

Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o nordeste brasileiro

Rubéria Caminha Marques
ruberiacaminha@yahoo.
com.br

Stefan C. W. Krauter
Professor da Universidade
Estadual
do Ceará
krauter@uece.br

Lutero C. de Lima
Professor da Universidade
Estadual
do Ceará
lutero@uece.br

Resumo

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente no Nordeste e é exatamente nesta região onde o maior número de pessoas não possui acesso à energia elétrica porque vivem em comunidades isoladas da rede de distribuição convencional. Energia Solar Fotovoltaica é a solução conveniente e efetiva para a carência de eletrificação dessas áreas. Neste trabalho é feito um breve histórico sobre a geração e utilização de energia elétrica nos diversos estados do Nordeste brasileiro. Um estudo sobre a tecnologia de células fotovoltaicas também é feito culminando com o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autônomos e híbridos. Considerações técnicas de operação destes sistemas também foram contempladas neste trabalho.

Palavras-chave: Energias alternativas. Energia solar fotovoltaica.

Abstract

Brazil possesses an excellent index of solar radiation mainly in the Northeast region and exactly in this region there is a great number of people with no access to the electrical grid living in isolated communities. Photovoltaic solar energy could be a convenient and effective solution for the electrification of such areas. In this article a brief historical about the generation and uses of electrical energy in different estates of the Brazilian northeast is made. A study about the technology of photovoltaic cells is also made culminating with the design of autonomous and hybrid photovoltaic systems. Technical considerations of operation and maintenance of such systems are also made.

Keywords: Alternative energy. Photovoltaic solar energy.

1 Introdução

A reação nuclear predominante no Sol, responsável por sua energia, é a fusão dos núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio. Nessa reação, uma quantidade imensa de energia é liberada à medida que a matéria é convertida em energia: aproximadamente quatro bilhões de toneladas por segundo.

A radiação solar global incidente varia em diferentes locais da superfície da Terra. Enquanto uma superfície horizontal no sul da Europa Ocidental (sul da França) recebe em média, por ano, uma radiação de 1600 kWh/m² ou mais e no norte a energia varia entre 800 e 1200 kWh/m², uma superfície no deserto do Saara recebe 2600 kWh/m² por ano, praticamente o dobro da média européia.

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente no Nordeste brasileiro. Na região do semi-árido está o melhor índice, com valores típicos de 200 a 250 W/m² de potência contínua, o que equivale de 1752 a 2190 kWh/m² por ano de radiação incidente. Isso coloca a região entre os locais do mundo com maior potência de energia solar.

Alguns Estados da região nordestina necessitam de melhorias no abastecimento elétrico. Segundo Viana e Ary (2005), no estado do Maranhão 16% das residências carecem de energia elétrica. O estado do Piauí apresenta o menor índice de eletrificação do País, com aproximadamente 25% da população sem energia elétrica em todo o Estado, chegando a 62,78% na área da zona rural. No Estado do Ceará, por ser eminentemente um importador de energia, há a necessidade de se aumentar a geração de energia elétrica própria, e a energia solar assim energia eólica são fontes interessantes para

aquele Estado. Neste sentido, o uso de Energia Solar em comunidades distantes, na zona rural, apresenta-se como uma boa alternativa. O Estado de Rio Grande do Norte é totalmente dependente da importação de energia elétrica, portanto, há necessidade local de geração elétrica, seja através das energias alternativas (energia eólica, energia solar), ou mesmo através das usinas termelétricas. Paraíba atende com energia elétrica 98% dos domicílios. A grande preocupação do governo local é incentivar a cogeração por fontes não convencionais, contribuindo em nível de sustentabilidade, também, com a questão ambiental. Existem oportunidades para a exploração de energia solar, eólica e de biomassa. O estado de Pernambuco não apresenta grandes problemas de fornecimento de energia elétrica. A capacidade instalada é bem maior do que o consumo. Entretanto, existe a necessidade de complementar a implantação do sistema de eletrificação rural do Estado. Por estar localizado próximo a algumas usinas hidrelétricas do Nordeste, o estado de Alagoas não tem tido grandes problemas no que diz respeito ao fornecimento de energia elétrica através de fontes tradicionais. Entretanto, com a eminente possibilidade de crescimento econômico a taxas elevadas, há a necessidade de se buscar a geração de energia através das fontes alternativas. O estado de Sergipe encontra-se numa situação de autossuficiência na produção energética, tendo em vista possuir em seu território uma das principais usinas hidrelétricas do Nordeste (Usina Hidrelétrica de Xingó). A Bahia é o Estado nordestino com maior capacidade de geração de energia elétrica, devido à presença, em seu território, dos complexos hidrelétricos de Paulo Afonso e Salgadinho, entretanto, é o Estado de maior consumo, o que vem aumentando nos últimos anos devido ao crescimento econômico. Assim sendo, devem ser feitos investimentos tanto na capacidade de geração como na transmissão de energia elétrica. Cabe destacar que a Bahia possui elevados níveis de incidência de radiação solar e baixa variação destes níveis ao longo do ano, o que constitui condição favorável para o uso de energia solar.

Este trabalho tem como objetivo esclarecer sobre o mecanismo de transformação da energia solar em energia elétrica, através de módulos solares fotovoltaicos, bem como orientar a construção de projetos autônomos ou híbridos. A seção 2 conta a evolução da utilização da energia do sol. Na seção 3 explica-se como funcionam os módulos fotovoltaicos. A diferença entre sistemas autônomos e híbridos e seus dimensionamentos são apresentadas nas seções 4 e 5. Na seção 6 são feitas algumas recomendações indispensáveis àqueles que desejam projetar um sistema fotovoltaico. Os comentários finais são feitos na 7ª seção.

2 Revisão bibliográfica

A energia solar remonta às origens das antigas civilizações: Arquimedes utilizou espelhos para direcionar raios solares e atacar uma frota hostil em 212 a.C, incendiando suas velas a uma distância de algumas centenas de pés. No século V a.C deu-se início à utilização da energia solar com fins de aquecimento e refrigeração de habitações, utilizando-se princípios básicos de arquitetura solar. Existem evidências de que já no século I d.C os romanos conheciam o efeito estufa: partes das habitações, como pisos e paredes especialmente fabricadas, tinham a propriedade de armazenar a energia solar. Nos séculos XVII e XVIII, cientistas concentraram os raios solares com espelhos ou lentes para derreter metais. Antoine Lavoisier (1743 - 1794), frequentemente chamado pai da química moderna, atingiu temperaturas próximas a 1700°C usando o Sol, temperatura mais alta jamais foi conseguida por qualquer um naquela época. Aquecedores de vapor solares foram desenvolvidos no final do século XIX a fim de produzir vapor para movimentar motores.

Segundo o Grupo de Trabalho de Energia Solar Fotovoltaica (CRESESB/CEPEL), o efeito fotovoltaico foi relatado pela primeira vez por Edmond Becquerel, em 1839. Em 1876 foi concebido o primeiro aparato fotovoltaico advindo dos estudos das estruturas de estado sólido, e apenas em 1956 iniciou-se a produção industrial, seguindo o desenvolvimento da microeletrônica.

O aproveitamento da energia solar como fonte alternativa de energia elétrica começou em 1959 nos Estados Unidos. O objetivo inicial era aproveitá-la como geradora de energia elétrica para satélites. Daquele ano até hoje, o preço das células solares caiu mais de 1000%. Mesmo assim, elas continuam relativamente caras e o grau de penetração futura no mercado é altamente dependente da redução dos custos de produção e do aumento da eficiência das células. Aparentemente não existem mais obstáculos técnicos para ampla disseminação do uso de células solares.

Segundo Hinrichs e Kleinbach (2003) ocorreram significativos avanços no desenvolvimento de materiais fotovoltaicos de baixo custo e eficiências de quase 30% foram obtidas. A figura 1 mostra a evolução do custo de painéis solares fotovoltaicos.

A despeito dos custos relativamente altos, o mercado continua a crescer. Dezenas de milhares de sistemas já estão fornecendo energia para diversas aplicações, sendo bombeamento de água e carregamento de baterias as mais destacáveis.

À medida que os custos caíram para um valor próximo a US\$ 2,50 por watt pico (sistemas fotovoltaicos são classificados em watts pico W_p que se referem à sua produção de energia máxima quando operando a 25°C sob insolação de 1000W/m²) a energia fotovoltaica tornou-se muito competitiva em relação, por exemplo, aos geradores movidos a diesel. Quando diminuíram para um valor próximo a US\$ 1,50 por watt pico a eletricidade fotovoltaica pôde ser produzida a um custo de US\$ 0,12 por kWh, o que permitiu uma participação mais efetiva no mercado de abastecimento de energia. A opção do consumidor por esta energia verde será responsável pelo aumento das contribuições desta tecnologia. A meta da indústria é produzir energia por US\$ 0,06 a US\$ 0,09 por kWh ainda nesta primeira década do século XXI.

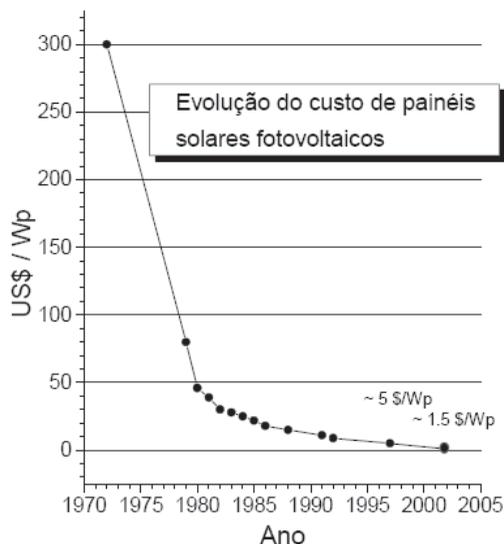


Figura 1: O custo das células fotovoltaicas em função do tempo.

Fonte: (Ruther, 1999)

A seguir será feita uma revisão da literatura em publicações que tenham relacionamento simultâneo com energia solar fotovoltaica e a região Nordeste do Brasil. Soltermann e Silva (1998) estudaram a possibilidade de se produzir eletricidade e hidrogênio eletrolítico pelo uso da energia fotovoltaica no Nordeste brasileiro. Eles demonstraram a viabilidade técnica e econômica da proposta quando associada à hidroeletricidade secundária da região. Fraidraich e Vilela (2000) estudaram o desempenho de sistemas de bombeamento solar fotovoltaico pelo método de utilizabilidade, destacando a adequação do método proposto para os referidos sistemas. De Lima e Veziroglu (2001) modelaram um programa de geração de hidrogênio de origem solar-fotovoltaica para o Nordeste brasileiro, eles observaram que a introdução de um programa daquela natureza iria influenciar na matriz energética daquela região, reduzindo poluição ambiental e garantindo melhor índice de qualidade de vida para a população. Tiba (2001), em um trabalho exaustivo, aperfeiçoou as informações existentes sobre radiação solar no Nordeste brasileiro. Bione *et al.* (2004) fizeram a comparação do desempenho de sistemas de bombeamento de água fotovoltaico com seguidores solares e perceberam redução da ordem de 19% nos custos destes sistemas quando comparados com os tradicionais, os quais trabalham de forma fixa.

3 Módulos solares fotovoltaicos

Os Módulos Solares Fotovoltaicos não utilizam calor para produzir eletricidade. Interpretando a palavra, “photo” significa “produzido pela luz” e o sufixo “voltaico” refere-se a “eletricidade produzida por uma reação química”, ou seja, eles são os elementos básicos para a transformação de energia eletromagnética em energia elétrica e podem ser compreendidos como dispositivos semicondutores que produzem uma corrente elétrica quando expostos à luz. Os semicondutores mais comuns são os formados por elementos do grupo IV da tabela periódica como o silício (Si). A principal característica deste grupo é a presença de 4 elétrons de valência, sendo possível, portanto, a existência de 4 ligações covalentes. Átomos pentavalentes (grupo V da tabela periódica), como o fósforo e o arsênio, quando introduzidos na rede cristalina, possuem um elétron a mais do que o necessário para formar a ligação covalente. Neste caso, necessita-se de uma pequena quantidade de energia para liberar este elétron para a banda de condução, algo em torno de 1,12 eV

no caso do silício. Diz-se assim que um elemento do grupo V é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante N ou impureza N. Já os átomos do grupo III, como o índio, liberam facilmente a lacuna extra para a banda de valência. Diz-se que um elemento do grupo III é um aceitador de elétrons ou um dopante P. Quando um cristal do tipo N é unido a um cristal do tipo P ocorre a formação de uma junção do tipo N-P. Como consequência desta união, é estabelecida em N uma carga positiva e em P uma carga negativa. Surge assim um campo elétrico na região de junção.

No nível atômico a luz atua como um fluxo de partículas chamadas fótons. Quando a junção N-P é iluminada ocorre o fenômeno de absorção dos fótons por parte dos elétrons (efeito fotoelétrico), fazendo com que alguns passem da banda de valência para a de condução.

Os elétrons que atingem a banda de condução vagueiam pelo semiconductor até serem puxados pelo campo elétrico existente na região de junção, a figura 2 ilustra este fenômeno. Através de uma ligação externa, os elétrons são levados para fora da célula e ficam assim disponíveis para o uso. Para cada elétron que deixa a célula há outro que retorna da carga para substituí-lo. Fica, portanto, evidente que uma célula fotovoltaica não pode armazenar energia elétrica, sendo necessário, então, a utilização de baterias, quando o sistema for autônomo (constitui uma fonte de energia elétrica independente da rede de eletricidade convencional, por isso precisa de algum sistema de armazenamento de energia elétrica) ou interligar o módulo à rede elétrica quando o sistema for híbrido (operam em conjunto com a rede elétrica, por isso não precisam do sistema de armazenamento).

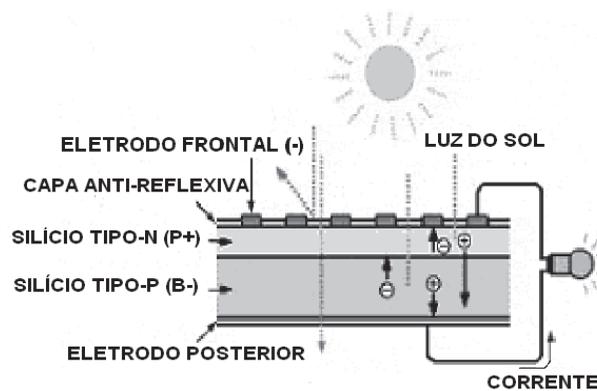


Figura 2: Esquema de uma célula fotovoltaica.

4 Sistemas fotovoltaicos autônomos

Os sistemas autônomos se caracterizam pela necessidade de um sistema acumulador de energia, normalmente um banco de acumuladores químicos (baterias), onde a energia gerada pelos painéis solares é armazenada e distribuída aos pontos de consumo. Dada a característica intermitente da conversão fotovoltaica, o sistema acumulador é parte imprescindível da quase totalidade dos sistemas autônomos, se constituindo também num de seus componentes de mais elevado custo e no “tendão de Aquiles” do sistema. Em contraste com painéis fotovoltaicos, baterias necessitam de manutenção e têm uma vida útil normalmente de quatro a seis vezes menor do que a dos painéis. No entanto, este é o tipo de sistema, na atualidade, economicamente competitivo com formas mais convencionais de geração, pois os elevados custos envolvidos por estes sistemas se comparam favoravelmente à extensão da rede elétrica pública para atender a pequenas demandas. Sistemas autônomos são normalmente utilizados quando o custo de estender a rede elétrica pública for proibitivo, ou quando o local for de difícil acesso (Veja figura 3).

Os sistemas fotovoltaicos autônomos são compostos pelos seguintes equipamentos:

- Pannel fotovoltaico: composto por módulos fotovoltaicos é o gerador de energia.
- Banco de baterias: composto por baterias, geralmente de Chumbo-ácido, é o armazenador de energia elétrica para noites e períodos nublados.
- Controlador de cargas: protege a bateria contra sobrecarga e descarga excessiva.
- Inversor: converte energia elétrica de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), de forma a permitir a utilização de eletrodomésticos convencionais.



Figura 3: Sistemas fotovoltaicos em casas geminadas no município de Pentecoste-CE.

Fonte: (CRESESB. Energia Solar: Princípios e Aplicações)

A figura 3 mostra residências abastecidas por energia solar como parte da primeira fase de um acordo NREL/CEPEL/COELCE que consiste num projeto de eletrificação fotovoltaica, e é parte integrante do Programa LUZ DO SOL. O sistema foi instalado em várias localidades do interior do Ceará. Foram também implantados sistemas de iluminação pública em cada localidade onde foram instalados sistemas residenciais e escolares.

O primeiro sistema foi instalado em dezembro de 2002 no município de Cardeiro e vem operando nestes últimos anos, de forma contínua. Este projeto atendeu, pelo menos até 2004, a 14 vilas do interior do Ceará, beneficiando um total de 492 residências, num total de 30,74 kWp de potência solar instalados (CRESESB. Energia Solar: Princípios e Aplicações). A tabela mostra as localidades beneficiadas com os sistemas de eletrificação fotovoltaica.

Tabela 1: Comunidades atendidas pela 1ª fase do acordo NREL/CEPEL/COELCE

LOCALIDADE		NÚMERO DE SISTEMAS RESIDENCIAIS
VILA	MUNICÍPIO	
Baixio Grande	Alto Santo	55
Alto Grande	Apuiarés	12
Lagoa das Pedras	Apuiarés	42
Bonitinho	Canindé	73
São Serafim	Canindé	65
Riacho das Pedras	General Sampaio	7
Cajazeiras	General Sampaio	10
São Tomé	Itapipoca	35
Lagoa da Cruz	Itapipoca	62
Bastiões	Itapipoca	33
Irapuá	Pentecostes	26
Cordeiros	São Gonçalo do Amarante	29
TOTAL		492

Fonte: (CRESESB. Energia Solar: Princípios e Aplicações)

4.1 Dimensionamento de um sistema autônomo

Inicialmente é necessário determinar os aparelhos elétricos a serem utilizados (televisão, lâmpadas, computador...), suas quantidades e suas potências e, ainda, determinar o período de utilização.

Por exemplo, 3 lâmpadas fluorescentes compactas de 11 W, ligadas durante 6 horas por dia e uma televisão com potência de 60 W usada 2 horas por dia.

Segundo Marques (2008), antes de utilizar o sistema precisa-se conhecer a energia que deve ser armazenada nas baterias antes do primeiro dia de utilização.

1º Passo: Cálculo da energia necessária para alimentar os aparelhos.

$$E_A = \sum_{j=1}^n N_j P_j T_j$$

onde: E_A = Energia para alimentar os aparelhos

N_j = Quantidade de cada aparelho

P_j = Potência do aparelho

T_j = Tempo de utilização

Portanto:

$$E_A = 3 \cdot 11 \text{ W} \cdot 6 \text{ h} + 1 \cdot 60 \text{ W} \cdot 2 \text{ h} = 320 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}}$$

2º Passo: Para a prevenção de dias com pouca irradiação, faz-se reserva nas baterias.

$$E_R = n \cdot E_A$$

onde: E_R = Energia reservada

n = Número de dias para os quais é necessário fazer reserva.

Se para uma determinada região é necessário reserva para apenas um segundo dia, o cálculo será:

$$E_R = 2 \cdot 320 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} = 640 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}}$$

3º Passo: A descarga das baterias deve ser de no máximo 50%. É necessário duplicar E_R para determinar a energia total (E_T) em Wh que precisa ser armazenada.

$$E_T = 2 \cdot 640 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}} = 1280 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}}$$

Esta é a energia que deve estar armazenada nas baterias já no primeiro dia de utilização do sistema. Agora será possível fazer outras considerações:

1ª Consideração: O rendimento das baterias é de aproximadamente 70%. A energia E_A que deve chegar nas baterias não será suficiente para manter o ciclo destas, pois haverá perdas. Precisa-se conhecer, então, a energia necessária a cada dia (E_D) para que este ciclo não seja alterado, evitando assim descarga desnecessária.

$$70\% \cdot E_D = E_A$$

$$E_D = \frac{E_A}{0,7} = \frac{320}{0,7} = 457 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}}$$

2ª Consideração: A irradiação diária média de Fortaleza-CE é 5342 Wh/m²/dia. O rendimento dos Módulos Solares Fotovoltaicos são em média 10% (veja tabela 2), portanto, de toda irradiação incidente, é transformada em energia elétrica apenas:

$$E_c = 10\% \cdot 5342 = 534 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \text{dia}}$$

onde: E_c = Energia irradiada que é transformada em energia elétrica.

Resta determinar a área da placa que será capaz de obter a energia necessária para abastecer a residência.

$$A = \frac{E_D}{E_c}$$

$$A = \frac{457 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}}}{534 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \text{dia}}} = 0,86 \text{ m}^2$$

Aproximadamente 1m².

Tabela 2: Eficiência do módulo fotovoltaico de acordo com o material de fabricação

Material	Eficiência dos módulos	
	Laboratório	Comercial
Silício Monocristalino	24%	15%
Silício Policristalino	18%	14%
Arsenieto de gálio (GaAs)	28%	***
Silício Amorfo	10%	7%
Telureto de cádmio (CdTe)	16%	7%
Diseleneto de cobre e índio (CuInSe ₂)	18%	11% (protótipo)

Fonte: Ricardo Aldabó (2002)

5 Geração distribuída

Sistemas conectados à rede não são dotados de baterias, de forma que produzem energia apenas durante o dia, atendendo apenas parcialmente ao consumo da instalação.

São recomendados para regiões urbanas, já que a implantação de sistemas autônomos nessas áreas, sob o ponto de vista custo /potência instalada, não compensaria a obtenção de energia.

São compostos pelos seguintes equipamentos:

- Painel fotovoltaico: gerador de energia.
- Inversor para injeção na rede elétrica convertendo (CC) em (CA)

São incorporados à fachada ou ao telhado do prédio urbano, como mostra a figura 4, de modo que, virtualmente, não ocupam espaço algum, sendo o único pré-requisito uma orientação solar favorável.

Estes tipos de sistemas atuam como usinas geradoras de energia elétrica em paralelo às grandes centrais geradoras. O excesso é injetado diretamente na rede elétrica pública (quando o relógio medidor de consumo “anda para trás”, a residência está “vendendo” energia para a rede¹), dispensa assim o uso de baterias, pois utiliza a rede elétrica como armazenador de energia.

Não necessita ser super dimensionado para atender aos picos de consumo da residência em função de sempre dispor da rede elétrica como “back up”. Em termos financeiros existe o atrativo de o capital investido começar a gerar energia quase que imediatamente e a inexistência de capacidade geradora ociosa, dada a característica modular de sistemas fotovoltaicos.

Inovações tecnológicas – como células solares mais eficientes ou fabricadas com materiais e processos mais modernos podem ser prontamente adotadas. À medida que são introduzidos melhoramentos na linha de produção de painéis fotovoltaicos, os novos produtos fluem diretamente para o uso.

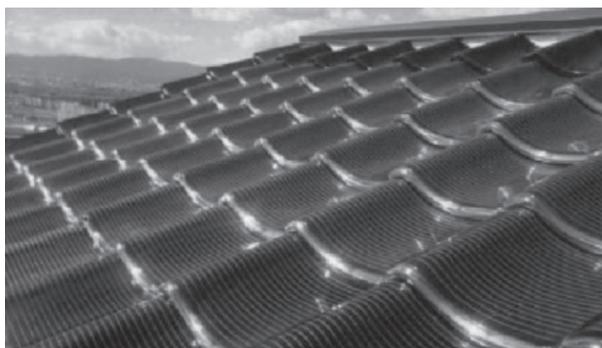


Figura 4: Painéis solares fotovoltaicos, fabricados diretamente sobre telhas de vidro.

Fonte: Sanyo Solar Industries.

5.1 Dimensionamento de um sistema interligado à rede elétrica

Dimensionar um sistema integrado à rede elétrica é mais simples do que dimensionar um sistema autônomo. A comparação será realizada utilizando os mesmos aparelhos do exemplo anterior.

Para o cálculo da área do painel basta que sejam conhecidos os valores E_A e E_C , anteriormente calculados.

$$A = \frac{E_A}{E_C} = \frac{320 \frac{Wh}{dia}}{534 \frac{Wh}{m^2 dia}} = 0,6m^2$$

Aproximadamente 0,5m².

6 Considerações técnicas importantes

A literatura técnica, de um modo geral, faz recomendações importantes em seus manuais, que dizem respeito ao correto manuseio dos equipamentos que compõem o sistema fotovoltaico.

6.1 Sobre os módulos fotovoltaicos

- Nenhum objeto (casas, prédios) deve sombrear nenhuma parte dos módulos fotovoltaicos em nenhum momento do ano.
- Os módulos fotovoltaicos devem ser montados em uma posição que permita segurança, controlando o acesso para a inspeção e limpeza.

6.2 Sobre as baterias

- As baterias devem ser protegidas de água e instaladas em locais que sigam os seguintes critérios:
A temperatura ambiente nos cômodos deve ser aproximar de 25°C, pois geralmente sua vida útil é calculada num ambiente dessa temperatura.
- É necessário haver suficiente ventilação para o escape de hidrogênio.
- O acesso aos terminais e eletrólitos deve ser restrito à responsabilidade de uma única pessoa autorizada.
- As baterias instaladas precisam uma carga condicionante inicial dos módulos fotovoltaicos por no mínimo 2 dias estando, neste período, conectadas apenas a esses.

6.3 Sobre controladores de carga

Controladores de carga são componentes críticos em sistemas fotovoltaicos isolados, pois, caso venham a falhar, a bateria poderá sofrer danos irreversíveis, portanto as seguintes precauções devem ser tomadas:

- O regulador solar não deve ser exposto a altas temperaturas nem diretamente à luz solar.
- A indicação do rótulo deve ser observada para uma correta voltagem CC e CA.

6.4 Sobre inversores

Inversores são aparelhos que devem ser manipulados com muita atenção e cuidado porque possuem capacitores embutidos que produzem tensões altíssimas. Estas podem levar uma pessoa a óbito caso não sejam observados os seguintes aspectos:

- Proteção contra acesso não autorizado, em particular de crianças.
- O local deve ser seco e livre de poeira.

O inversor não deve ser montado no mesmo ambiente das baterias porque estas emitem gases quando estão sendo carregadas.

- Um mínimo de 10 cm de distância em relação a outros objetos deve ser mantido para que haja ventilação adequada.
- No inversor, diferenças de potenciais de até 1000 V ocorrem durante a operação e podem resultar em morte ou sérias lesões corporais. A unidade deve ser conectada somente por um profissional.

7 Conclusões

Neste trabalho foi realizado o estudo sobre a geração e utilização de energia elétrica nos diversos estados do Nordeste brasileiro e verificada a potencialidade de se utilizar a energia solar fotovoltaica para atender a necessidade de comunidades distantes da rede elétrica convencional. Os fundamentos da tecnologia solar fotovoltaica foram também estudados, bem como foi oferecido um roteiro para o dimensionamento destes sistemas. Na parte final do artigo foi apresentado um roteiro para operação, manutenção e regras de segurança para os referidos sistemas. Devido às suas condições peculiares o Nordeste brasileiro se apresenta com elevado potencial para a utilização deste tipo de tecnologia.

Referências

- ALDABÓ, R. *Energia solar*. São Paulo: Artiber, 2002. 155p.
- BIONE, J.; VILELA, O. C.; FRAIDENRAICH, N. Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-through generators. *Solar Energy*, London, v. 76, n. 6 p. 703-711, 2004.
- CRESESB. *Energia solar: princípios e aplicações*. Rio de Janeiro: CEPTEL, 2008. 28 p. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.pdf>. Acesso em: 12 setembro 2008.
- DE LIMA, L. C.; VEZIROGLU, T. N. Long-term environmental and sócio-economic impact of a hydrogen energy program in Brazil. *International Journal of Hydrogen Energy*, London, v. 26, n. 1, p. 39-45, 2001.
- FRAIDENRAICH, N.; VILELA, O.C. Performance of solar systems with non-linear behavior calculated by the utilizability method: application to PV solar pumps. *Solar Energy*, London, v. 69, n. 2, p. 131-137, 2000.
- GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CRESESB, 1999. 204 p.
- HINRICH, R.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2003. 543 p.
- MARQUES, R. *Energia solar fotovoltaica*. 2008. 105 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação)-Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2008.
- RÜTHER, R. *Panorama atual da utilização da energia solar fotovoltaica*. 19 p. 1999. Disponível em : <[http:// www.Eletrica.ufu.br](http://www.Eletrica.ufu.br)>. Acesso em: 21 mar. 2008.
- SOLTERMANN, O. E.; SILVA, E. P. Comparative study between the hysolar project and a hypothetical international project in Brazil for hydrogen production and exportation (BHP) from photovoltaic energy and secondary hydroelectricity combined supply. *International Journal of Hydrogen Energy*, London, v. 23, n. 9, p. 735-739, 1998.
- TIBA, S. Solar radiation in the Brazilian Northeast. *Renewable Energy*, London, v. 22, n. 4, p. 565-578, 2001.
- VIANA, F.; ARY, J. *Infra-estrutura do Nordeste: estágio atual e possibilidades de investimentos*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2005. 103 p.

Rubéria da Silva Caminha de Menezes Marques

Licenciada em Física pela Universidade Estadual do Ceará em 2008. Atualmente é aluna do Mestrado em Ciências Físicas e Aplicadas da mesma instituição onde participa de atividades de pesquisa na área de energias alternativas, principalmente energia solar fotovoltaica.

Stefan Christofer Wenner Krauter

Possui graduação em Elektrotechnik pela Technische Universitat Munchen (1985), mestrado em Elektrotechnik pela Technische Universitat Munchen (1988), doutorado em Sistemas Fotovoltaicos pela Technische Universitat Berlin (1993) e pós-doutorado pela University of New South Wales (1994). Professor Titular pela Universidade Estadual do Ceará. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando em Efeito de Estufa, Saldo de Energia, Energia Solar, Sistemas Solares Térmicos, Dióxido de Carbono.

Lutero Carmo de Lima

Graduouse em Física no ano de 1974 pela Universidade de Santo Amaro, mestrado e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1979) e Universidade de São Paulo (1986), respectivamente, e pós-doutorado na Universidade de Miami, no Clean Energy Research Institute (1991). Atualmente ocupa o cargo de professor junto ao Curso de Física da Universidade Estadual do Ceará, onde atua em nível de graduação e pósgraduação, trabalhando também com problemas fundamentais das ciências térmicas, instrumentação e energias alternativas. Publicou dezenas de artigos em revistas e congressos nestes assuntos.

Recebido em: 20.09.2008

Aceite em: 16.06.2009

Revisado em: 30.10.2009