máxima absorção da energia convertida pelo painel fotovoltaico.

Sistemas de bombeamento de água alimentados por painéis fotovoltaicos vêm sendo utilizados em diversas localidades e países. A Companhia de Fornecimento de Águas do Estado de Minas Gerais, COPASA, por exemplo, tem instalado sistemas de bombeamento de água de lençóis subterrâneos utilizando esta tecnologia. Comparados aos sistemas de energia eólica, os sistemas

fotovoltaicos apresentam como vantagens à versatilidade em termos da definição do local de instalação (inclusive em áreas urbanas), maior robustez e menor necessidade de manutenção (mínimo de partes móveis). A principal vantagem dos sistemas eólicos é o baixo preço da energia gerada (US\$ 0,03/kWh contra US\$ 0,20/kWh para os sistemas fotovoltaicos), dados do Centro de Pesquisas em Energia Elétrica, CEPEL, localizado na cidade do Rio de Janeiro. No entanto, esta diferença no custo da energia gerada por estes sistemas deve diminuir. Painéis fotovoltaicos são essencialmente componentes eletrônicos e seu custo deve seguir a tendência geral do setor: redução de custos com o aumento da produção e o aperfeiçoamento da tecnologia de produção.

Os sistemas de bombeamento de água baseados em fontes alternativos de energia se mostram competitivos em locais onde os insumos energéticos são abundantes (ventos e radiação solar) e as fontes tradicionais de eletricidade inexistem ou são economicamente inviáveis. O crescente aumento da eficiência e redução dos custos destes sistemas são frutos de um avanço tecnológico real e vertiginoso, subjugando a tecnologia a serviço do homem e em integração com o meio ambiente.

O bombeamento de água é considerado particularmente uma aplicação de grande importância no interior do Brasil.

Outra aplicação da energia solar está relacionada com o fornecimento de energia elétrica, particularmente importante para o interior da região Nordeste e parte do Estado de Minas Gerais, em comunidades de baixa renda com o atendimento, através dos sistemas fotovoltaicos de menor porte: uso residencial, em escolas públicas, em postos de saúde, etc.

Existem inúmeras aplicações dos sistemas fotovoltaico em uso, inclusive no Brasil, tais como: cercas eletrificadas para criação de animais; refrigeração de medicamentos e vacinas em postos de saúde; iluminação pública; estações repetidoras de telecomunicações (microondas, TV, rádio, telefone celular); sinalização náutica (faróis e bóias de navegação); sinalização rodoviária e telefones de socorro rodoviários; sinalização ferroviária; estações hidrológicas; estações de monitoramento de índices de poluição; sistemas de eletrificação rural, entre outras.

Voltando-se ao aspecto da aplicabilidade da energia solar nas diversas formas de conexão com outros sistemas, cabe ressaltar alguns aspectos:

Os sistemas isolados, em geral, utiliza-se alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou armazena-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação onde toda a água que é bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios.

Em sistemas que necessitam de armazenamento de energia em baterias, usa-se um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O "controlador de carga" tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequeno, onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC).

Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de

ponto de máxima potência necessário para otimização da potência final produzida. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais

Abaixo, será mostrada a configuração básica de um sistema solar isolado:

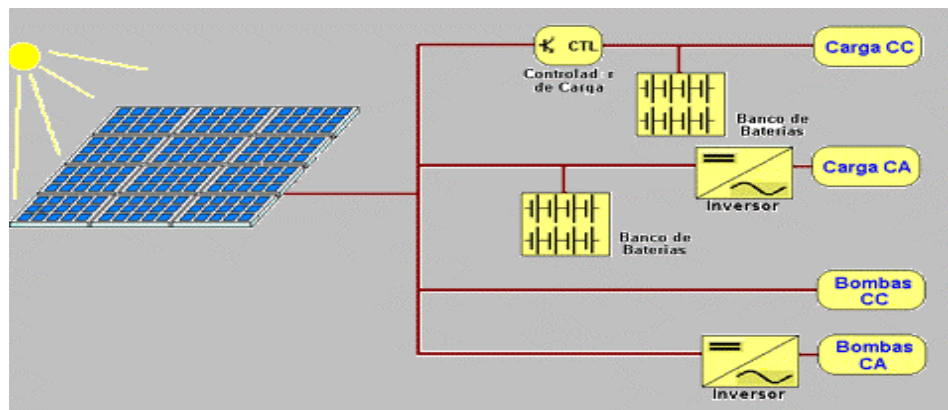


FIGURA 3.6: Esquema de um sistema solar isolado. Fonte: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, Rio de Janeiro – RJ.

Outro tipo de utilização do sistema fotovoltaico está relacionado com os sistemas híbridos que são aqueles que, desconectado da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia como, por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica torna-se complexo na necessidade de otimização do uso das energias. É necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário.

Em geral, os sistemas híbridos são empregados para sistemas de médio a grande porte vindo a atender um número maior de usuários. Por trabalhar com

cargas de corrente contínua, o sistema híbrido também apresenta um inversor. Devido a grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular para cada caso.

No Brasil, existem alguns sistemas sendo empregados para atender comunidades na região da floresta Amazônica.

Abaixo, será mostrada a configuração básica de um sistema solar híbrido:



FIGURA 3.7: Esquema de um sistema solar híbrido. Fonte: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, Rio de Janeiro – RJ.

Os sistemas interligados à rede, normalmente, utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente na rede.

Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual esta conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiados diretamente na rede.

Abaixo, será mostrada a configuração básica de um sistema solar conectado:

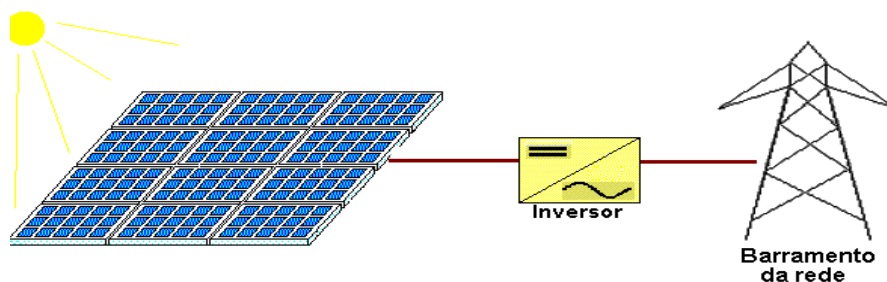


FIGURA 3.8: Esquema de um sistema solar conectado. Fonte: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, Rio de Janeiro – RJ.

Abaixo, serão mostradas algumas fotos de aplicações da tecnologia fotovoltaica de geração de energia:



FIGURA 3.9: Casa Solar. Fonte: CEPTEL – Centro de Pesquisas em Energia Elétrica, Rio de Janeiro – RJ.



FIGURA 3.10: Aviso marítimo composto de sistema híbrido eólico/fotovoltaico.

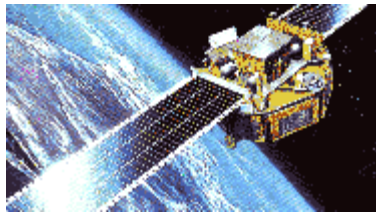


FIGURA 3.11: Aplicação fotovoltaica em satélite.



FIGURA 3.12: Aplicação fotovoltaica em residência rural



FIGURA 3.13: Aplicação fotovoltaica do Parque Ecológico do Porto de Saúípe - BA.



FIGURA 3.14: Aplicação fotovoltaica em sistema telefônico.

CAPÍTULO 4

EMPREGO DA ENERGIA SOLAR NO ESTADO DO CEARÁ

4.1 – INTRODUÇÃO

O Estado do Ceará, com suas características regionais, evidenciadas pelo pouco desenvolvimento social e econômico, vêm em busca de novas formas de se obter energia, constituindo um desafio a ser enfrentado.

Em particular, no sertão cearense a carência de recursos naturais implica uma triste realidade para a população local.

Este capítulo abordará as potencialidades da aplicação da energia solar da energia solar no estado do ceará, mostrando uma alternativa de solução para problemas de geração de energia em pequena escala.

Serão abordados aspectos relacionados com a aplicação da energia solar de aquecimento e fotovoltaica, principalmente nas comunidades de baixa renda do interior do Estado do Ceará, onde o fornecimento convencional da energia elétrica é deficiente.

Serão exemplificados alguns projetos em andamento pelo governo e as iniciativas que poderão melhorar as condições de vida da população, retratando a aplicação da energia solar de caráter comunitário.

O Governo Federal, através de ações que visam desenvolver a utilização de energias alternativas e, com isso, levar a energia elétrica até as comunidades mais carentes, instituiu programas de desenvolvimento neste sentido.

O PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios é um programa do Governo Federal, que foi instituído em dezembro/94, por decreto presidencial, e é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME.

O PRODEEM tem por objetivo atender às localidades isoladas, não supridas de energia elétrica pela rede convencional, obtendo essa energia de fontes renováveis locais, de modo a promover o desenvolvimento auto-sustentável, social e econômico, dessas localidades.

Para a implementação das atividades do PRODEEM o Ministério de Minas e Energia desenvolveu algumas parcerias com diversos organismos nacionais e internacionais:

- Parcerias de co-financiamento de projetos com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), a Carl Duisberg Gesellschaft (CDG) e a União Européia (UE);
- Parceria de assessoria técnica com a Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID);
- Parceria para a execução do projeto de transição do PRODEEM com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD);
- Parceria de apoio técnico com o CEPTEL;
- Parcerias de cooperação técnica para a instalação de sistemas fotovoltaicos e de bombeamento com a CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, sediada em Recife-PE e a Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S. A., sediada em Manaus-AM.

Recentemente, em março de 2004, foi lançado o Plano de Revitalização e Capacitação do PRODEEM, visando correções de procedimentos e dinamizar a implementação do programa.

No Estado do Ceará, o organismo responsável pela implantação do PRODEEM é a SEINFRA – Secretaria de Infra-estrutura do Estado do Ceará.

A ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A., ligada ao Ministério das Minas e Energia, desenvolve projetos pilotos que visam além da implementação de novas fontes de energia, também o desenvolvimento de novas tecnologias.

Um destes programas é o ELETROSOLAR - Módulos fotovoltaicos com tecnologia nacional de alta eficiência, cujo objetivo é Implementar uma unidade piloto para a produção de módulos fotovoltaicos com tecnologia nacional inovadora, alta eficiência e baixo custo a partir do emprego de materiais e processos mais barato se, no possível, adquiridos no mercado nacional.

Este projeto está sendo desenvolvido pela PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, sediada no Rio Grande do Sul, em parceria com a ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A., sediada no Rio de Janeiro, ELETROSUL – Eletrosul Centrais Elétricas S. A., sediada em Santa Catarina, MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia, sediado em Brasília - DF, PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S. A., sediada no Rio de Janeiro e CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica, sediada no Rio Grande do Sul.

Outro programa do Governo Federal, cujo objetivo principal acabar com a exclusão elétrica no país, é o programa LUZ PARA TODOS, que tem o objetivo de levar energia elétrica para mais de 12 milhões de pessoas até 2008. O programa, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia com participação da Eletrobrás e de suas empresas controladas, atenderá uma população equivalente aos estados de Piauí, Mato Grosso do Sul, Amazonas e do Distrito Federal.

O Programa contempla o atendimento das demandas no meio rural através de uma das 03 (três) alternativas:

- Extensão de Rede;
- Sistemas de Geração Descentralizada com Redes Isoladas;

- Sistemas de Geração Individuais.

Dentro das alternativas acima, vislumbra-se a utilização, também, da energia solar como uma das formas de se minimizar a exclusão energética em que vive parte da população brasileira.

A Eletrobrás é encarregada de gerir os recursos financeiros do programa de universalização de acesso à energia elétrica Luz Para Todos, do Ministério das Minas e Energia, cujo objetivo é levar energia elétrica a 12 milhões de pessoas até 2008. O programa está orçado em R\$ 7 bilhões, sendo R\$ 5,3 bilhões provenientes da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e da Reserva Global de Reversão (RGR), e o restante dos governos estaduais e de agentes do setor (fonte - ELETROBRÁS). Além da gestão dos recursos, a ELETROBRÁS é responsável por dar apoio técnico às concessionárias estaduais de energia para a execução do programa “Luz Para Todos”.

Em sua primeira fase, o programa irá levar energia elétrica a 1,4 milhão de famílias - 90% delas em áreas rurais - até o ano de 2006 (fonte - ELETROBRÁS). O programa será iniciado em todos os estados brasileiros com a instalação dos Comitês Gestores Estaduais de Universalização (CGEU). A comunidade de Nazaré foi a primeira atendida pelo “Luz Para Todos”. A cidade de Nazaré está localizada no município de Novo Santo Antônio (Piauí), localidade com o menor índice de acesso à energia elétrica do país, onde apenas 8% dos domicílios eram atendidos.

A instalação da energia elétrica até os domicílios será gratuita para as famílias de baixa renda e, para os consumidores residenciais de ligação monofásica e consumo mensal inferior a 80kwh/mês, as tarifas serão reduzidas, como previsto na legislação.

No Estado do Ceará o Programa é gerenciado pelo Comitê Gestor Estadual com representantes do Ministério de Minas e Energia; da SEINFRA - Secretaria da Infra-Estrutura do Governo do Estado do Ceará; da Agência

Reguladora Estadual; da Associação ou da Federação de Prefeitos do Estado do Ceará; da Concessionária de Distribuição do Estado do Ceará, COELCE - Companhia Energética do Ceará e da FETRAECE - Federação dos Trabalhadores da Agricultura do Ceará.

O recurso da energia solar, em particular, sob a forma da energia solar térmica e fotovoltaica, apesar de ser muito abundante no Ceará ainda é pouco utilizado.

O Estado do Ceará possui um dos maiores potenciais solarimétricos do Brasil, conforme os bancos de dados levantamentos pelo CEPEL (Centro de Pesquisas em Energia Elétrica), localizado no Rio de Janeiro. Este importante Centro de Pesquisa desenvolve um programa, de acesso disponível, via internet, onde são dispostos os níveis solarimétricos de qualquer localidade do país.

Convém discorrer sobre o programa em questão. Este programa destina-se ao cálculo da radiação solar média diária mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), localizado no Rio de Janeiro – RJ, de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Este programa vem sendo continuamente aperfeiçoado e os dados dele oriundos checados com medições efetuadas em campo e que represente um estímulo à produção de modelos e bases de dados mais precisos.

O programa chama-se SUNDATA e baseia-se em banco de dados levantados desde o ano de 1993, contendo valores de radiação média diária mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes.

A busca é feita por meio das coordenadas geográficas (latitude e longitude) do ponto de interesse, aplicando-se o seguinte:

As latitudes Sul são, por convenção, sempre negativas, portanto quase todas as latitudes no Brasil são negativas (exceto parte dos Estados de Amapá, Roraima, Pará e Amazonas);

São aceitas latitudes na faixa de 12°N a 40°S;

As longitudes Oeste são, por convenção, sempre positivas, portanto todas as longitudes no Brasil são positivas;

São aceitas longitudes na faixa de 30°W a 80°W;

As coordenadas são sempre expressas em notação de graus decimais (ex: -20.75 significa 20 graus e 45 minutos de latitude Sul: -15.32 significa 15 graus, 19 minutos e 12 segundos de latitude Sul).

O programa sempre fornece os dados de radiação solar para as três localidades mais próximas do ponto de interesse, desde que esteja em seu banco de dados. São fornecidos os valores de insolação, em kWh/m²/dia no plano horizontal, correspondente às médias diárias mensais para os 12 meses do ano.

Os dados são apresentados no formato de tabela, onde é mostrado o nome da localidade, suas coordenadas, o Estado da Federação (ou o país a que pertence, caso não seja o Brasil), e a distância em linha reta ao ponto especificado (km). Os dados da tabela mostram a radiação diária média mensal (kWh/m²/dia) para todos os meses do ano, a partir de janeiro. É mostrado o valor da menor média diária mensal (MÍNIMO), da maior média diária mensal (MÁXIMO), da média diária anual (MÉDIA) e da diferença entre a máxima e a mínima (DELTA).

Para cada uma das três localidades selecionadas são também fornecidos os valores de radiação solar convertidos do plano horizontal para planos inclinados com três diferentes ângulos em relação ao plano horizontal:

- Ângulo igual à latitude;

- Ângulo que fornece a maior média diária anual de radiação solar;
- Ângulo que fornece o maior valor mínimo mensal de radiação solar.

Estas são, segundo o CEPTEL, geralmente as inclinações mais favoráveis para a instalação dos painéis fotovoltaicos.

Os dados convertidos para os planos inclinados são apresentados em formato idêntico ao já descrito anteriormente.

Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de -40 e 12 (12°N e 40°S) e de longitude na faixa de 30 e 80 (30°W e 80°W).

Para exemplificar, mostram-se abaixo, os índices solarimétricos, gerados pelo programa SUNDATA, de duas cidades do Estado do Ceará:

TABELA 4.1: Dados solarimétricos da cidade de Fortaleza (3.728°S, 38.529W) – Ceara. Fonte: SUNDATA - CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), Rio de Janeiro – RJ.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Rad	5.33	5.14	4.67	4.53	5.03	5.00	5.69	6.19	6.25	6.47	6.36	6.06
Mínimo:	4.53		Máximo: 6.47			Média: 5.56			Delta: 1.94			

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Lat 3N	5.24	5.09	4.67	4.57	5.12	5.12	5.83	6.29	6.27	6.42	6.25	5.93
Mínimo:	4.57		Máximo: 6.42			Média: 5.57			Delta: 1.85			

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
>Md 10N	5.00	4.94	4.62	4.62	5.30	5.36	6.09	6.46	6.27	6.25	5.95	5.60
Mínimo:	4.62		Máximo: 6.46			Média: 5.54			Delta: 1.84			

Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
>Mn 10N	5.00	4.94	4.62	4.62	5.30	5.36	6.09	6.46	6.27	6.25	5.95	5.60
Mínimo:	4.62		Máximo: 6.46			Média: 5.54			Delta: 1.84			

TABELA 4.2: Dados solarimétricos da cidade de Sobral (3.659°S, 40.350W) – Ceara. Fonte: SUNDATA - CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), Rio de Janeiro – RJ.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Rad	4.92	4.81	4.89	4.44	5.06	4.78	5.33	6.03	5.97	6.06	5.92	5.61
Mínimo:	4.44		Máximo: 6.06			Média: 5.32			Delta: 162			

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Lat 3N	4.84	4.77	4.89	4.48	5.15	4.89	5.45	6.12	5.99	6.01	5.82	5.50
Mínimo:	4.48		Máximo: 6.12			Média: 5.33			Delta: 1.65			

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
>Md 10N	4.63	4.63	4.84	4.53	5.33	5.11	5.69	6.28	5.99	5.86	5.56	5.21
Mínimo:	4.53		Máximo: 6.28			Média: 5.30			Delta: 1.76			

Mes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
>Mn 10N	4.63	4.63	4.84	4.53	5.33	5.11	5.69	6.28	5.99	5.86	5.56	5.21
Mínimo:	4.53		Máximo: 6.28			Média: 5.30			Delta: 1.76			

4.2 –EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NO CEARÁ

Nesse item serão relacionadas algumas experiências com sistemas de energia solar no Estado do Ceará, implementadas tanto no nível do governo Estadual como no nível do governo Federal.

Os projetos envolvendo a aplicação da energia solar devem possuir certa flexibilidade e ao serem, de preferência, auto-sustentados. Para obedecerem estes critérios faz-se necessário que algumas atitudes sejam colocadas.

Crítérios para sustentabilidade devem ser parte integrante de um projeto de desenvolvimento, assegurando a aplicação de tecnologias maduras, visando assegurar a instalação, a manutenção e a administração dos recursos humanos e materiais empregados.

Outro critério importante é a participação da comunidade no planejamento, execução e avaliação do projeto, gerenciando, inclusive, fundos comunitários, onde a confiança mútua se torna uma das garantias para o sucesso do projeto. A capacitação de técnicos locais onde serão instalados os projetos também se torna um fator condicionante ao sucesso do empreendimento.

Observação da capacidade de pagamento por parte do usuário, calculando-se os custos das fontes energéticas e procurando garantir a sustentabilidade dos sistemas.

Os projetos envolvendo a energia solar devem possuir uma visão do mercado de Energia Solar. Deve-se criar programas de financiamentos de infraestrutura de energia renovável. Essencial a elaboração de projetos pilotos que venham a Interessar os grandes fabricantes no mercado de energia solar, tornando a energia solar uma verdadeira alternativa.

Outro fator que pode ser empregado é a adoção de modelos de fundo rotativo, onde poderão ser disponibilizados desde linhas de créditos específicas

até financiamentos diretos para a implantação de sistemas solares em residência, por exemplo.

No Governo Estadual, a SEINFRA – Secretaria de Infra-estrutura do Estado do Ceará, é responsável pelo planejamento e execução das diretrizes voltadas para a área de energia. Dentro desta perspectiva, a energia solar encontra-se em destaque.

O principal programa que envolve a aplicação da energia solar desenvolvido pela SEINFRA é chamado de **Projeto São José**. Este projeto visa atender, com sistemas a energia solar, localidades e comunidades isoladas e distantes da rede elétrica convencional. Fortalecer o sistema elétrico do Estado através da geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, incentivando o uso de energia solar e empreendimentos em energias renováveis.

O Projeto São José tem como um dos objetivos melhorar as condições de vida das populações rurais através da implantação de projetos que gerem emprego e renda.

Na Secretaria da Infra-Estrutura o projeto se concentrou, especificamente, no financiamento de projetos de eletrificação rural no período 1996-2000, elevando a taxa de atendimento de 32 % para 60%. Neste período foram efetuadas 107 mil ligações com investimentos de R\$ 74 milhões (dados da SEINFRA).

O principal parceiro e agente promotor é o Ministério das Minas e Energia, que em parceria com o governo Estadual, pretende contribuir com o processo de universalização do atendimento de energia elétrica e a promoção social dessas comunidades.

Os financiadores principais deste programa no Estado do Ceará são a Companhia Energética do Ceará – COELCE, as Prefeituras Municipais e o Ministério das Minas e Energia.

O programa São José vem sendo implementado em vários municípios do Estado, sendo citados abaixo alguns deles, segundo fonte da SEINFRA: Acaraú, Alto Santo, Apuiarés, Aquiraz, Aracati, Arneiróz, Banabuiú, Barroquinha, Beberibe, Bela Cruz, Boa Viagem, Camocim, Campos Sales, Canindé, Caridade, Carnaubal, Catunda, Caucaia, Chaval, Choró, Choró Limão, Crateús, Deputado Irapuan Pinheiro, Ererê, Fortim, Granja, Guaiúba, Icó, Independência, Ipaporanga, Ipueiras, Iracema, Irauçuba, Itapipoca, Itarema, Jaguaratama, Jaguaribara, Jaguaribe, Marco, Massapê, Miraíma, Mombaça, Morada Nova, Moraújo, Morrinhos, Mucambo, Novo Oriente, Ocara, Parambú, Paramoti, Pedra Branca, Pentecoste, Piquet Carneiro, Potengi, Potiretama, Quiterianópolis, Quixadá, Quixeré, Saboeiro, Salitre, Santa Quitéria, Santana do Acaraú, São Gonçalo do Amarante, Solonópole, Tabuleiro do Norte, Tamboril, Tauá, Trairi, Ubajara, Umirim, Uruoca, Viçosa do Ceará.

Outro empreendimento de bastante interesse, principalmente na área acadêmica, está voltado para a aplicação da energia solar em equipamentos de refrigeração.

Um acordo de cooperação técnica entre o governo estadual, por meio da Secretaria Estadual da Ciência e Tecnologia, Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e a Universidade Federal do Ceará (UFC), vai permitir a utilização da energia solar em novos equipamentos e sistemas. O acordo envolve a criação do Centro Brasileiro para o Desenvolvimento da Tecnologia de Refrigeração Solar (CBRefrISO).

O Centro vai apoiar a realização dos projetos de equipamentos movidos à energia solar para de refrigeração de câmaras frigoríficas para conservação de alimentos, produção de gelo e sistemas de climatização, desenvolvidos com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Segundo a coordenação do Laboratório de Energia Solar e Gás Natural da Universidade Federal do Ceará (UFC), os projetos já foram iniciados e o protótipo do refrigerador solar deverá ser testado em abril de 2006.

O projeto de criação do Centro encontra-se em fase de aprovação e avaliação técnica por parte da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). A validação do projeto será realizada por comitê técnico específico, onde se prevê, inclusive a liberação dos recursos, com fonte dos fundos setoriais.

O CRefriSOL vai produzir e difundir o conhecimento científico e tecnológico, além de contribuir na formação de recursos humanos na área. De acordo com especialistas na área, a tecnologia adotada no equipamento é baseada no ciclo térmico de absorção, processo físico pelo qual o material absorvente é capaz de aprisionar ou liberar moléculas de um fluido.

A implementação do Centro é importante para a fomentação da tecnologia de refrigeração térmica, auxiliando ainda em novos projetos, além de permitir a continuidade dos que já estão em andamento, criando novas aplicações. O laboratório da UFC já abriga projetos na área da energia solar como o do fogão solar e outro de dessalinização térmica.

O governo estadual, através da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Ceará, vai dar apoio ao Centro na apresentação dos projetos, fomentando a busca de fontes de recursos.

Abaixo estão relacionadas algumas aplicações da energia solar no estado de Ceará (fonte IDER – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis):

15 bombas de Água, COELCE - GTZ, 1992; 450 sistemas residenciais, COELCE - NREL, 1994; 6 escolas, 6 postos de saúde, PRODEEM, 1996; 300 telefones rurais, TELECEARÁ, 1996 / 2002; 50 sistemas Residenciais, IDER - SELF, 1997; 40 bombas de água, Sohida – PRODEEM - IDER, 1998; 3 postos de saúde, BN – Eldorado – IDER, 1999; 28 sistemas residenciais, IDER – IUTU

2000, 1999; 3 postos de saúde, BN - Eldorado - IDER, 1999; 40 escolas - PRODEEM, 1999, 2000; 40 sistemas residências, IDER, 2001; 40 bombas de água, Sohidra – PRODEEM, 2001; 120 sistemas residenciais, BP – IDER, 2001; 1 máquina de gelo, Würth-Solar – IDER, 2001; 260 sistemas de escolas, 2002.

Abaixo se encontram fotos de algumas aplicações da energia solar no estado de Ceará (fonte IDER – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis e SEINFRA – Secretaria de Infra-estrutura do Estado do Ceará):



FIGURA 4.1: Aquecimento solar no interior de residência.



FIGURA 4.2: Bomba a energia solar, BNB – ASE – IDER, 1999.



FIGURA 4.3: Escola do Projeto ALVORADA – PRODEEM, 2002.



FIGURA 4.4: Sistema de residencial.



FIGURA 4.5: Sistema de refrigeração.



FIGURA 4.6: Sistema de capacitação de água.



FIGURA 4.7: Sistema de capacitação de água.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5.1 – RESULTADOS E CONCLUSÕES

O país enfrenta, com seus diversos desafios, em sua busca do desenvolvimento, através do uso eficaz de suas estruturas sociais, políticas e institucionais.

O desafio relacionado com a geração de energia elétrica necessária a este desenvolvimento, está em consonância com a manutenção do crescimento. O recurso da energia solar, em particular sob a forma da energia solar térmica e fotovoltaica, apesar de ser muito abundante no Estado do Ceará, tem tido, até então, um uso restrito.

Avanços tecnológicos alcançados na área fotovoltaica e as perspectivas de redução de custos ainda maiores com o aumento do mercado estão colocando a energia solar entre as opções viáveis, para uma série de aplicações, inclusive a geração de energia em localidades afastadas.

Deve-se aumentar a pesquisa em equipamentos e periféricos, o estabelecimento de incentivos e mecanismos de financiamento e finalmente a definição de modelos de gestão adequados para a operação, manutenção e comercialização da energia a um custo que recupere o investimento.

Dentro destes parâmetros, faz-se necessário que o país e o Ceará desenvolvam meios em pessoal e material, capacitando profissionais para se enfrentar todas as adversidades do setor energético.

Serão abordadas as principais conclusões, observações e recomendações que advieram do estudo em questão. Neste capítulo será dedicada à apresentação das conclusões da abordagem realizada acima, bem como, às

sugestões diversas advindas de observações colhidas durante a realização deste trabalho.

Dando-se um cunho crítico, notou-se a grande dificuldade de se obter dados atualizados, apesar de que se encontram disponíveis fontes sobre o assunto em diversos site e publicações.

Dentro deste enfoque, este trabalho não visa esgotar o assunto, muito pelo contrário, visa ser um estímulo para novas abordagens relativas ao tema em questão. Os dados levantados poderão ser utilizados em futuros trabalhos e/ou teses sobre o assunto.

Ao longo dos trabalhos desenvolvidos, foi realizada uma ambientação, onde foram expostas as definições preliminares necessárias ao entendimento do assunto.

Foram abordados aspectos peculiares dos sistemas fotovoltaicos, suas definições, componentes e características. Conseguiu-se, através desta abordagem, a familiarização dos mecanismos envolvidos, principalmente no que se refere à utilização da energia solar como fonte alternativa de geração de energia.

O capítulo principal abordou os aspectos de aplicabilidade dos sistemas fotovoltaicos no Estado do Ceará, com suas situações de peculiar aplicação dentro do Estado.

Os objetivos deste trabalho foram cumpridos, mostrando a viabilidade das aplicações específicas envolvendo o tema: “SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”.

A utilização do software Sundata para o cálculo da disponibilidade de radiação solar no Brasil, e do Atlas Solarimétrico evidencia as características de emprego e sua versatilidade, sendo, neste instante, uma ferramenta de grande importância no que se refere ao efetivo e correto dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos de maneira geral.

O enfoque dado abordou diversas situações de possível emprego dos sistemas fotovoltaicos como uma das soluções aceitáveis no que se refere à busca de fonte de energia, principalmente no emprego em localidades afastadas dos grandes consumidores de energia.

Este enfoque foi baseado principalmente nos critérios de desenvolvimento social, confiabilidade, conforto, redução de impacto ambiental e economia de combustível.

Este trabalho, como já dito anteriormente, mostra-se como um ponto inicial para outros futuros trabalhos a respeito do assunto.

Outras possíveis situações de emprego das fontes alternativas de geração de energia elétrica, onde poderia ser empregada a tecnologia dos sistemas fotovoltaicos poderiam ser frutos de novos trabalhos de grande aplicabilidade no Estado do Ceará.

Outra abordagem que se faz necessária ao prosseguimento deste trabalho refere-se ao projeto completo de implementação de sistemas fotovoltaicos em larga escala. Vários trabalhos a respeito podem ser desenvolvidos, desde a análise dos custos em cada etapa de implementação, a estratégia de execução, a decisão do melhor aspecto físico a ser implementado e a fixação dos componentes, bem como o melhor “lay” a ser adotado são alguns dos temas que poderão ser abordados.

O Estado do Ceará possui características que valorizam a utilização da energia solar como fonte de energia. O apêndice B relata os dados disponíveis do Estado. Estes dados foram coletados em 16 (dezesesseis) localidades, desde o norte até o sul do estado.

Ainda existe a falta de investimentos travando o desenvolvimento das aplicações solares no Estado. Desde a última década, porém, muito avanço já foi observado. Diversas cidades já foram atendidas pelos diversos programas, tanto do Governo Federal como do Estadual. A população de baixa já começa a

verificar e receber os benefícios do emprego da energia solar. A maioria das aplicações está centralizada em comunidades carentes e, diversos sistemas são de uso coletivo, como àqueles em escolas públicas e em iluminação coletiva.

A energia solar, sobretudo em um estado do nordeste brasileiro, como o Ceará, é uma alternativa energética altamente viável, de uso social de grande potencial e, de enorme apelo popular.

APÊNDICE A

DADOS RELATIVOS À ENERGIA DISPONIBILIZADOS NO PLANO PLURIANUAL 2004/2007 DO GOVERNO FEDERAL

Fonte: PPA 2004/2007

PPA 2004/2007

Órgão/Programas/Objetivo

32000 - Ministério de Minas e Energia

0274 - Abastecimento de Energia Elétrica

Assegurar condições para o pleno atendimento de energia elétrica aos consumidores

0271 - Abastecimento de Petróleo, seus Derivados, Gás Natural e Álcool Combustível.

Garantir as condições para satisfação da demanda atual e futura de petróleo, seus derivados, gás natural e outros combustíveis em todo território nacional.

0282 - Atuação Internacional na Área de Petróleo

Incorporar novas reservas e aumentar a participação do sistema Petrobrás no mercado externo de petróleo e derivados e gás natural.

1045 - Brasil com Todo Gás

Promover o uso do gás natural de forma segura e continuada com preços competitivos e aumentar a flexibilidade de seu transporte por meio de interligação entre suas reservas e os mercados consumidores

0476 - Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia

Desenvolver tecnologias relacionadas ao setor energético em institutos de pesquisa e transferi-las ao setor produtivo, visando à expansão e a modernização do parque industrial brasileiro.

0283 - Distribuição de Derivados de Petróleo, Gás Natural, Álcool e Outros Combustíveis.

Oferecer adequada infra-estrutura de produtos e serviços na distribuição de derivados de petróleo, gás natural, álcool e outros combustíveis.

1046 - Eficiência Energética

Reduzir o desperdício e o uso ineficiente dos insumos energéticos

1044 - Energia Alternativa Renovável

Ampliar a oferta de energia por meio de fontes renováveis, em base auto-sustentável, minimizando os impactos ambientais.

0273 - Energia Cidadã

Promover o acesso à energia elétrica para famílias de baixo poder aquisitivo localizadas na área rural e atender demandas comunitárias de escolas, postos de saúde e sistemas de bombeamento d'água, seja por meio de extensão de redes ou de atendimento descentralizado.

0294 - Energia na Região Nordeste

Atender as necessidades de energia elétrica da Região Nordeste.

0297 - Energia na Região Norte

Atender as necessidades de energia elétrica da Região Norte e exportar os excedentes para as demais regiões do Sistema Interligado Nacional.

0295 - Energia na Região Sul

Atender as necessidades de energia elétrica da Região Sul e exportar os excedentes para as demais regiões do Sistema Interligado Nacional.

0296 - Energia nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste

Atender as necessidades de energia elétrica das Regiões Sudeste e Centro-Oeste e exportar os excedentes para as demais regiões do Sistema Interligado Nacional.

1042 - Energia nos Sistemas Isolados

Ampliar a oferta nos sistemas isolados ainda existentes, atendendo suas necessidades de energia elétrica.

1115 - Geologia do Brasil

Gerar e difundir informações geológicas e hidrogeológicas para subsidiar o planejamento do uso do solo e do subsolo e induzir o aumento dos investimentos no setor mineral.

0276 - Gestão da Política de Energia

Coordenar o planejamento e a formulação de políticas setoriais e a avaliação e controle dos programas na área de energia.

1069 - Gestão da Política Mineral

Coordenar o planejamento e a formulação de políticas setoriais e a avaliação e controle dos programas na área de mineração.

0285 - Indústria Petroquímica

Ampliar a oferta de produtos da indústria petroquímica nacional para atendimento ao mercado.

0391 - Mineração e Desenvolvimento Sustentável

Promover o desenvolvimento da produção mineral do País.

0286 - Oferta de Petróleo e Gás Natural

Aumentar a oferta de petróleo e gás natural ao mercado, de forma a reduzir a dependência externa, observando os padrões de segurança e as exigências ambientais.

APÊNDICE B

DADOS SOLARIMÉTRICOS DE ALGUMAS CIDADES DO ESTADO DO CEARÁ

Fonte: ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL

CIDADE: SOBRAL												
Coordenadas e Instrumentação												
Latitude	G	Min	Altitude	Tempo Obs Insolação	Tempo Obs Radiação	Correlação p/ estimativa da Radiação	Fonte					
	3	42	83	1931/60	1969/73		8					
Longitude	G	Min	84	1970/78	1968/78		1					
	40	21	83	1961/90			2					
			65	1931/70	55 Meses		4					
			63	1969/73	1969/73		5					
Dados numéricos												
Duração do Dia, N (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
12	12,2	12,1	12	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12	12,1	12,2	12
Insolação Diária (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
7,3	6,3	6,1	5,2	5,3	6,6	7,1	7,7	8,9	9	8,7	8,8	7,9
Desvio Padrão da Insolação Diária (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2,5	2,8	2,9	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2	1,9	1,9	2,1	2,7
Total de Dados da Insolação Diária (d)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3098	279	253	278	240	248	240	279	279	254	266	234	248
Fração de Insolação (m/N)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,61	0,52	0,50	0,43	0,44	0,56	0,60	0,65	0,75	0,75	0,72	0,72	0,65
Radiação Solar Global Diária (MJ/m2)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
19	17,5	18,7	17,8	17,8	17,1	17,1	17,9	20,4	22	21,9	21,5	19,7
Desvio Padrão da Radiação Solar Global Diária (MJ/m2)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3,5	3,6	4	4,1	4,1	3,4	3,1	3,4	3,1	3,1	3,3	3,2	3,3
Total de Dados da Radiação Solar Global Diária (d)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2838	242	234	225	238	277	247	239	257	171	219	233	256

Fonte
(1) Fontes Energéticas Brasileiras Inventário/ Tecnologia - Energia Solar, Recife/PE, CHESF, DEG/DETE, 1987.
(2) Normais Climatológicas (1961-1990), Departamento Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF, 1992.
(4) SÁ, D. F. de Radiação Solar e sua Importância no Aproveitamento Agrícola de Encostas no Nordeste do Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais, Relatório Técnico INPE-1005-TPT/049, Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial e da Atmosfera do INPE, 1976.
(5) VILLA NOVA, N. A. e SALLATI, E., Radiação Solar no Brasil, Anais do I Simpósio Anual da Academia de Ciências do Estado de São Paulo, pp. 27-61, 1977.
(8) FUNARI, F. L., Insolação, Radiação Solar Global e Radiação Líquida no Brasil, São Paulo. Dissertação de Mestrado do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 1983.
(9) Agroclimatological Data, Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO.
(17) Valores Medios de Irradiacion Solar sobre Suelo Horizontal, Centro de Estudios de la Energia Solar, PROGENSA, Argentina, 1993.

CIDADE: FORTALEZA												
Coordenadas e Instrumentação												
Latitude	G	Min	Altitude	Tempo Obs Insolação	Tempo Obs Radiação	Correlação p/ estimativa da Radiação	Fonte					
	3	46	25	1931/60	1972/74		8					
Longitude	G	Min	27	1970/78	1972/78		1					
	38	33	26	1961/90			2					
			26	1931/70	24 Meses		4					
			27	1972/74	1972/74		5					
Dados numéricos												
Duração do Dia, N (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
12	12,2	12,1	12	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12	12,1	12,2	12
Insolação Diária (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
7,9	7,2	6,8	5	5,3	6,9	7,9	8,5	9,7	9,5	9,3	9,6	9
Desvio Padrão da Insolação Diária (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2,8	3,4	3,5	3,4	3,5	3,7	3,2	3	1,9	1,5	1,9	1,9	2,7
Total de Dados da Insolação Diária (d)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3530	279	252	310	300	310	300	310	310	300	310	270	279
Fração de Insolação (m/N)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,66	0,59	0,56	0,42	0,44	0,58	0,67	0,72	0,82	0,79	0,77	0,79	0,74
Radiação Solar Global Diária (MJ/m2)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
17,9	17,4	17,2	15	14,7	15,3	15,9	16,8	20	21,8	21,2	20,7	20,3
Desvio Padrão da Radiação Solar Global Diária (MJ/m2)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3,6	4,4	4,8	4,9	4,6	4,5	3,2	3,5	2,3	2	2,9	2,7	3
Total de Dados da Radiação Solar Global Diária (d)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1846	168	122	133	151	151	181	192	181	166	151	121	129

Fonte
(1) Fontes Energéticas Brasileiras Inventário/ Tecnologia - Energia Solar, Recife/PE, CHESF, DEG/DETE, 1987.
(2) Normais Climatológicas (1961-1990), Departamento Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF, 1992.
(4) SÁ, D. F. de Radiação Solar e sua Importância no Aproveitamento Agrícola de Encostas no Nordeste do Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais, Relatório Técnico INPE-1005-TPT/049, Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial e da Atmosfera do INPE, 1976.
(5) VILLA NOVA, N. A. e SALLATI, E., Radiação Solar no Brasil, Anais do I Simpósio Anual da Academia de Ciências do Estado de São Paulo, pp. 27-61, 1977.
(8) FUNARI, F. L., Insolação, Radiação Solar Global e Radiação Líquida no Brasil, São Paulo. Dissertação de Mestrado do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 1983.
(9) Agroclimatological Data, Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO.
(13) Boletim de Radiação Solar Trimestral, Ministério da Agricultura, Instituto Nacional de Meteorologia, 1978 a 1989.
(17) Valores Medios de Irradiacion Solar sobre Suelo Horizontal, Centro de Estudios de la Energia Solar, PROGENSA, Argentina, 1993.

CIDADE: MONDUBIM												
Coordenadas e Instrumentação												
Latitude	G	Min	Altitude	Tempo Obs Insolação	Tempo Obs Radiação	Correlação p/ estimativa da Radiação	Fonte					
	3	50	32	1920/30		Angstrom, Base Fortaleza	8					
Longitude	G	Min										
	38	34										
Dados numéricos												
Duração do Dia, N (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
12	12,2	12,1	12	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12	12,1	12,2	12
Insolação Diária (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
7,9	7,4	6,3	5,2	5,1	6,6	8,2	8,8	10,1	9,6	9,5	9,6	8,7
Fração de Insolação (n/N)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,66	0,61	0,52	0,43	0,43	0,56	0,7	0,75	0,85	0,8	0,78	0,79	0,71
Radiação Solar Global Diária (MJ/m²)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
18,4	18,3	16,7	14,4	13,6	15,2	17,1	18,3	21,5	21,8	22,1	22,1	20,3
Desvio Padrão da Radiação Solar Global Diária (MJ/m²)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3,6	4,4	4,8	4,9	4,6	4,5	3,2	3,5	2,3	2	2,9	2,7	3
Total de Dados da Radiação Solar Global Diária (d)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1846	168	122	133	151	151	181	192	181	166	151	121	129
Fonte												
(8) FUNARI, F. L., Insolação, Radiação Solar Global e Radiação Líquida no Brasil, São Paulo. Dissertação de Mestrado do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 1983.												

CIDADE: BARBALHA													
Coordenadas e Instrumentação													
Latitude	G	Min	Altitude	Tempo Obs Insolação	Tempo Obs Radiação	Correlação p/ estimativa da Radiação							Fonte
	7	19	400	1973/75	1973/75								8
Longitude	G	Min	406	1970/77	1973/77								1
	39	18	409	1968/90									2
			409	1961/70	19 Meses								4
Dados numéricos													
Duração do Dia, N (h)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
12	12,4	12,2	12	11,8	11,7	11,6	11,6	11,8	12	12,2	12,4	12	
Insolação Diária (h)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
7,7	6,7	6,4	6,2	6,7	7,6	7,8	8	9,3	9,1	8,2	8,4	8	
Desvio Padrão da Insolação Diária (h)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2,7	3,2	3,2	2,9	2,7	2,6	2,6	3	2,2	2,1	2,5	2,7	2,9	
Total de Dados da Insolação Diária (d)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2906	248	226	248	240	248	240	248	237	240	248	235	248	
Fração de Insolação (n/N)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
0,64	0,54	0,52	0,51	0,57	0,65	0,67	0,69	0,79	0,76	0,67	0,68	0,64	
Radiação Solar Global Diária (MJ/m2)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
19,7	19,5	18,5	18,5	18,2	17,1	16,8	17,3	20,3	21,5	21,5	21,6	19,7	
Desvio Padrão da Radiação Solar Global Diária (MJ/m2)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
3,4	4,9	4	4	3,2	2,6	2,6	3,1	2,2	3	3,7	3,9	3,5	
Total de Dados da Radiação Solar Global Diária (d)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1412	124	109	124	118	124	88	93	93	116	153	146	124	

Fonte
(1) Fontes Energéticas Brasileiras Inventário/ Tecnologia - Energia Solar, Recife/PE, CHESF, DEG/DETE, 1987.
(2) Normais Climatológicas (1961-1990), Departamento Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF, 1992.
(4) SÁ, D. F. de Radiação Solar e sua Importância no Aproveitamento Agrícola de Encostas no Nordeste do Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais, Relatório Técnico INPE-1005-TPT/049, Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial e da Atmosfera do INPE, 1976.
(5) VILLA NOVA, N. A. e SALLATI, E., Radiação Solar no Brasil, Anais do I Simpósio Anual da Academia de Ciências do Estado de São Paulo, pp. 27-61, 1977.
(8) FUNARI, F. L., Insolação, Radiação Solar Global e Radiação Líquida no Brasil, São Paulo. Dissertação de Mestrado do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 1983.
(17) Valores Medios de Irradiacion Solar sobre Suelo Horizontal, Centro de Estudios de la Energia Solar, PROGENSA, Argentina, 1993..

CIDADE: TAUÁ												
Coordenadas e Instrumentação												
Latitude	G	Min	Altitude	Tempo Obs Insolação	Tempo Obs Radiação	Correlação p/ estimativa da Radiação	Fonte					
	6	1	400	1970/78			1					
Longitude	G	Min	398	1964/89			2					
	40	25										
Dados numéricos												
Duração do Dia, N (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
12	12,3	12,2	12	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12	12,1	12,3	12,3
Insolação Diária (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
7	5,9	5,4	5,1	5,7	6,7	7,3	7,9	9	8,7	8,2	8,2	7
Desvio Padrão da Insolação Diária (h)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2,7	3,2	3	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,1	1,9	2,3	2,7	3,1
Total de Dados da Insolação Diária (d)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2983	202	254	278	254	275	264	279	247	210	232	240	248
Fração de Insolação (n/N)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,58	0,48	0,44	0,4	0,46	0,55	0,63	0,63	0,85	0,64	0,69	0,64	0,57
Radiação Solar Global Diária (MJ/m2)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
18,9	17,7	17,2	17,6	16,5	17,4	116,9	19	21,3	20,6	21,5	21,3	19,6
Desvio Padrão da Radiação Solar Global Diária (MJ/m2)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
3,6	4,4	4,8	4,9	4,6	4,5	3,2	3,5	2,3	2	2,9	2,7	3
Total de Dados da Radiação Solar Global Diária (d)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1846	168	122	133	151	151	181	192	181	166	151	121	129
Fonte												
(1) Fontes Energéticas Brasileiras Inventário/ Tecnologia - Energia Solar, Recife/PE, CHESF, DEG/DETE, 1987.												
(2) Normais Climatológicas (1961-1990), Departamento Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF, 1992.												
(17) Valores Medios de Irradiacion Solar sobre Suelo Horizontal, Centro de Estudios de la Energia Solar, PROGENSEA, Argentina, 1993..												

CIDADE: IGUATU													
Coordenadas e Instrumentação													
Latitude	G	Min	Altitude	Tempo Obs Insolação	Tempo Obs Radiação	Correlação p/ estimativa da Radiação							Fonte
	6	22	216	1931/60		Angstrom, Base Pombal							8
Longitude	G	Min	212	1970/78									1
	39	18	217	1961/90		Não Identificado							2
			216										9
Dados numéricos													
Duração do Dia, N (h)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
12	12,3	12,2	12	11,9	11,7	11,6	11,7	11,8	12	12,1	12,3	12,4	
Insolação Diária (h)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
7,8	6,8	6,8	6,71	6,7	8,1	8,2	8,5	9,2	9,6	9,2	8,9	7,9	
Desvio Padrão da Insolação Diária (h)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2,5	2,9	3,2	2,9	2,6	2,3	2,2	2,4	2,1	1,6	1,9	2,5	2,9	
Total de Dados da Insolação Diária (d)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2188	186	169	210	192	186	179	186	155	180	186	180	179	
Fonte													
<p>(1) Fontes Energéticas Brasileiras Inventário/ Tecnologia - Energia Solar, Recife/PE, CHESF, DEG/DETE, 1987.</p> <p>(2) Normais Climatológicas (1961-1990), Departamento Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF, 1992.</p> <p>(8) FUNARI, F. L., Insolação, Radiação Solar Global e Radiação Líquida no Brasil, São Paulo. Dissertação de Mestrado do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 1983.</p> <p>(9) Agroclimatological Data, Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO.</p> <p>(17) Valores Medios de Irradiacion Solar sobre Suelo Horizontal, Centro de Estudios de la Energia Solar, PROGNSA, Argentina, 1993. (1) Fontes Energéticas Brasileiras Inventário/ Tecnologia - Energia Solar, Recife/PE, CHESF, DEG/DETE, 1987.</p>													

CIDADE: ACARAU												
Coordenadas e Instrumentação												
Latitude	G	Min	Altitude	Tempo Obs Insolação	Tempo Obs Radiação	Correlação p/ estimativa da Radiação	Fonte					
	2	48					17					
Longitude	G	Min										
	40	7										
Dados numéricos												
Radiação Solar Global Diária (MJ/m2)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
20,3	18,3	19,1	17,2	16,4	19,0	18,6	21,3	22,8	22,6	23,6	23,4	20,9
Fonte												
(17) Valores Medios de Irradiacion Solar sobre Suelo Horizontal, Centro de Estudios de la Energia Solar, PROGENSA, Argentina, 1993.												

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- LORENZO, E.; “Eletricidad Solar, Ingenieria de sistemas fotovoltaicos”, 1994.
- 2- “Sistemas Fotovoltaicos, Manual de Engenharia”; GTEF/CEPEL, 1996.
- 3- PALZ, W.; “Energia Solar e fontes alternativas”; 1988.
- 4- “Photovoltaic fundamentals”; U.S. Department of Energy, 1995.
- 5- KREIDER, J. F. ; KREITH, F. ; “Solar Energy Handbook”, Mc. Granw-Hill series in modern structures, USA 1981.
- 6- NUNES, GETÚLIO SORIANO DE SOUZA; ANDRÊ, ROMÍSIO GERALDO BUHIND; VIANELO, RUBENS LEITE; MARQUES, VALDO DA SILVA; “Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil”, Viçosa, 1979.
- 7- Atlas solarimétrico do Brasil, UFPE/CEPEL 1998.
- 8- JAHANSON, THOMAS B.; KELLY, HENRY; AMULIA, K.N.; WILLIAMS, ROBERT H.; “Renewable energy sources for fuels and electricity”, Island Press 1993.
- 9- “Energia solar – Princípios e aplicações”; GTEF/CEPEL, 1996.
- 10- LUIZ, ADIR M; “Como aproveitar a energia solar”, 1992.
- 11- HALLIDAY; RESNICK; WALKER; “Fundamentos de Física”; Livros Técnicos e Científicos, 1996.
- 12- “Photovoltaic System Technology Handbook”, Mc. Granw-Hill series in modern structures, USA 1981.
- 13- “Balanço Energético Brasileiro de 2003”; Ministério das Minas e Energia, 2004.