



INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense

Câmpus
Passo Fundo

EDUCAÇÃO
PÚBLICA
100%
GRATUITA

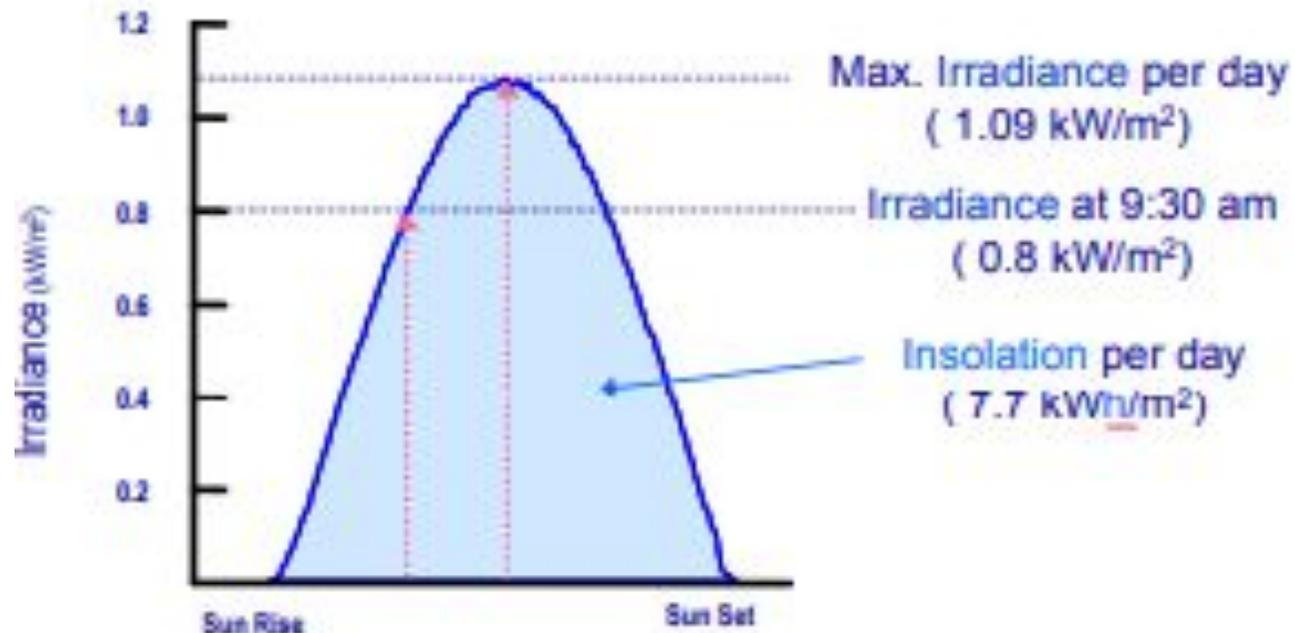
FUNDAMENTOS DE ENERGIAS SOLAR FOTOVOLTAICA

Alexsander Furtado Carneiro

ENERGIA SOLAR

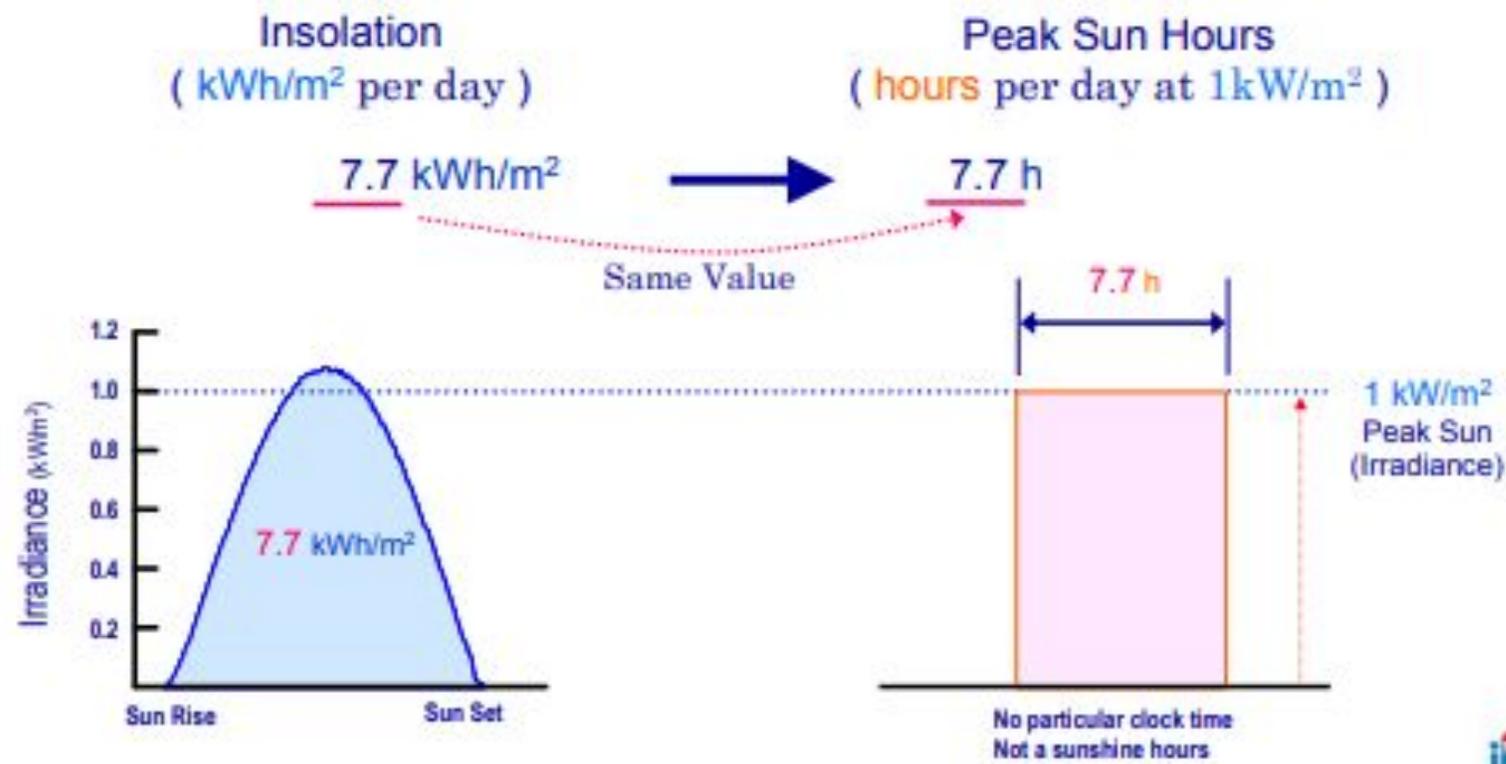
Irradiância - Intensidade da Energia Solar (kW/m^2)

Insolação - Quantidade da Energia Solar (kWh/m^2)



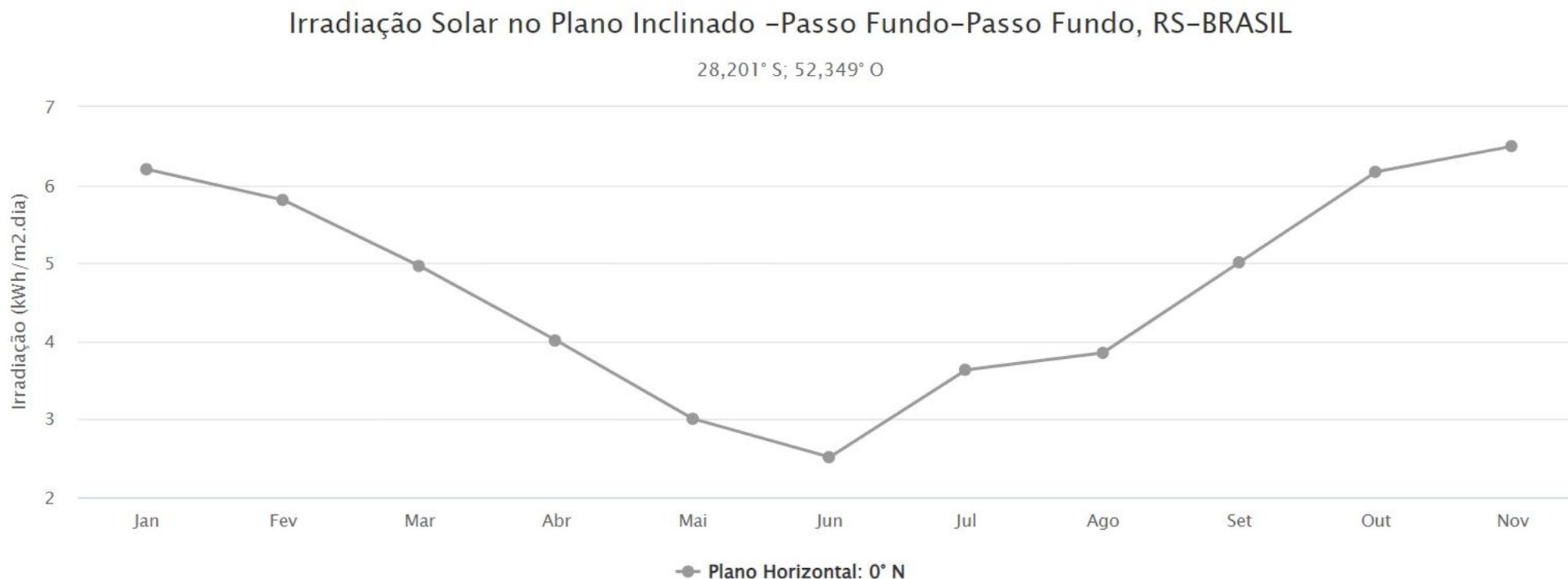
ENERGIA SOLAR - Horas de pico do sol

Horas de pico do sol é usado para calcular a potência de geração dos painéis fotovoltaicos.



ENERGIA SOLAR - Horas de pico do sol

Exemplo: Análise de um sistema em Passo Fundo



Highcharts.com

EDUCAÇÃO
PÚBLICA
100%
GRATUITA

ENERGIA SOLAR - Horas de pico do sol

Exemplo: Análise de um sistema em Passo Fundo

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,16	5,75	4,92	4,00	3,01	2,49	2,85	3,57	3,83	5,02	6,21	6,55	4,53	4,06
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	28° N	5,50	5,50	5,18	4,74	3,95	3,43	3,88	4,43	4,16	4,93	5,63	5,72	4,75	2,30
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	22° N	5,71	5,63	5,20	4,65	3,80	3,27	3,71	4,31	4,15	5,02	5,83	5,98	4,77	2,70
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	48° N	4,54	4,78	4,81	4,76	4,18	3,72	4,18	4,56	3,97	4,38	4,70	4,64	4,43	1,09

Vamos analisar no mês atual (agosto) no plano horizontal em um primeiro momento.

ENERGIA SOLAR - Horas de pico do sol

Exemplo: Análise de um sistema em Passo Fundo

Segundo os dados no mês de agosto temos uma média de 3,57 kWh/m².dia irradiância solar (insolation).

Se considerarmos a potência de teste dos painéis fotovoltaicos, que é de 1 kW/m², teremos neste caso 3.57 horas de pico de sol/dia.

Para verificar a produção de um sistemas fazemos então:

$$P_{\text{gerada}} = 3,57 * P_{\text{pico_sistema}}$$

ENERGIA SOLAR - Horas de pico do sol

Exemplo: Análise de um sistema em Passo Fundo

$$P_{\text{gerada}} = 3,57 * P_{\text{pico_sistema}}$$

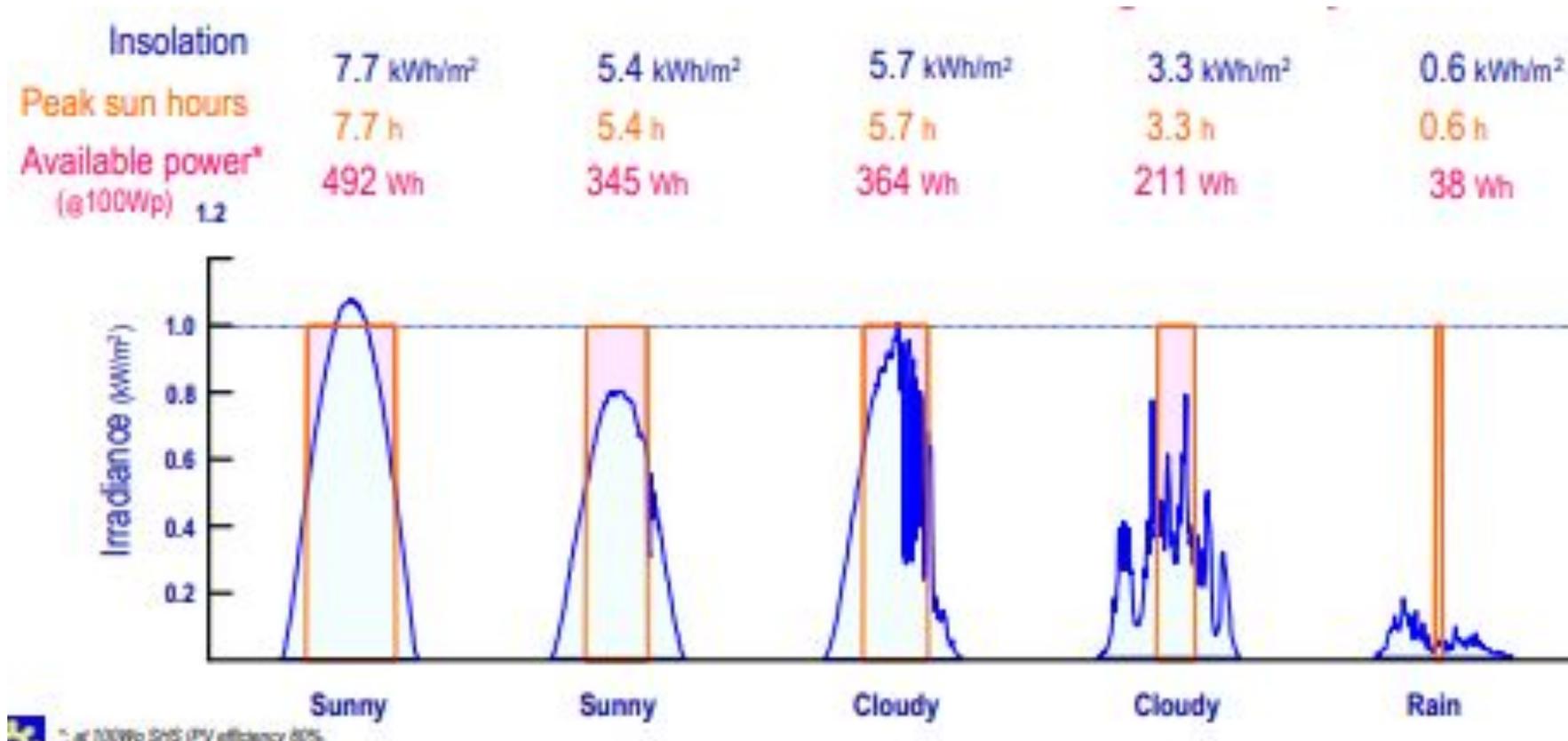
Se um sistema com potência instalada de 6,06 kWp vamos ter um potência gerada de:

$$P_{\text{gerada}} = 3,57\text{h} * 6,06 \text{ kW} = 21,63 \text{ kWh}$$

Neste exemplo, podemos ver que o sistema irá gerar 21,63 kWh por dia.

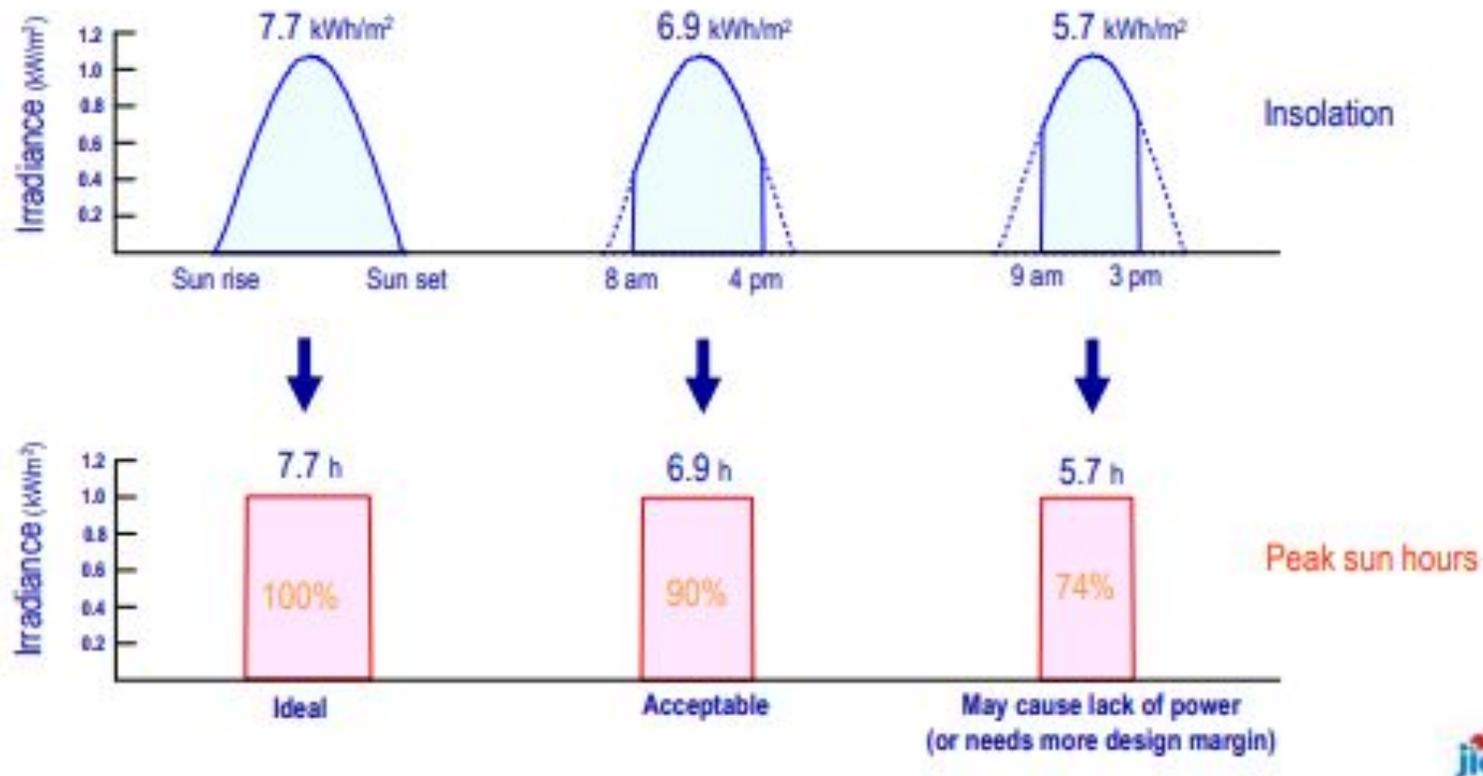
ENERGIA SOLAR - Horas de pico do sol

Porém, podemos ter mudanças neste perfil conforme a condição climática do dia.



ENERGIA SOLAR - Tempo sem sombra

Porém, podemos ter mudanças neste perfil conforme a condição climática do dia.



Módulo fotovoltaico

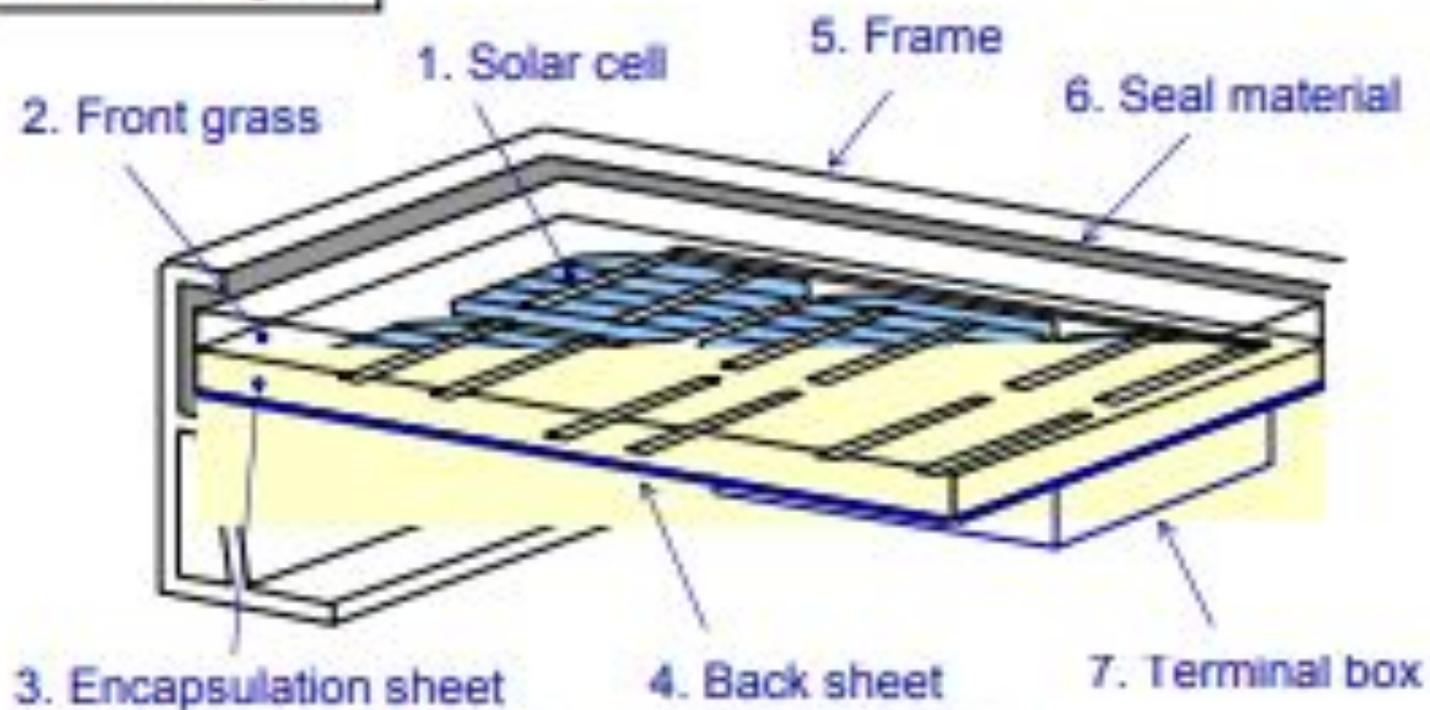
- Papel dos módulo fotovoltaico
- Tipo de módulos fotovoltaicos
- Curva I-V (corrente - tensão)
- Potência de Saída
- Diodos de Proteção

Módulo fotovoltaico - Função do módulo

- O módulo é o responsável pela conversão de energia solar em eletricidade;
- Componente mais confiável do sistema fotovoltaico (em média temos garantia de 20 anos de funcionamento)
- É constituído de células solares, vidro frontal, quadro, caixa de terminais etc.
 - A célula solar é a responsável pela geração de energia
 - A célula solar quebra facilmente e é muito sensível com a humidade.

Módulo fotovoltaico - Função do módulo

Structural diagram



*EVA (Ethylene-vinyl acetate)

*Resistance to water and UV light

*Electrical insulation

*Moisture resistance



so Fundo

Módulo fotovoltaico - Tipo de módulo

- Três tipos de módulos fotovoltaicos são usados para sistemas de potência geralmente.
- Tipo cristalino são usados e são os mais confiáveis
- A eficiência de uma célula unitária não é motivo de preocupação
 - qualquer que seja a eficiência da célula, a saída de um módulo fotovoltaico é classificada como potência
 - A dimensão do módulo fotovoltaico é maior se forem usadas células de baixa eficiência
 - O módulo fotovoltaico amorfo é quase o dobro do tamanho em comparação com o módulo fotovoltaico cristalino

Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica

- A célula solar, ou célula fotovoltaica, é o dispositivo elétrico responsável por converter a energia da luz do sol diretamente em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico.
- Para fabricar os módulos fotovoltaicos, são utilizadas várias células solares interligadas em série.
- Existem diversos tipos de células, que são classificadas pelo material e refinamento usados. Os principais tipos de células fotovoltaicas são produzidos em silício cristalizado, podendo ser monocristalino [mono-Si] ou policristalino [multi-Si].

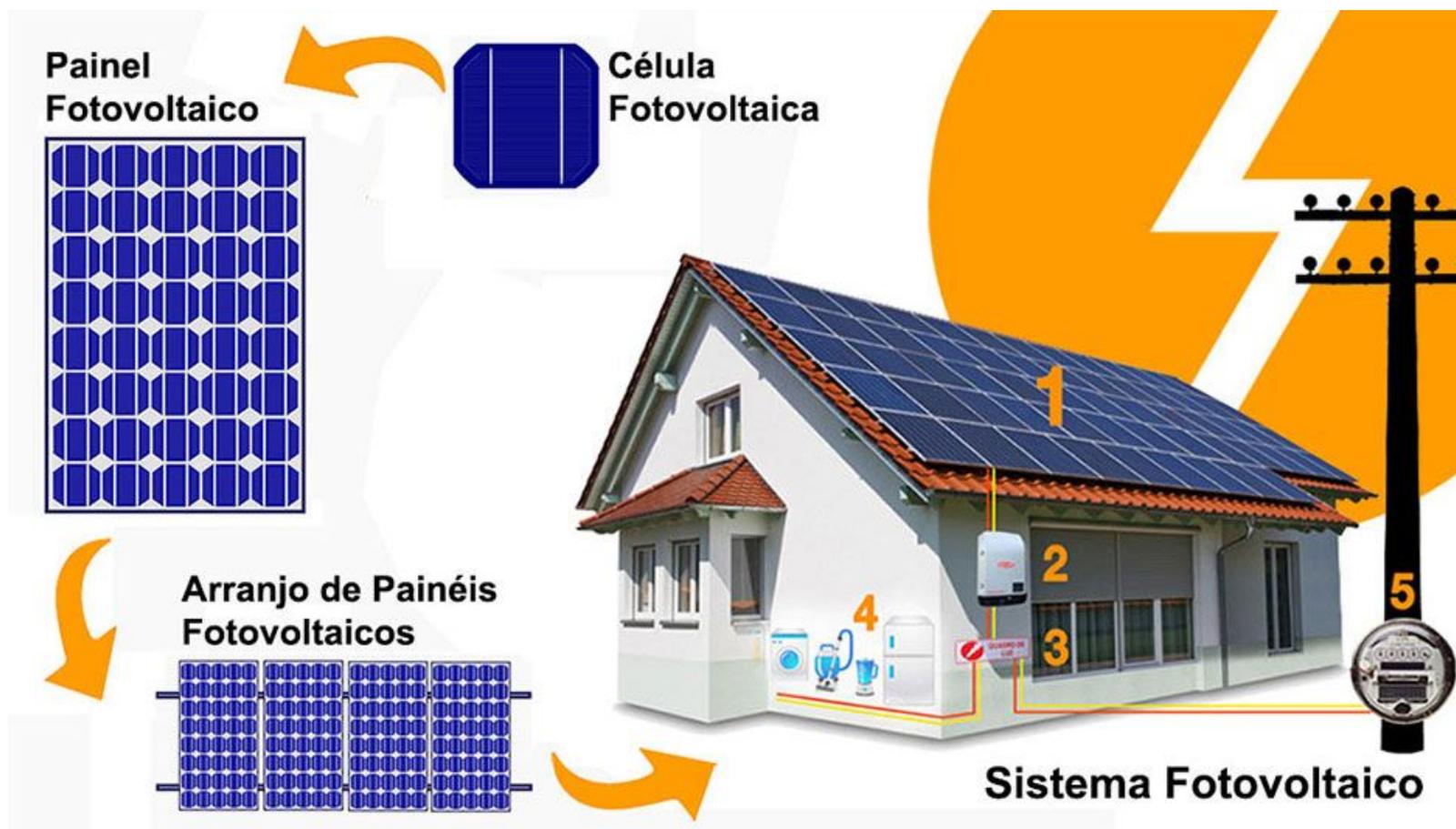
Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica

- A maior parte das grandes usinas fotovoltaicas e dos projetos de geração distribuída instalados em residências e empresas no Brasil utiliza módulos fotovoltaicos com células de silício cristalino, em especial a do tipo policristalino.
- Recentemente, entretanto, os módulos monocristalinos estão se tornando tendência devido à queda de seus preços e liderando o volume comercializado no Brasil.

Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica

- Os fabricantes de módulos solares oferecem modelos com diferentes quantidades de células fotovoltaicas, sendo os mais comuns, atualmente, fabricados com 60, 66 e 72 células ou, no caso de módulos solares Half-Cell, com 120, 132 e 144 “meias células”.
- Como as células são as responsáveis por converter a luz do sol em energia elétrica (a chamada energia solar fotovoltaica), quanto mais células um módulo fotovoltaico possuir, mais energia ele será capaz de gerar.

Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica



Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica

- As células fotovoltaicas funcionam a partir do efeito fotovoltaico, fenômeno constatado pela primeira vez em 1839, na França, pelo físico Alexandre Edmond Becquerel, que fazia experimentos com uma bateria composta por eletrodos de platina e cobre oxidado e imersa em solução eletrolítica ácida.
- Devido às suas semelhanças, o efeito fotovoltaico é comumente confundido com o efeito fotoelétrico, mas tratam-se de processos diferentes, embora ambos sejam originados a partir dos fótons de luz presentes nas ondas eletromagnéticas da energia luminosa do sol.

Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica

- O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons dos átomos de um material, especialmente metálicos, quando ele é exposto à radiação eletromagnética de frequência alta o suficiente para que seus fótons consigam energizar os elétrons e liberá-los do material (essa frequência varia de material para material).
- Já o efeito fotovoltaico é o deslocamento de elétrons entre a banda de valência e a banda de condução de materiais semicondutores ao contato com os fótons de luz de determinada frequência, processo que gera uma tensão elétrica.

Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica

- No entanto, em sua forma original, os materiais semicondutores tendem a permanecer neutros, pois os elétrons ejetados de um átomo são prontamente absorvidos por outro, o que é chamado de efeito de recombinação.
- Dessa forma, para a fabricação de uma célula solar fotovoltaica de silício, o semicondutor é misturado com outros elementos químicos que modificam a sua estrutura original. Esse processo é chamado de dopagem.

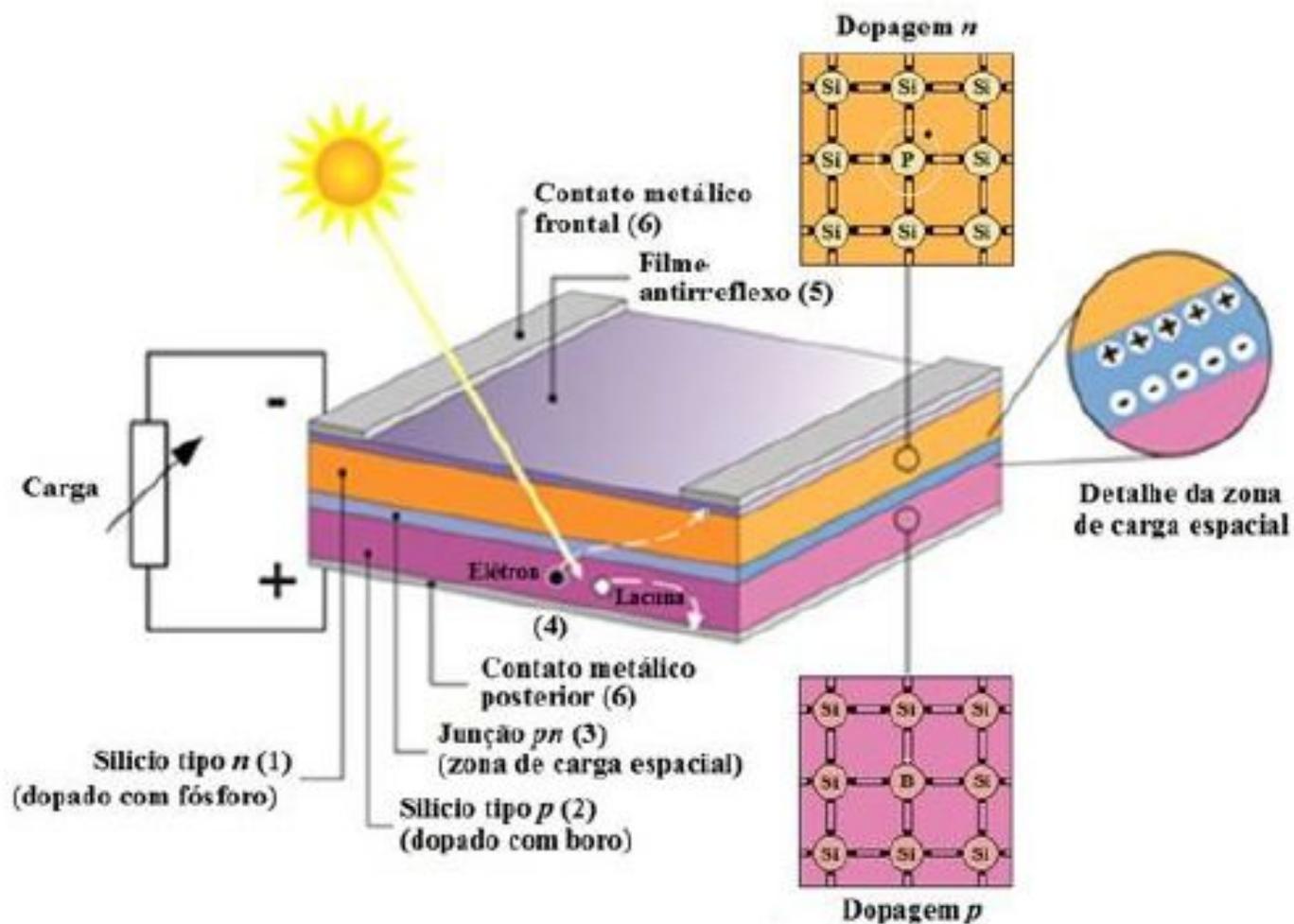
Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica

- Com o uso de diferentes elementos, é possível criar dois tipos distintos do mesmo material semicondutor, um com átomos negativamente carregados (com excesso de elétrons), chamado de Tipo-N, e outro com átomos positivamente carregados (com falta de elétrons ou “buracos”), chamado de Tipo-P.
- A célula solar fotovoltaica convencional é fabricada a partir da união desses dois tipos do semicondutor, com o Tipo-N sobre o Tipo-P, para que, ao receberem os fótons da luz, os elétrons da camada negativa migrem para a camada positiva, criando a corrente elétrica que chamamos de energia solar fotovoltaica.

Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica

- É importante destacar que o fluxo contínuo de elétrons entre as camadas negativa e positiva do semicondutor não acontece naturalmente, pois na área de junção forma-se um campo elétrico que interrompe esse processo. Então, as camadas são conectadas externamente para permitir a corrente contínua de elétrons.

Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica



Módulo fotovoltaico - Célula Fotovoltaica

Para resumir de forma simples, podemos dizer que a célula fotovoltaica funciona a partir da incidência dos raios do sol, que movimentam os elétrons do seu material semicondutor, gerando a corrente elétrica que é captada pelo circuito interno do painel solar.

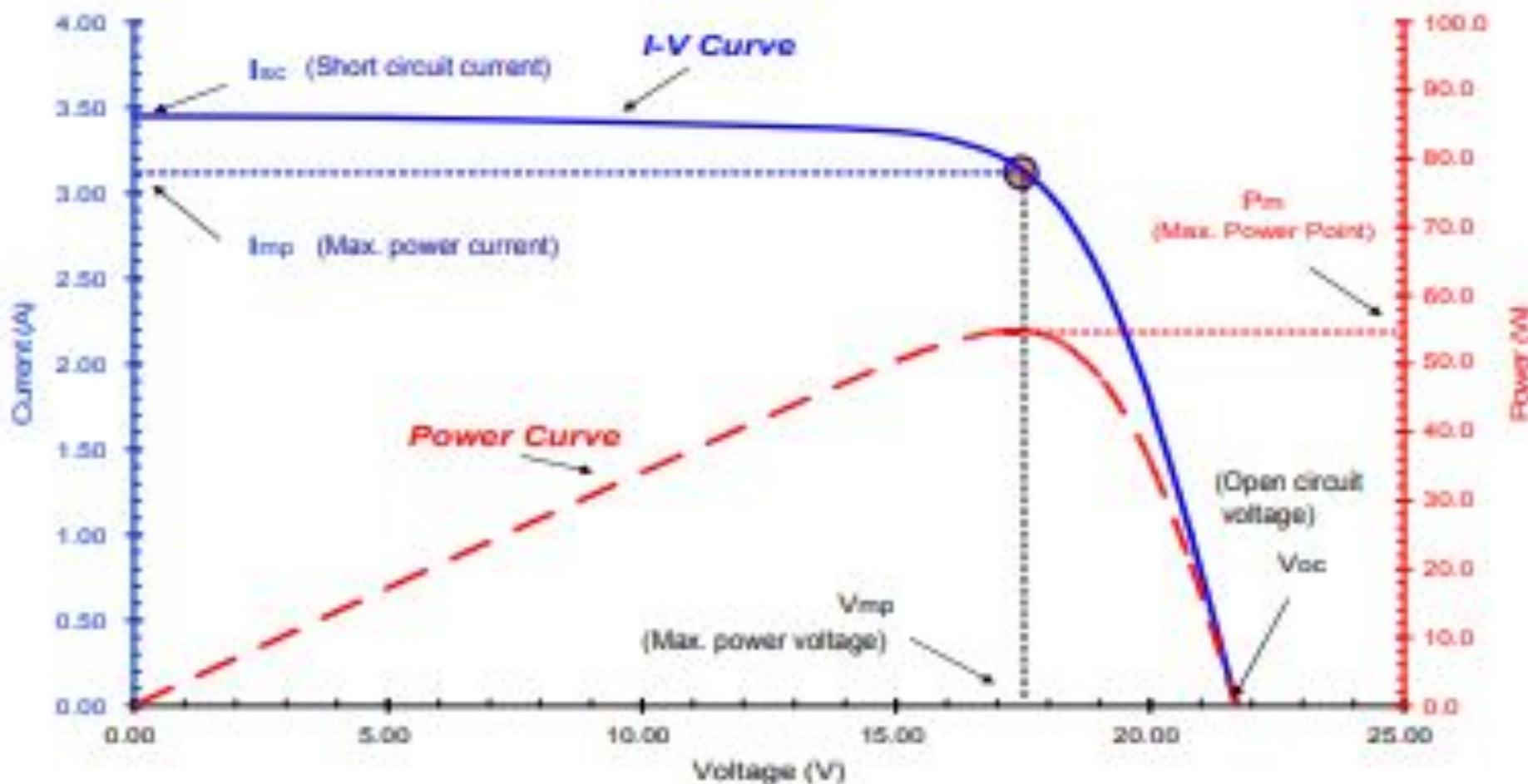
Módulo fotovoltaico - Curva I-V

- A corrente elétrica em uma célula fotovoltaica pode ser considerada como a soma da corrente de uma junção pn no escuro (diodo semiconductor) com a corrente gerada pelos fótons absorvidos da radiação solar.
- Essa corrente em função da tensão no dispositivo, denominada de curva I-V ou curva característica.

Módulo fotovoltaico - Curva I-V

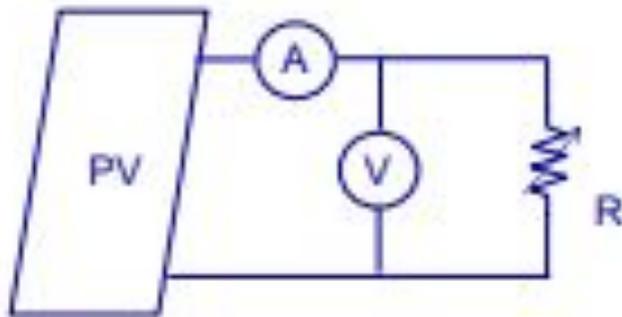
- Diferente de outros dispositivos de geração de energia, a tensão de saída no módulo fotovoltaico varia conforme a geração.
- A corrente de saída, vai depender da tensão que é usada.
- A potência de saída, vai depender da tensão que é usada.
- A máxima potência de saída (W_p) é avaliada nos pontos de V_{mp} e I_{mp} .

Módulo fotovoltaico - Curva I-V

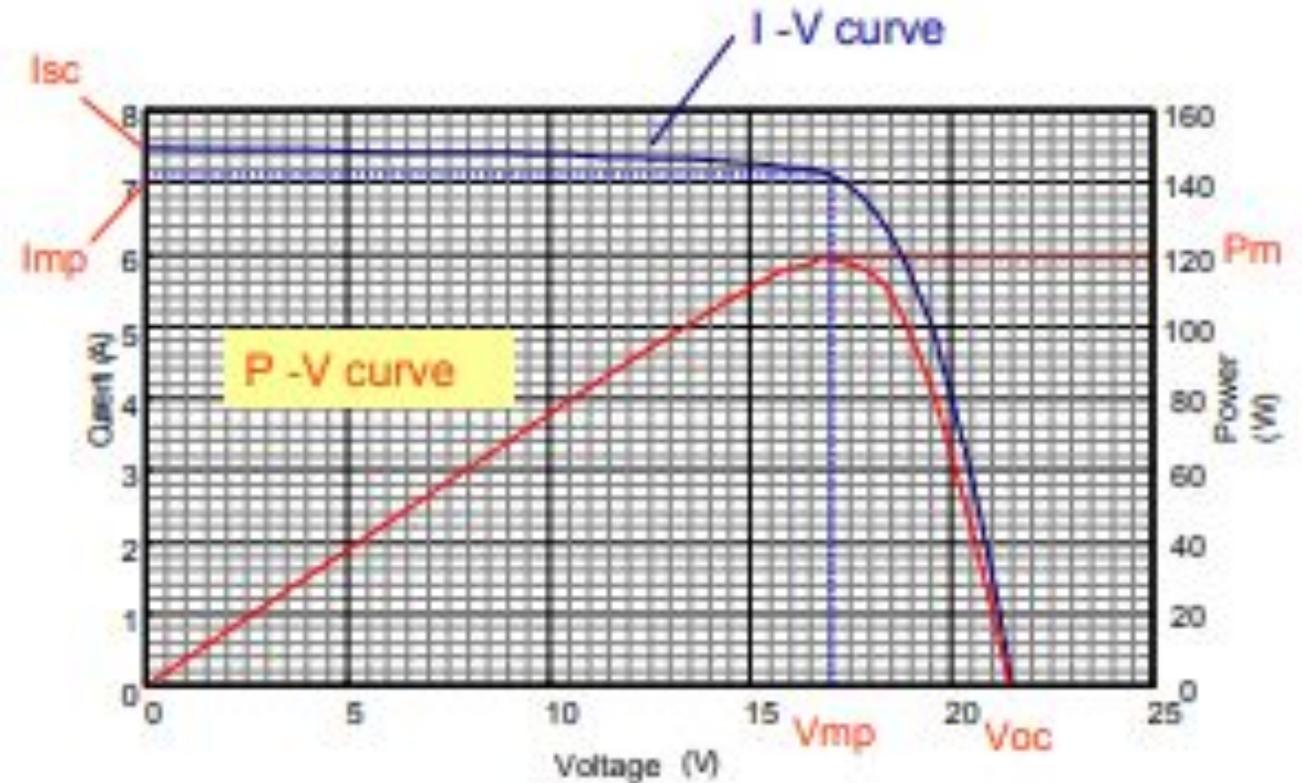


Módulo fotovoltaico - Curva I-V

A curva corrente-tensão do módulo é a informação mais importante na sua folha de dados:



	Short		Open
R	0	→ R1 →	∞
V	0	→ Vmp →	Voc
I	Isc	→ Imp →	0



Módulo fotovoltaico - Curva I-V

VOC - Tensão de circuito Aberto

ISC - Corrente de curto Circuito

Vmp - Tensão de Máxima Potência

Imp - Corrente de Máxima Potência

Pmp - Potência Máxima disponível sob STC Testes.

STC - Standard Test Conditions => AM = 1,5, t = 25° C, Irradiância = 1.0 [kW/m²]

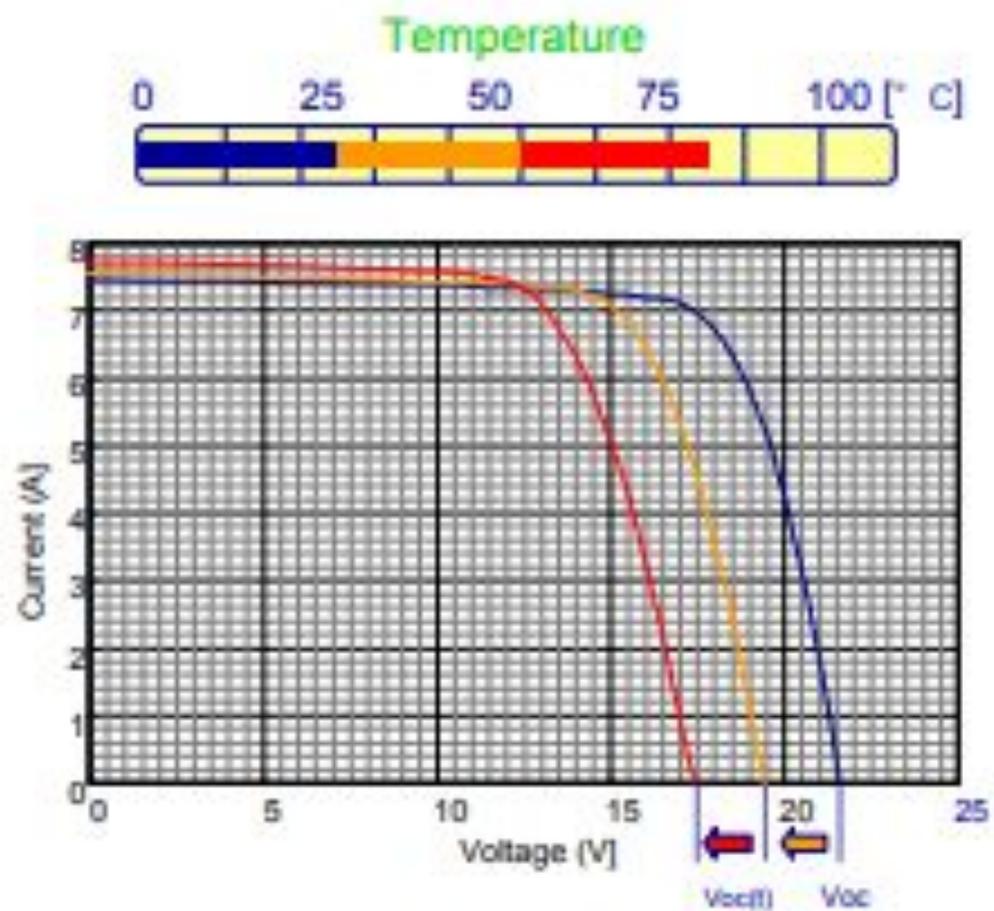
Módulo fotovoltaico - Curva I-V

Outro fator que interfere na saída dos módulos fotovoltaicos é a temperatura.

- Temos uma perda aproximada de 2,2mV/ °C por célula
- Um módulo com 36 células vai ter uma perda de aproximadamente 80 mV/°C.

Uma célula que pode gerar 100 W_{mp} em 25 °C, vai gerar 85 W_{mp} em 55 °C.

Módulo fotovoltaico - Curva I-V



REFERENCIAS

RAO, Singiresu. Vibrações mecânicas. 4.ed. São Paulo, SP: Pearson, c2009. 424 p.
ISBN 9788576052005.

MUITO
OBRIGADO

Alexander Furtado Carneiro

Professor de Eletrotécnica

www.ifsul.edu.br
E-mail de contato
TELEFONE DE CONTATO