



**INSTITUTO FEDERAL**  
Sul-rio-grandense

Câmpus  
Passo Fundo

EDUCAÇÃO  
PÚBLICA  
**100%**  
GRATUITA

# SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: ISOLADOS, CONECTADOS À REDE, HÍBRIDOS, BOMBEAMENTO DE ÁGUA - II

Alexsander Furtado Carneiro

# Faixa de tensão de operação do SPPM do inversor

O número de módulos conectados em série deve resultar em tensões que atendam à faixa de tensão SPPM do inversor, conforme indicado na Equação.

$$\frac{V_{iSPPMmin}}{V_{mpTmax}} < N^{\circ} \text{ módulos\_série} < \frac{V_{iSPPMmax}}{V_{mpTmin}}$$

Onde:

$V_{iSPPMmin}$  (V) – Mínima tensão c.c. de operação do SPPM do inversor;

$V_{iSPPMmax}$  (V) – Máxima tensão c.c. de operação do SPPM do inversor;

$V_{mpTmin}$  (V) - Tensão de potência máxima ( $V_{mp}$ ) de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista.

$V_{mpTmax}$  (V) - Tensão de potência máxima ( $V_{mp}$ ) de um módulo FV na maior temperatura de operação prevista

# Faixa de tensão de operação do SPPM do inversor

- Durante o verão, no Brasil a temperatura dos módulos dos SFVs pode atingir valores superiores a 70 °C, tendo como consequência a redução da tensão c.c. do sistema, em virtude do coeficiente negativo de temperatura.
- Deve-se, portanto, avaliar se o SFCR possui número suficiente de módulos conectados em série, de modo que a tensão do painel FV seja superior à mínima tensão de SPPM do inversor.
- Caso a tensão do painel se reduza abaixo da mínima tensão de SPPM do inversor, a sua eficiência ficará comprometida e poderá provocar a sua desconexão.

# Corrente máxima c.c. do inversor

O inversor FV possui uma corrente máxima de entrada c.c. Para garantir que este valor não seja ultrapassado, pode-se calcular o número máximo de fileiras das séries fotovoltaicas, conectadas em paralelo, com auxílio da Equação.

$$N^{\circ} \text{ series FV paralelo} = \frac{I_{i_{\max}}}{I_{sc}}$$

Onde:

$I_{i_{\max}}$  (A) - Corrente máxima c.c. admitida na entrada do inversor;

$I_{sc}$  (A) - Corrente de curto circuito do módulo FV nas STC.

# Projeto Elétrico

Outros desafios para o projetista durante o dimensionamento de um SFV são:

- Planejamento da interconexão dos diversos componentes do sistema de forma eficiente, evitando perdas de energia;
- Adequação do projeto aos requisitos de segurança, visando torná-lo seguro sob o ponto de vista elétrico, contemplando-se segurança do próprio sistema e do usuário, bem como da rede elétrica, se for o caso;
- Verificação da obediência às normas e aos regulamentos técnicos aplicáveis para instalações elétricas (ABNT, Aneel, distribuidora local etc.).

# Projeto Elétrico

- Os pontos mencionados constituem o que se chama de projeto elétrico, que inclui desde a escolha dos condutores até o dimensionamento/especificação de dispositivos de proteção.
- Tipicamente os projetos com conexão em baixa tensão devem respeitar as condicionantes da Norma NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- Devem ser consideradas as perdas relativas aos componentes que, embora não sejam considerados básicos, são de igual importância para o funcionamento adequado do sistema.

# Projeto Elétrico

- Trata-se do chamado Balanço do Sistema (BOS), derivado da expressão em inglês Balance of System.
- O BOS envolve os condutores, diodos de bloqueio, proteções, etc.

# Projeto Elétrico - Diodos de desvio e de bloqueio e fusíveis de proteção

- Os diodos de desvio são especialmente importantes nos SFCRs instalados em áreas urbanas, por serem seus painéis fotovoltaicos instalados em telhados e fachadas e normalmente mais sujeitos a sombreamentos parciais.
- Os módulos fotovoltaicos atuais já incluem um ou mais diodos de desvio, evitando que o projetista tenha que adicioná-los em seu projeto.
- Abrindo-se a caixa de conexão do módulo, pode-se constatar visualmente a presença dos diodos.



# Projeto Elétrico - Diodos de desvio e de bloqueio e fusíveis de proteção

- A especificação dos diodos é feita através da determinação da corrente máxima de operação (função do número de módulos em paralelo) e da tensão reversa máxima (função do número de módulos em série), que depende da tecnologia e do material de fabricação dos módulos FV.
- Além dos diodos de bloqueio pode-se ainda utilizar fusíveis fotovoltaicos. O fusível é um componente de proteção usado para proteger a série fotovoltaica do fluxo de corrente reversa de um fileira (série) com tensão maior para uma com tensão menor.

# Projeto Elétrico - Diodos de desvio e de bloqueio e fusíveis de proteção

- Deve ser dimensionado para correntes menores que a corrente reversa suportável pelo módulo. Os fusíveis só são necessários se houver mais de duas séries fotovoltaicas. Devem ser para corrente contínua e ser colocados na saída de cada série tanto no polo positivo quanto no polo negativo. Recomenda-se a utilização do tipo gPV, que é apropriado para operação em sistemas fotovoltaicos.

# Projeto Elétrico - Cabeamento

A NBR 5410 ou algum programa de escolha da bitola do cabeamento podem ser utilizados e indicam a bitola adequada para os condutores em função do comprimento do ramal, da tensão nominal e do nível de perdas pretendido.

De forma alternativa, utiliza-se a Equação para determinar a seção mínima de condutor  $S$ , necessária para uma determinada instalação em corrente contínua.

$$S (mm^2) = \rho \left( \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right) \times \frac{d (m) \times I (A)}{\Delta V (V)}$$

# Projeto Elétrico - Cabeamento

$$S (mm^2) = \rho \left( \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right) \times \frac{d (m) \times I (A)}{\Delta V (V)}$$

Onde:

$\rho$  - resistividade do material do condutor, geralmente cobre;

$d$  - distância total do condutor, considerando o trecho de retorno (ida e volta);

$I$  - corrente que passa pelo condutor;

$\Delta V$  - queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado.

# Projeto Elétrico - Cabeamento

Nas instalações de sistemas fotovoltaicos utiliza-se condutores de cobre, material que a 20 °C apresenta tipicamente uma resistividade  $\rho_{\text{cu}} = 0,01724 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  e coeficiente de variação com a temperatura de  $\alpha_{\text{cu}} = 0,0039/^\circ\text{C}$ , que permite determinar a influência da temperatura na resistividade dos materiais através da Equação.

$$\rho(T) = \rho(20^\circ\text{C}) \times (1 + \alpha(T - 20^\circ\text{C}))$$

Os parâmetros reais a serem aplicados para a fiação utilizada devem ser obtidos na documentação do respectivo fabricante.

# Projeto Elétrico - Cabeamento

- Assim como no caso das estruturas metálicas, é importante que os cabos utilizados nessas instalações estejam preparados para suportar as mais adversas condições climáticas, pois estarão expostos a intensa radiação, calor, frio e chuva por um longo período de tempo.
- Recomenda-se o dimensionamento de cabos da instalação de acordo com a temperatura efetiva de trabalho e o método escolhido de proteção dos condutores utilizando-se o fator de correção de temperatura contido na NBR 5410.

# Projeto Elétrico - Cabeamento

- Além disso, o material de proteção e isolamento do condutor também deve ser resistente às condições climáticas, especialmente à radiação ultravioleta.
- Há uma extensa faixa de tensão c.c. utilizada em sistemas fotovoltaicos conectados à rede.
- A utilização de tensões maiores ou menores está muitas vezes relacionada ao tipo de inversor utilizado, o que implica algumas vantagens e desvantagens no que se refere à instalação, proteção e redução de perdas em c.c.

# Projeto Elétrico - Cabeamento

- Níveis baixos de tensão c.c. têm a vantagem de serem mais seguros e mais apropriados para baixas potências.
- Por outro lado, quanto maior a tensão de entrada do inversor, mais simples se torna a instalação, sendo os inversores mais compactos e mais eficientes.
- Contudo, ressalta-se que a elevação do nível de tensão c.c. requer cautela, tanto na instalação quanto na operação, uma vez que a tensão de operação torna-se mais perigosa.



# Projeto Elétrico - Cabeamento

- Atualmente, as faixas de tensão c.c. mais praticadas nos inversores variam entre 100 e 1.000 volts, dependendo do tipo e porte do sistema, e o cabeamento deve ter o isolamento adequado ao nível de tensão utilizado.

# REFERÊNCIAS

NBR 16690 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antonio. GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR – GTES. CEPEL-DTE-CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro- Março 2014.

**MUITO**  
**OBRIGADO**

Alexander Furtado Carneiro

Professor de Eletrotécnica

**[www.ifsul.edu.br](http://www.ifsul.edu.br)**  
E-mail de contato  
**TELEFONE DE CONTATO**