

Estudo sobre os componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados a Rede

Study on the components used in grid-connected photovoltaic systems

DOI:10.34117/bjdv7n8-135

Recebimento dos originais: 07/07/2021

Aceitação para publicação: 07/08/2021

Rildo Afonso Almeida

Mestrando em Engenharia Elétrica

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

rildo.almeida@uemg.br

Nilo de Lima Domingues

Bacharelado em Engenharia Elétrica-UEMG

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

nilolimadomingues@gmail.com

João Paulo Santos Felix

Bacharelado em Engenharia Elétrica-UEMG

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

joaopaulo.felix@outlook.com

Guilherme Amaral Ribeiro

Bacharelado em Engenharia Elétrica-UEMG

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

guilherme-amaral0612@hotmail.com

RESUMO

O estudo tem como tema sistema fotovoltaico que consiste basicamente em um bloco gerador, bloco de condicionamento de potência e um bloco de armazenamento, sendo este último utilizado apenas em sistemas isolados. O objetivo foi realizar um levantamento bibliográfico sobre os componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados a rede. Conforme foi verificado, apesar dos benefícios apresentados, uma das grandes desvantagens são os altos custos na produção desses tipos de sistemas. Os componentes e materiais utilizado nesse tipo de energia são bem mais elevados que da eólica e outros tipos de fontes de energia. Entretanto, com a produção da efetiva das células de silício, os custos elevados diminuem significativamente nas ultimas décadas. Logo, podem se torna cada vez mais acesssive com a diminuição dos custos dos sistemas fotovoltaicos. Desse modo, é notavel que o Brasil apresenta grande potencial de produção de energia partir de fontes renováveis, entre elas estão à fonte Eólica e Solar, as quais se destacam cadavez mais no país.

Palavra-chave: Sistema Fotovoltaico, Rede, Produção de Energia.

ABSTRACT

The study has as its theme a photovoltaic system that basically consists of a generator block, a power conditioning block and a storage block, the latter being used only in isolated systems. The objective was to carry out a bibliographical survey on the components used in photovoltaic systems connected to the grid. As verified, despite the benefits presented, one of the major disadvantages is the high costs of producing these types of systems. The components and materials used in this type of energy are much higher than in wind and other types of energy sources. However, with the production of effective silicon cells, the high costs have significantly decreased in recent decades. Therefore, they can become more and more accessible as the cost of photovoltaic systems decreases. Thus, it is noteworthy that Brazil has great potential for energy production from renewable sources, including Wind and Solar sources, which stand out more and more in the country.

Keyword: Photovoltaic System, Grid, Energy Production.

1 INTRODUÇÃO

Um sistema fotovoltaico é constituído basicamente um bloco gerador, bloco de condicionamento de potência e um bloco de armazenamento, sendo este último utilizado apenas em sistemas isolados. O bloco gerador é composto por arranjos fotovoltaicos, os quais são constituídos por módulos fotovoltaicos que podem ser instalados em diferentes associações, cabeamento elétrico e a estrutura de suporte dos módulos. O bloco de condicionamento de potência pode ser composto por conversores cc-cc, inversores, Seguidor de Ponto De Potência Máxima (SPPM), no caso de sistemas isolados há controladores de carga, dispositivos de proteção, supervisão e controle. O bloco de armazenamento é constituído por acumuladores elétricos, geralmente baterias (CRESESB, 2014).

As primeiras ideias sobre o “efeito fotovoltaico é atribuída ao físico francês Edmond Becquerel, em 1839, ao descobrir que as reações químicas da exposição de certas substâncias à luz poderiam produzir uma corrente elétrica em líquidos e metais” (SERAFIM et al., 2018, p. 01). Estudiosos como Richard Evans Day e William Grylls Adams empregaram, em 1877, características fotocondutoras e criaram o primeiro artefato sólido que originava energia por meio da luz solar.

Albert Einstein, por sua vez, em 1905, contribuiu sobre as implicações fotoelétricas. Já “Calvin Fuller criou em 1953, um processo de difusão e, em parceria com o físico Gerald Pearson, verificou que barra de silício mergulhada num banho quente de lítio poderia produzir uma corrente elétrica quando era exposta à luz. Eis que surge a primeira célula solar de silício” (SERAFIM, 2018, p. 01). Em 1955, foi criada a “primeira

aplicação das células solares, no estado da Georgia, para alimentar uma rede telefônica local” (SERAFIM et al., 2018, p. 01).

Ao longo da história, essas ideias passaram por vários refinamentos e atualmente os países desenvolvidos apresentam grande escala de produção de sistemas à base de energia solar. Apesar do avanço nas últimas décadas, o Brasil ainda não conseguiu ficar entre os quinze países com maiores capacidade solar fotovoltaica.

De acordo com Serafim et. al., (2018), a capacidade solar fotovoltaica no Brasil foi cerca de 26%, “representando pouco mais de 1% da produção global de energia”. Para lidar com a baixa incidência de sistemas fotovoltaicos, algumas estratégias têm sido empregadas, como o armazenamento de energia, a geração flexível e a infraestrutura de rede na busca por fontes renováveis na geração de energia elétrica. Partindo dessa explanação o objetivo geral desse artigo foi realizar um levantamento bibliográfico sobre os componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados a rede.

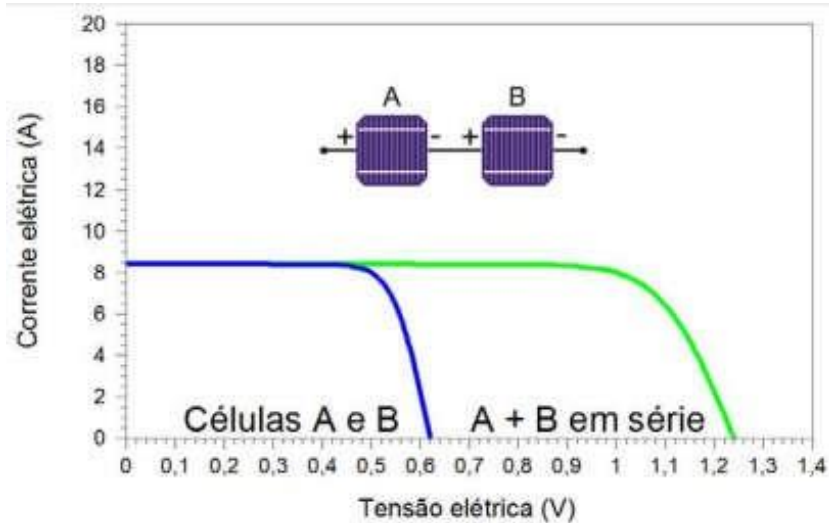
2 RESULTADO E DISCUSSÃO

Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são responsáveis pela conversão da radiação solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. Para a geração da potência elétrica elevada é necessário que os fabricantes façam associações em série e, ou paralelo das células, podendo variar de acordo com o material de cada célula.

A associação em série de um dispositivo fotovoltaico é feita de forma que o terminal positivo de um dispositivo é conectado ao terminal negativo do outro dispositivo, e assim sucessivamente. Neste caso, para dispositivos iguais e submetidos a uma mesma irradiância, as correntes elétricas são iguais e as tensões são somadas. A característica elétrica dessa associação é mostrada na figura a seguir:

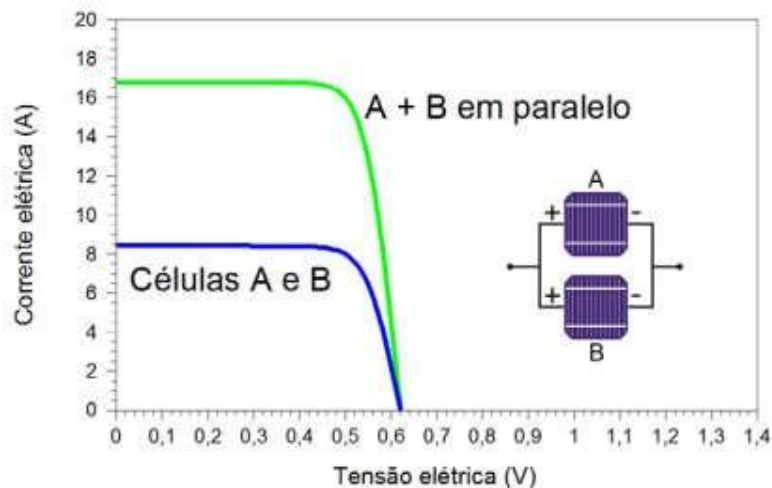
Figura 1 - Curva característica das células associadas em série



Fonte: CRESESB (2014).

A associação em paralelo de dispositivo fotovoltaico é feita de forma que os terminais positivos são conectados entre si, e os terminais negativos da mesma forma. Sendo assim, as correntes elétricas são somadas e a tensão se mantém a mesma. A característica elétrica desse tipo de associação é mostrada no gráfico a seguir.

Figura 2 - Curva característica de células associadas em paralelo



Fonte: CRESESB, (2014).

Tipos de células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são desenvolvidas a partir de materiais semicondutores, os quais na maioria das células são de silício, onde deve ser purificado para a utilização como matéria prima na fabricação das células fotovoltaicas. O cristal de silício é obtido através do processo de purificação do silício, sendo este o responsável pelo alto custo dos painéis solares fotovoltaicos.

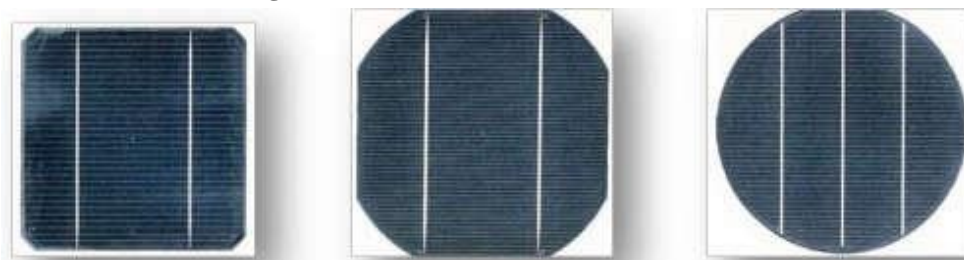
Porém existem outros materiais semicondutores que podem ser utilizados na fabricação dessa tecnologia.

Silício monocristalino

O cristal único de silício é obtido através do método de Czochralski. Esse processo é feito a partir de uma semente de cristal de silício inserida em uma caldeira com silício policristalino, onde essa semente orienta os átomos do mosto em uma única formação cristalina. Esse cristal é submetido a um corte e logo após é depositado fósforo e então feito uma difusão em altas temperaturas, onde é criada a rede de contatos que terão a função de captar os elétrons liberados no efeito fotovoltaico. Através desse tratamento é desenvolvida a célula fotovoltaica de silício monocristalino.

As vantagens dos módulos monocristalinos são a mais alta eficiência dentre as demais tecnologias disponíveis no mercado, devido a esse fator necessita de um menor número de módulos fotovoltaicos para gerar a mesma quantidade de energia elétrica que outros tipos de módulos, possuem uma vida útil estimada em mais de 30 anos e conseqüentemente uma garantia dada pelos fabricantes de 25 anos, além disso, tendem a ter rendimentos maiores em situações de baixa irradiância em relação aos módulos policristalinos. A desvantagem dessa tecnologia é o alto custo, devido ao processo de tratamento do silício para a fabricação das células. A figura a seguir mostra os tipos de células de silício monocristalino quanto a sua forma.

Figura 3 - Células de silício monocristalino



Fonte: BLUESOL, (2000).

Silício policristalino

O silício policristalino é obtido por meio do processo de fundição dos cristais de silício, onde o silício em estado bruto é aquecido no vácuo em alta temperatura e resfriado a uma determinada temperatura, permitindo a adição do Boro durante o processo de purificação do silício. Após fundido o silício policristalino é cortado

na forma de blocos quadrados e fatiados, passando por um tratamento e formação dos contatos, formando então as células.

Os módulos de silício policristalino possui uma vantagem em relação ao monocristalino que é o seu custo, consideravelmente menor, porém sua eficiência é reduzida devido ao processo de purificação do polissilício, que o torna menos puro que o monocristalino. Com isso para os módulos gerarem a mesma quantidade de energia elétrica que um módulo monocristalino, é necessário um número maior de módulos de silício policristalino. A vida útil desses módulos também é estimada em mais de 30 anos.

A figura a seguir os tipos de células de silício policristalino, quanto a sua coloração diferenciada devido ao processo de fundição dos cristais, mantendo a formação de múltiplos cristais de silício.

Figura 4 - Células de silício policristalino



Fonte: BLUESOL, (2000).

Células de película fina

As células de películas finas são desenvolvidas através da aplicação de uma ou várias camadas finas de um material semiconductor em um substrato, por meio da disposição da vaporização, disposição catódica ou banho eletrolítico. A eficiência dessas células depende da tecnologia utilizada na sua fabricação. O que diferencia os módulos de películas finas é o tipo de material semiconductor que é aplicado sobre o substrato, podendo ser:

- Silício amorfo (a - Si);
- Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIS – CIGS);
- Telureto de Cádmio (CdTe);
- Células fotovoltaicas orgânicas (OPV);

Existem outros tipos de células fotovoltaicas desenvolvidas através de muitas pesquisas, mas por vários motivos não são comercializadas. Dentre essas tecnologias

pode se destacar as células fotovoltaicas multijunção, sendo uma das mais eficientes desenvolvidas.

Eficiência das células fotovoltaicas

A eficiência das células fotovoltaicas varia de acordo com seu processo de fabricação e o material utilizado. Sendo assim, a tabela a seguir apresenta a eficiência das células mais utilizadas em âmbito comercial.

Tabela 1 - Eficiência das células fotovoltaicas quanto a sua tecnologia de fabricação

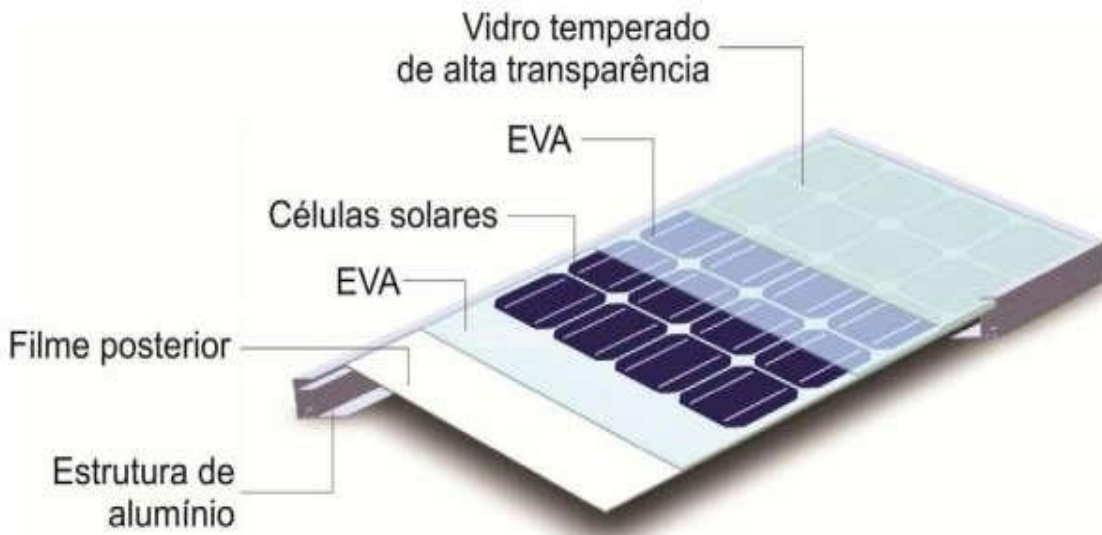
TECNOLOGIA		EFICIÊNCIA (%)
Silício	Monocristalino	25,0 +/- 0,5
	Policristalino	20,4 +/- 0,5
	Películas Finas	20,1 +/- 0,4

Fonte: O autor, adaptado de (Green et al, 2013).

Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas, vidro temperado de alta transparência, EVA, filme posterior e a estrutura de alumínio, como mostra a figura a seguir.

Figura 5 - Esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico



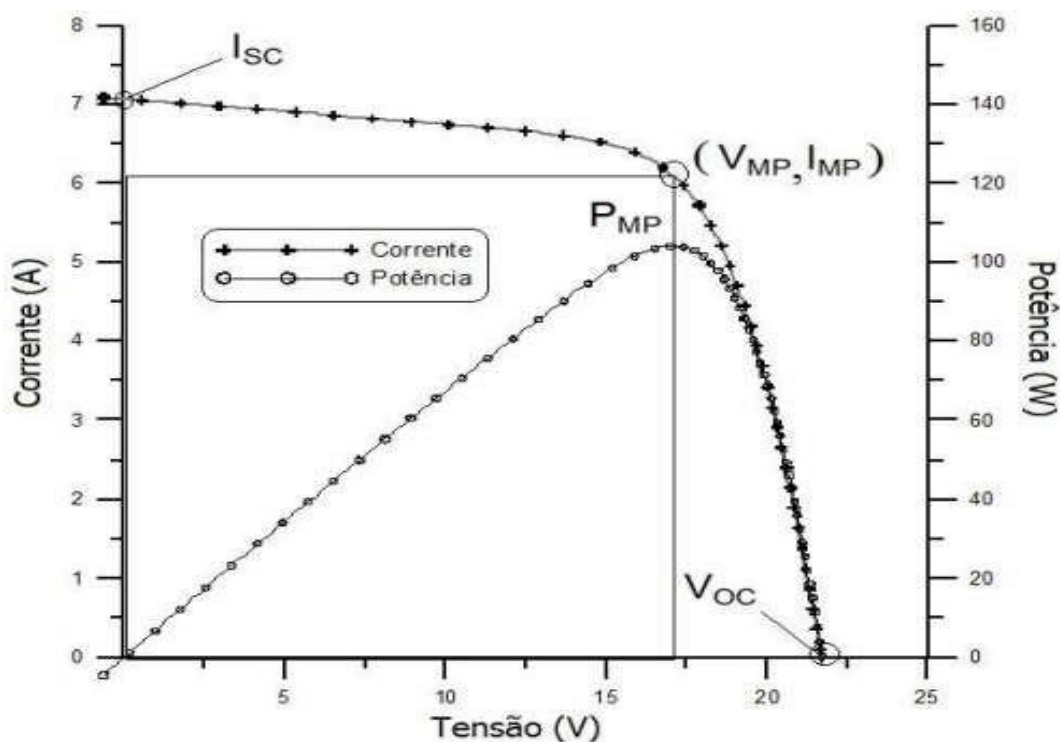
Fonte: CRESESB, (2014).

A quantidade de células fotovoltaicas em um módulo e seu arranjo, sendo paralelo e em série, é determinado de acordo com a tensão e corrente elétrica desejada. A identificação do módulo é feita geralmente pela sua potência elétrica de pico (Wp),

sendo esta definida pelas condições padrão de ensaio, considerando irradiância solar de 1000 W/m^2 sob uma distribuição espectral padrão para massa de ar AM 1,5 e temperatura de célula de 25°C (CRESESB, 2014).

A característica elétrica de um módulo fotovoltaico é determinada por meio do ensaio da curva característica entre tensão e corrente elétrica $V \cdot I$, sendo este considerado mais completo. Essa curva é obtida através da exposição de um módulo fotovoltaico às condições padrão de ensaio onde uma fonte de tensão variável realiza a varredura entre uma baixa tensão negativa até ultrapassar a tensão de circuito aberto. No decorrer da varredura são registrados pares de dados de tensão e corrente elétrica, permitindo traçar a curva característica do módulo. O gráfico a seguir mostra a curva característica $V \cdot i$ e a curva de potência de um módulo fotovoltaico, onde cada ponto do produto entre tensão e corrente representa a potência gerada.

Figura 6 - Curva característica V-I e curva de potência de um módulo com potência nominal de 100 W_p



Fonte: CRESESB, (2014).

Caixa de conexões

Geralmente a caixa de conexões dos módulos fotovoltaicos está localizada na parte posterior do mesmo. Essa caixa abriga as conexões dos conjuntos de células em série e os diodos de desvio (by-pass). Porém, existem módulos que não possuem caixa de

conexões, ou a mesma é inacessível, onde os cabos saem dos módulos ou de uma caixa lacrada.

A figura a seguir mostra, à esquerda, uma caixa de conexões de um módulo fotovoltaico de 240 Wp, o qual é constituído por 60 células, e na direita, apresenta um diagrama com as posições dos diodos de desvio. Neste caso, cada diodo de desvio está conectado a 20 células em série.

Figura 7 - Caixa de conexões e seu respectivo diagrama

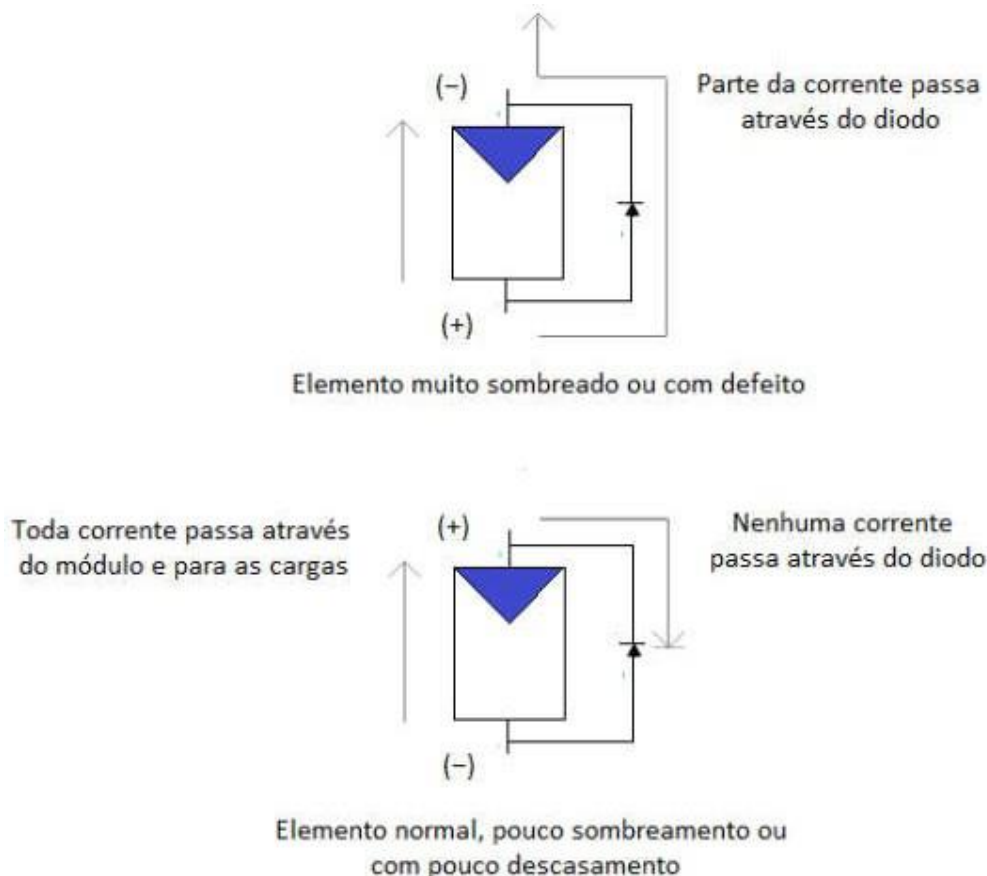


Fonte: CRESESB, (2014).

Diodo de desvio

O diodo de desvio é utilizado na proteção dos módulos fotovoltaicos contra a ocorrência de pontos quentes. Esse diodo exerce a função de oferecer um caminho alternativo para a corrente elétrica, permitindo a limitação das perdas por dissipação de potência nas células sombreadas. Tal função é eficaz na redução de perdas de energia e risco de danos às células atingidas, tornando esses módulos inúteis (CRESESB, 2014). A figura a seguir apresenta a forma de operação dos diodos de desvio em um módulo com células danificadas ou sombreadas e a operação de um diodo de desvio em condições normais.

Figura 8 - Formas de operação de um diodo de desvio



Fonte: CRESESB, (2014).

Condutores do sistema

Os condutores a serem utilizados no sistema fotovoltaico devem ser especificados de acordo com a potência elétrica a ser alimentada pelo mesmo, bem como as distâncias entre os componentes do sistema, devendo ser obedecido uma distância máxima permitida, para que não haja uma maior queda de tensão, sendo que esta poderá diminuir a eficiência do sistema. Esses condutores devem ser fios ou cabos de cobre, com isolamento termoplástico.

Atualmente estão sendo desenvolvidos módulos fotovoltaicos, para conexão com a rede de distribuição de energia elétrica, cujos condutores são previamente instalados, com as especificações adequadas para o sistema. Os conectores dos cabos terminais, utilizados nos sistemas fotovoltaicos, devem possuir grau de proteção IP 67 ou superior. Esses não devem ser posicionados em canaletas ou dutos que possam acumular água, sendo assim, os condutores devem ser presos à estrutura dos módulos fotovoltaicos (CRESESB, 2014). A figura a seguir apresenta condutores, dos quais possuem terminais

de engate rápido, com a finalidade de facilitar a instalação elétrica dos módulos, e permitindo que esta tenha uma maior qualidade.

Figura 9 - Conectores de engate rápido para conexão série de módulos fotovoltaicos



Fonte: CRESESB, (2014).

Os cabos a serem usados na instalação elétrica em corrente alternada, devem seguir a norma NBR-5410, para instalações elétricas de baixa tensão.

Inversores para SFCRs

Os inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede são responsáveis por converter a corrente contínua, obtida pelos módulos fotovoltaicos no processo de geração, em corrente alternada. Além da conversão de corrente CC em CA, os inversores tem a finalidade de ajustar-se ao ponto de máxima potência do arranjo fotovoltaico para garantir um maior rendimento, possuem dispositivos de proteção e registro operacional que memorizam e transmitem dados através de displays, cartões de memória entre outros. Segundo a CRESESB, os inversores para SFCRs podem ser classificados da seguinte forma:

- **Inversores centrais:** são inversores trifásicos de grande porte, geralmente utilizados em Usinas Fotovoltaicas.
- **Inversores Multistring:** esse tipo de inversor pode ser trifásico ou monofásico constituído de várias entradas independentes com SPPM para conexão de fileiras de módulos.
- **Inversores de Strings:** são inversores monofásicos dotados de uma entrada SPPM, utilizados em instalações de microgeração, ou seja, até 10 kWp.
- **Módulo C.A:** módulo fotovoltaico associado a um microinversor.

Existem inversores com transformadores de acoplamento e outros que não o incorporam. De acordo com a seção 3.7 do módulo 3 da PRODIST, os SFCRs de minigeração distribuída devem adotar inversores com transformadores de acoplamentos, proteção anti- ilhamento, entre outros.

Quando a rede elétrica de distribuição é desenergizada pela distribuidora e um ou mais SFCRs continuam funcionando e alimentando a carga, esse fenômeno chamado de ilhamento, e pode comprometer a manutenção da rede elétrica. Devido a esse fato, os inversores dos SFCRs devem possuir essa proteção, permitindo que o inversor seja desconectado automaticamente da rede, caso essa situação aconteça.

Como já mencionado, os inversores de SFCR podem incorporar ou não transformadores de acoplamento, a tabela a seguir apresenta as diferenças entre as características desses dois tipos de inversores.

Tabela 2- Principais diferenças entre inversores para SFCRs, que utilizam ou não transformadores de acoplamento

Com transformador	Sem transformador
<ul style="list-style-type: none">- maior peso e volume- maiores perdas (perdas magnéticas e ôhmicas) o que resulta em menor eficiência- permite que o painel fotovoltaico opere numa tensão mais baixa- menor interferência eletromagnética- os circuitos c.c. e c.a são isolados- menores requisitos de proteção	<ul style="list-style-type: none">- menor peso e volume- maior eficiência, principalmente se não possuir estágio de conversão c.c.-c.c. (para isso tem que operar com tensão do gerador fotovoltaico superior à tensão de pico da rede)- maior interferência eletromagnética- pode ser necessária a instalação de dispositivos de proteção adicionais (disposto diferencial-residual, disjuntor de corrente direcional etc.), conforme a regulamentação local, devido à falta de isolamento entre os circuitos c.c. e c.a.

Fonte: CRESESB, (2014).

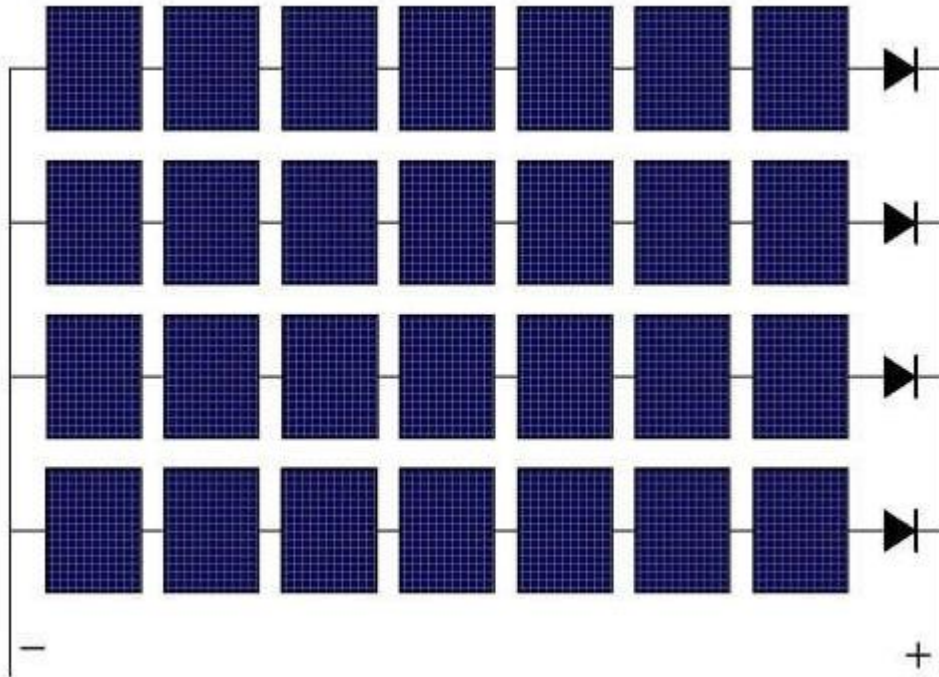
Os inversores para conexão à rede elétrica de distribuição podem variar suas eficiências totais entre 98% a 94%, sendo o primeiro valor para os inversores que não incorporam transformadores e o segundo para os que incorporam. A garantia fornecida pelos fabricantes deste tipo de inversores pode variar entre 5 a 10 anos.

Proteção do sistema

O diodo de bloqueio é utilizado na proteção de conexões de módulos ou conjunto em série de módulos fotovoltaicos conectados em paralelo, mas devido ao fato de apresentar um alto índice de falhas, o uso desse componente para proteção de sistemas fotovoltaicos pode ser substituídos por fusíveis fotovoltaicos, os quais farão a proteção

do sistema antes da conexão ao inversor, ou seja, a parte em corrente contínua. A figura a seguir mostra o diagrama de um conjunto série constituído de um arranjo com 7 módulos, sendo que contém 4 destes conjuntos, os quais estão conectados em paralelo.

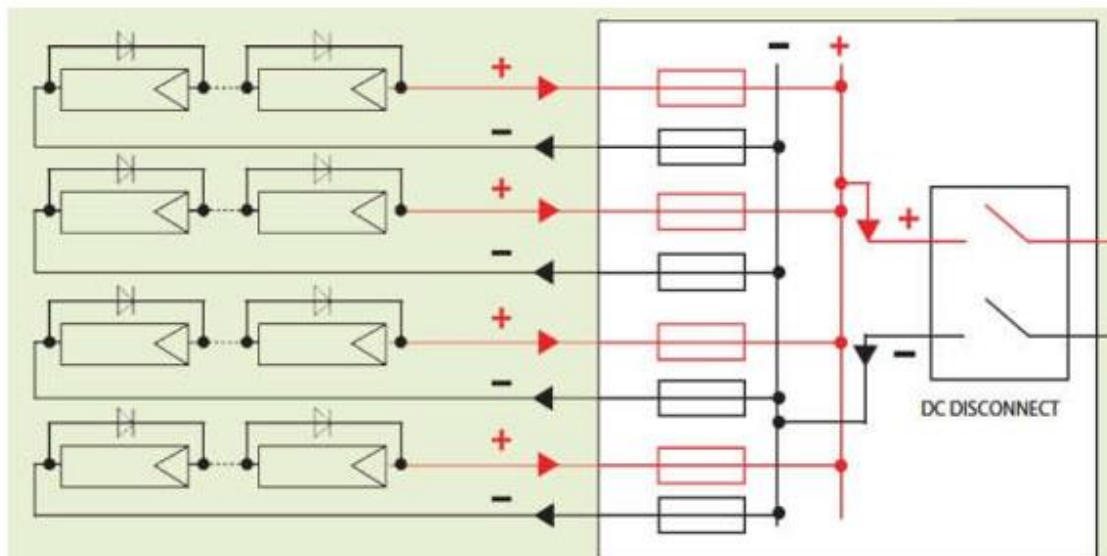
Figura 10 - Diagrama de módulos fotovoltaicos usando diodos de bloqueio



Fonte: CRESESB, (2014).

Os fusíveis utilizados na proteção do sistema fotovoltaico tem a finalidade de proteger a série fotovoltaica do fluxo de corrente elétrica reversa de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor. Seu dimensionamento deve ser considerado para correntes menores que a corrente reversa, a qual o módulo suporta. Esses fusíveis devem ser instalados na saída de cada série tanto no polo positivo, quanto no polo negativo, sendo este para corrente contínua, de preferência do tipo gPV (conforme IEC 60269-6), sendo este próprio para operar em sistemas fotovoltaicos, pois possui grande durabilidade (CRESESB, 2014). A figura a seguir mostra o diagrama de um arranjo fotovoltaico, onde para cada conjunto série, é instalado dois fusíveis fotovoltaicos, sendo um para cada polaridade.

Figura 11 - Diagrama de um arranjo fotovoltaico utilizando fusíveis de proteção

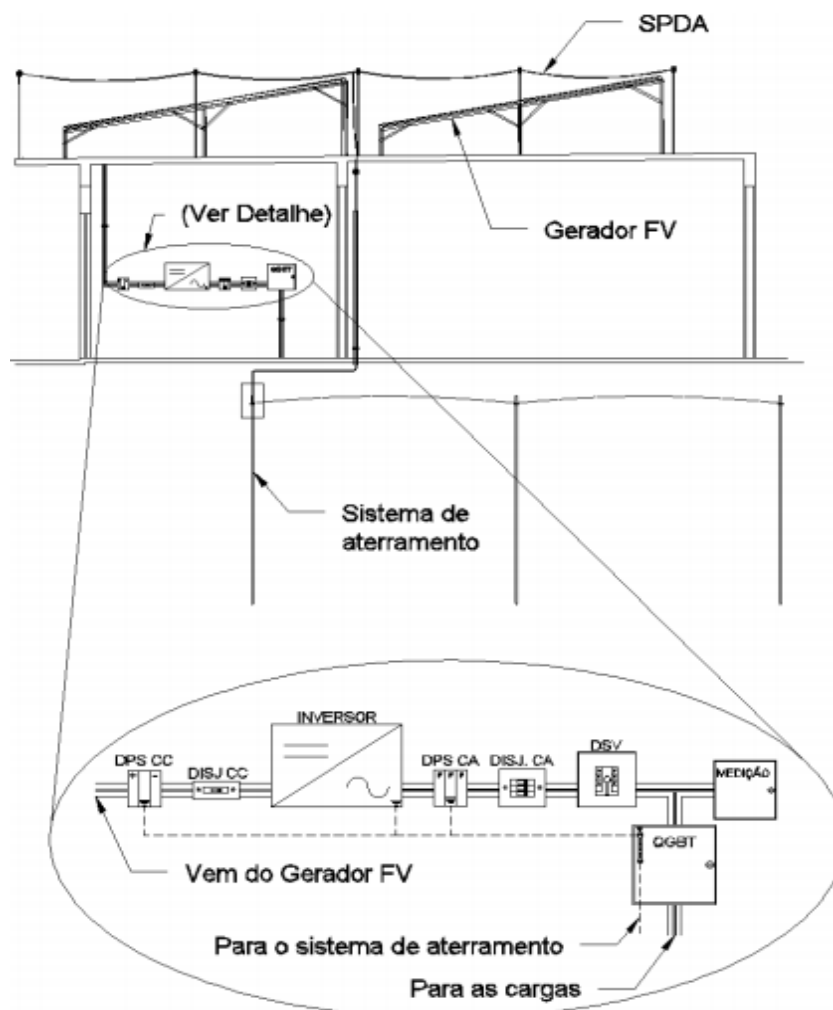


Fonte: CRESESB, (2014). Adaptado do Catálogo de (Cooper-Bussmann: Photovoltaic System Protection Application Guide).

As proteções a serem feitas na parte de corrente alternada deve ser prevista por meio de dispositivos, tais como disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos (DPS), sistema de aterramento e sistemas de proteções contra descargas atmosféricas (SPDA). Para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs), a norma regulamentadora 482/2012, exige que seja instalado, após o medidor, uma chave seccionadora sob carga, a qual é denominada como dispositivo de seccionamento visível (DSV), de modo a garantir a desconexão da geração fotovoltaica em caso de manutenção na rede (CRESESB, 2014).

A figura a seguir apresenta um esquema de instalação de dispositivo de proteção em um sistema fotovoltaico conectado à rede, onde o SPDA deve proteger o bloco gerador do sistema, devendo estar conectado a um sistema de aterramento, como também o inversor, dispositivo de proteção contra surtos e o barramento de aterram.

Figura 12 - Esquema de proteção de um sistema fotovoltaico conectado à rede

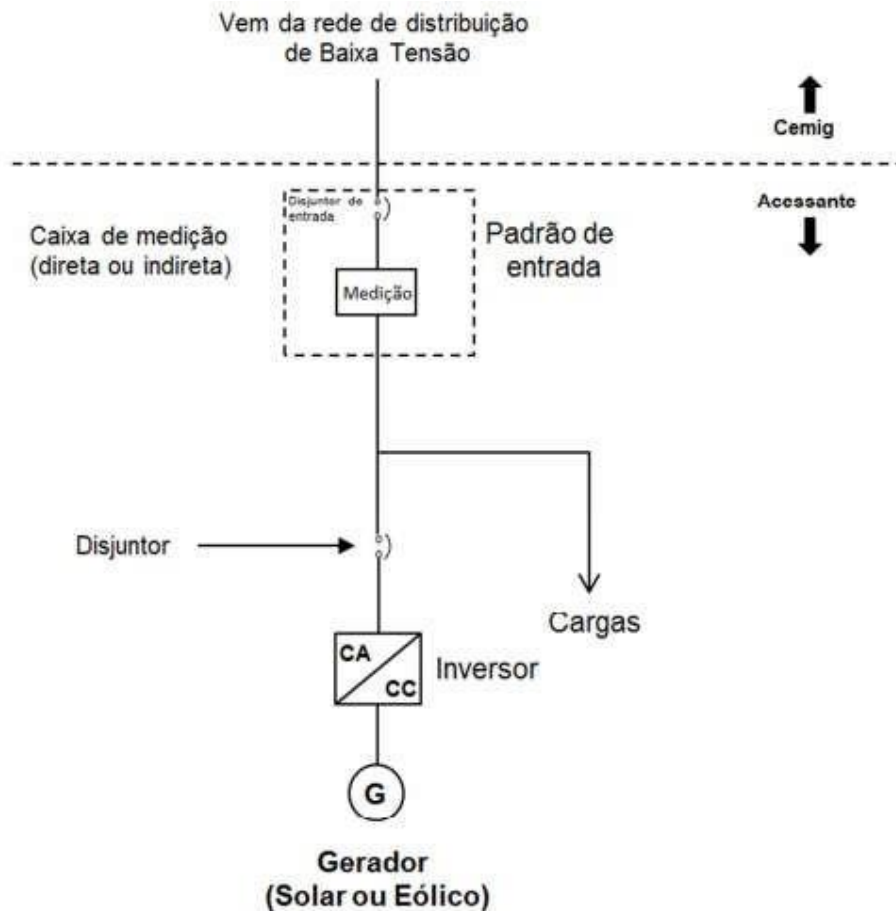


Fonte: CRESESB, (2014).

Conexão com a rede elétrica de distribuição

De acordo com a Norma de Distribuição 5.30 da CEMIG, a conexão de geradores solares, eólicos ou microturbinas, os quais utilizam inversores como interface de conexão com a rede de distribuição de energia elétrica, baixa tensão, devem seguir os critérios adotados no esquema simplificado da figura 13.

Figura 13 - Forma de conexão do acessante à rede de distribuição da CEMIG



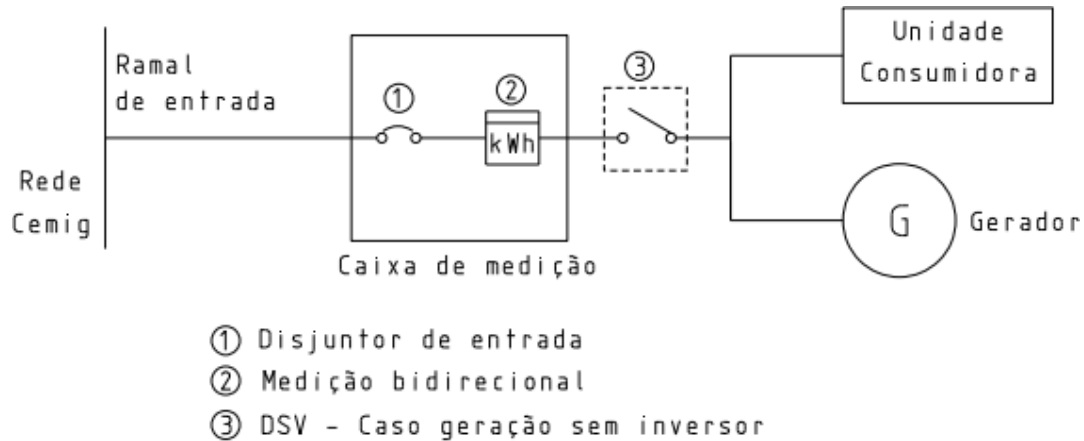
Fonte: CEMIG, (2016).

Como apresentado no esquema simplificado da figura acima, a caixa de medição de energia, localizada no padrão de entrada da unidade consumidora, deverá ser composta de disjuntor de entrada e medidor (CEMIG, 2016).

Sistema de medição de energia elétrica

O sistema de medição de energia elétrica a serem utilizados em unidades consumidoras que aderem o sistema de compensação de energia, devido ao fato de gerarem sua própria energia, deverá ser bidirecional, onde o mesmo é composto por registradores independentes para a verificação da energia ativa consumida da rede e a energia ativa injetada na rede (CEMIG, 2016). A figura a seguir apresenta a disposição simplificada do medidor bidirecional, sendo instalado no padrão de entrada da unidade consumidora.

Figura 14 - Esquema simplificado da disposição do medidor bidirecional



Fonte: CEMIG, (2016).

3 CONCLUSÃO

Quando iniciou os estudos, tinha a necessidade de realizar um estudo bibliográfico sobre sistemas fotovoltaicos em busca por fontes renováveis na geração de energia elétrica, visto que tais fontes contribuem bastante para a redução da emissão de gases causadores de danos ambientais, no qual, o objetivo geral foi realizar um levantamento bibliográfico sobre os componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados a rede.

Diante do que foi levantado, foi observado que o Brasil possui um grande potencial de produção de energia a partir de fontes renováveis, apesar da predominância de hidrelétricas no Brasil, existem perspectivas positivas a cerca da energia renováveis, entre elas se destacam a fonte Eólica e Solar, as quais se destacam cada vez mais no país. Baseado na revisão bibliográfico, em inhas gerais, existe uma ampla diversificação da matriz energética renovável, mas que se destaca a energia renováveis com sistema fotovoltaico.

Conforme foi verificado, apesar dos benefícios apresentados, uma das grandes desvantagens são os altos custos na produção desses tipos de sistemas. Os componentes e materiais utilizado nesse tipo de energia são bem mais elevados que da eólica e outros tipos de fontes de energia. Entretanto, com a produção da efetiva das células de silício, os custos elevados diminuem significativamente nas últimas décadas. Logo, podem se torna cada vez mais acessíveis com a diminuição dos custos dos sistemas fotovoltaicos. Desse modo, é notável que o Brasil apresenta grande potencial de produção de energia a partir de fontes renováveis, entre elas estão a fonte Eólica e Solar, as quais se destacam cada vez mais no país.

REFERÊNCIAS

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, volume 2. Disponível em: http://www.cemig.com.br/ptbr/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/atlas_solarimetrico.pdf. Acesso em 01 de Julho de 2021.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. Mini e microgeração distribuída – sistema de compensação. Disponível em: https://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/corporativo/Paginas/micro_minigeracao.aspx. Acesso em: 05 de Janeiro de 2021.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. Norma de distribuição 5.30. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Cientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/ND.5.30.pdf>. Acesso em: 05 de Julho de 2021.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. Resumo Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. Disponível em: http://www.cemig.com.br/ptbr/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/Resumo%20do%20Atlas%20Solarimetrico.pdf. Acesso em: 02 de Julho de 2021.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 02 de Julho de 2021.

SERAFIM, Guilherme et. al., Panorama mundial e brasileiro sobre energia solar: estudo de revisão. Anais... In: III Congresso Internacional de Ciências, Tecnologia e Inovação, e inovação e encontro anual de iniciação científica da UNIPAR, Umuarama- PR, 2018.