

Sistemas solares de energia para telecomunicações

Código de campo alterado

Carlos Alberto Alvarenga - Ailton Ricaldoni Lobo

Clamper Sistemas Energéticos - Caixa Postal 814 – CEP 30123-970 – Belo Horizonte – MG
fone/fax 31-32610015 - e-mail: alvarenga@solenerg.com.br

Telecommunication stations are sometimes projected for remote ,high and difficult access sites. Due to their characteristics, usually they demand high degrees of operational reliability. The conventional solution for electric power supply of the station is to extend a distribution line connecting it to the electric system of the area. This solution, sometimes onerous, represents a risk for the station when leading to it disturbances caused by lightning discharges that frequently strike an electric line mainly when it is more exposed and high. Photovoltaics systems are suitable for use in remote telecommunication stations, where the electric power consumptions are not very high and where reliability and lower maintenance levels are required. These systems, besides avoiding the construction of electric lines, improve the reliability of the stations. The paper describes the principal types and characteristics of those systems showing the benefits that they can bring to the telecommunication stations. Considerations are made on the design of systemsad about costs and new technologies. Some basic recommendations are presented for the installation and for the maintenance of those systems.

1 Geral

As estações de telecomunicações são algumas vezes projetadas para locais remotos, muitas vezes elevados e de difícil acesso. Devido a essas suas características, exigem graus elevados de confiabilidade operacional. A solução convencional para alimentação de energia elétrica da estação é construir uma linha de distribuição conectando-a ao sistema elétrico da região. Esta solução, muitas vezes onerosa considerando as distâncias envolvidas e as condições de acesso, representa um risco para a estação ao conduzir para seu interior distúrbios causados por descargas atmosféricas que incidem freqüentemente em uma linha elétrica principalmente quando ela está mais exposta e elevada. Neste caso o suprimento energético fica condicionado ao grau de confiabilidade do sistema elétrico da região e da própria linha.

Os sistemas fotovoltaicos de energia são indicados para uso em estações de telecomunicação isoladas, onde os consumos de energia elétrica não são muito elevados e onde se necessita confiabilidade e baixo nível de manutenção. Estes sistemas, além de evitar a construção de linhas de transmissão de energia, melhoram a confiabilidade das estações ao reduzir as interrupções por defeitos e acidentes na linha elétrica e principalmente por ficarem menos sujeitos aos distúrbios elétricos.

2 Tipos e características de sistemas fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico para uma estação de telecomunicação é composto basicamente por um conjunto de módulos fotovoltaicos e por um módulo de controle para gerenciamento do processo de carga das baterias, evitando que as mesmas sejam submetidas a um carregamento excessivo que reduz sua vida útil. Pode funcionar como a única fonte de energia da estação ou fazer parte de um sistema híbrido, com mais de uma fonte

energética. As fig. 1 e 2 mostram um diagrama de blocos típico e uma foto de uma estação de telecomunicação.

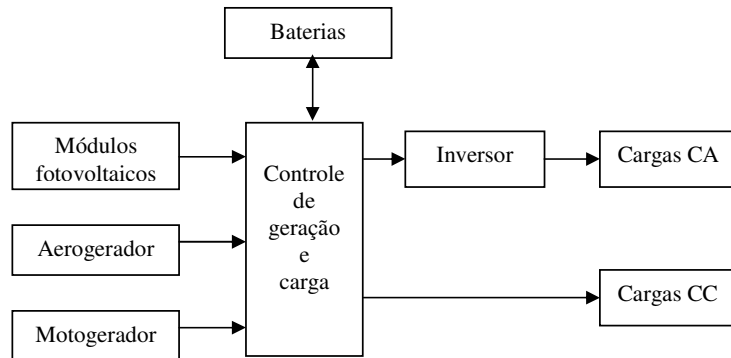


Figura 1 Sistema fotovoltaico híbrido para cargas de corrente alternada e contínua

Os sistemas híbridos produzem eletricidade através de sistemas fotovoltaicos em conjunto com uma outra fonte de energia (geradores eólicos, Diesel, gás etc.) Os sistemas híbridos são usualmente mais econômicos que os só fotovoltaicos no fornecimento de eletricidade em projetos isolados de maior consumo energético. Um sistema fotovoltaico, complementado por outra fonte de energia, requer menor potência instalada de painéis fotovoltaicos e baterias, podendo reduzir os custos totais do sistema. A análise econômica de inserção de outras fontes é recomendada em projetos de maior consumo.



FIGURA 2 –Estação de telecomunicação alimentada por sistema fotovoltaico

3 O módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é a unidade básica do sistema de geração de eletricidade. Ele consiste de uma estrutura montada em quadro, geralmente de alumínio, e é composto de um conjunto de células fotovoltaicas ligadas eletricamente entre si, em paralelo e em série, cobertas por um encapsulamento que protege as mesmas e suas conexões da ação do tempo e dos eventuais impactos. As células são cobertas, do lado exposto ao sol, por uma cobertura transparente, normalmente vidro. Na parte traseira são revestidas por um material plástico, normalmente EVA ou PVB. Todos estes revestimentos, em conjunto com o quadro de alumínio, resultam em uma estrutura rígida e resistente ao manuseio e às intempéries. É importante que as células fiquem protegidas da umidade do ar para que possam manter suas características ao longo de sua vida útil.

Na saída de cada módulo se tem a soma da energia elétrica produzida por cada célula, resultando em um montante energético mais significativo e já adaptado às características elétricas que se quer trabalhar. O número de células em série determina as características da tensão elétrica de saída do módulo. Usualmente um módulo típico utilizado para carregar uma bateria de 12 V apresenta de 30 a 36 células em série.

Para pequenos sistemas de telecomunicação, como um telefone, basta um módulo fotovoltaico. Instalações de telecomunicação maiores exigem o uso de muitos módulos, que conectados fisicamente e eletricamente em uma mesma estrutura formam um painel fotovoltaico. Cada painel é conectado de forma a fornecer a tensão adequada ao sistema, que pode ser 12, 24, 48 V ou outra projetada.

3.1 A célula fotovoltaica

A célula fotovoltaica é o elemento básico do gerador fotovoltaico, pois é nela que se dá a conversão da energia radiante do sol em energia elétrica. Usualmente têm a forma de pequenos discos ou retângulos e são fabricadas em grande escala. Conforme os materiais utilizados e de acordo com a área apresentam características elétricas específicas. São extremamente frágeis e geram individualmente uma quantidade de energia muito pequena, geralmente em tensões muito baixas da ordem de 0,5 V.

A célula fotovoltaica utiliza o “efeito fotovoltaico” para gerar eletricidade. Baseia-se na propriedade de certos materiais existentes na natureza, denominados semicondutores, de possuírem uma banda de valência totalmente preenchida com elétrons e uma banda de condução totalmente vazia a temperaturas muito baixas. Quando os fótons da luz solar na faixa do espectro de radiação visível incidem sobre este material excitam elétrons da banda de valência enviando-os à banda de condução. A energia presente nos fótons é transferida para os átomos liberando estes elétrons com alta energia. Uma barreira consegue impedir que estes elétrons retornem a sua posição anterior podendo-se direcioná-los para um circuito elétrico, gerando-se uma tensão e uma corrente elétrica contínua.

O elemento semicondutor mais utilizado atualmente é o silício. Quando se adicionam impurezas como o fósforo ou como o boro criam-se elementos de silício com excesso (tipo n) ou com falta de elétrons (tipo p). Esses elementos podem ser combinados em uma junção pn. Quando os elétrons em excesso do lado n são excitados por fótons solares, atravessam a linha demarcatória formada na junção pn e são impedidos de retornar pela barreira citada que se forma na junção, formando-se o polo negativo o polo positivo.

Não é objetivo desse trabalho a descrição detalhada dos processos físicos que ocorrem numa célula fotovoltaica, considerando-se ainda os vários materiais diferentes utilizados. Os interessados poderão consultar publicações específicas para essas informações.

Existem diversos tipos de células fotovoltaicas no mercado sendo que algumas ainda estão em estágio experimental. O objetivo maior das pesquisas na área é conseguir células que apresentem custos mais

baixos de fabricação, com alta durabilidade e eficiência razoável na conversão da radiação solar em energia elétrica.

As células de silício monocristalino são as mais utilizadas atualmente, devido à sua alta confiabilidade, alta eficiência e tecnologia de fabricação consolidada. Esta tecnologia permite uma eficiência teórica de conversão de energia de 27%, mas as unidades comercializadas têm eficiências na faixa entre 12% e 16%. Isto significa que 12% da energia solar que incide sobre a célula é transformada em energia elétrica. O restante é refletido ou transformado em calor.

O silício utilizado na fabricação da célula é basicamente o mesmo empregado em componentes da microeletrônica. O silício purificado é transformado em um bloco cilíndrico formado por um único cristal e fatiado em discos extremamente finos. Estes discos convenientemente tratados para formação das junções, são submetidos a diversos processos transformando-se nas células fotovoltaicas.

A grande limitação dessa tecnologia está relacionada com os custos de fabricação, que são elevados. A matéria prima é cara, os processos são complexos e de alto consumo de energia e a perda de material durante a fabricação é grande.

As células de silício policristalino são fabricadas com o mesmo material das células de silício monocristalino. A diferença básica é que o bloco cilíndrico não é composto de um único cristal. Este fato acarreta uma redução da eficiência das células, mas o custo de fabricação reduz-se substancialmente. São células muito confiáveis, com tecnologia consolidada e participação significativa no mercado.

As células de filmes finos constituem um grande campo de pesquisas para redução de custos. O grande objetivo é desenvolver técnicas alternativas ao silício mono e policristalino que tenham custos menores e, ao mesmo tempo, a confiabilidade e durabilidade daqueles. A estratégia é usar pouco material, diminuir o consumo de energia e reduzir a complexidade dos processos permitindo a produção em larga escala.

Os principais tipos de células atualmente em pesquisa são as de silício amorfo, as de disseleneto de cobre e índio, as de telureto de cádmio e as de arseneto de gálio. Dos recursos financeiros canalizados para as pesquisas cerca de 30% destinam-se ao disseleneto de cobre e índio, 22% ao telureto de cádmio, 15% ao silício mono e policristalino, 11% ao arseneto de gálio e 10% ao silício amorfo. O restante é empregado em outras pesquisas relativas ao módulo e aos sistemas.

Várias dessas tecnologias, principalmente o silício amorfo, já estão em estágio comercial com produtos disponíveis e já instalados. Será preciso ainda algum tempo para se estabelecer o nível de confiabilidade das mesmas. Entretanto, se tem muita esperança que destas pesquisas surja uma tecnologia confiável e de baixo custo que permitirá uma grande expansão no uso da energia solar para geração de eletricidade.

3.2 Características dos módulos fotovoltaicos

Quando o módulo está exposto ao Sol, ele gera energia elétrica em corrente contínua, com uma intensidade dependente do nível da radiação solar e da temperatura ambiente. Dentre os vários parâmetros elétricos característicos de um módulo, os mais importantes são a corrente e a tensão na saída, que revelam sua capacidade de gerar energia para o sistema.

A capacidade de um módulo fotovoltaico é dada pela sua potência de pico em Watt (Wp) que é o produto tensão x corrente. A condição padrão para determinação desta potência é definida para o módulo exposto a uma radiação solar de 1000 W/m² (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia) e temperatura ambiente de 25°C. Estas condições são de um dia ensolarado, ao meio dia, sem nuvens e temperatura amena. As medidas de tensão e corrente de um módulo, conectado a uma carga variável podem ser plotadas em um gráfico, que é chamado curva característica do módulo, básica para avaliar seu desempenho elétrico e energético (ver fig. 3).

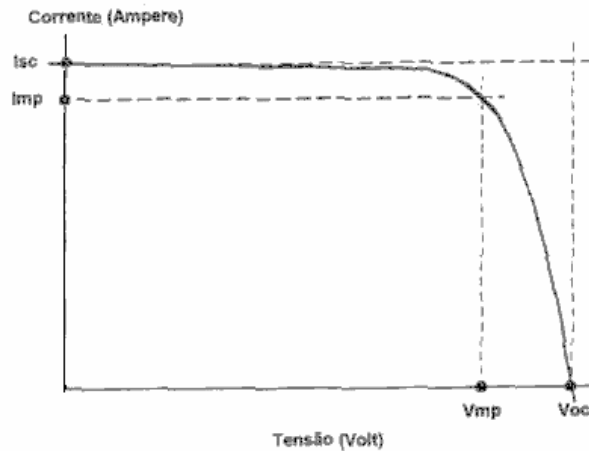


FIGURA 3 – Curva característica de um módulo fotovoltaico

A corrente elétrica produzida varia significativamente com a intensidade da luz incidente. Já a tensão é fortemente influenciada pela temperatura. O aumento da intensidade da luz incidente no módulo aumenta a temperatura das células, diminuindo a tensão do módulo, e reduzindo sua eficiência. A tensão diminui significativamente com o aumento da temperatura enquanto que a corrente sofre uma elevação muito pequena. O ponto de potência máxima (P_m) é o ponto da curva $I \times V$ para o qual a máxima potência é extraída. Este ponto corresponde ao produto da tensão de potência máxima (V_{mp}) e corrente de potência máxima (I_{mp}), dado por:

$$P_m = I_{mp} \times V_{mp}$$

Os cinco parâmetros mais utilizados pelos fabricantes para especificar as características elétricas de seus módulos, sob as condições padrão de radiação solar, temperatura ambiente e massa de ar são: potência máxima (P_m), tensão e corrente de potência máxima (V_{mp} , I_{mp}), tensão de circuito aberto (V_{oc}) e corrente de curto circuito (I_{sc}).

A carga é que determinará em que ponto da curva $I \times V$ o módulo fotovoltaico irá operar, determinando a corrente e a tensão nominal de operação (que depende da carga). Para cada ponto na curva $I \times V$, o produto corrente-tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação. Na operação normal raramente se trabalha no ponto de máxima potência. Portanto ao se computar a energia fornecida pelo módulo é mais recomendado trabalhar-se com a corrente produzida por este e a tensão da bateria que está conectado.

4 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos trabalham com uma fonte limitada de energia, que é a energia solar incidente sobre os módulos. Essa fonte é variável, sofre a influência de fatores meteorológicos de difícil previsão. Por outro lado a energia elétrica é solicitada ao sistema de acordo com os requisitos das cargas. O dimensionamento do sistema deve, pois, procurar realizar uma compatibilização dessas duas condições dentro de determinados níveis de confiabilidade e custos.

Para o sistema atender todas as necessidades de energia da estação de telecomunicação com total garantia e confiabilidade, haveria necessidade de se projetar um sistema para as mais severas condições meteorológicas e para as situações de maior uso da estação. Muitas vezes este procedimento leva a sistemas com custos inaceitáveis para o usuário. O dimensionamento criterioso deve levar em conta os dados meteorológicos existentes para a região, os aparelhos que serão ligados,

o tempo de uso dos mesmos, o volume de recursos que se pretende investir na instalação e o grau de confiabilidade que se quer no fornecimento de energia. Na dosagem desses fatores se pode chegar a um dimensionamento criterioso, que viabilize o sistema e que atenda aos requisitos especificados.

Os critérios e recomendações a seguir são simplificados e informativos e válidos para sistemas isolados cuja única fonte de energia é a solar. Os envolvidos em projetos de sistemas de telecomunicação de maior porte devem procurar ter acesso a procedimentos mais elaborados e rotinas computacionais que simulam diversas condições e levam a dimensionamentos mais criteriosos. De qualquer maneira é fundamental que o usuário da estação de telecomunicação esteja bem informado das limitações do sistema. Sucessivas simulações podem ser necessárias variando-se os parâmetros de projetos até que se chegue em uma configuração, uma confiabilidade e um custo aceitáveis.

4.1 Parâmetros básicos para dimensionamento

Três definições são básicas para o projeto: o cálculo da quantidade de energia que será produzida, a quantidade de energia que será consumida e a autonomia que se deseja para o sistema em casos de períodos prolongados sem insolação. Os dois primeiros parâmetros levam ao dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e a autonomia permite dimensionar o banco de baterias. A seguir são feitas algumas considerações para se definir esses parâmetros.

4.1.1 Cálculo da radiação solar incidente

O objetivo básico desta etapa é obter uma tabela com níveis médios de radiação solar para cada mês do ano. Estes dados podem ser obtidos em tabelas e mapas solarimétricos brasileiros e regionais (ver referências). Estão normalmente disponíveis em valores da quantidade média de energia solar que incide durante um dia em uma área de 1 metro quadrado situada em um plano horizontal na superfície da Terra. Esses valores são usualmente especificados em unidades de energia ($\text{kWh/m}^2/\text{dia}$) ou unidades de potência (W/m^2). Uma outra forma de apresentar o mesmo dado, também bastante utilizada, é transformá-lo em número médio diário de horas em que o sol brilharia em sua potência máxima convencional que é de 1 kW/m^2 . Exemplificando, o Norte de Minas Gerais apresenta um nível médio de radiação solar incidente em um plano horizontal de $5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ ou 208 W/m^2 ou 5 horas de sol pleno, com variações específicas para cada mês do ano (A figura 4 mostra a título de exemplo dados solarimétricos disponíveis para a região de Três Marias em Minas Gerais):

	$\text{kWh/m}^2/\text{dia}$	W/m^2	Horas/dia
Janeiro	4,7	197	4,7
Fevereiro	5,8	242	5,8
Março	5,5	230	5,5
Abril	5,0	210	5,0
Mai	4,3	181	4,3
Junho	4,4	182	4,4
Julho	4,4	183	4,4
Agosto	4,7	196	4,7
Setembro	5,0	207	5,0
Outubro	5,5	228	5,5
Novembro	5,6	233	5,6
Dezembro	5,0	207	5,0
Ano	5,0	208	5,0

Figura. 4 Dados solarimétricos da região de Três Marias - MG

4.1.2 Levantamento das cargas

Nessa etapa se levanta o consumo médio diário de energia elétrica, ou seja, define-se a curva de carga tanto em termos diários quanto sazonais. Com estes dados consegue-se visualizar as características previstas para o consumo de eletricidade adequando-se o sistema para que o consumo e a produção sejam compatíveis ao longo do dia e ao longo do ano.

Esta determinação é complexa, pois depende do uso que se fará no futuro do sistema, vinculado a hábitos e rotinas dos usuários difíceis de determinar e altamente variáveis ao longo do tempo. O produto final dessa etapa é uma planilha com definição dos equipamentos que serão ligados, suas potências elétricas, tensões (corrente alternada ou contínua) e o tempo diário em que ficarão ligados. Com estes dados pode-se estimar o consumo diário de cada aparelho. Este consumo pode ser apresentado em Watt-hora ou em Ampère-hora. A figura 5 exemplifica o levantamento de cargas de uma estação de telecomunicação.

Aparelho	nº	Tensão	Potência total	Corrente contínua	Operação	Consumo	Consumo
		V	W	A	Horas/di	Wh/dia	Ah/dia
Lâmpada 20 W	6	12cc	120	10,0	0,1	12	1
Lâmpada 9 W	6	12cc	54	4,5	0,1	5,4	0,5
Radio	1	120ca	60	5,0	24	1440	120
Transmissor	1	120ca	100	8,3	12	1200	99,6
Receptor	1	120ca	100	8,3	24	2400	199,2
Radio	1	12cc	50	4,2	24	1200	100,8
Total	16		484	40,3		6257	521,1

Figura. 5 Levantamento de cargas para uma estação de telecomunicação

No exemplo da tabela foram usadas cargas em corrente contínua e em corrente alternada, sendo, portanto necessária a instalação de um inversor. O consumo médio diário foi de aproximadamente 6,3 kWh/dia ou 520 Ah/dia na tensão de 12 Vcc. Este é um consumo médio, mas o projetista deve levar em conta também as variações sazonais.

O projetista deve ter em conta a necessidade de se usar aparelhos energeticamente mais eficientes, principalmente aqueles que mais pesam no total. Destaca-se neste caso o uso de lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos, equipamentos de telecomunicação mais eficientes. Deve ser evitado o uso de lâmpadas incandescentes, reatores convencionais para lâmpadas fluorescentes, ar condicionado e outros aparelhos de alto consumo de eletricidade.

4.1.3 Definição da autonomia do sistema sem insolação

Outro parâmetro importante que deve ser estabelecido é o tempo de autonomia que se quer para o sistema sem a presença da insolação. Ou seja, por quanto tempo a estação pode funcionar normalmente sem que haja insolação suficiente para carregar as baterias. Este valor a ser adotado depende muito do clima da região e da confiabilidade especificada para a instalação. Em regiões de clima mais estável costuma-se trabalhar com autonomia do sistema para 3 dias, aumentando-a para regiões mais instáveis ou para instalações mais críticas.

4.2 Dimensionamento do Sistema

4.2.1 Dimensionamento do banco de baterias

O processo de dimensionamento do banco de baterias deve ser realizado inicialmente e depois sucessivamente aperfeiçoado em função dos demais dimensionamentos e ajustado em função dos custos, disponibilidade de mercado etc. Inicialmente deve-se definir o tipo de bateria que será usado. Baterias especificamente projetadas para sistemas fotovoltaicos são usualmente mais caras, mas duram um tempo maior, o que pode ser importante para locais isolados e com pouca infra-estrutura para troca das mesmas.

Escolhida a bateria a ser usada deve-se definir a profundidade de descarga que se vai trabalhar. Existe um ciclo de carga e descarga que acontece diariamente, ou seja, a energia gerada durante o dia é armazenada na bateria e é fornecida pela mesma durante a noite, descarregando-se. O outro tipo de descarga acontece esporadicamente durante períodos prolongados de nebulosidade quando a bateria atinge níveis de descarga mais elevados.

Quanto mais profundos são os ciclos de descarga-carga menor a vida útil da bateria. Ou seja, se reduzirmos a capacidade das baterias gastaremos menos no início, mas as baterias durarão menos e os gastos de reposição serão maiores. O ponto ótimo depende de análises criteriosas do projetista, levando em conta as curvas de vida útil em função da profundidade da descarga, fornecidas pelo fabricante, e de todas as demais circunstâncias. Um valor usado para esta profundidade de descarga para ciclos diários com baterias de chumbo-ácido está em torno de 20%. Para ciclos esporádicos podem ser utilizados ciclos mais profundos da ordem de 40%.

No caso específico do exemplo da figura 5 o consumo previsto é de 520 Ah/dia distribuídos durante todo o dia. Para uma profundidade diária de descarga de 20% seria necessário um banco de baterias de 2600 Ah. Para uma autonomia de 3 dias e ciclo de descarga esporádico de 40% seria necessário um banco de 3900 Ah.

4.2.2 Dimensionamento do gerador fotovoltaico

O dimensionamento do gerador fotovoltaico está vinculado basicamente a dois parâmetros: aos níveis de energia solar incidente e ao consumo de eletricidade previsto. Quanto mais ensolarado é o local menor área de captação de energia será necessária. Quanto maior o consumo de energia maior área de captação será necessária. Deve-se iniciar por escolher o tipo de módulo que será empregado. Normalmente são mais utilizados os módulos com células de silício monocristalino ou policristalino, mas também são utilizados os de silício amorfo. Esta escolha deve levar em conta custos, eficiência, qualidade de fabricação, garantia, vida útil esperada, níveis de degradação do desempenho com o envelhecimento etc.

O próximo passo é determinar a quantidade de energia que cada módulo vai produzir quando instalado na inclinação escolhida para cada mês e principalmente para o mês mais crítico do ano. Este cálculo é complexo e normalmente realizado com ajuda de rotinas computacionais. Os fornecedores geralmente disponibilizam dados práticos para a região que podem ser utilizados nos cálculos. É preciso levar em conta além da inclinação, a redução de desempenho devido a poeira e a degradação. Uma regra prática usada em projetos de pequenos sistemas é multiplicar a corrente de potência máxima do painel fotovoltaico pelo número médio de horas de sol pleno característico da localidade. Por exemplo, 4 módulos de 50 W, com corrente de potência máxima de 3,1 A cada, funcionando com baterias de 12 V, em um local com nível médio de 5 horas de sol pleno, produzem cerca de 62 Ah/dia.

Para se definir o número de módulos necessários é preciso acrescentar ao consumo previsto as perdas devido ao uso do inversor, as perdas nos ciclos de carga e descarga das baterias e perdas gerais na fiação, disjuntores etc. A quantidade de energia produzida pelos módulos no mês mais crítico deverá ser suficiente para atender as cargas e as perdas.

5 Instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos

5.1 Escolha do local

Os sistemas fotovoltaicos apresentam melhor desempenho em regiões mais ensolaradas, com baixo nível de nebulosidade e menor número de dias encobertos ou chuvosos no decorrer do ano. Recomenda-se que sejam instalados, preferencialmente, em regiões com nível médio de radiação solar global no plano horizontal igual ou superior a 4 kWh/m²/ dia. Podem ser instalados em todo o território brasileiro, apesar do desempenho, em termos de produção de energia, ser prejudicado em algumas regiões, principalmente em partes do Sul/Sudeste com maior nebulosidade.

Os módulos fotovoltaicos deverão ser fixados em local livre de sombreamento entre 2 horas após o nascer do sol e 1 hora antes do pôr do Sol, em qualquer época do ano. Deverão ser evitados locais em que o crescimento da vegetação possa sombreá-los. Deverão ser instalados á menor distância possível das baterias. Considerando o decréscimo de desempenho dos módulos com a deposição de poeira, deverão ser evitados locais próximos de estradas de terra com muito tráfego de veículos.

5.2 Recomendações para instalação e manutenção

Considerando as características dos sistemas fotovoltaicos é importante ressaltar alguns aspectos ligados à instalação e manutenção que poderão contribuir muito para o êxito e confiabilidade do sistema. O uso de pessoal treinado em montagens fotovoltaicas pode evitar alguns erros básicos de instalação.

Tendo em vista a baixa tensão do sistema e as correntes elétricas relativamente elevadas, devem ser minimizadas as distâncias com cabos elétricos e utilizadas seções adequadas, de forma a reduzir as perdas no sistema. Os módulos deverão ser fixados a um suporte, com inclinação em relação ao plano horizontal próxima à latitude do local de instalação, direcionados para o Norte geográfico. Conforme as características do clima local este ângulo pode variar, procurando-se sempre aumentar a produção de energia no mês mais crítico. Esta providência é muito importante para maximização da energia elétrica produzida e para aumento da confiabilidade do sistema. Recomenda-se não instalar o módulo na posição horizontal, sem inclinação, para permitir o efeito de limpeza da chuva.

Recomenda-se a instalação dos módulos em suportes específicos, de forma a facilitar os trabalhos de montagem e manutenção. Este suporte poderá ser construído em madeira, aço, concreto e outros materiais duráveis adequados a longa vida útil prevista para o sistema. Um suporte muito usado é o tubular, de aço zincado a quente. É importante que as extremidades de tubos sejam vedadas para impedir o acesso de animais e insetos e que sejam evitados pontos de empoçamento de água.

O poste deverá ser fixado verticalmente no solo devendo-se usar, na fundação, concreto para permitir uma fixação firme do conjunto assegurando uma resistência aos ventos fortes, animais e limpeza dos módulos. Recomenda-se que a parte superior das bases de concreto fique acima do nível do solo para evitar pontos localizados de corrosão. O módulo deve ser instalado de forma a evitar o alcance de estranhos e animais e não muito alto que dificulte a limpeza. A moldura de fixação do módulo ao suporte, bem como toda ferragem utilizada, incluindo parafusos, porcas e arruelas deverão ser de alumínio, aço zincado a quente ou aço inoxidável. O conjunto deverá resistir aos esforços de rajadas de ventos de 80 km/h sem alteração da inclinação. O suporte deverá ser devidamente aterrado e as partes metálicas conectadas eletricamente ao aterramento por cabo de cobre nu ou cabo de aço zincado.

Os sistemas fotovoltaicos são muito confiáveis e exigem pouca manutenção. Esta consiste principalmente na limpeza periódica dos módulos e na substituição das baterias. Normalmente os fabricantes dão uma garantia de 10 anos, porém a vida útil dos módulos fabricados de silício cristalino é prevista para acima de 25 anos.

6 Custos, novas tecnologias e perspectivas

Os custos de sistemas fotovoltaicos tem se reduzido com o aperfeiçoamento dos processos de fabricação, com o aumento de escala de produção e com o aumento da concorrência. O desenvolvimento explosivo do mercado para sistemas fotovoltaicos conectados a rede principalmente na Europa e no Japão está dando mais escala as fabricas e ao sistema de distribuição o que pode acelerar a redução de preços. A produção cresce rapidamente e com ela a potencialidade do uso dos sistemas fotovoltaicos em estações de telecomunicação.

Ainda há uma diferença significativa entre os preços no mercado externo e no Brasil, devido principalmente aos impostos e a pequena escala do mercado brasileiro. A maior parte dos equipamentos é importada, sendo uma parte fabricada no Brasil. No mercado internacional o preço de módulos fotovoltaicos está hoje em torno de US\$4/Wp com variações significativas de acordo com as quantidades, tamanho dos módulos e tecnologias. No Brasil os preços variam entre R\$10,00 e R\$20,00/Wp dependendo dos mesmos parâmetros. Existe uma perspectiva concreta de redução de preços internacionais conforme se pode observar na figura 6 divulgada em Congresso realizado na Europa em maio/2000 onde são apresentados os custos diretos de fabricação de módulos.

Tecnologia	2000	2010
Silício monocristalino	2,45	1,45
Silício policristalino	2,10	1,15
Silício amorfo	2,70	1,40
Telureto de cádmio	2,30	0,95
CIS	2,25	1,00

Figura. 6 Custos diretos de fabricação de módulos fotovoltaicos – US\$/Wp

Referências:

- Alvarenga, Carlos A.. – Fontes Alternativas de Energia – Energia Solar – Universidade Federal de Lavras – 1998
- GTEF-CRESESB-CEPEL- Sistemas fotovoltaicos - Manual de Engenharia – 1995