



Configuração do arranjo fotovoltaico com o inversor



1 - INTRODUÇÃO

Nos fascículos anteriores, abordamos características de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) e o passo a passo na elaboração de um projeto solar. Depois, conhecemos os módulos fotovoltaicos e o inversor, componentes principais do nosso sistema.

Chegou a hora de compreender como se configura um arranjo fotovoltaico com determinados módulos e o inversor escolhido e definir, chegando à conexão série-paralelo dos módulos.

Uma planilha que efetua os cálculos apresentados neste fascículo pode ser baixada no site www.solarize.com.br.

2 - VISÃO GERAL

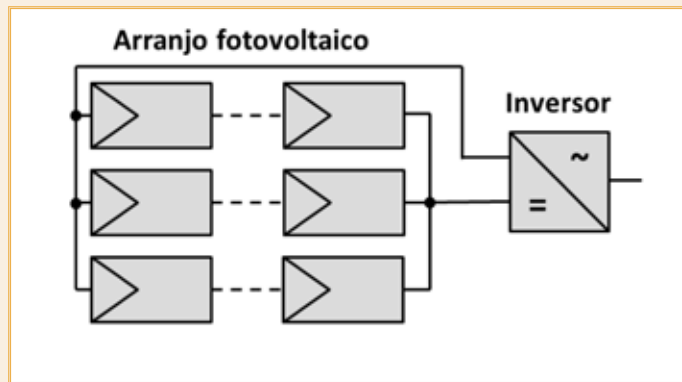


Figura 1: O arranjo fotovoltaico é uma conexão série-paralela de módulos que precisa combinar com as características do inversor.

Costumo chamar a configuração entre módulos e inversor de "casamento", já que ela deve funcionar por muitos anos, em dias de sol e de chuva, e em horas de calor e de frio.

O casamento funcionará se os parâmetros elétricos de tensão, corrente e potência dos módulos e do inversor forem compatíveis, na conexão série-paralelo escolhida.

Como a tensão do módulo depende da temperatura das células, devemos levar ainda em consideração o local da instalação com suas condições climáticas, e a ventilação dos módulos na condição em que serão instalados (paralelo ao telhado ou em fileiras elevadas).

3 - TEMPERATURAS NO LOCAL DA INSTALAÇÃO

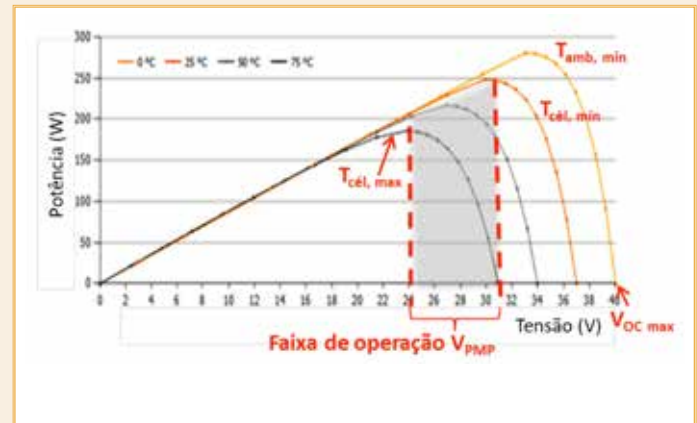


Figura 2: Curva característica V-P em diferentes temperaturas, gerada no software PV*SOL.

Aprendemos no fascículo 3 que a tensão produzida pelo módulo é fortemente afetada pela temperatura, com comportamento inverso: quanto maior o calor do módulo, menor é a tensão de saída. A faixa de temperatura do módulo em operação determina a faixa de tensão na saída do módulo V_{PMP} . A temperatura máxima do

PAINÉIS INDUSTRIAIS E AMBIENTES EXPLOSIVOS

INOVANDO Com QUALIDADE

Há 43 anos, pioneirismo e excelência em atmosferas explosivas e áreas industriais. Temos as melhores e mais inteligentes soluções para o seu projeto.

- Caixas para áreas classificadas
- Interruptores de alavanca
- Botoeiras de emergência
- Iluminação convencional
- Painéis de comando
- Projetos especiais
- Iluminação LED

ALLNL, ALLYP, ALLNC, ALLNZR

ALPHA EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

www.alpha-ex.com.br - Tel: +55 (11) 3933-7533 - vendas@alpha-ex.com.br

43 ANOS

módulo $T_{célula,máx}$ determina a menor tensão de saída do módulo em operação $V_{PMP,min}$. A literatura recomenda usar um valor 30°C a 40°C acima da máxima ambiental do local, dependendo da ventilação dos módulos e da ocorrência de vento no local.

• A temperatura mínima da célula em operação $T_{célula,min}$ determina a tensão $V_{PMP,máx}$. É a temperatura que o módulo alcança com um pouco de irradiação.

• A terceira condição climática a ser considerada é a temperatura mínima do local da instalação $T_{ambiente,min}$. Ela causa a tensão máxima que o módulo produz, $V_{OC,máx}$.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) oferece a busca por dados climáticos, mas geralmente, prevalece o bom senso e a experiência na definição do trio das temperaturas. A tabela 1 lista valores que podem servir como referência.

TABELA 1: VALORES REFERENCIAIS PARA A ESCOLHA DAS TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS

Fonte	$T_{célula,máx}$	$T_{célula,min}$	$T_{ambiente,min}$
Alemanha	70°C	15°C	-10°C
Sistema Solarize (Rio de Janeiro – RJ)	75°C	25°C	+10°C

A variação da corrente com a temperatura é tão pequena que não costuma ser levada em consideração.

4 - DADOS CARACTERÍSTICAS DO MÓDULO

Para efetuar o cálculo, buscamos os seguintes dados na ficha técnica do módulo:

- Potência nominal $P_{mód,nom}$;
- Corrente de curto-circuito $I_{mód,SC}$;
- Tensão PMP nominal $V_{mód,PMP}$;
- Tensão em circuito aberto $V_{mód,OC}$;
- Coeficiente da variação da tensão com a temperatura $Coef_v$, comumente informado em % / °C ou % / K (observação: 1 K = 1 °C).

Em seguida, calculamos as tensões derivadas das temperaturas no local da instalação. As tensões informadas na ficha técnica foram medidas nas condições STC, sob 25°C (veja fascículo 3). A seguinte fórmula aplica o coeficiente da variação da tensão e a diferença da temperatura:

$$V_{derivada} = V_{nom} \times (1 + (T - 25^\circ) \times Coef_v)$$

Os valores derivados são:

- Tensão máxima e circuito aberto $V_{mód,OC,máx}$

- Tensão mínima e máxima em operação $V_{mód,PMP,min}$ e $V_{mód,PMP,máx}$ (obs.: usando a fórmula, chegamos a um valor aproximado para $V_{mód,PMP}$, já que o valor exato pode ser determinado somente com um software de simulação).

5 - DADOS CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR

Na ficha técnica do inversor escolhido, buscamos os seguintes dados:

- Potência nominal $P_{inv,nom}$;
- Potência máxima $P_{inv,máx}$;
- Corrente máxima $I_{inv,máx}$;
- Tensão máxima $V_{inv,máx}$;
- Faixa de tensão de operação $V_{inv,PMP,min}$ e $V_{inv,PMP,máx}$.

O objetivo é calcular a combinação entre os módulos e o inversor, portanto, devemos buscar os valores da entrada do inversor, em c.c.. No entanto, a potência nominal pode ser informada na seção c.c. ou c.a., dependendo do fabricante.

6 - O CÁLCULO DO ARRANJO FOTOVOLTAICO

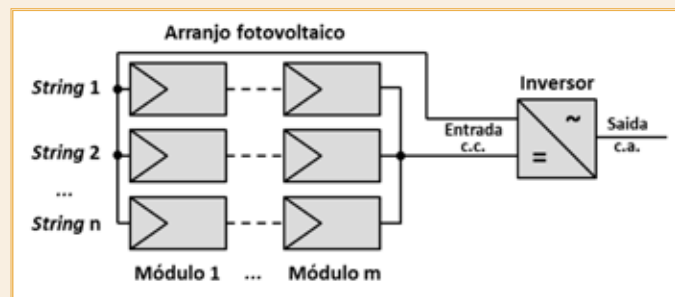


Figura 3: O layout do arranjo fotovoltaico é determinado respeitando os limites do inversor.

Depois de colher as informações básicas, podemos agora mapear as características elétricas dos módulos com as do inversor escolhido. O objetivo é definir o arranjo fotovoltaico, que é a associação de **n séries fotovoltaicas** (usamos a seguir o nome inglês, **string**) em paralelo, cada com **m módulos** conectados em série (figura 3).

Importante: O arranjo precisa ser homogêneo, usando somente um modelo de módulo e o mesmo número de módulos em todas as strings. Casos onde isto não é possível, serão analisados no próximo fascículo, que tratará também de sombreamento parcial.

Pelas leis ôhmicas, a tensão resultante de cada string é o produto do número de módulos m com a tensão de cada módulo. A corrente resultante do arranjo é o produto do número de strings n com a corrente de cada string.

O mapeamento é feito por condições independentes que, depois, são reunidas.

**(A) Número máximo de módulos por string pela tensão máxima do inversor**

A primeira condição calcula o número máximo de módulos m por string que podemos conectar em série, respeitando a limitação do inversor.

O número máximo de módulos por string $m_{\text{máx}}$ é igual à tensão máxima da entrada do inversor $V_{\text{inv,máx}}$, dividida pela tensão máxima do módulo em circuito aberto $V_{\text{mod,OC,máx}}$.

$$m_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{inv,máx}}}{V_{\text{mód,OC,máx}}}$$

(B) Número máximo de módulos por string pela tensão de operação

A segunda condição calcula quantos módulos podemos conectar em série, considerando agora o limite de tensão de operação do inversor:

$$m_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{inv,PMP,máx}}}{V_{\text{mód,PMP,nom}}}$$

Esta condição é calculada independentemente de (A), mas como resultado, deve valer o menor número dos dois, ainda arredondado para baixo.

(C) Número mínimo de módulos por string pela tensão de operação

O inversor exige um número mínimo de módulos para trabalhar, que é calculado dividindo a tensão mínima do inversor pela tensão mínima do módulo, ambos em condição de operação:

$$m_{\text{mín}} = \frac{V_{\text{inv,PMP,mín}}}{V_{\text{mód,PMP,mín}}}$$

O número resultante deve ser arredondado para cima.

(D) Número máximo de strings

O número máximo de strings conectados em paralelo é calculada dividindo a corrente máxima de entrada do inversor pela corrente gerada pelos módulos em condições padrão:

$$n_{\text{máx}} = \frac{I_{\text{inv,máx}}}{I_{\text{mód,SC}}}$$

(E) Potência máxima

O fabricante indica a potência máxima do arranjo fotovoltaico na ficha técnica, que determina número máximo total de módulos que devem ser conectados:

$$t_{\text{máx}} = m \times n = \frac{P_{\text{inv,máx}}}{P_{\text{mód,nom}}}$$



GRUPO GIMI
Soluções em Energia



GIMI POGLIANO BLINDOSBARRA
BARRAMENTOS BLINDADOS






Segundo a tendência Mundial, o GRUPO GIMI tem a satisfação de comunicar que suas fábricas agora são certificadas ISO-9001 e ISO-14001.

O Grupo GIMI se preocupa não só com a qualidade que você já conhece, mas também tem responsabilidade com o nosso planeta e as futuras gerações.



Microcompact
Cabinete classe 24 kV com seccionadora em SF6

- ✓ Isolamento de porcelana de 27 a 30 kV
- ✓ Modelo modular SF6
- ✓ Carrocerias isoladas por SF6

Microcompact 38 kV
Cabinete classe 38 kV com seccionadora em SF6

- ✓ Longevidade 100 anos
- ✓ Segurança durante o 27 a 30 kV
- ✓ Modelo modular SF6
- ✓ Carrocerias isoladas por SF6

PICCOLO
Cabinete de alta tensão trifásico e unipolar 17,5 a 17,5 kV

4-ggms
Painel de baixa tensão 17,5 kV

INAGGIORE
Cabinete de alta tensão 17,5 a 17,5 kV

BARRI
Painel de distribuição 17,5 a 17,5 kV

noTTabile
Painel de baixa tensão 17,5 kV

Barramentos Blindados
Tipo compacto, com seccionador em SF6, 17,5 kV, 2000 A



gimisolucoesenergia
gimi.com.br
+55 11 4752-9900

COMPETÊNCIA E TRADIÇÃO
DESDE 1971



GIMI POGLIANO BLINDOSBARRA
BARRAMENTOS BLINDADOS

gpbarramentosblindados
gimipogliano.com.br
+55 11 4752-9900

A potência máxima é correlacionada ao fator de dimensionamento, que discutiremos em seguida, e não representa uma restrição crítica.

(F) Fator de dimensionamento

O fator de dimensionamento expressa a relação da potência entre o arranjo fotovoltaico e o inversor e costuma ser informado em por cento.

$$FDI = \frac{P_{\text{arranjo}}}{P_{\text{inversor}}}$$

É normal superdimensionar o arranjo, já que a potência nominal dos módulos raramente é alcançada em clima tropical. Um FDI entre 100% e 120% é considerado conservador. Um FDI mais alto traz a vantagem de reduzir o investimento, mas acarreta um corte de produção em horas de alta irradiância. A figura 4 mostra este efeito: o sistema com FDI de 158% (linha azul) perde energia quando a potência máxima do inversor é alcançada. Já o sistema com FDI de 119% raramente alcança a potência máxima.

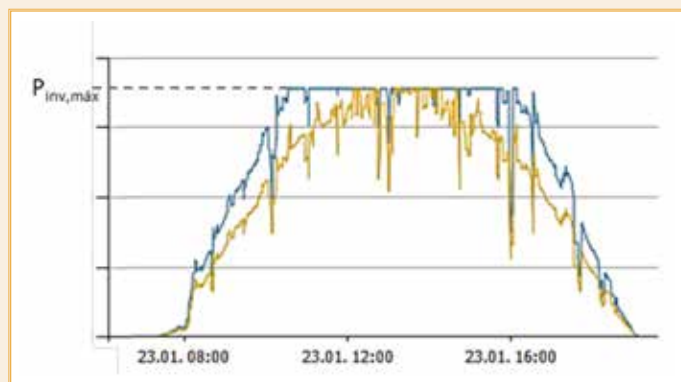


Figura 4: Comparação entre um sistema com FDI de 119% (linha amarela) com um de 158% (linha azul), simulado no software PV*SOL.

Outra desvantagem de um alto FDI é o aquecimento da eletrônica de potência que pode reduzir a longevidade do inversor. Recomenda-se consultar o fabricante para assegurar as condições de garantia.

Um FDI abaixo de 100% é aceitável quando não se encontra um inversor menor com potência adequada, algo frequente em sistemas muito pequenos.

7 - VERIFICAÇÃO DE ALTERNATIVAS

Depois de calcular as condições, podemos verificar alternativas do layout elétrico. Vamos usar um exemplo resumido para compreender este procedimento:

- Pretendemos montar um sistema de 12 kWp, usando 40 módulos de 300 Wp de um determinado modelo;
- Um inversor de 10 kW seria adequado, levando em consideração um FDI de 120%;
- Usamos as fichas técnicas do módulo e do inversor para levantar os dados listados acima e calcular das condições listadas acima;
- Com 40 módulos, temos as seguintes alternativas de layout: cinco strings de oito módulos, quatro strings de 10 módulos ou dois strings de 20 módulos;
- Testamos as alternativas contra as condições apresentadas no capítulo anterior para determinar quais delas são permitidas.
- Em termos elétricos, é favorável aumentar o número de módulos por string para manter a corrente baixa. No entanto, pode haver outros critérios da execução que nos levam a priorizar uma alternativa diferente.

Se nenhuma das alternativas for viável, então é necessário

Configuração dos módulos fotovoltaicos com o inversor									
Local da instalação		Temp	INVERSOR - fabricante		PHB				
4	T ambiente, min [°C]	10	Modelo		PHB60K-MT				
5	T célula, operação, min [°C]	25	P nom [W]		60.000				
6	T célula, operação máx [°C]	75	P max c.c. [W]		75.000				
7			I max [A]		120				
MÓDULO - fabricante		AXITEC	V max [V]		1000				
9	Modelo	AC-330P/154-605	V PMP min [V]		200				
10	P nom [Wp]	330	V PMP max [V]		850				
11	I SC [A]	9,25	Cálculo		Teste por	Valor inversor	Valor módulo	Resultado	Ajustado
12	V PMP nom [V]	37,7	N° máx módulos por string		V max	1000	47,9	20,9	20
13	V OC [V]	45,83	N° min módulos por string		V MPP min	200	32,0	6,2	7
14	Coef V [K/°C]	-0,30%	N° máx módulos por string		V MPP max	850	37,7	22,5	22
15	V OC máx [V]	47,9	N° máx módulos total		P max	75.000	330,0	227,3	227
16	V PMP min [V]	32,0	N° máx strings em paralelo		I max	120	9,3	13,0	12
17	V PMP máx [V]	37,7							
Fator de dimensionamento			Verificação de alternativas		Alternativa	Verificação			
19	Tolerado min	80%	N° strings		13	fora			
20	Ideal min	100%	N° módulos por string		18	ok			
22	Ideal max	120%	N° módulos total		234	fora			
23	Tolerado max	135%	Potência total		77.220	fora			
24			Fator de dimensionamento		129%	tolerado			
27	Preencha ou verifique os campos em azul								
28	Campos cinza mostram resultados intermediários								
29	Campos verde apresentam resultados finais								

Figura 5: A planilha de configuração.



mudar a escolha do equipamento e refazer o cálculo. Isso ocorre com certa frequência com inversores que apresentam uma faixa estreita de tensão.

Se um determinado inversor, por exemplo, permitir somente 19 ou 20 módulos por string, então o número total de módulos deve ser divisível por 19 ou 20, e a área de montagem deve permitir a fixação deste número de módulos.

8 - USO DA PLANILHA

Disponibilizamos no site www.solarize.com.br uma planilha (figura 5) que efetua os cálculos apresentados neste fascículo e que contém um exemplo completo. A planilha serve para configurar projetos reais, ela não é meramente didática. Ela deve ser preenchida na seguinte sequência:

1 - **Local da instalação;**

2 - **Dados do módulo:** preencha os campos em azul. Os campos em cinza apresentam resultados intermediários, e os em verde, resultados finais;

3 - **Dados do inversor:** procure os dados na ficha técnica;

4 - Após preencher os dados acima, o quadro “**Cálculo**” já apresenta as condições de mapeamento, com números mínimos e máximos de módulos e strings;

5 - **Fator de dimensionamento:** informe aqui o limite inferior e superior da faixa tolerada e da faixa ideal;

6 - **Verificação de alternativas:** preenche os campos “Nº de strings” e “Nº módulos por string” e observe o campo “Verificação” à direita, que testa a alternativa contra as condições no quadro “Cálculo”.

A planilha está com os campos todos abertos para que você possa verificar e, se for necessário, modificar as fórmulas.

9 - OUTROS TIPOS DE INVERSORES

Apresentamos o cálculo para a tipologia chamada de “**inversor string**”, com apenas uma entrada. Há outras opções, cuja discussão detalhada extrapola o espaço do fascículo:

- **Inversores multi-MPPT** oferecem mais do que uma entrada, cada uma com seu seguidor de ponto de máxima potência SPMP (inglês MPPT). Neste caso, o cálculo deve ser repetido para cada entrada separadamente, cujas características podem ser diferentes. O fator de dimensionamento deve ser avaliado para cada entrada, e também para inversor como um todo;
- A configuração de **Microinversores**, que atendem de um a quatro módulos, usa os mesmos cálculos apresentados acima;
- Para sistemas com **otimizadores de potência** é necessário efetuar o cálculo para cada otimizador separadamente. Além disso, há regras para o número de otimizadores que podem ser conectados a cada entrada do inversor. Consulte a documentação do fabricante.

10 - PREVISÃO

No presente fascículo, tratamos de arranjos fotovoltaicos homogêneos. A realidade, no entanto, nos desafia com telhados complexos de várias águas e com objetos que causam sombreamento, atrapalhando a geração de energia. Estes desafios serão o tema do próximo fascículo.

**Hans Rauschmayer é sócio-gerente da empresa Solarize Treinamentos Profissionais Ltda., onde montou a abrangente grade de capacitação [visite www.solarize.com.br]. Reconhecido especialista em energia solar, já foi convidado para ensinar e palestrar em universidades, instituições, congressos nacionais e internacionais e vários programas de TV.*



TRAELEL
TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

CONECTADA NA INDÚSTRIA 4.0

Centroaço CTA Assistência Técnica Força Distribuição

Agenda de Eventos