

# Energia Solar Fotovoltaica

José Aquiles Baesso Grimoni

PEA-EPUSP

2019

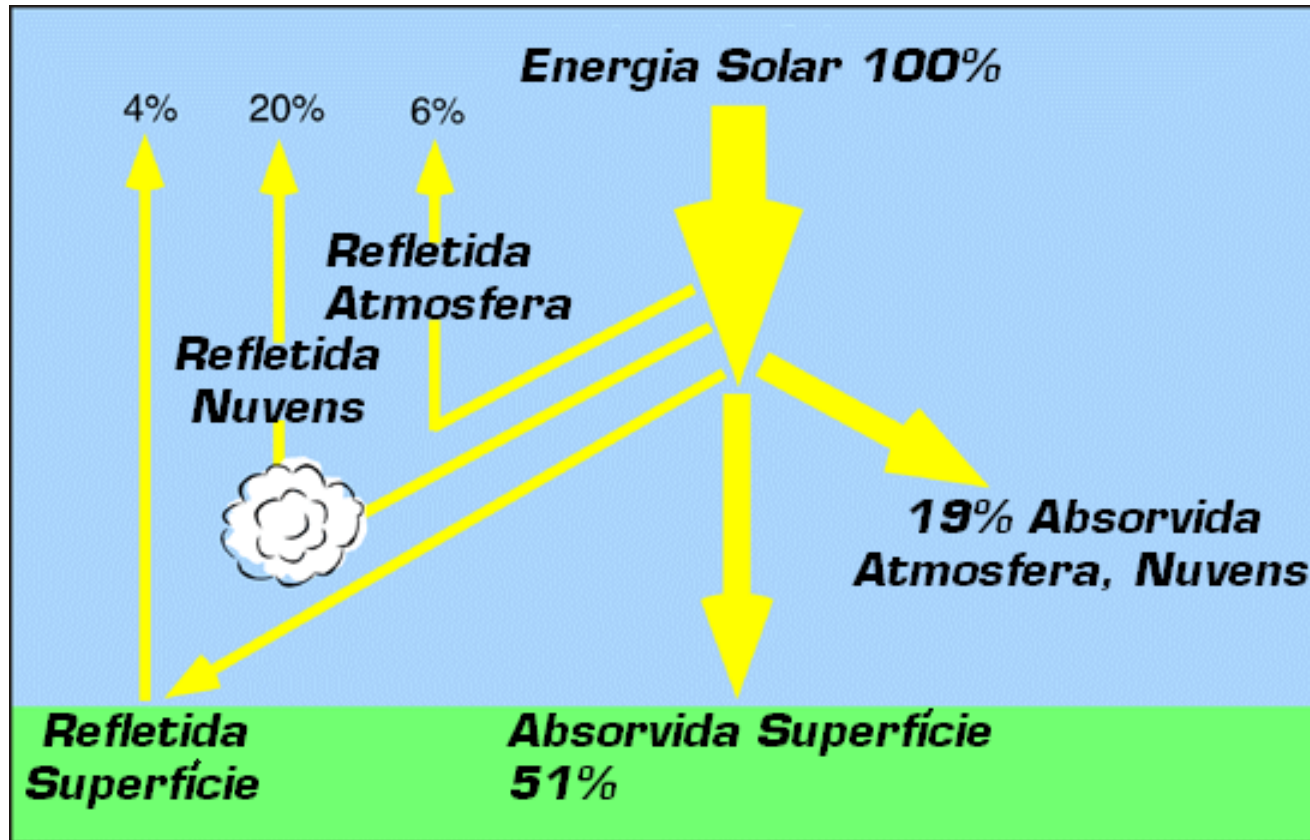
# Agenda

- Energia Solar na Terra
- Origens e Evolução da Energia Fotovoltaica
- Princípio de Funcionamento
- Evolução de Eficiência e dos Custos
- Processo de Fabricação
- Módulos Fotovoltaicos
- Inversor
- Associação de Módulos
- Dimensionamento
- Mercado e Geração de Empregos

## Referências.

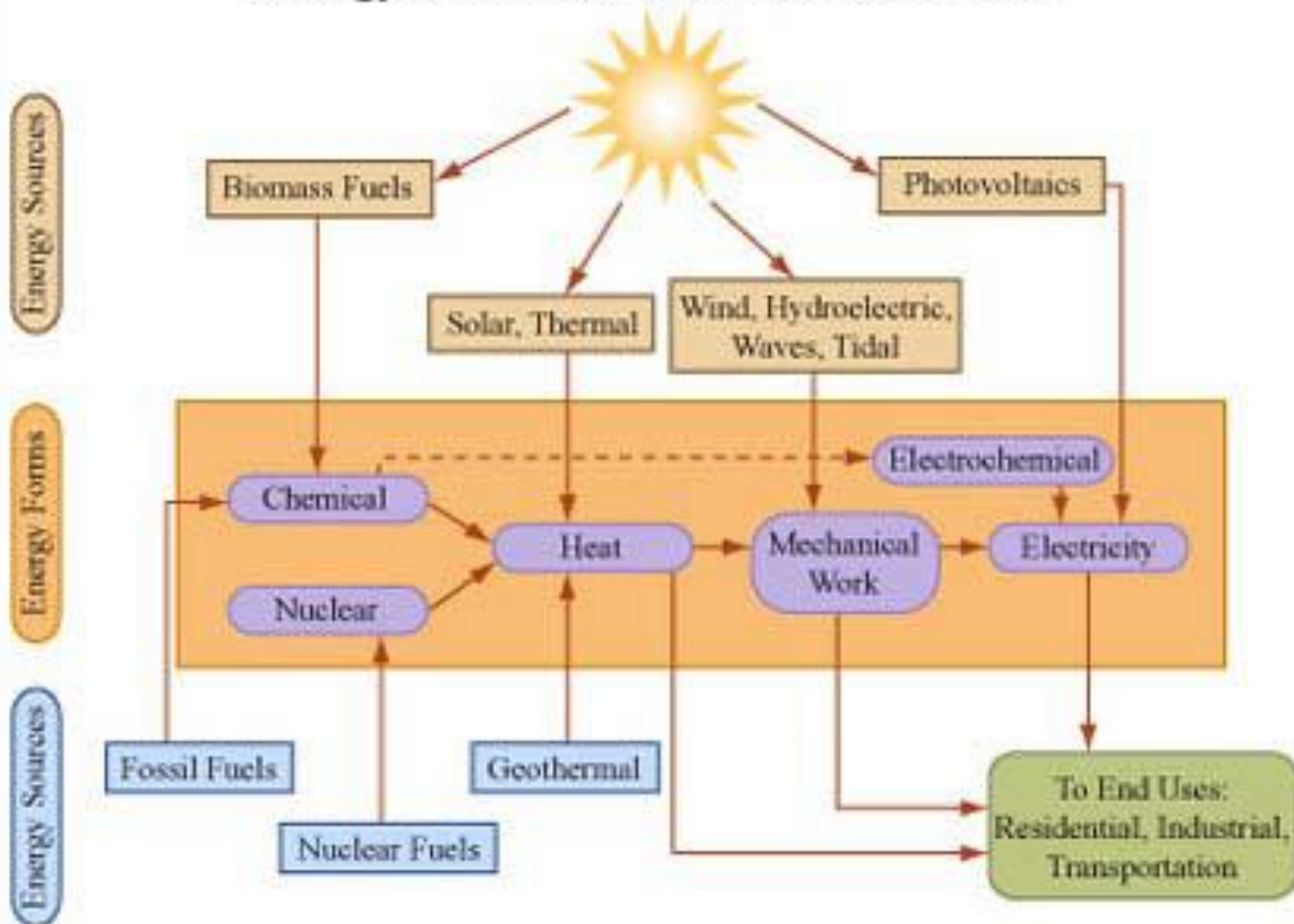
- a) Duffie John A. & Beckman William A.; Solar Engineering of Thermal Processes. 3ed. John Wiley. USA.2006. Ch.23.
- b) Zilles Roberto et alii.; Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica. Oficina de Textos .São Paulo. 2012.
- c) <http://pveducation.org/> Possui fundamentos e especialidade em fotovoltaico
- d) Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos – CRESESB - 2014
- e) Energia Solar Fotovoltaica. Marcelo G. Villalva.2ed Saraiva.2016
- f) Aula de Conceitos Fundamentais de Conversão Fotovoltaica da Energia Solar – ERG006 – Energia Solar - Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética - Professor Claudio Pacheco – Curso PECE - 2018

# Energia Solar na Terra

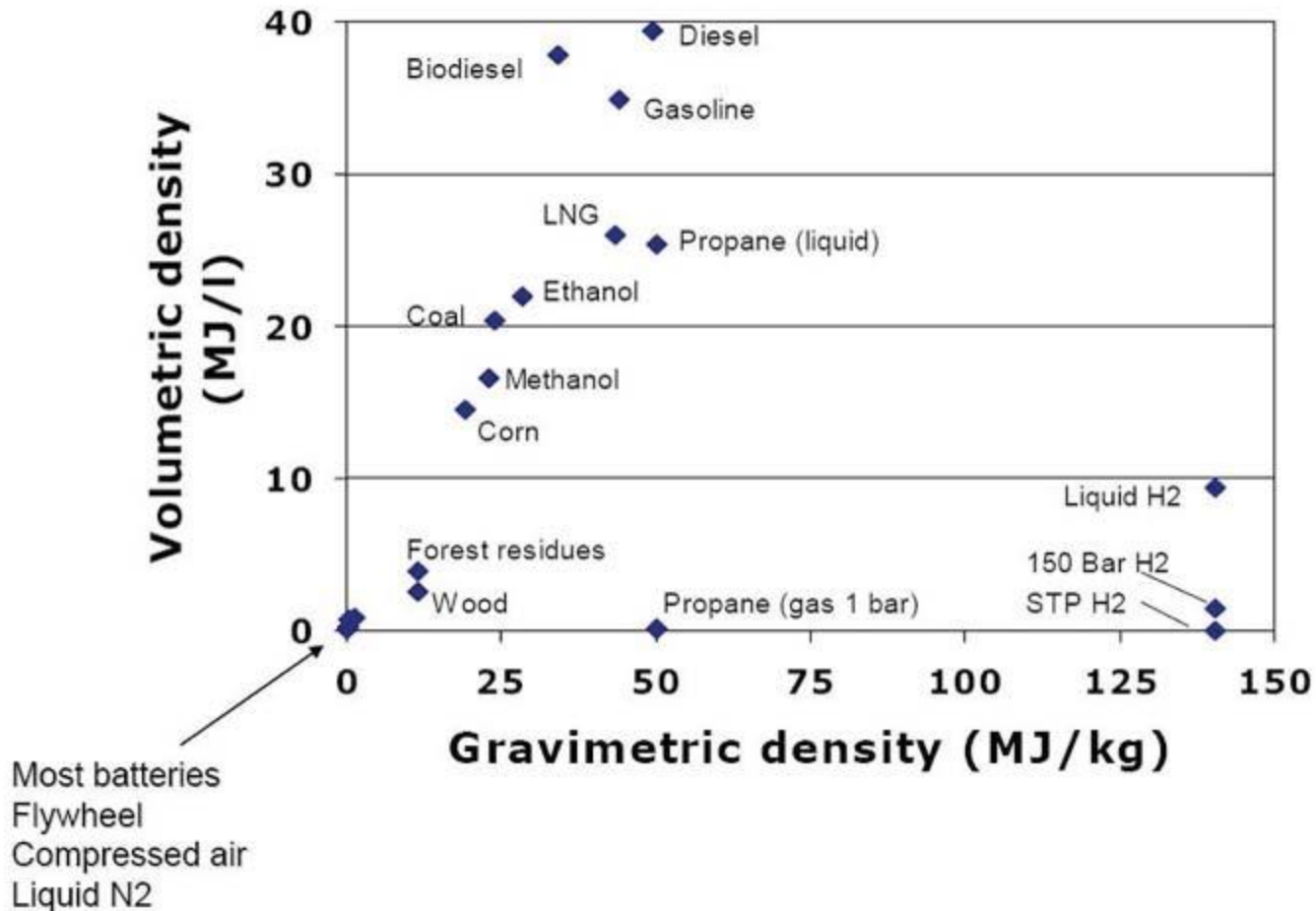




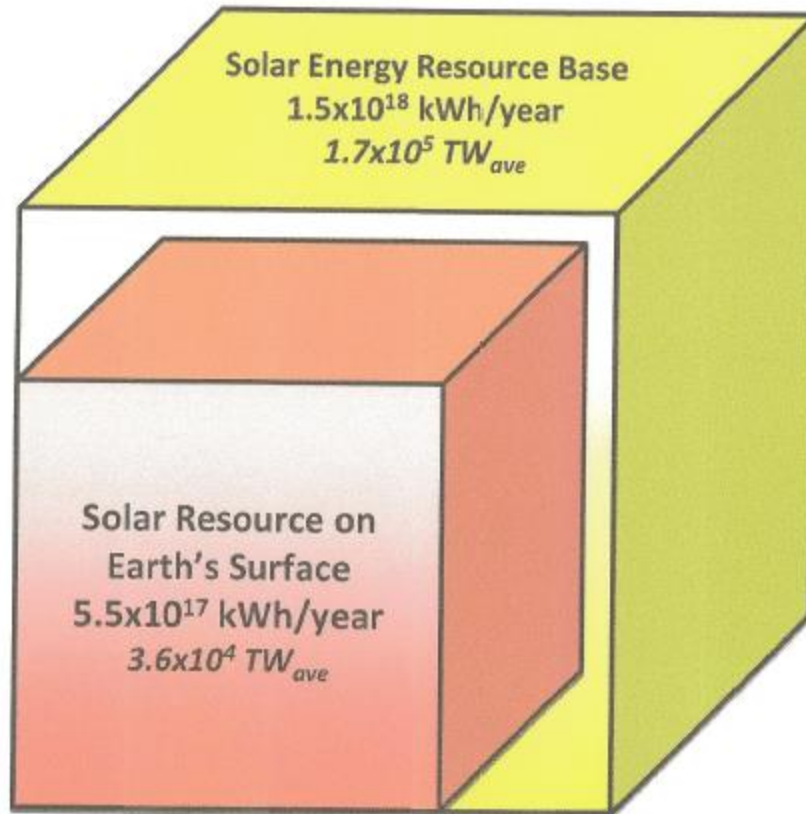
## Energy Sources, Conversions and Use



# Energy Density



# Solar Resource Base



## References:

Wind Energy: C.L. Archer and M.Z. Jacobson, *J. Geophys. Res.* **110**, D12110 (2005).

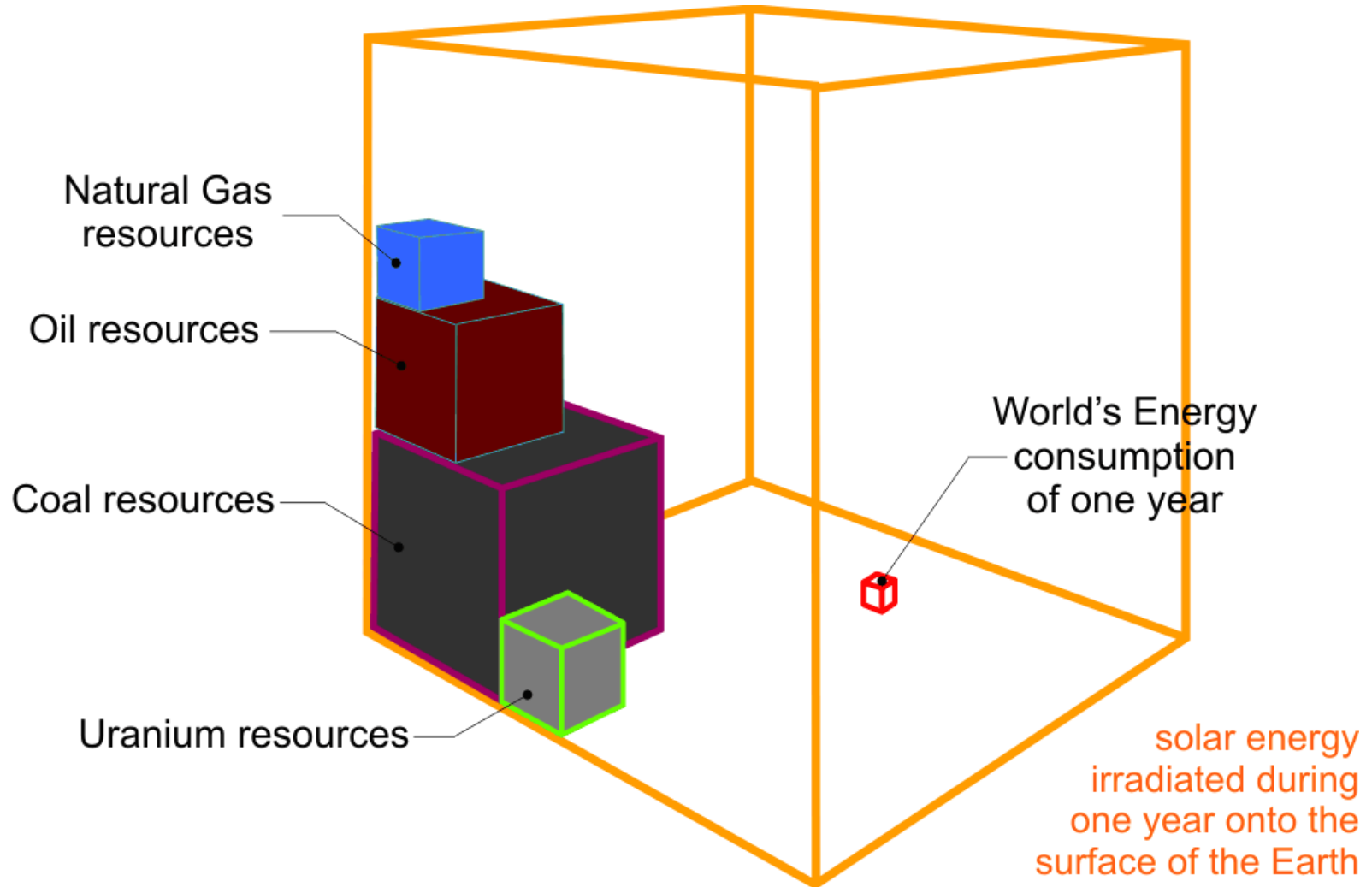


**Wind Energy  
Resource Base**  
 $6 \times 10^{14}$  kWh/year  
 $72$  TW<sub>ave</sub>

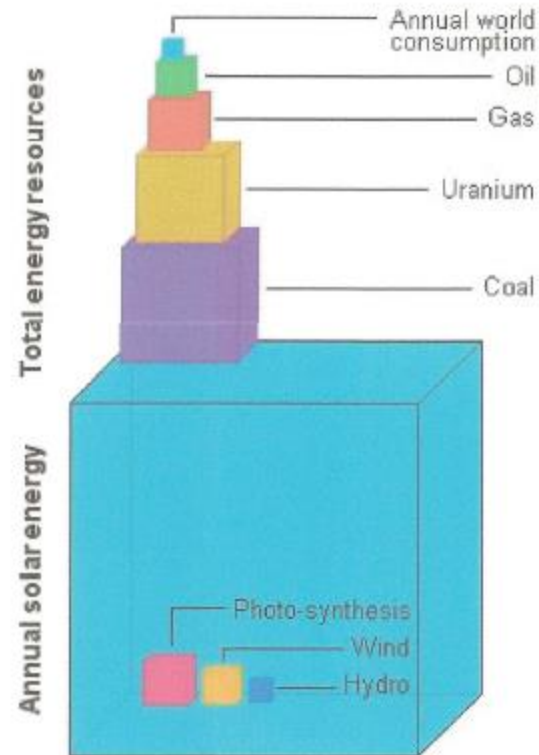


**Human Energy Use  
(mid- to late-century)**  
 $4 \times 10^{14}$  kWh/year  
 $50$  TW<sub>ave</sub>

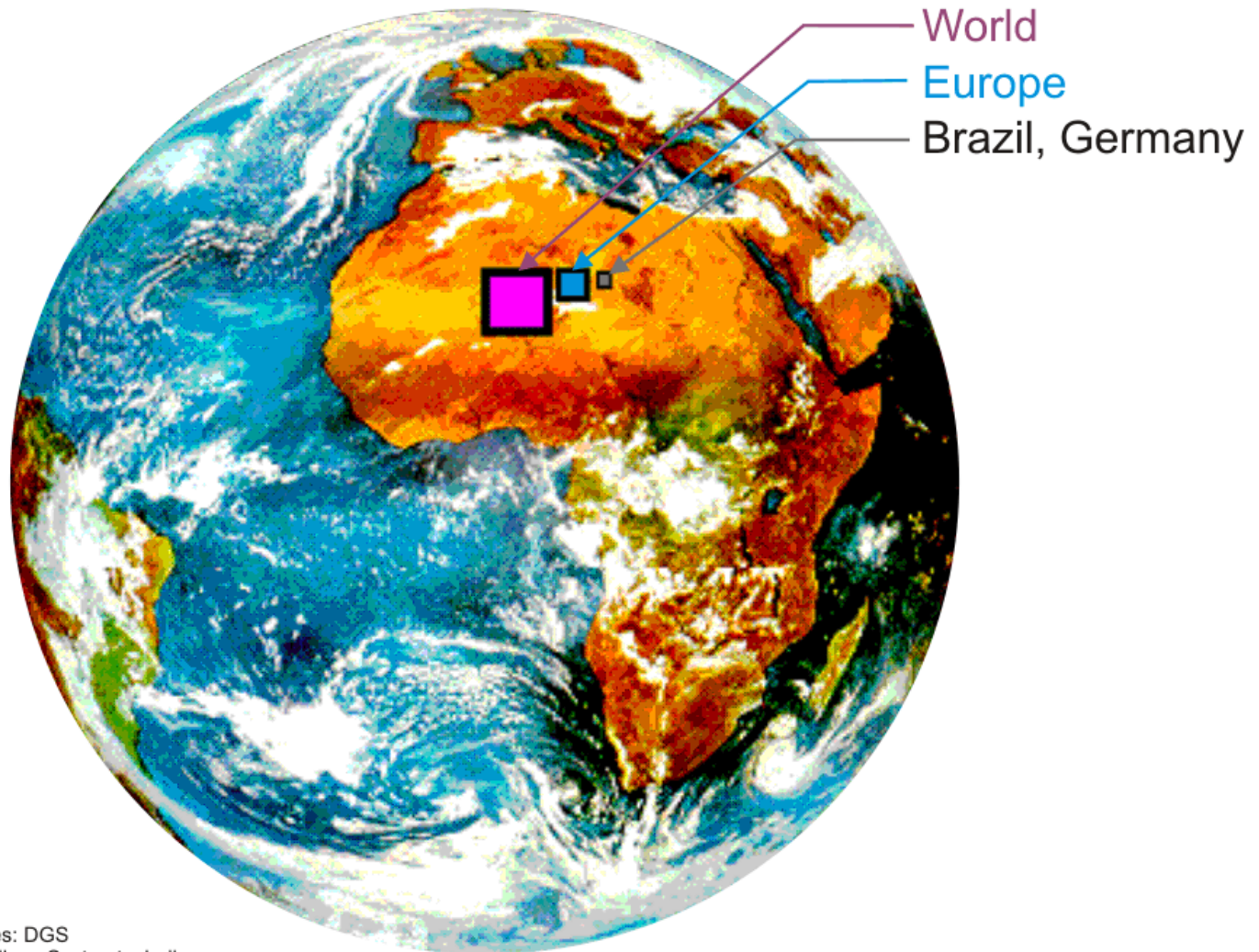
## Energy consumption and resources



# Order of Magnitude of Energy Resources

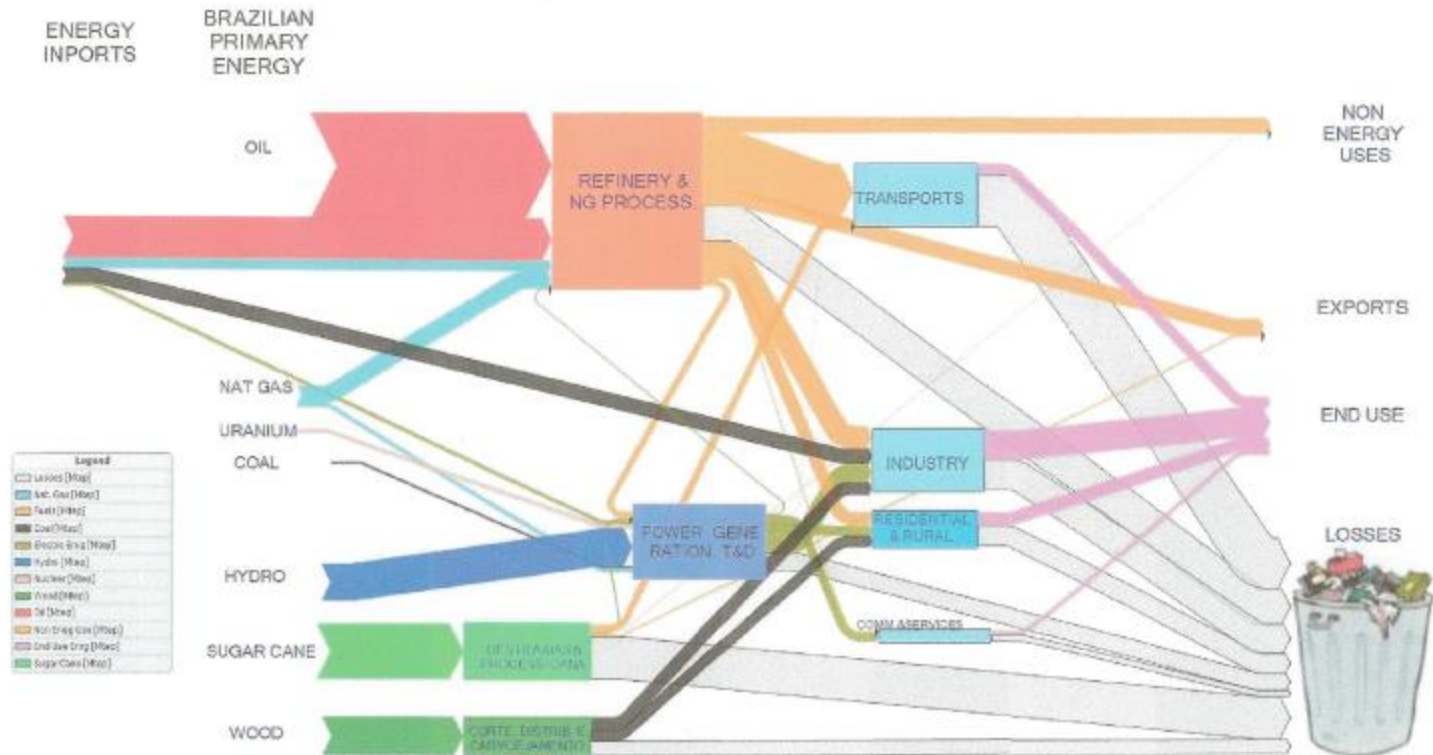


## Area necessary for World's energy supply via photovoltaics





# Diagrama de Sankey

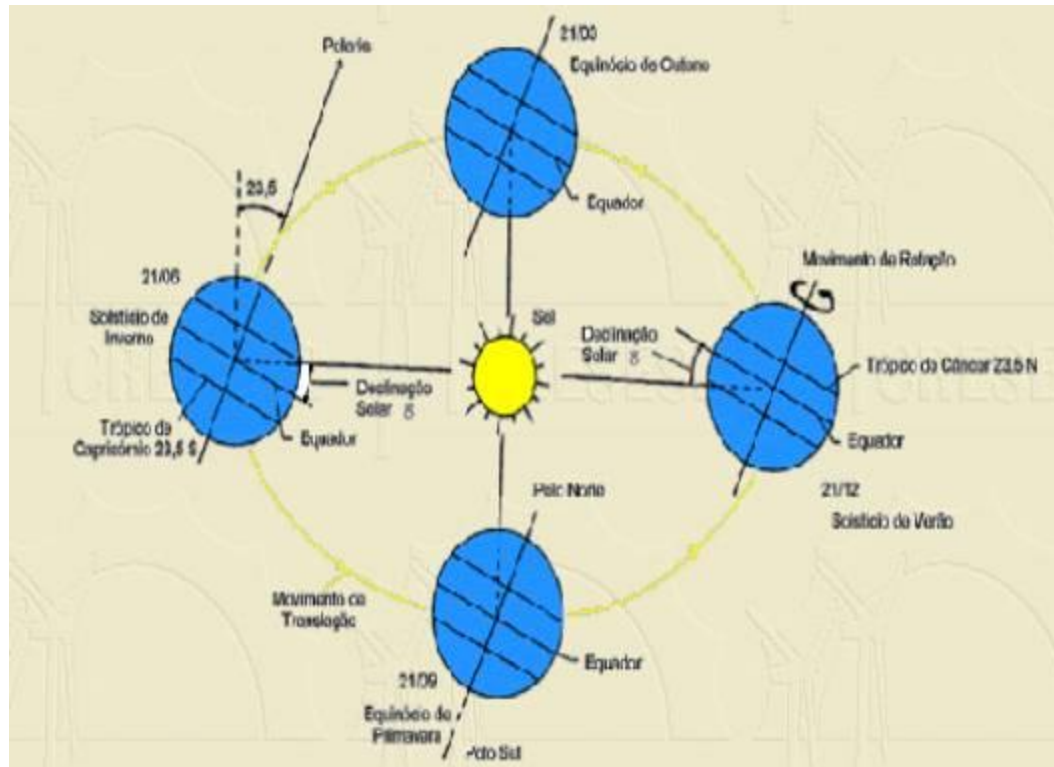


# O recurso solar: características

**Energia recebida pela terra:**  $1,5125 \times 10^{18}$  kWh / ano de energia

**Radiação solar:** Radiação eletromagnética

$\lambda$  = Constante solar       $\lambda$  = 1367 W / m<sup>2</sup>



Quantidade de energia que incide numa superfície unitária, normal aos raios solares, por unidade de tempo, numa região situada no topo da atmosfera

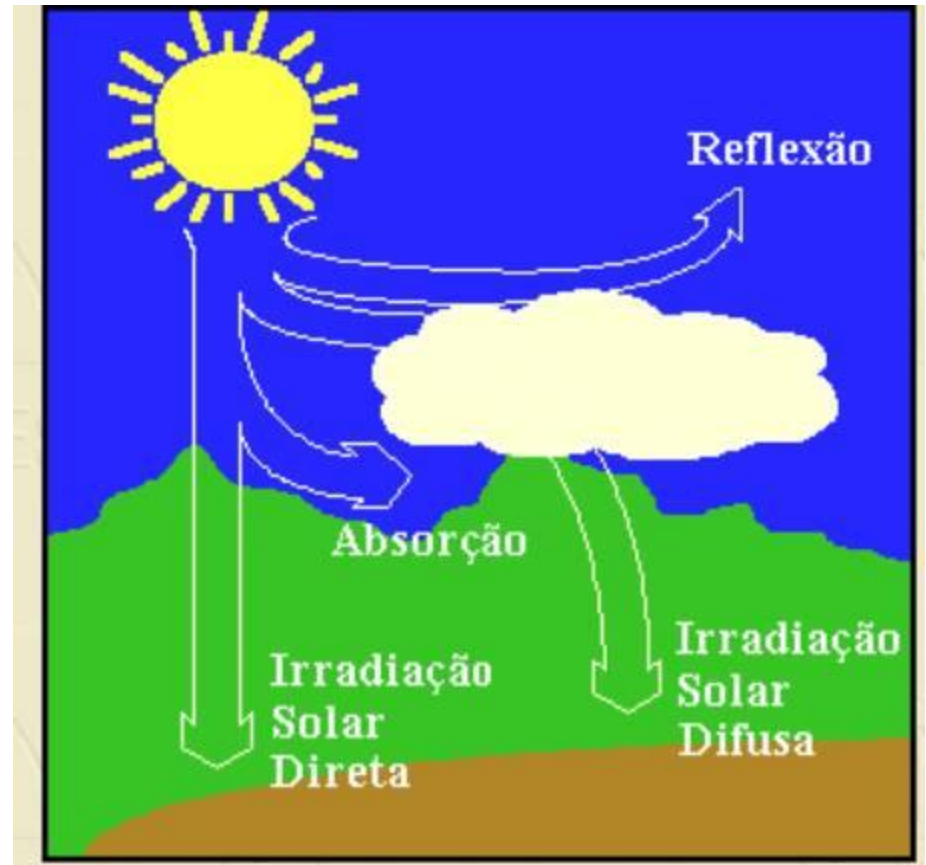


# Componentes da radiação solar ao nível do solo

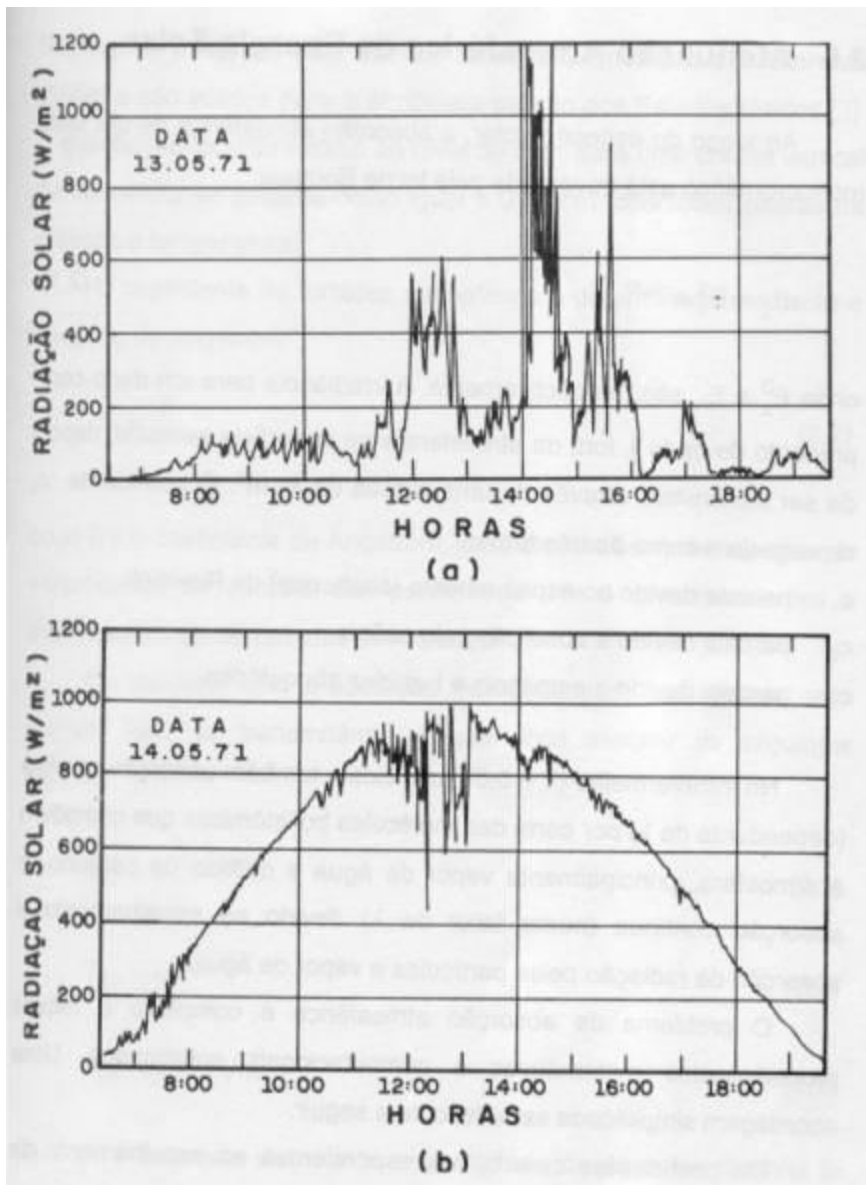
**Radiação direta** - fração da radiação solar que atinge a superfície terrestre sem sofrer desvio nenhum

**Radiação difusa** - atinge a superfície da terra em diversas direções devido as modificações introduzidas pela atmosfera e a presença de nuvens

**Radiação refletida** - Refletida pelo ambiente do entorno



# Radiação Solar na Superfície Terrestre



## Variabilidade da radiação solar

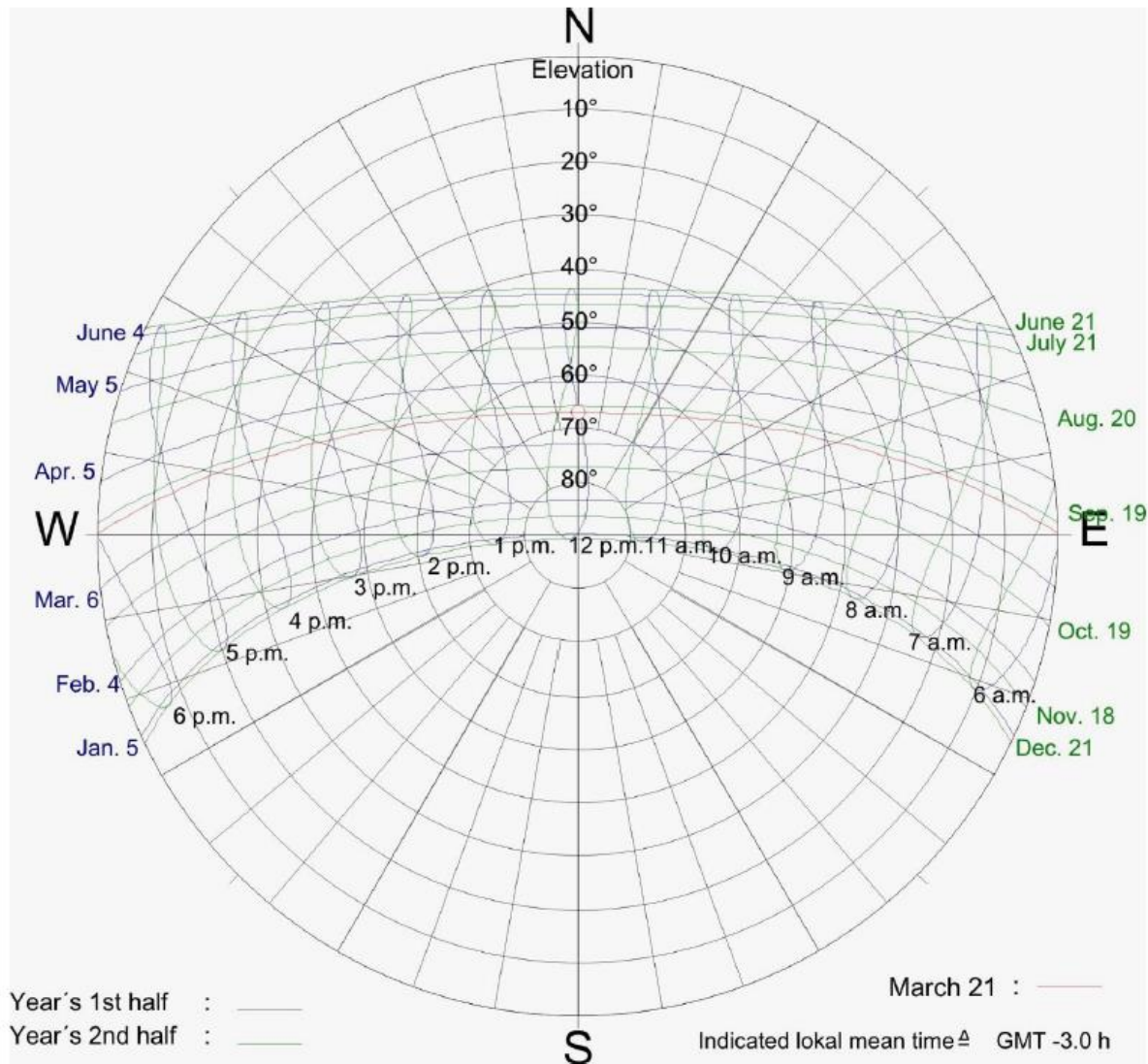
### Função:

- alternância de dias e noites
- estações do ano
- períodos de passagem de nuvens

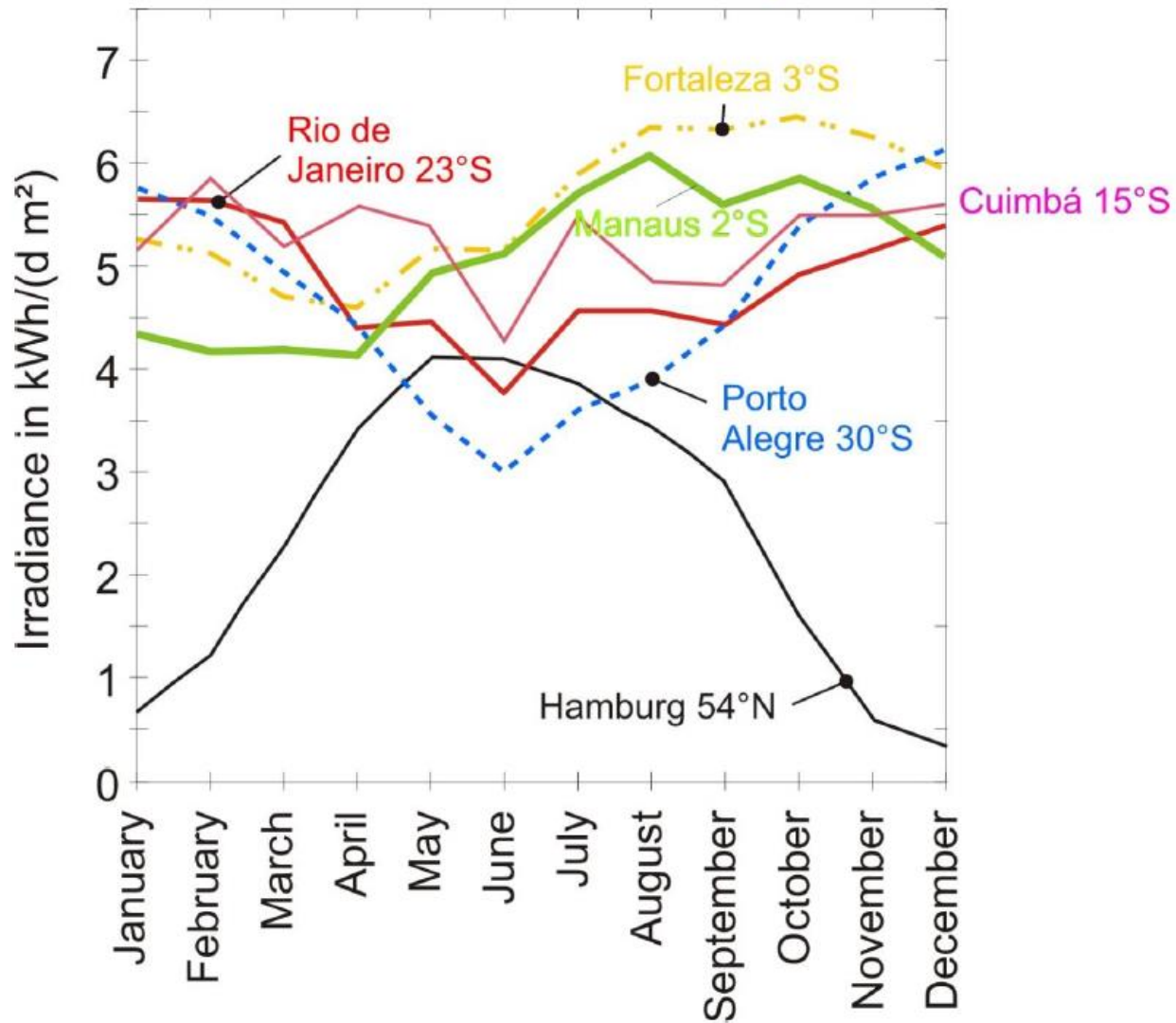
### Condições atmosféricas ótimas:

- Ao nível do mar =  $1 \text{ kW/m}^2$
- A 1000 metros de altura =  $1,05 \text{ kW/m}^2$
- Nas altas montanhas =  $1,1 \text{ kW/m}^2$
- Fora da atmosfera =  $1,367 \text{ kW/m}^2$

# Path of sun in Rio de Janeiro (23.5°S) on azimuth plane



## Daily irradiance during a year: Brazil vs. Germany



# Dados de Radiação Solar

<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>

The screenshot displays a web browser window with the URL [www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&). The page header features the CRESESB logo, a navigation menu with links to 'Principal', 'O Cresesb', 'Links', and 'Fale conosco', and logos for the Brazilian Government and Eletrobras Cepel. A sidebar on the left lists various resources like 'Casa Solar Eficiente', 'Tutorial', and 'Publicações'. The main content area is titled 'Potencial Solar - SunData v 3.0' and includes a detailed description of the program's purpose in calculating solar radiation. Below the text, there are several expandable sections for 'Base de Dados de radiação solar incidente', 'Busca por Coordenadas', 'Cálculo da Irradiação no plano Inclinado', 'Apresentação dos Dados', and 'Sobre o Sundata'. At the bottom, a 'Coordenada Geográfica' section contains input fields for Latitude and Longitude, with dropdown menus for hemispheres (Sul, Norte) and directions (Oeste, Leste).

Entrada - josegrimonio@gmail... x Entrada (3.918) - jose.grimonio... x CRESESB - Centro de Referência para... x

www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&

Mais visitados Primeiros passos Entrada - josegrimonio... Galeria do Web Slice Webmail :: Bem-vindo...

**Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**

PT EN

Ministério de Minas e Energia

**BRASIL**

Eletrobras Cepel

Principal O Cresesb Links Fale conosco

» Potencial Energético

**Potencial Solar - SunData v 3.0**

Última modificação: 25.01.2018 [Mostrar todos](#)

O programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. A primeira versão do programa foi elaborada em 1995 com a finalidade de auxiliar o dimensionamento dos sistemas nas diversas fases do PRODEEM e foi adaptado, no ano seguinte, para consulta via web. A primeira e a segunda versão do SunData utilizaram dados do *Valores Médios de Irradiação Solar Sobre Suelo Horizontal* do Centro de Estudos de la Energia Solar (CENSOLAR, 1993) contendo valores de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes. Após a publicação da 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017, o Cresesb obteve autorização para utilizá-lo na atualização da base de dados do SunData. Produzido a partir de um total de 17 anos de imagens de satélite e com informações de mais de 72.000 pontos em todo o território brasileiro, o Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição é o que se tem de mais moderno em informações de irradiação solar no Brasil. Vale lembrar que as informações apresentadas são indicativas e possuem as limitações dos modelos utilizados. Para avaliações mais precisas recomenda-se a medição da irradiação no local de interesse.

[Base de Dados de radiação solar incidente \(irradiação solar\)](#)

[Busca por Coordenadas](#)

[Cálculo da Irradiação no plano Inclinado](#)

[Apresentação dos Dados](#)

[Sobre o Sundata](#)

**Coordenada Geográfica**

**Latitude** **Longitude**

Sul  Oeste

Norte:

11:33 14/11/2018

# Exemplo – São Paulo

São Paulo

Latitude 23.5505° S e Longitude 46.6333° W

## Localidades próximas

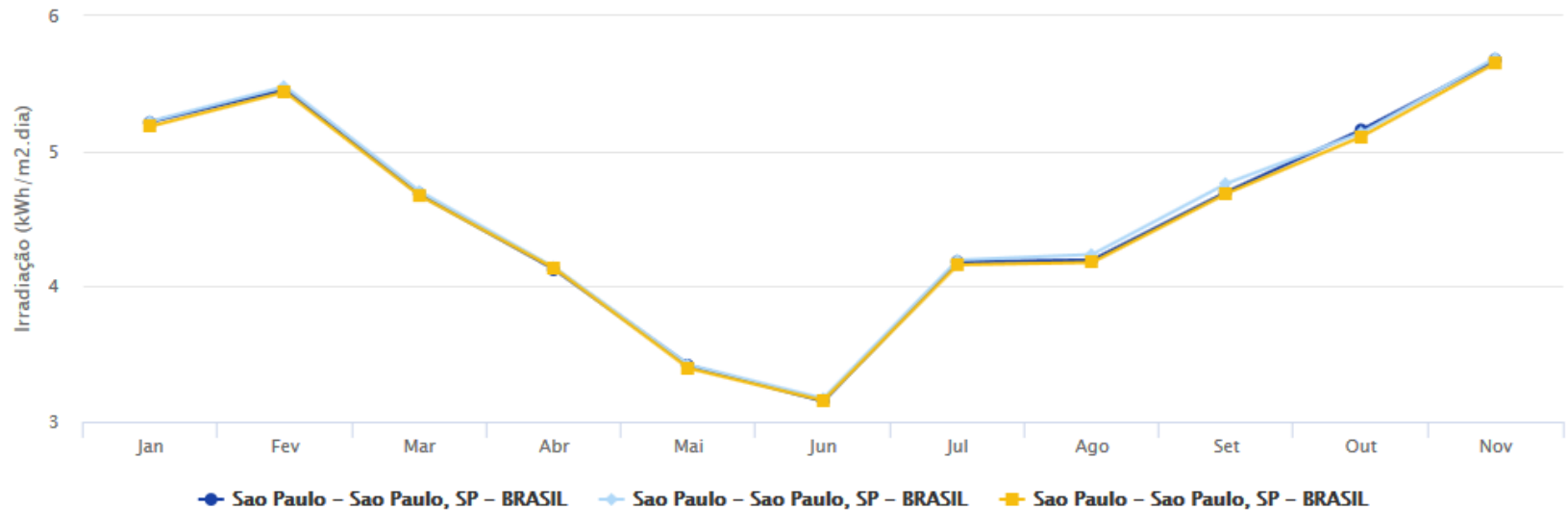
Latitude: 23,5505° S

Longitude: 46,6333° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Paulo	Sao Paulo	SP	BRASIL	23,601° S	46,649° O	5,8	5,22	5,46	4,68	4,13	3,42	3,15	3,26	4,18	4,20	4,70	5,16	5,67	4,43	2,52
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Paulo	Sao Paulo	SP	BRASIL	23,5° S	46,649° O	5,8	5,22	5,48	4,70	4,14	3,42	3,17	3,24	4,20	4,24	4,76	5,14	5,69	4,45	2,52
<input checked="" type="checkbox"/>	Sao Paulo	Sao Paulo	SP	BRASIL	23,601° S	46,549° O	10,3	5,19	5,44	4,67	4,14	3,40	3,16	3,26	4,16	4,18	4,69	5,11	5,65	4,42	2,50

## Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

23,5505° S; 46,6333° O





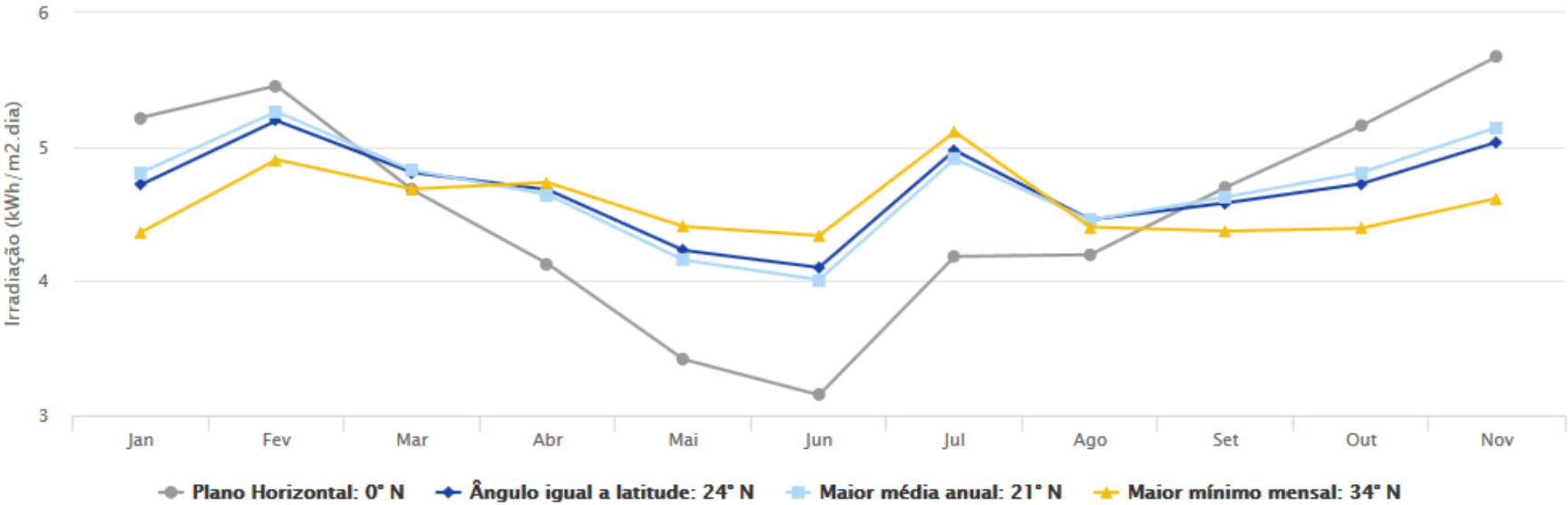
Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Sao Paulo  
Município: Sao Paulo , SP - BRASIL  
Latitude: 23,601° S  
Longitude: 46,649° O  
Distância do ponto de ref. ( 23,5505° S; 46,6333° O ) :5,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,22	5,46	4,68	4,13	3,42	3,15	3,26	4,18	4,20	4,70	5,16	5,67	4,43	2,52
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	24° N	4,72	5,19	4,81	4,68	4,23	4,10	4,14	4,97	4,46	4,58	4,72	5,04	4,64	1,09
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	4,81	5,26	4,83	4,64	4,16	4,01	4,06	4,91	4,45	4,63	4,81	5,14	4,64	1,25
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	34° N	4,36	4,90	4,69	4,73	4,41	4,34	4,35	5,11	4,40	4,37	4,39	4,62	4,56	,77

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Sao Paulo–Sao Paulo, SP–BRASIL

23,601° S; 46,649° O



# 3 ENERGIA SOLAR - Características

## 3 Estimativa dos dados solarimétricos:

### 3 Instrumentos de medida:

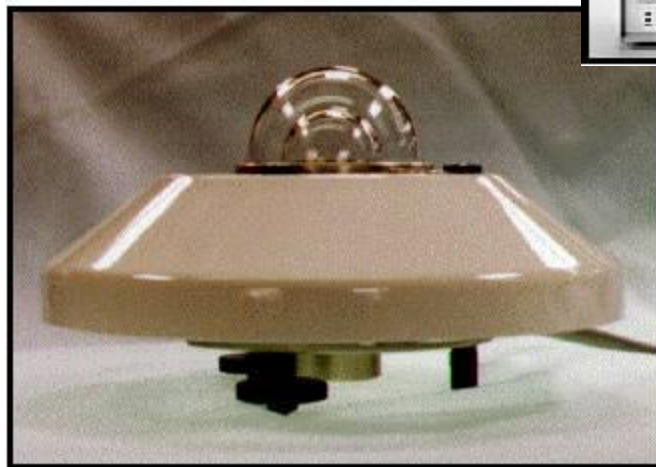
- Piranômetro
- Piroeliômetro
- Heliógrafo

#### Unidades:

- Langley/dia= cal/dia
- W/m<sup>2</sup>
- Wh/m<sup>2</sup>

SP = N. de horas de  
sol pleno

Piroeliômetro



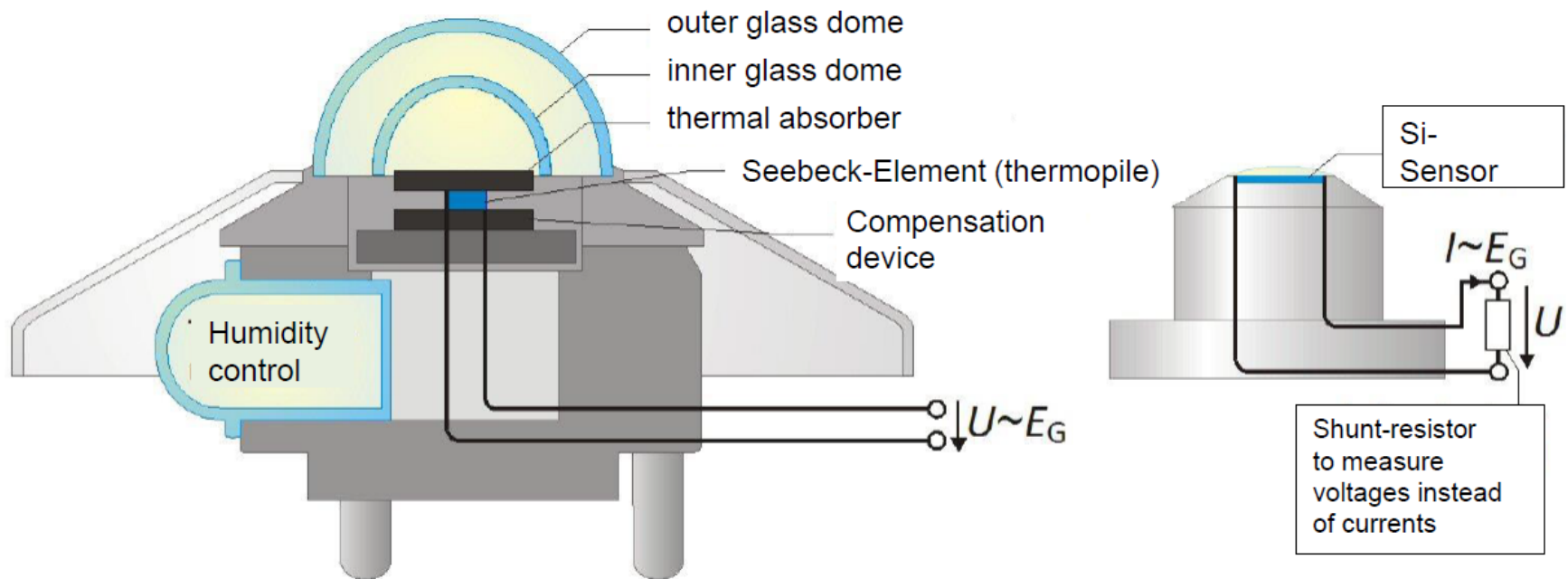
Piranômetro



Heliógrafo



# Measurement of solar irradiance: Pyranometer (total irradiance, full spectrum) VS. Photocell (selective: spectrum considered partly only)



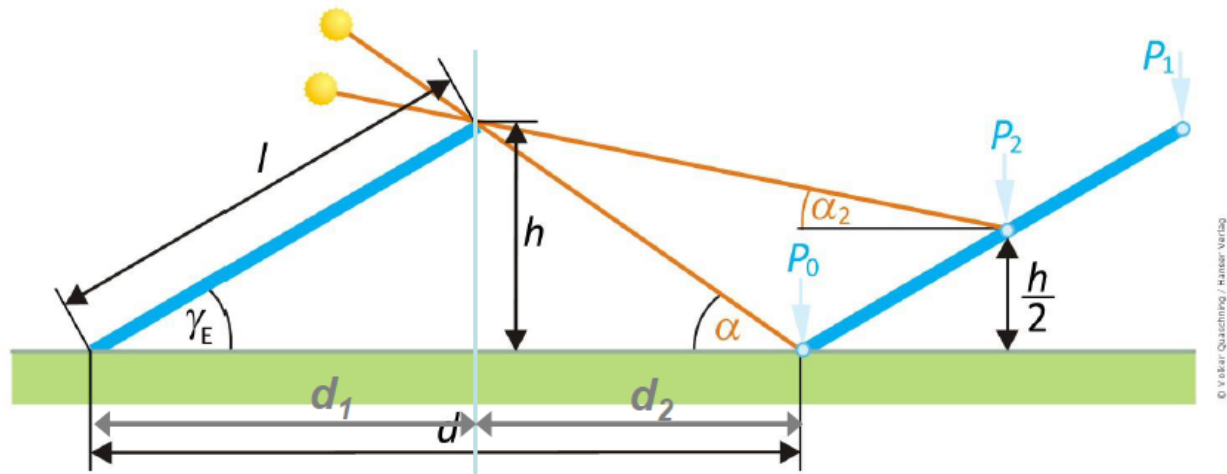
**Measurement devices for global (left),  
direct (center left) and diffuse irradiance (right)**



# Calculation of necessary distance $d$ between rows of plates for lowest non-shading sun elevation angle $\alpha$ and plate elevation angle $\gamma_E$

$$h = l \cdot \sin(\gamma_E) \quad d = d_1 + d_2 = l \cdot \cos(\gamma_E) + \frac{h}{\tan(\alpha)} = l \left( \cos(\gamma_E) + \frac{\sin(\gamma_E)}{\tan(\alpha)} \right)$$

or via: 
$$d = d_1 + d_2 = \sqrt{l^2 - h^2} + \frac{h}{\tan(\alpha)} = l \left( \sqrt{1 - \sin^2(\gamma_E)} + \frac{\sin(\gamma_E)}{\tan(\alpha)} \right)$$



- $d$  Distance between rows,  $l$  Length of receiving plates,  $h$  Height
- $\alpha$  Minimal elevation of sun, so no shading occurs yet
- $\alpha_2$  Elevation angle of sun for which 50% shadowing of the row behind occurs
- $\gamma_E$  Elevation angle of row of receiving plates

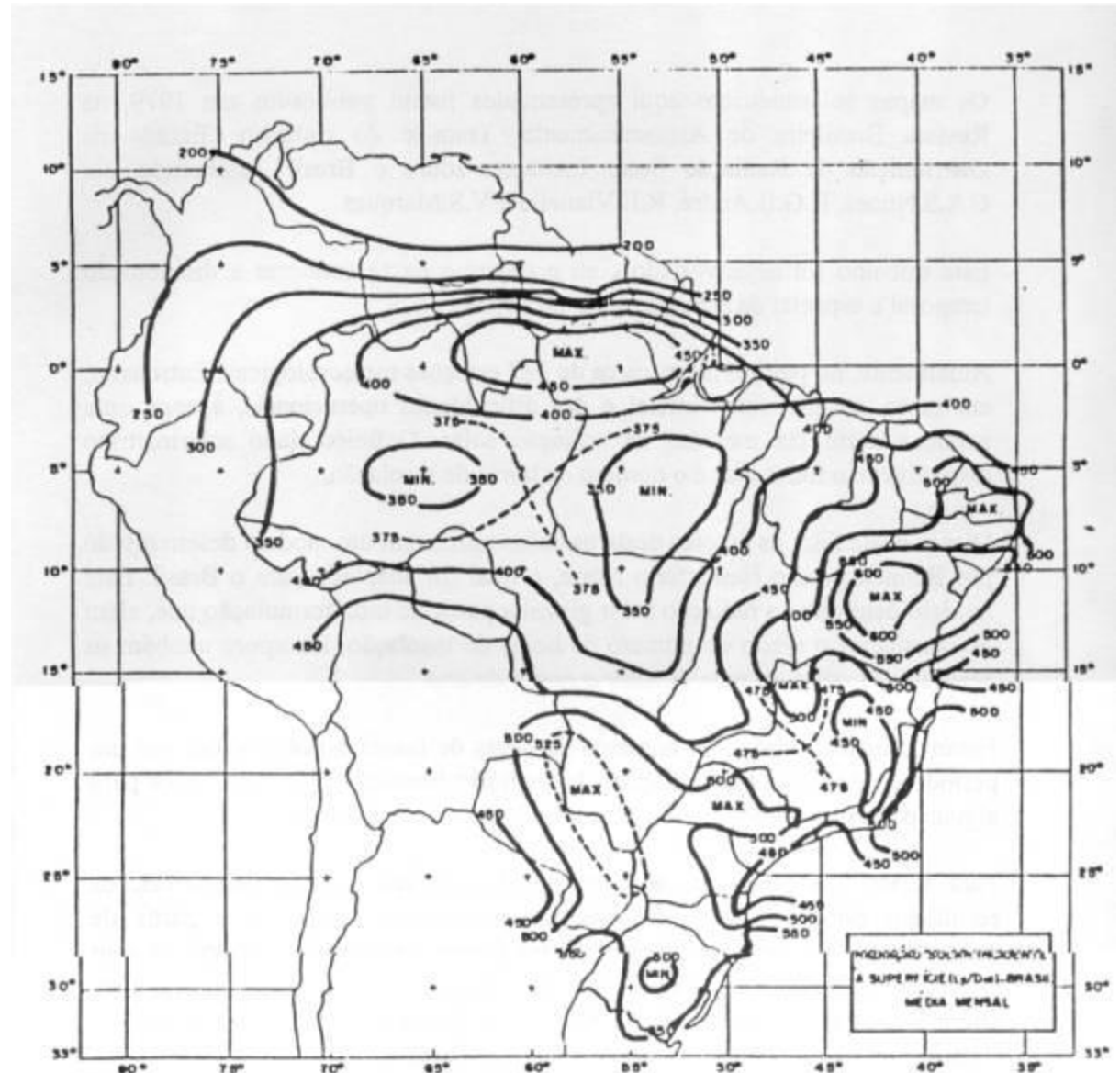
# Estimativa da radiação solar

Local	Radiação solar kWh/m <sup>2</sup> - anual
Europa Ocidental - sul	1500
Europa Ocidental - norte	800 - 1200
Deserto do Saara	2600
Brasil – região norte	1752 - 2190

# Rede Solarimétrica

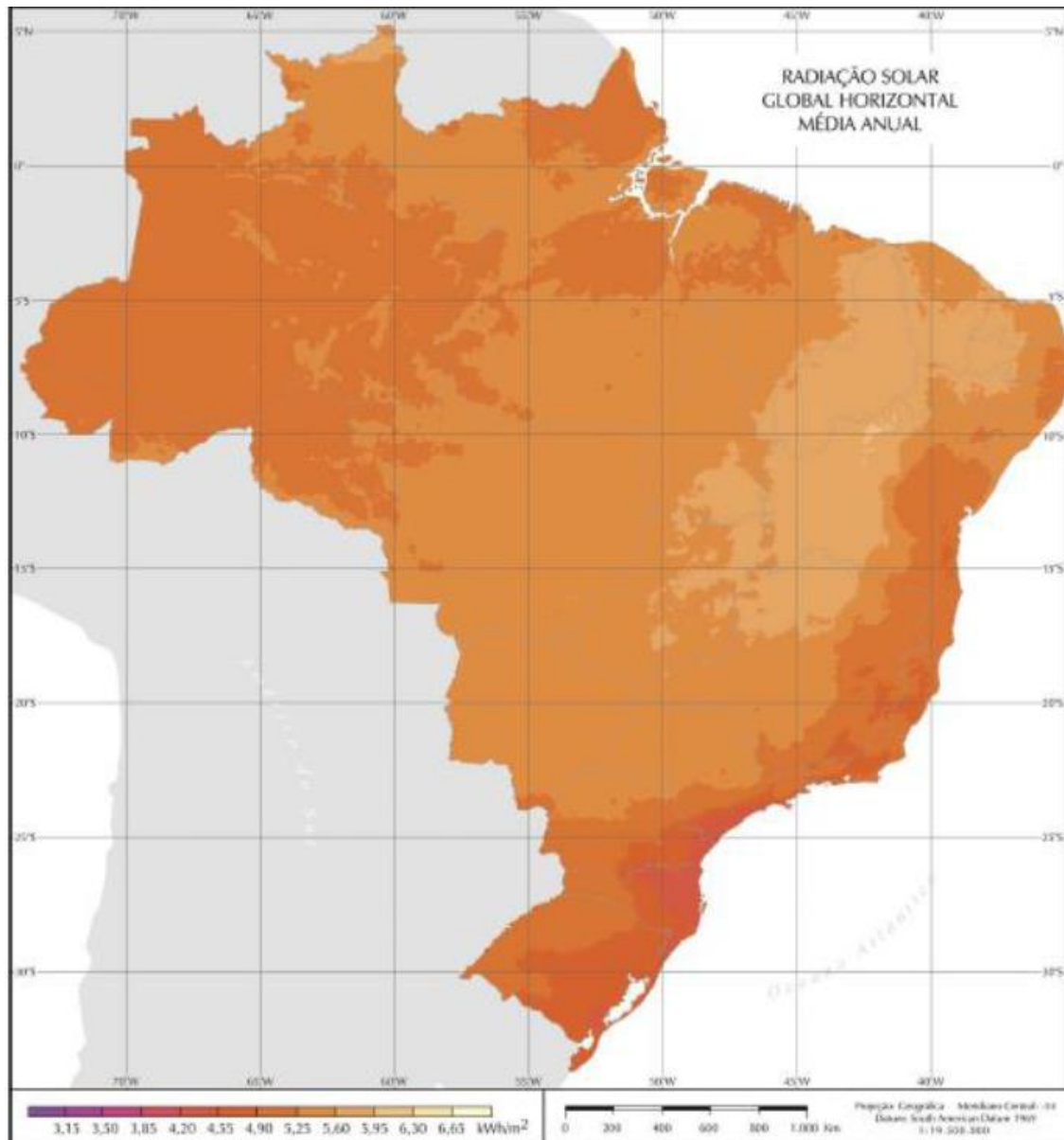
**Radiação Solar  
Incidente (ly/dia)**

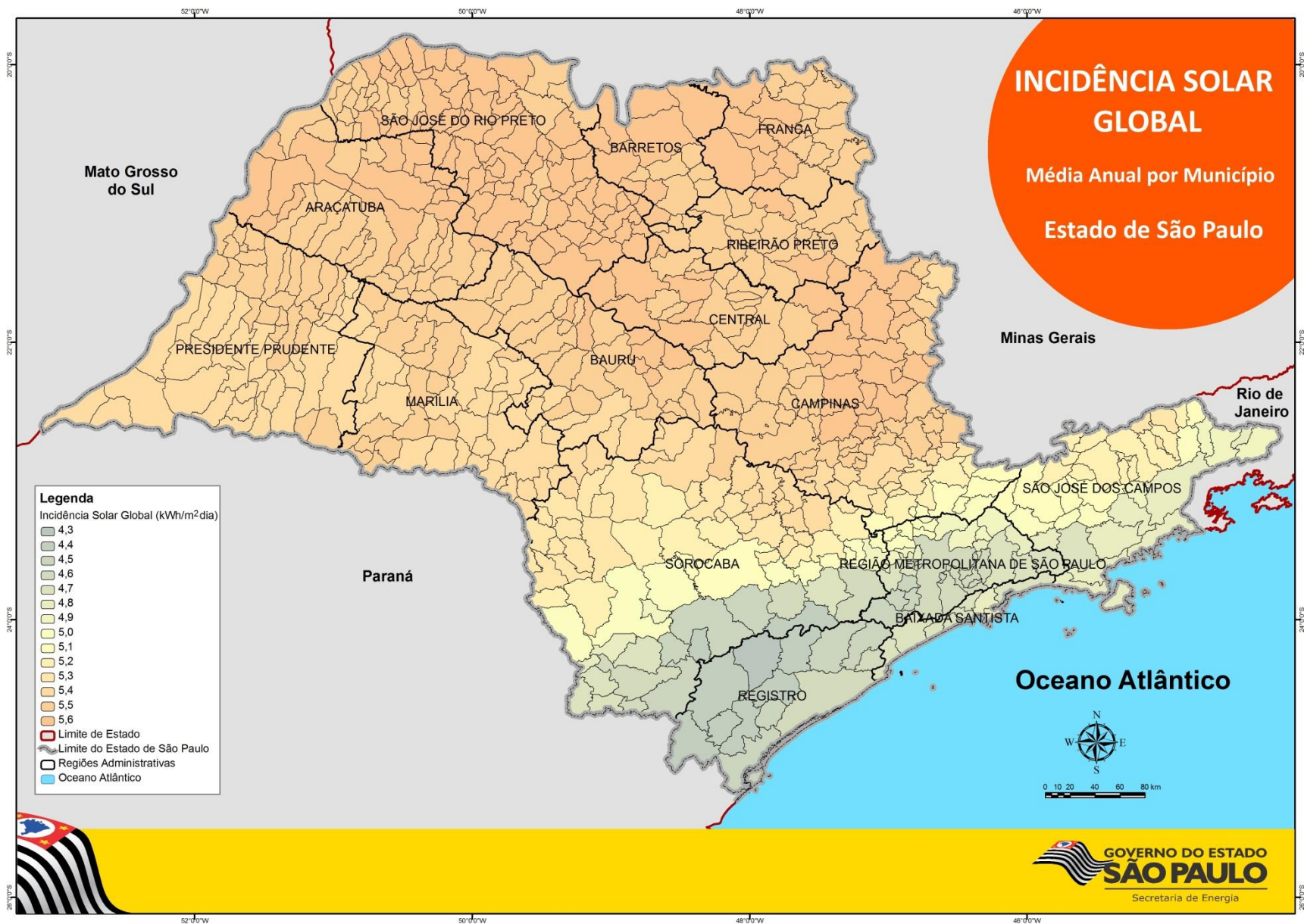
**Média mensal  
Janeiro - Brasil**





# ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR





# ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR

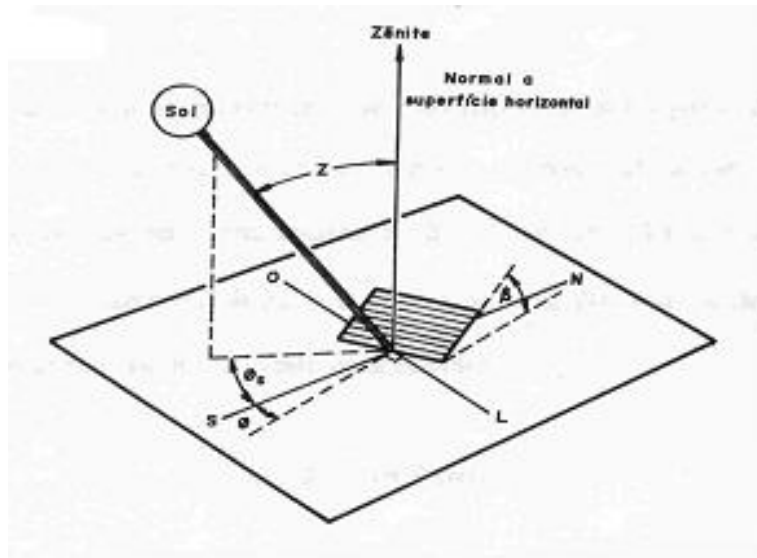
- radiação direta
- radiação difusa ou espalhada
- temperatura
- plano de abertura

**Dados**

**Importantes**

**Base de dados**

- mensal
- diária
- horária



**B**

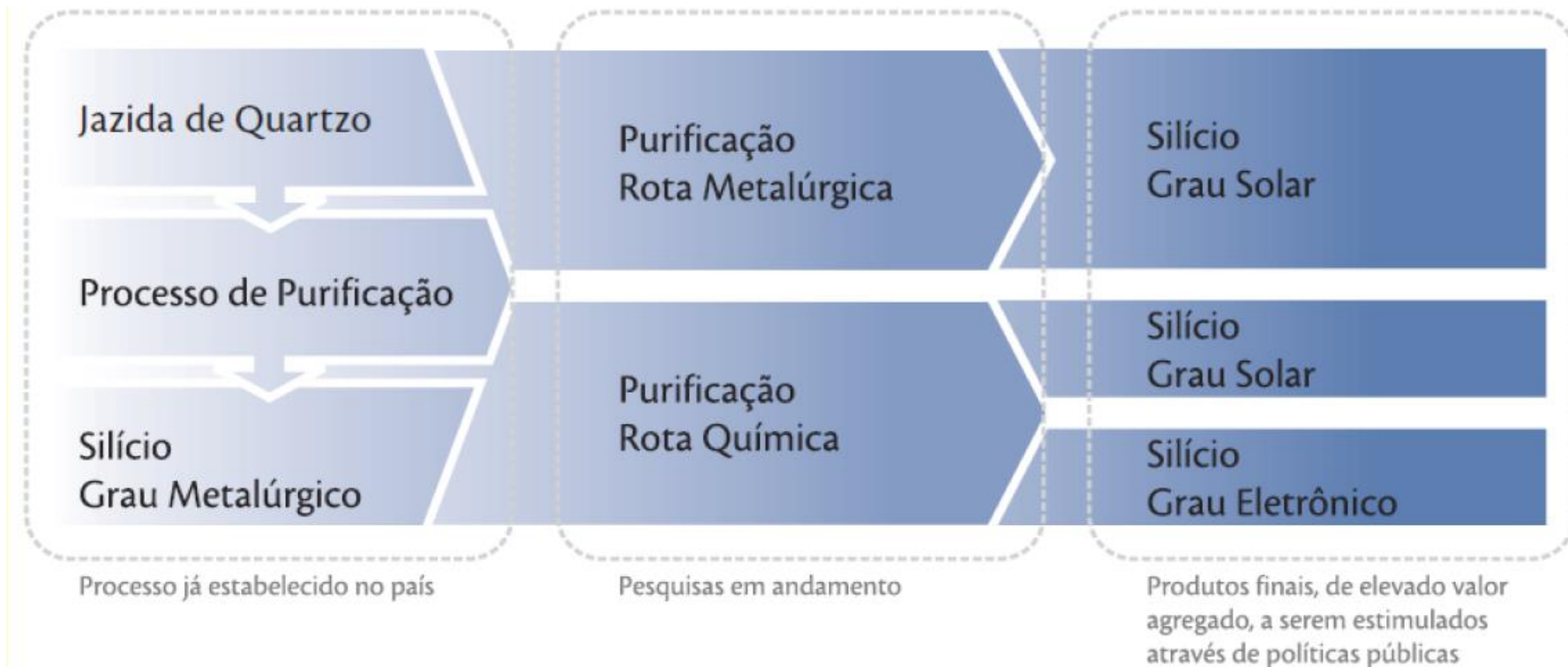
Voltado para o norte, como é normalmente utilizado no hemisfério sul



## CADEIA PRODUTIVA DO MÓDULO FOTOVOLTAICO DE SILÍCIO CRISTALINO



## PROCESSOS PARA PRODUÇÃO DO SILÍCIO



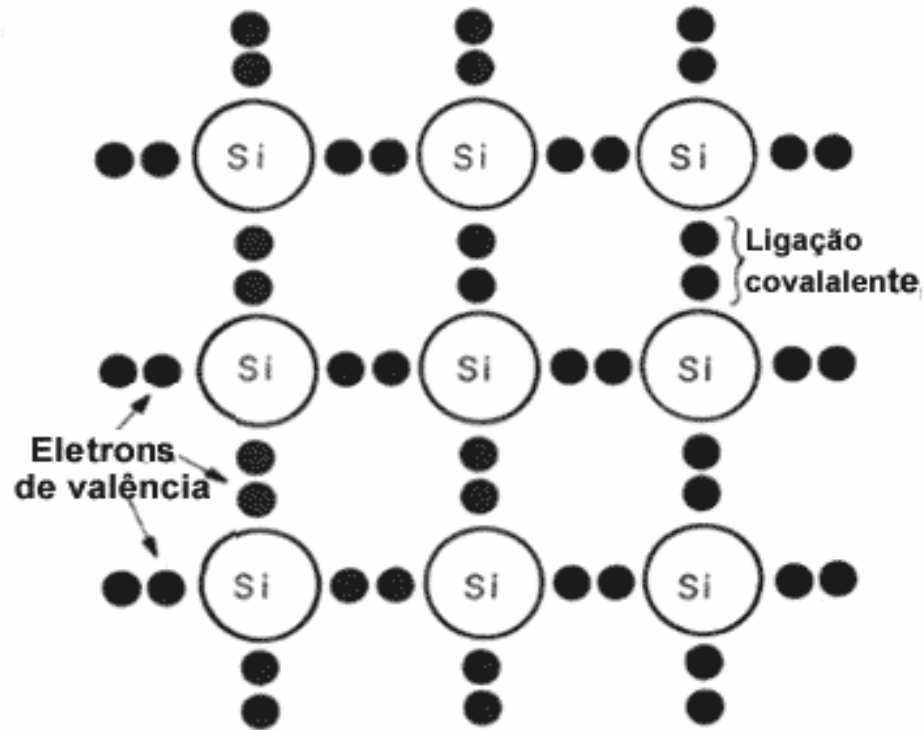
# EFEITOS FOTOELETRICO E FOTOVOLTAICO

O **efeito fotoelétrico** é a emissão de [elétrons](#) por um material, geralmente [metálico](#), quando exposto a uma [radiação eletromagnética](#) (como a [luz](#)) de [frequência](#) suficientemente alta, que depende do material, como por exemplo a radiação ultravioleta. Ele pode ser observado quando a luz incide numa placa de metal, arrancando elétrons da placa. Os elétrons ejetados são denominados [fotoelétrons](#)

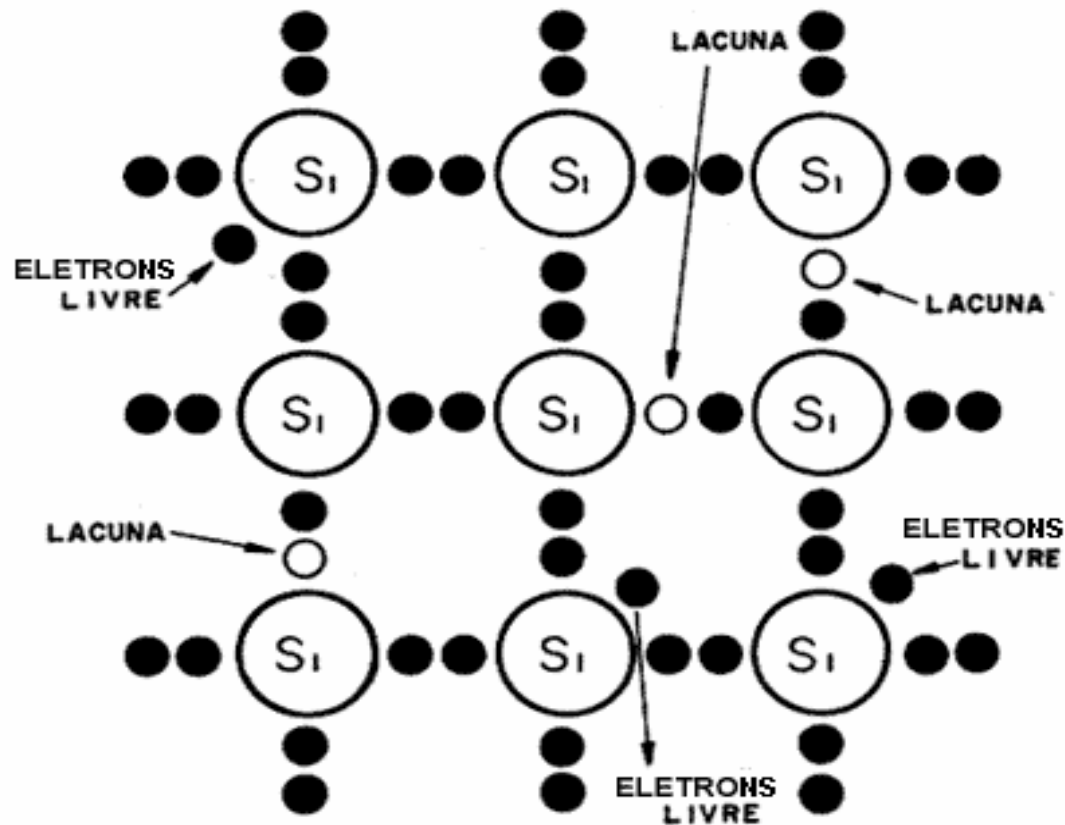
O **efeito fotovoltaico** é a criação de tensão elétrica ou de uma corrente elétrica correspondente num material, após a sua exposição à luz. Embora o **efeito fotovoltaico** esteja diretamente relacionado com o **efeito** fotoelétrico, trata-se de processos diferentes.

## Rede cristalina de Si na temperatura 0 K

5



Todos os elétrons estão na banda de energia de valência

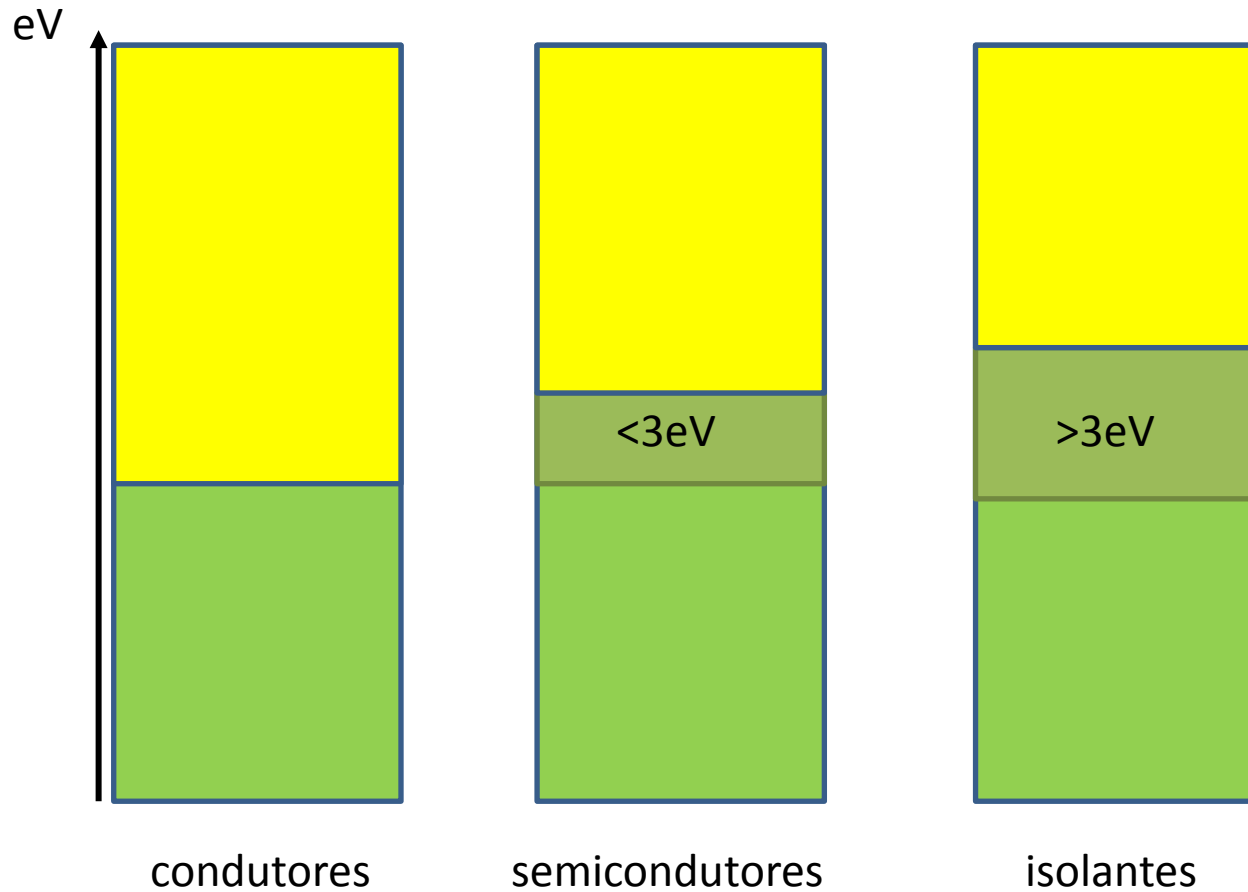


Devido a energia térmica fornecida pelo meio alguns elétrons passam para a banda de condução.

## Banda de Valência e Banda de Condução em Materiais Diferentes

7

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

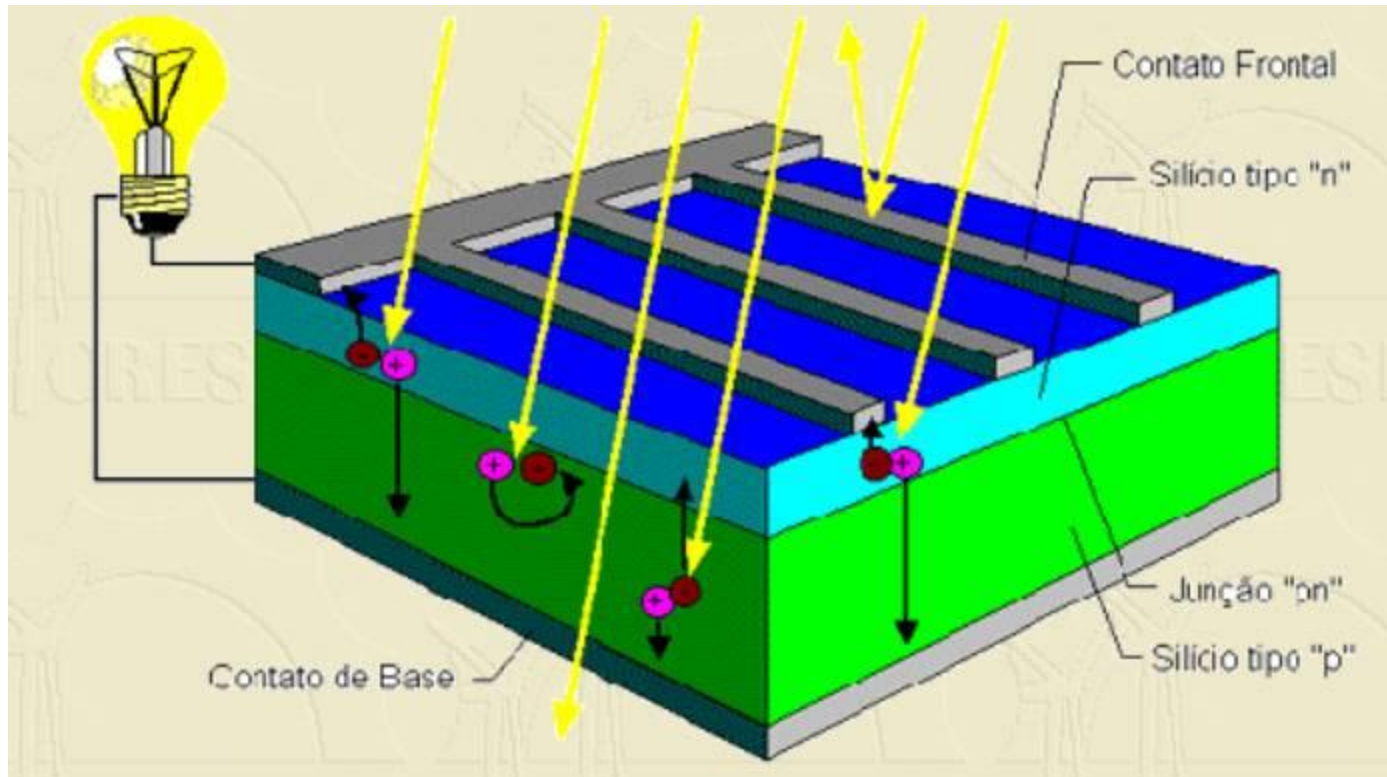


Nota: 1eV é a energia de uma partícula com carga igual a de um elétron sujeita a uma diferença de potencial de 1V.  
 $1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

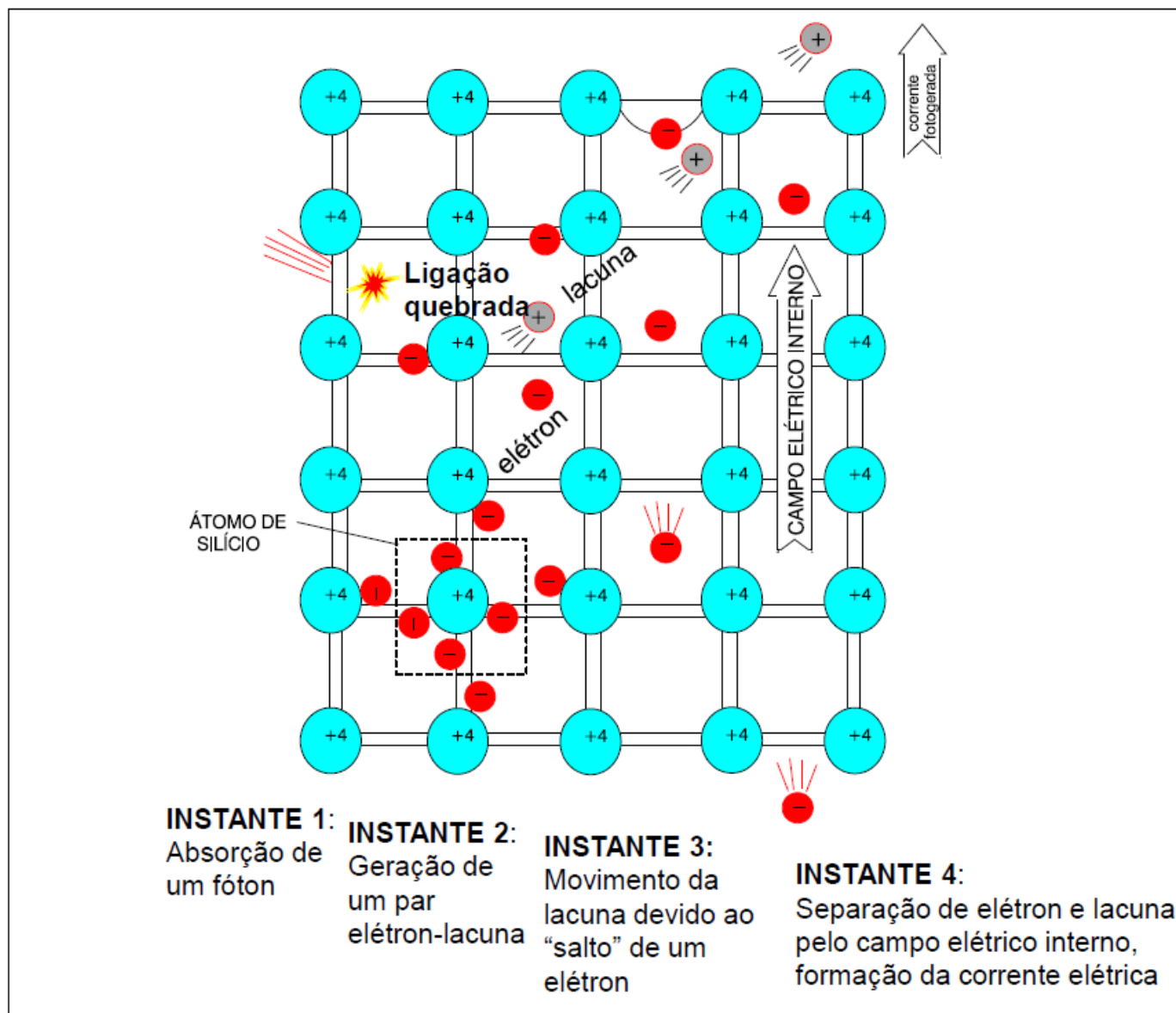
BANDAS:  Valência  Condução  Proibida

# Efeito Fotovoltaico

**Efeito fotovoltaico:** Se dá em materiais semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia (onde é permitida a presença de elétrons (bandas de valência) e de outra totalmente vazia (banda de condução)).

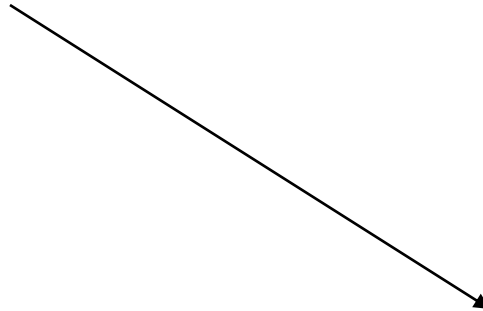


# FÍSICA DA CONVERSÃO FOTOVOLTAICA

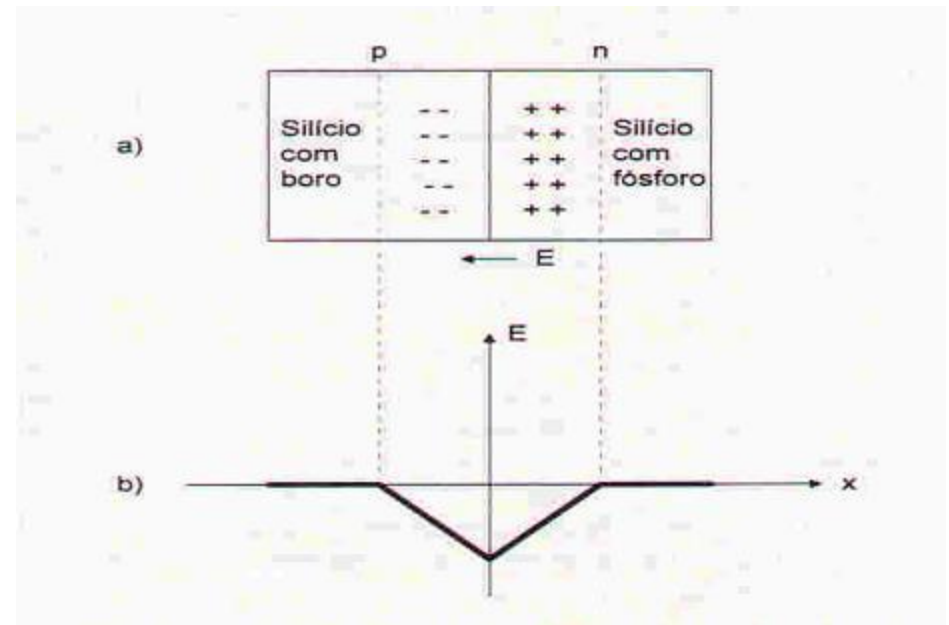




Junção pn ilustrando a região onde ocorre o acúmulo de cargas



Campo elétrico resultante da transferência de cargas através da junção PN



Separação no Espectro Solar dos Fótons com Energia Superior a 1,12 eV para Si

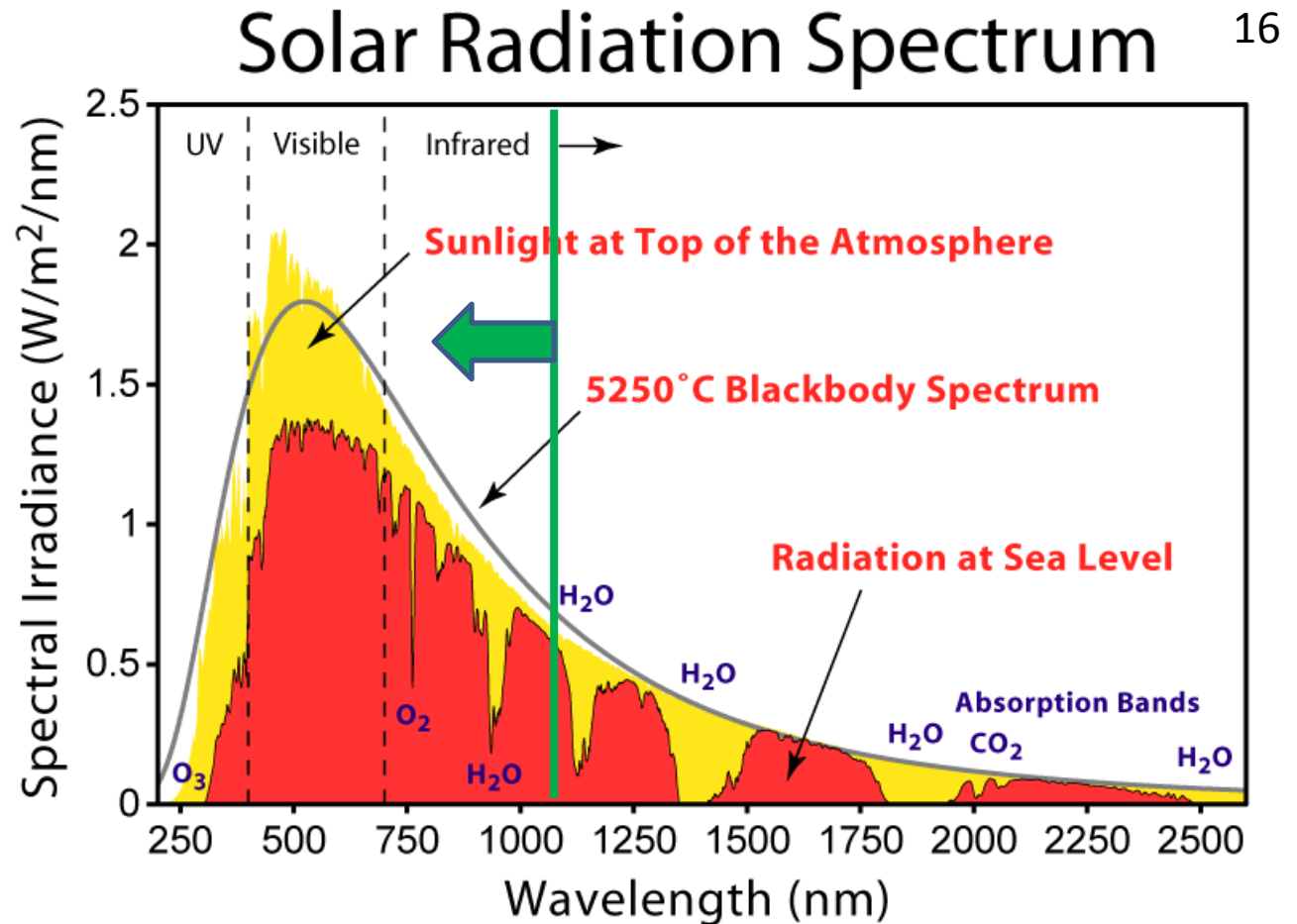
$$E(\text{J/fóton}) > 1,12 \text{ eV}$$

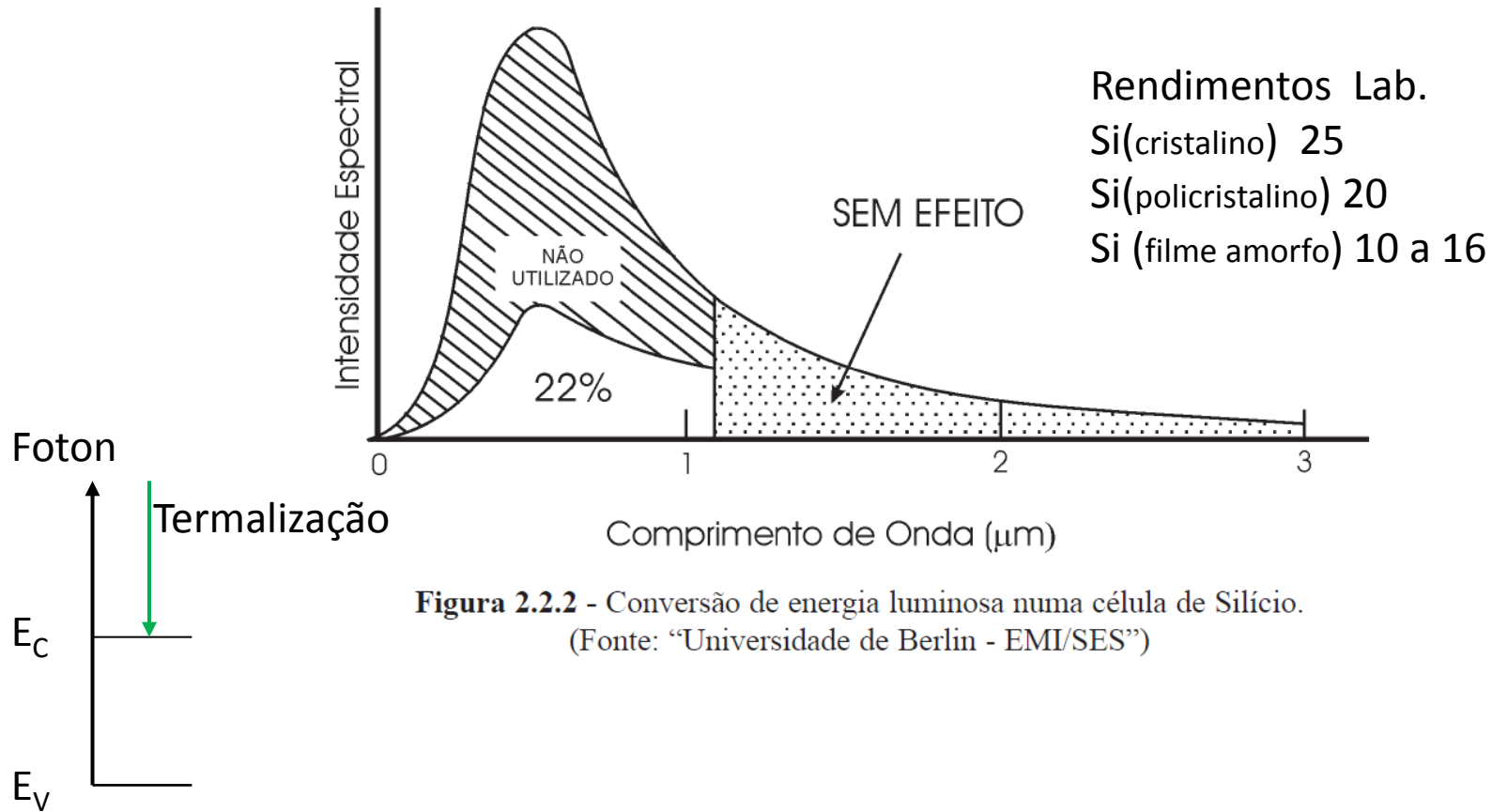
$$\lambda < \frac{hc}{E}$$

$$E = 1,79 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda < \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,79 \cdot 10^{-19}}$$

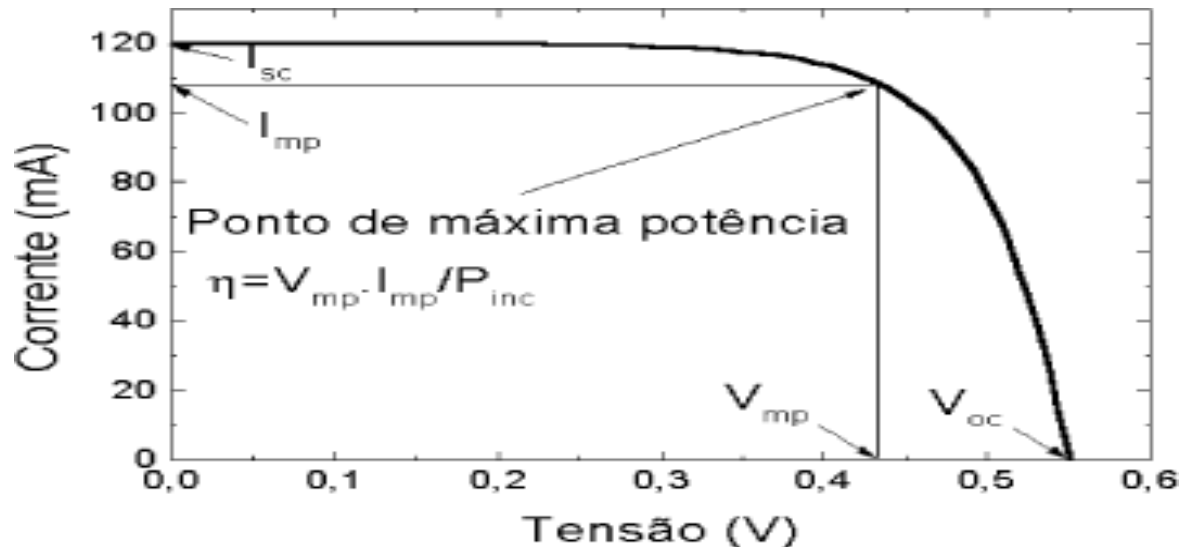
$$\lambda < 1109 \text{ nm}$$





**Figura 2.2.2** - Conversão de energia luminosa numa célula de Silício.  
(Fonte: "Universidade de Berlin - EMI/SES")

Curva característica I x V de uma Célula Fotovoltaica de Silício de 20x20 mm.  
 $GT = 1000 \text{ W/m}^2$ ;  $T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$



**Figura 2** - Curva de corrente por tensão de uma célula solar de silício típica.

$I_{sc}$  : corrente de curto circuito;  $V_{oc}$  : tensão de circuito aberto  
 $I_{MP}$  : corrente de potência máxima;  $V_{MP}$  : tensão de potência máxima  
 $P_{INC}$  : irradiação solar incidente;  $P_{INC} = G_T \times A$   
 $\eta$  : rendimento da célula;

Qual o valor do rendimento máximo da célula fotovoltaica do slide anterior ?  
 A curva foi levantada para  $G_T = 1000 \text{ W/m}^2$  e  $T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  (STC)

$$\eta = (V_{MP} \times I_{MP}) / P_{INC}$$

Da curva característica:

$$V_{MP} = \quad \text{V}; I_{MP} = \quad \text{A};$$

$$P_{INC} = G_T \times A$$

$$A = \quad \text{m}^2$$

$$P_{INC} = \quad \text{W}$$

$$\eta =$$

Qual o valor do rendimento máximo da célula fotovoltaica do slide anterior ?  
A curva foi levantada para  $G_T = 1000 \text{ W/m}^2$  e  $T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  (STC)

$$\eta = (V_{MP} \times I_{MP}) / P_{INC}$$

Da curva característica:

$$V_{MP} = 0,43 \text{ V}; I_{MP} = 0,108 \text{ A};$$

$$P_{INC} = G_T \times A$$

$$A = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

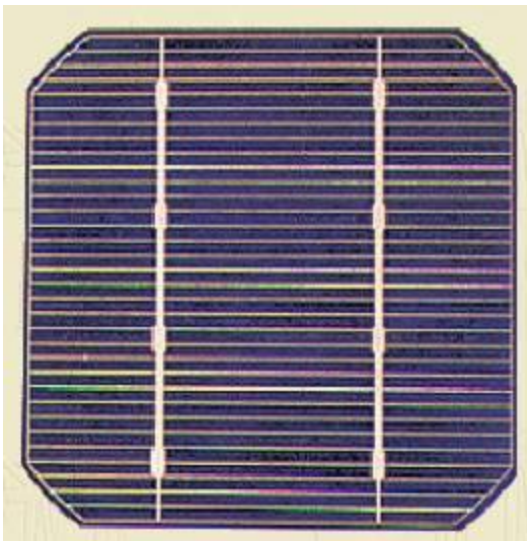
$$P_{INC} = 0,4 \text{ W}$$

$$\eta = (0,43 \times 0,108) / 0,4 = 0,116 \text{ ou } 11,6\%$$

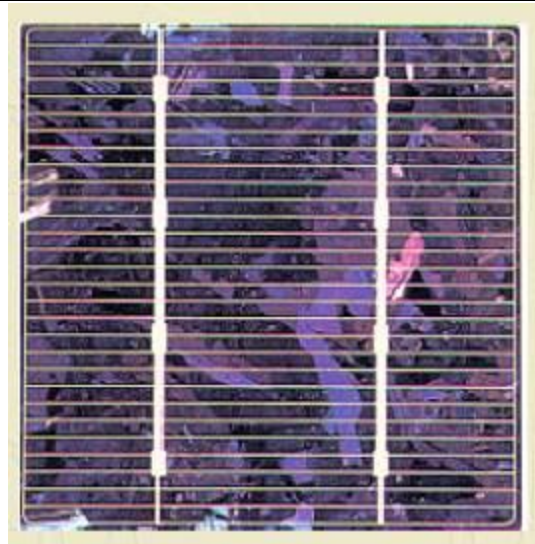


## Componentes básicos - Células fotovoltaicas

Materiais	Rendimento
Silício Monocristalino	15 - 17,5 %
Silício Policristalino	11 - 12,5%
Silício Amorfo	9%
Silício amorfo com liga de silício-germânio	10%
Arseneto de Gálio	20%
Disseleneto de Cobre-Índio	14%
Telureto de Cádmio	12,70%



**Silício Monocristalino**

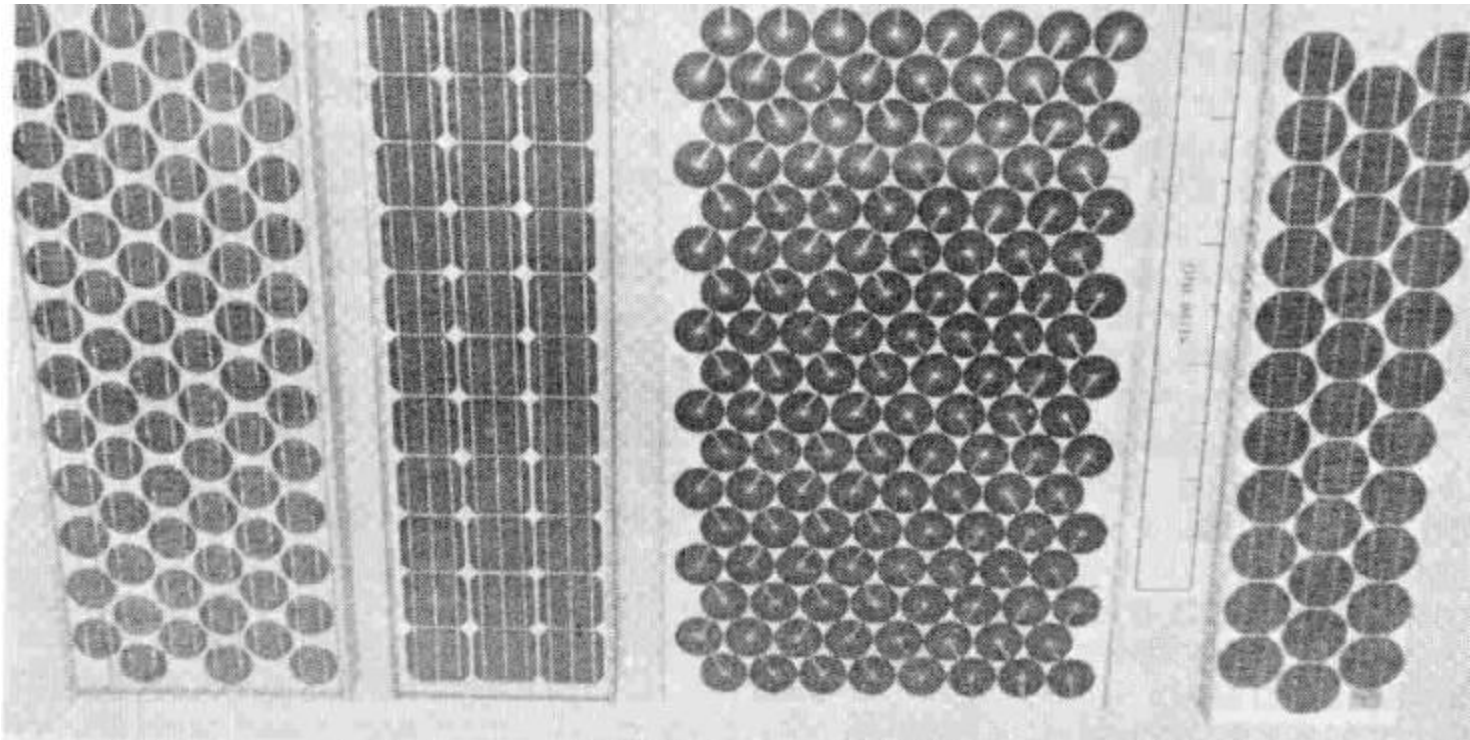


**Silício Policristalino**

# Módulo Fotovoltaico

Diferentes módulos disponíveis no mercado

Ex: Módulo de 48 Wp



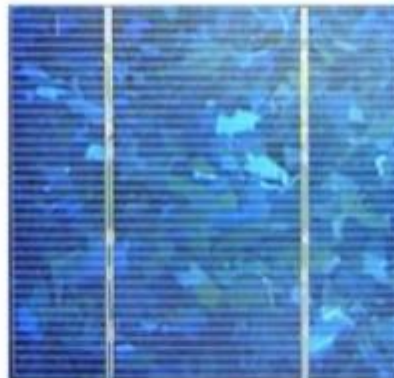
# Materiais de Células Fotovoltaicas

## Comparação Células Fotovoltaicas



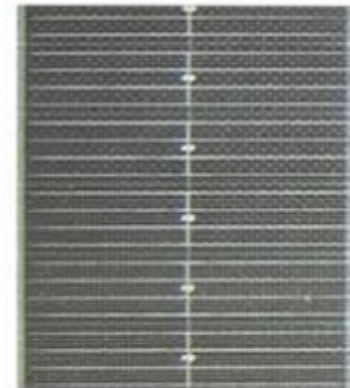
Silício monocristalino  
(mono-Si)

- Rendimento: 18%
- Custo Elevado
- Vida Útil: 20-40 anos



Silício policristalino  
(poly-Si)

- Rendimento: 16%
- Menor Custo de fabricação comparado a célula de silício monocristalino
- Vida Útil: 20-40 anos



Silício amorfo  
(a-Si)

- Rendimento: 8%
- Menor Custo
- Vida Útil: 15-25 anos

# Exemplo Datasheet



Nova tecnologia de célula  
com 5 barras



CanadianSolar



## MAXPOWER CS6U-315|320|325|330P

Os novos módulos policristalinos MAXPOWER da Canadian Solar usam a mais recente tecnologia inovadora de célula de cinco barras, aumentando a saída de potência do módulo e a confiabilidade do sistema.

### PRINCIPAIS RECURSOS



Confiabilidade aprimorada com a tecnologia de célula de 5 barras



Eficiência da célula de até 18,8%



Excepcional desempenho de baixa irradiação: 96%



Caixa de derivação IP67, resistência de longo prazo ao clima



Carga de neve pesada até 5.400 Pa, carga de vento até 2.400 Pa

25  
anos

de garantia de saída de potência linear

10  
anos

de garantia do produto em materiais e mão de obra

### CERTIFICADOS DE SISTEMA DE GESTÃO\*

ISO 9001:2008/Sistema de gestão da qualidade  
ISO/TS 16949:2009/O sistema de gestão de qualidade do setor automotivo  
ISO 14001:2004/Padrões para sistema de gestão ambiental  
OHSAS 18001:2007/Padrões internacionais para saúde e segurança no trabalho

### CERTIFICADOS DO PRODUTO\*

IEC 61215/IEC 61730: VDE/CE  
UL 1703: CSA/IEC 61701 ED2: VDE/IEC 62716: VDE/Take-e-way



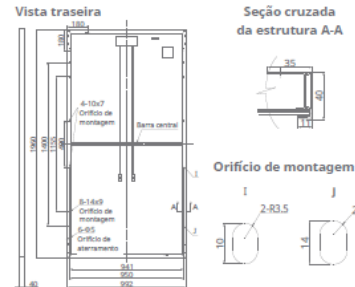
\* As exigências de certificação são diferentes em cada mercado, portanto solicite a seu representante de vendas local da Canadian Solar os certificados válidos para os produtos na região em que eles serão usados.

A CANADIAN SOLAR INC. está comprometida a fornecer produtos solares, soluções de sistemas solares e serviços de alta qualidade para clientes em todo o mundo. Como desenvolvedora de projetos fotovoltaicos e fabricante líder de módulos solares com mais de 15 GW instalados em todo o mundo desde 2001, a Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas de energia solar mais lucrativas do mundo.

### CANADIAN SOLAR INC.

2430 Camino Ramon, Suite 240 San Ramon, CA, USA 94583-4385, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [sales.us@canadiansolar.com](mailto:sales.us@canadiansolar.com)

### DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)



### DADOS ELÉTRICOS/STC\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P <sub>máx</sub> )	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensão operacional ideal (V <sub>mp</sub> )	36,6 V	36,8 V	37,0 V	37,2 V
Corrente operacional ideal (I <sub>mp</sub> )	8,61 A	8,69 A	8,78 A	8,88 A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	45,1 V	45,3 V	45,5 V	45,6 V
Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	9,18 A	9,26 A	9,34 A	9,45 A
Eficiência do módulo	16,20%	16,46%	16,72%	16,97%
Temperatura operacional	-40 °C ~ +85 °C			
Tensão máxima do sistema	1.000 V (IEC) ou 1.000 V (UL)			
Desempenho do módulo contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Classificação máx. de fusíveis da série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ +5 W			

\* Sob condições de teste padrão (STC): Irradiação de 1.000 W/m², espectro AM de 1,5 e temperatura de célula de 25 °C.

### DADOS ELÉTRICOS/NOCT\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P <sub>máx</sub> )	228 W	232 W	236 W	239 W
Tensão operacional ideal (V <sub>mp</sub> )	33,4 V	33,6 V	33,7 V	33,9 V
Corrente operacional ideal (I <sub>mp</sub> )	6,84 A	6,91 A	6,98 A	7,05 A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	41,5 V	41,6 V	41,8 V	41,9 V
Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	7,44 A	7,50 A	7,57 A	7,66 A

\* Sob temperatura operacional normal da célula (NOCT), Irradiação de 800 W/m², espectro AM de 1,5, temperatura ambiente de 20 °C, velocidade do vento de 1 m/s.

### DESEMPENHO A BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho excepcional em ambientes de baixa irradiação, eficiência média relativa de 96% a partir de uma irradiação de 1.000 W/m² a 200 W/m² (AM 1,5, 25 °C).

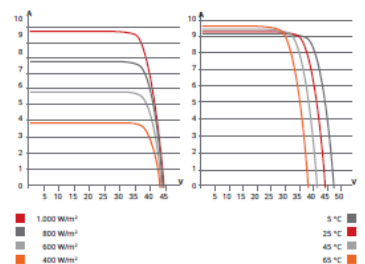
A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulando todas as transações relativas à compra e à venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e o manuseio de módulos fotovoltaicos requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-los. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

### CANADIAN SOLAR INC.

Julho de 2016. Todos os direitos reservados. Ficha técnica do produto do módulo fotovoltaico V5.51P1\_NA

### CS6U-320P | CURVAS I-V



### DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo de célula	Policristalino, 6 polegadas
Organização das células	72 (6 × 12)
Dimensões	1.960 × 992 × 40 mm (77,2 × 39,1 × 1,57 pol.)
Peso	22,4 kg (49,4 lb)
Tampa dianteira	Vidro temperado de 3,2 mm
Material da estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de derivação	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm² (IEC) ou 4 mm² e 12 AWG 1.000 V (UL), 1.160 mm (45,7 pol.)
Conectores	T4 (IEC/UL)
Por paleta	26 peças
Por contêiner (40' HQ)	572 peças

### CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificação	Dados
Coefficiente de temperatura (P <sub>máx</sub> )	-0,41%/°C
Coefficiente de temperatura (V <sub>oc</sub> )	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura (I <sub>sc</sub> )	0,053%/°C
Temperatura operacional nominal da célula	45 ± 2 °C

### SEÇÃO DO PARCEIRO





### DADOS ELÉTRICOS/STC\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P <sub>máx</sub> )	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensão operacional ideal (V <sub>mp</sub> )	36,6 V	36,8 V	37,0 V	37,2 V
Corrente operacional ideal (I <sub>mp</sub> )	8,61 A	8,69 A	8,78 A	8,88 A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	45,1 V	45,3 V	45,5 V	45,6 V
Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	9,18 A	9,26 A	9,34 A	9,45 A
Eficiência do módulo	16,20%	16,46%	16,72%	16,97%
Temperatura operacional	-40 °C ~ +85 °C			
Tensão máxima do sistema	1.000 V (IEC) ou 1.000 V (UL)			
Desempenho do módulo contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Classificação máx. de fusíveis da série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

\* Sob condições de teste padrão (STC) de irradiação de 1.000 W/m<sup>2</sup>, espectro AM de 1,5 e temperatura de célula de 25 °C.

### DADOS ELÉTRICOS/NOCT\*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P <sub>máx</sub> )	228 W	232 W	236 W	239 W
Tensão operacional ideal (V <sub>mp</sub> )	33,4 V	33,6 V	33,7 V	33,9 V
Corrente operacional ideal (I <sub>mp</sub> )	6,84 A	6,91 A	6,98 A	7,05 A
Tensão de circuito aberto (V <sub>oc</sub> )	41,5 V	41,6 V	41,8 V	41,9 V
Corrente de curto-circuito (I <sub>sc</sub> )	7,44 A	7,50 A	7,57 A	7,66 A

\* Sob temperatura operacional normal da célula (NOCT), irradiação de 800 W/m<sup>2</sup>, espectro AM de 1,5, temperatura ambiente de 20 °C, velocidade do vento de 1 m/s.

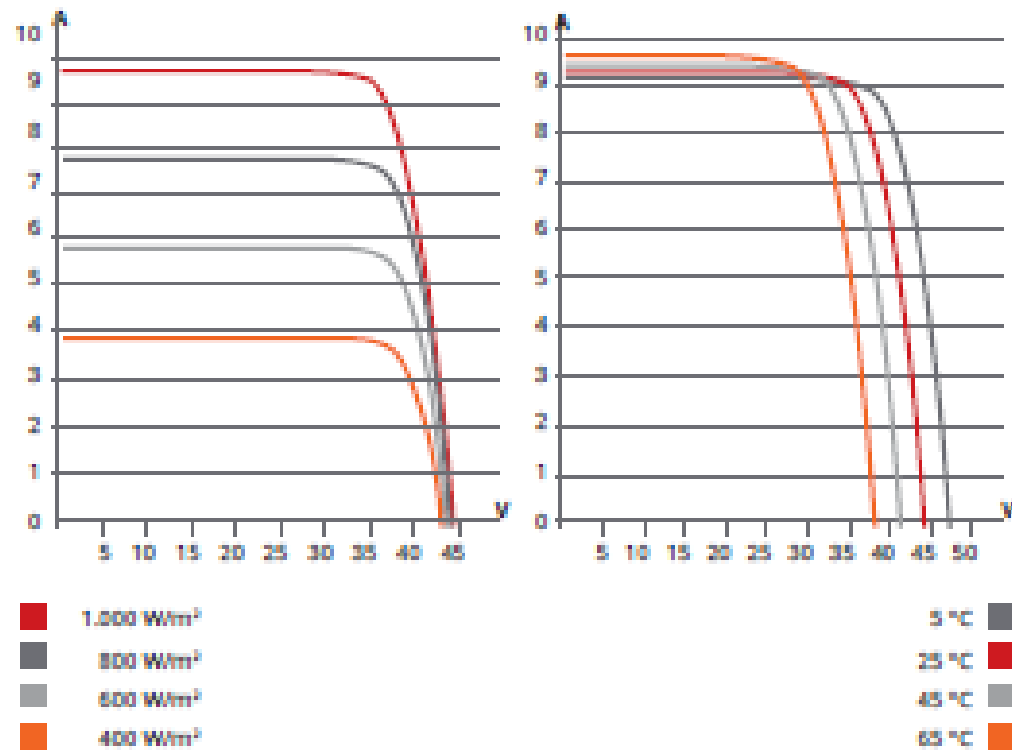
### DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo de célula	Policristalino, 6 polegadas
Organização das células	72 (6 x 12)
Dimensões	1.960 x 992 x 40 mm (77,2 x 39,1 x 1,57 pol.)
Peso	22,4 kg (49,4 lb)
Tampa dianteira	Vidro temperado de 3,2 mm
Material da estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de derivação	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm <sup>2</sup> (IEC) ou 4 mm <sup>2</sup> e 12 AWG 1.000 V (UL), 1.160 mm (45,7 pol.)
Conectores	T4 (IEC/UL)
Por palete	26 peças
Por contêiner (40' HQ)	572 peças

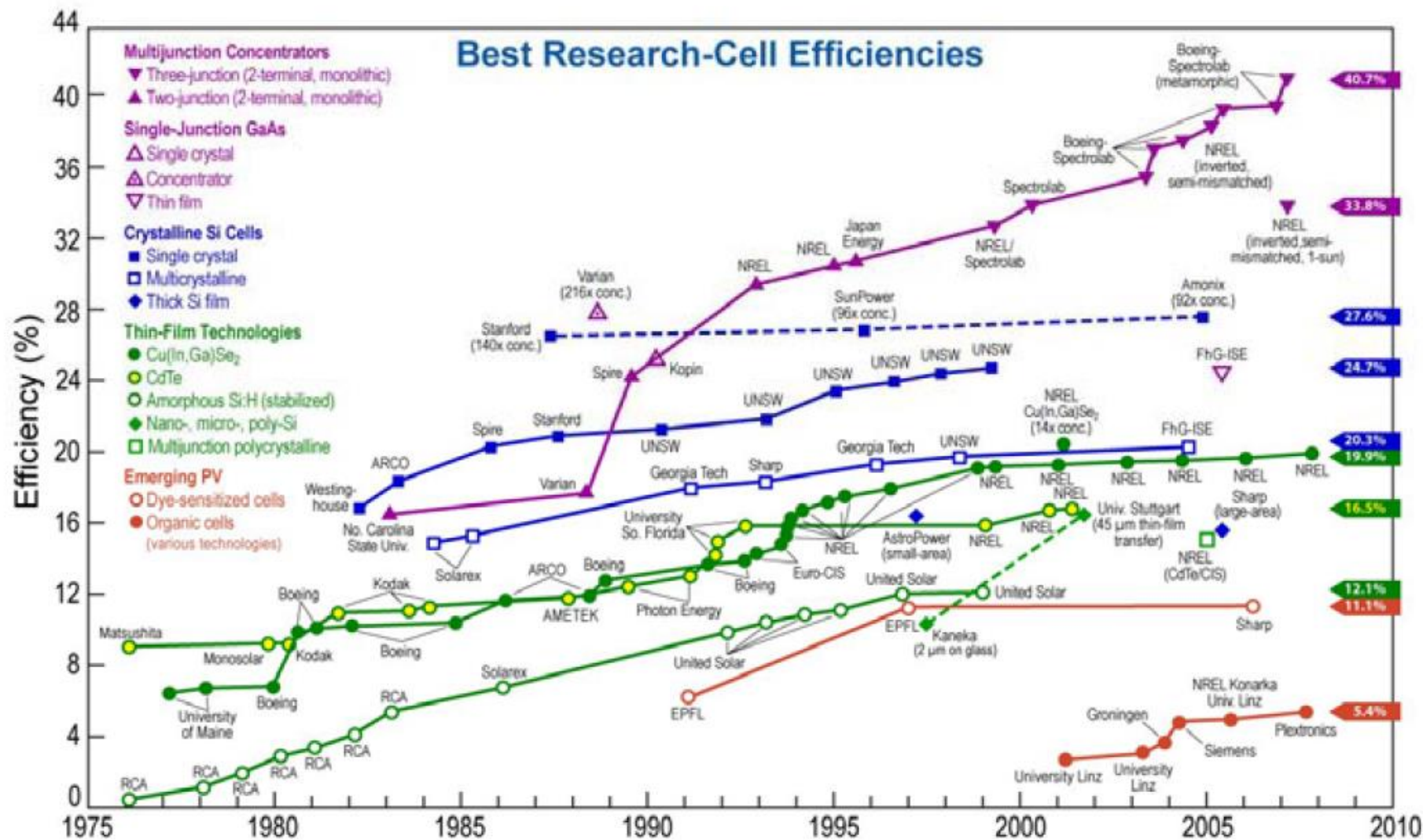
### CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificação	Dados
Coefficiente de temperatura (P <sub>máx</sub> )	-0,41%/°C
Coefficiente de temperatura (V <sub>oc</sub> )	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura (I <sub>sc</sub> )	0,053%/°C
Temperatura operacional nominal da célula	45±2 °C

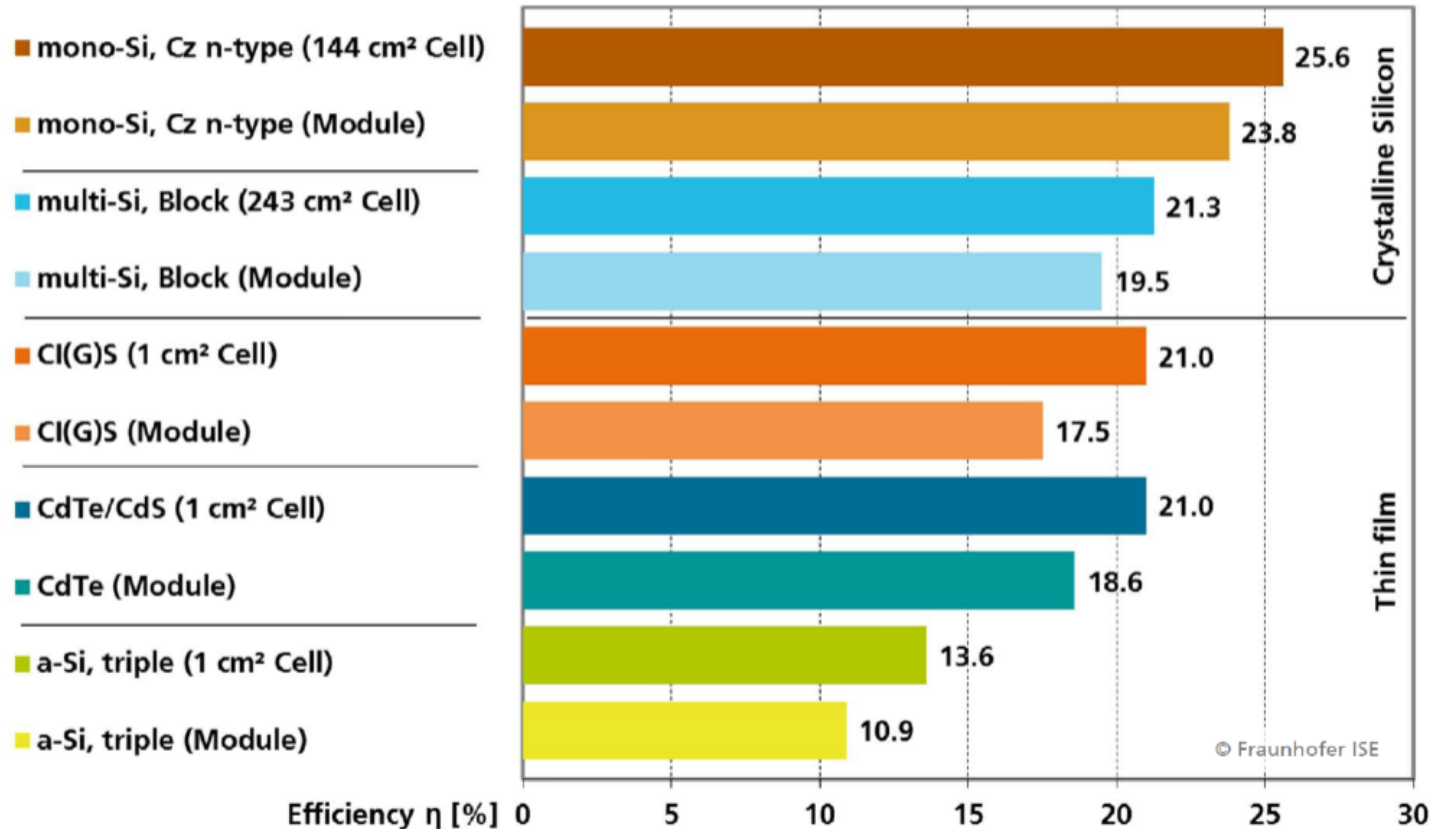
## CS6U-320P | CURVAS I-V





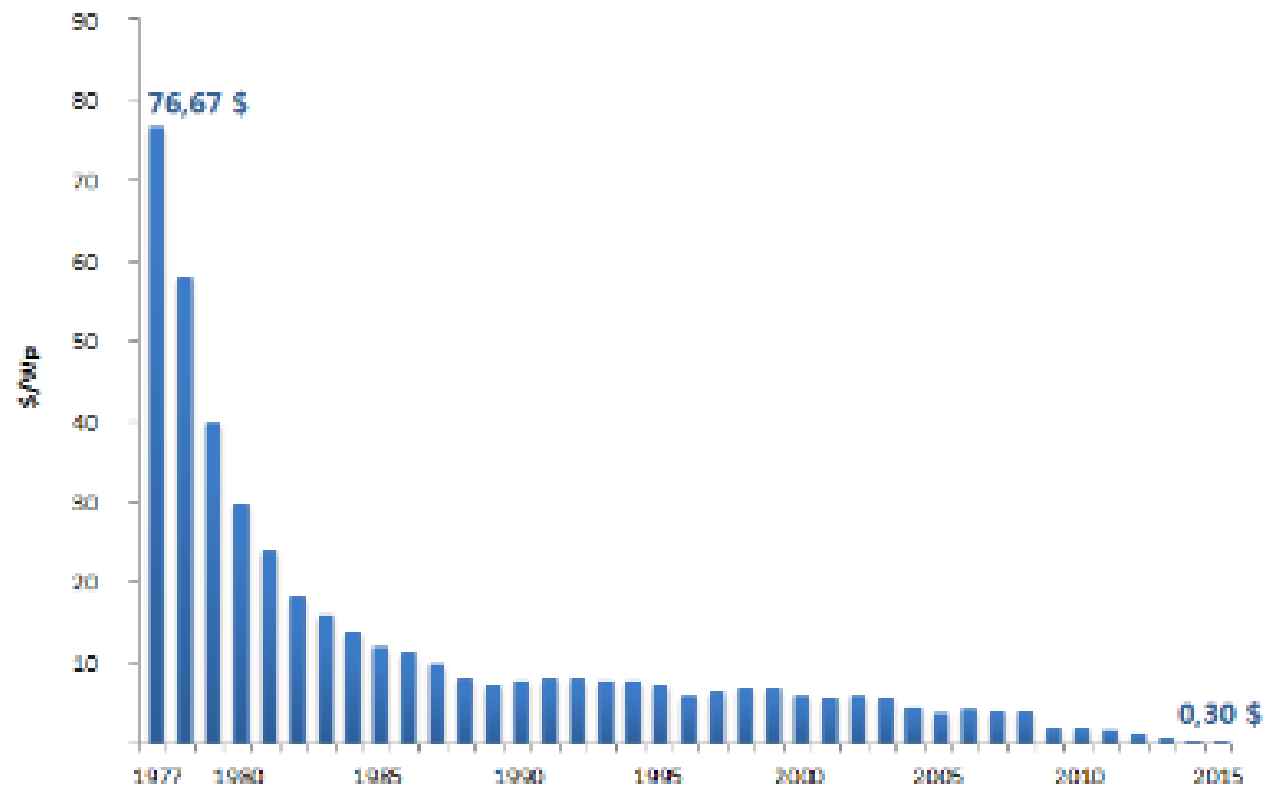


# Actual achieved PV conversion efficiency in the laboratory (cells) and on module level



Data: Green et al.: Solar Cell Efficiency Tables (Version 48), Progress in PV: Research and Applications 2016. Graph: PSE AG 2016

Precio de las células fotovoltaicas de silicio cristalino (en \$/Wp)

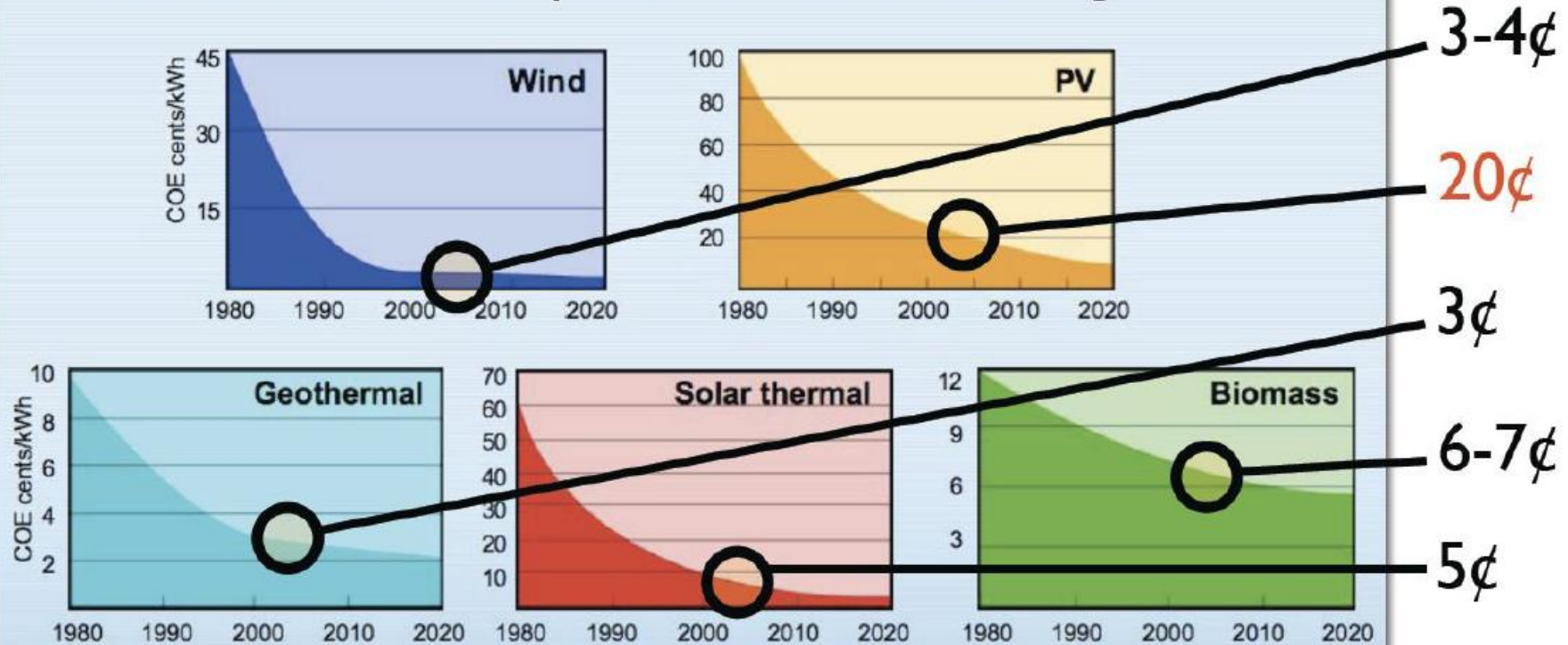


Datos: Bloomberg New Energy Finance & PV Energy Trend

# Costs of Renewable Energies 10 years ago

PV in 2018: 2 cents in sunniest locations, 6 cents in Germany

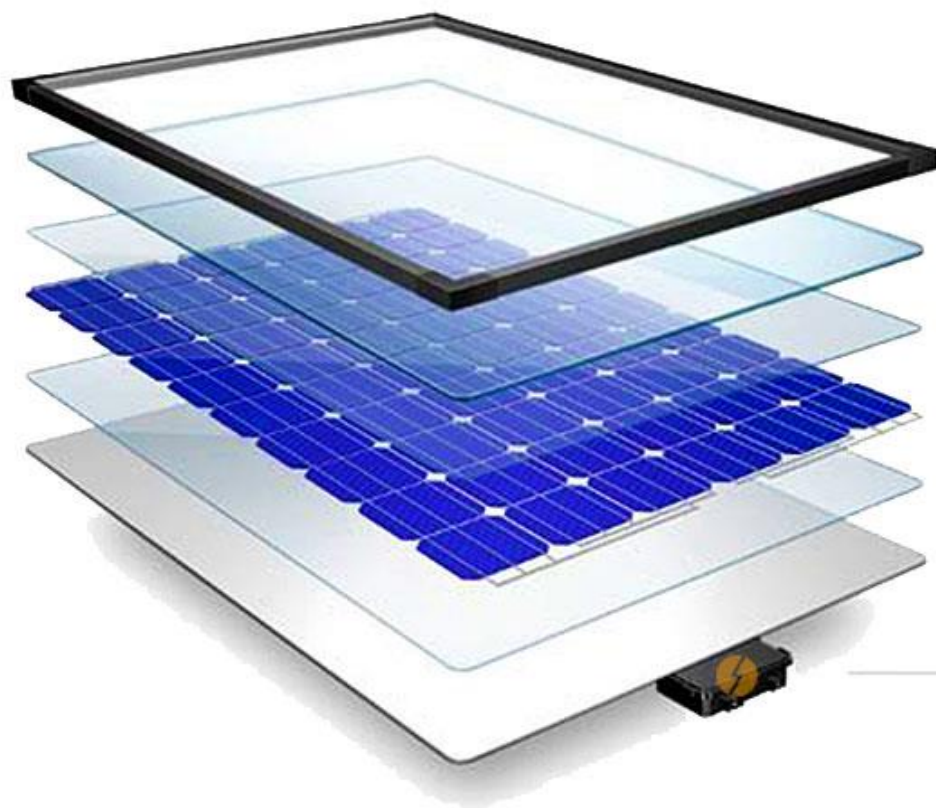
All but solar PV are comparable to cost of coal/oil/gas



Source: NREL Energy Analysis Office

<sup>1</sup>These graphs are reflections of historical cost trends NOT precise annual historical data.

Updated: June 2002



— Moldura de Alumínio

— Vidro Especial

— Encapsulante - EVA

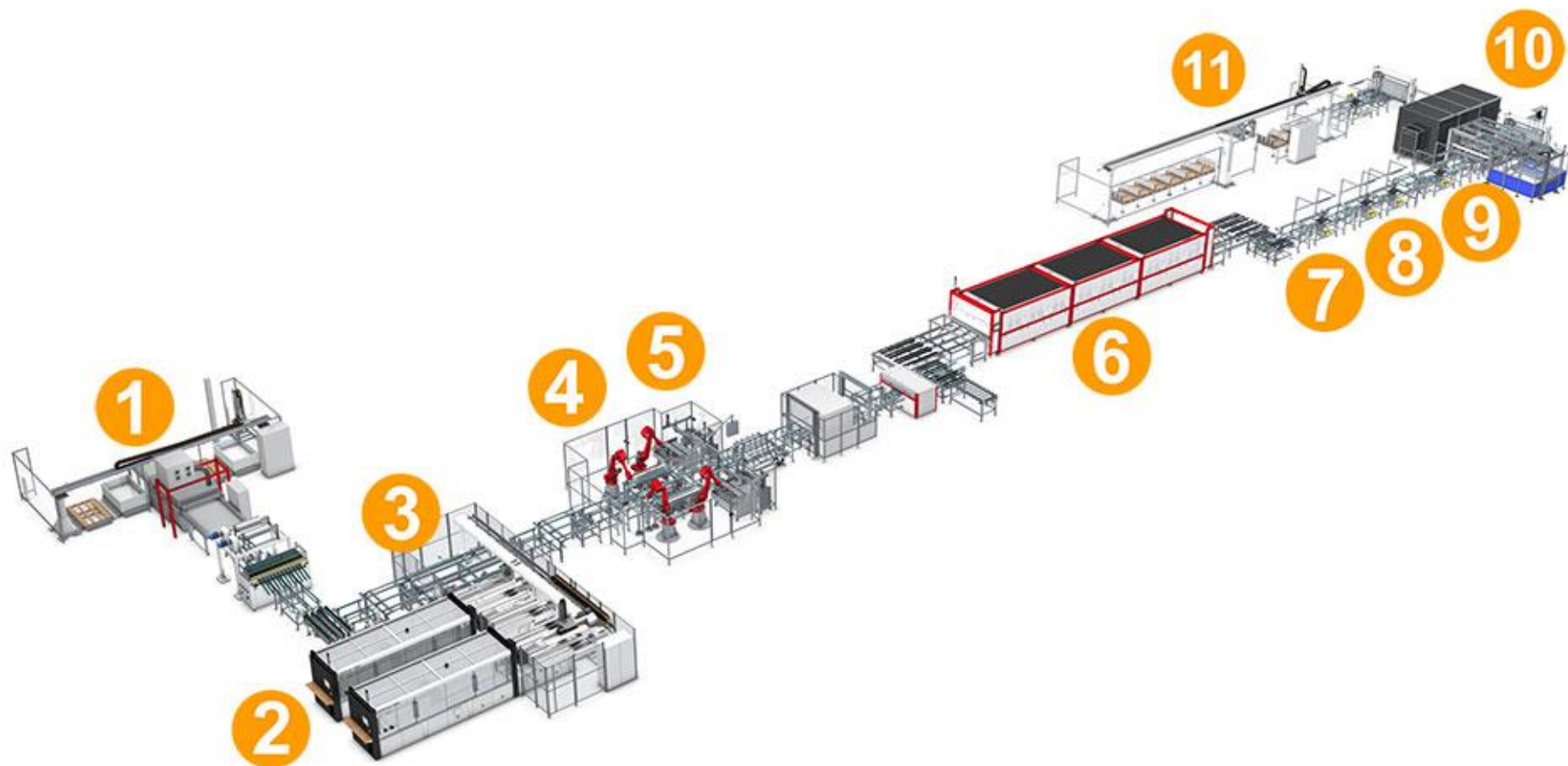
— Células Fotovoltaicas

— Encapsulante - EVA

— Backsheet

— Caixa de Junção







## **Como são fabricados os painéis solares - Sunergia | energia solar**

<https://www.youtube.com/watch?v=y2eS4no3Um8>

## **Fabricação de Células Fotovoltaicas**

[https://www.youtube.com/watch?v=rwzw3tS\\_vb8](https://www.youtube.com/watch?v=rwzw3tS_vb8)

## **Como Se Faz - Módulo Fotovoltaico**

<https://www.youtube.com/watch?v=KK5PxX-ZwhE>

## **painel-solar-organico-produzido-no-brasil- transforma-luz-em-energia-limpa**

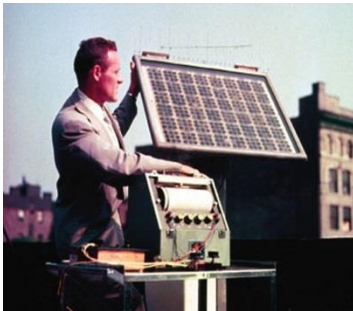
<https://olhardigital.com.br/video/painel-solar-organico-produzido-no-brasil-transforma-luz-em-energia-limpa/68747>

# História da Energia Fotovoltaica 1

- Em 1838, a energia solar fotovoltaica aparece na história da energia solar. Em 1838, o francês Alexandre Edmond Becquerel descobriu pela primeira vez o [efeito fotovoltaico](#). Bequerel estava experimentando com uma bateria eletrolítica com eletrodos de platina e percebeu que, quando exposta ao [sol](#), a corrente aumentava. Foi o começo da [energia solar fotovoltaica](#).
- O próximo passo foi dado em 1873, quando o engenheiro elétrico inglês Willoughby Smith descobriu o [efeito fotovoltaico](#) em sólidos. Neste caso, sobre Selenium.
- Alguns anos mais tarde, em 1877, William Grylls Adams Inglês professor de filosofia natural do Kings College de Londres, juntamente com seu aluno Richard Day Evans, descobriu que quando o selênio exposto a luz gerada [eletricidade](#). Desta forma, eles criaram a primeira célula fotovoltaica de selênio.

# História da Energia Fotovoltaica 2

- Em 1953, Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin descobriram a célula solar de silício. Essa célula produzia [eletricidade](#) suficiente e era eficiente o suficiente para operar pequenos dispositivos elétricos. Estas células fotovoltaicas foram de grande importância no futuro da história da energia solar.
- As primeiras células solares disponíveis comercialmente não apareceram até 1956, embora o custo ainda fosse muito alto para a maioria das pessoas até cerca de 1970, quando o preço das células solares caiu em cerca de 80%.
- As células solares foram usadas nos satélites norte-americanos e soviéticos lançados desde o final da década de 1950.
- O abandono, para fins práticos, da energia solar durou até os anos 70. As razões econômicas colocariam a energia solar de volta em um lugar de destaque na história. Mas, naqueles anos, o aumento no preço dos combustíveis fósseis a partir do petróleo e do gás natural levou a um ressurgimento do uso de energia solar para o aquecimento de casas e água, bem como para a geração de [eletricidade](#).





# SISTEMA FOTOVOLTAICO - APLICAÇÕES

- Produtos de consumo
  - calculadoras
  - brinquedos
  - relógios
  - aparelhos portáteis/ uso doméstico
- Sistemas autônomos
  - telecomunicações
  - bombeamento de água
  - sinalização ( bóias, faróis)
  - iluminação pública
  - residências / postos de saúde
- Sistemas interligados com a rede

# SARNIA PV POWER PLANT – ONTARIO/CANADÁ

## Sarnia PV

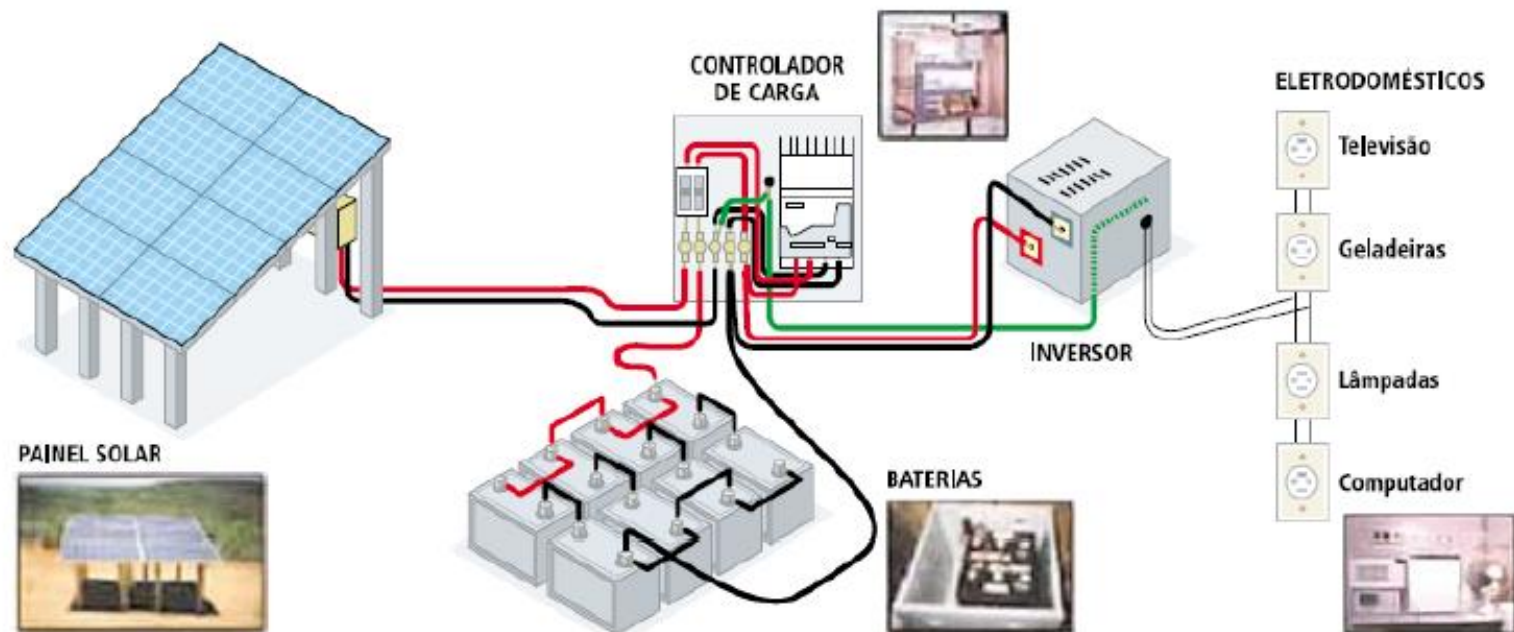
<b>Módulos Fotovoltaicos</b>	1.300.000
<b>Área total</b>	960.000 m <sup>2</sup>
<b>Potência</b>	97 MWp
<b>Geração anual</b>	120 GWh
<b>Fator de capacidade</b>	0,17



Fonte: Sarnia PV

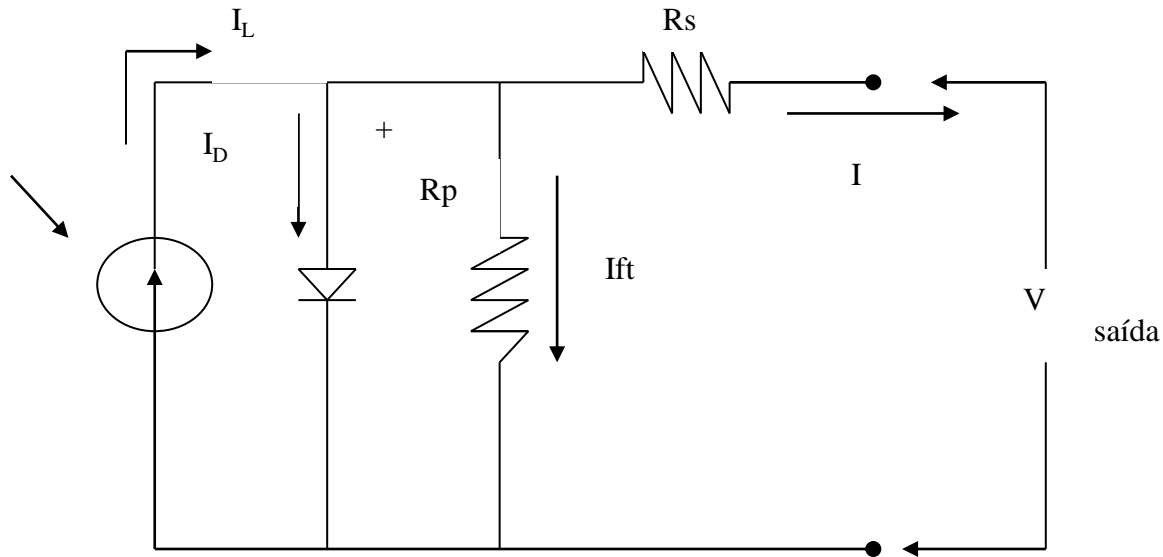
## Módulos Fotovoltaicos

Circuito com todos os componentes:





# Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica



$I_L$  – corrente gerada pela incidência da radiação

$I_D$  – corrente de saturação do diodo

$I_{ft}$  - corrente de fuga para terra

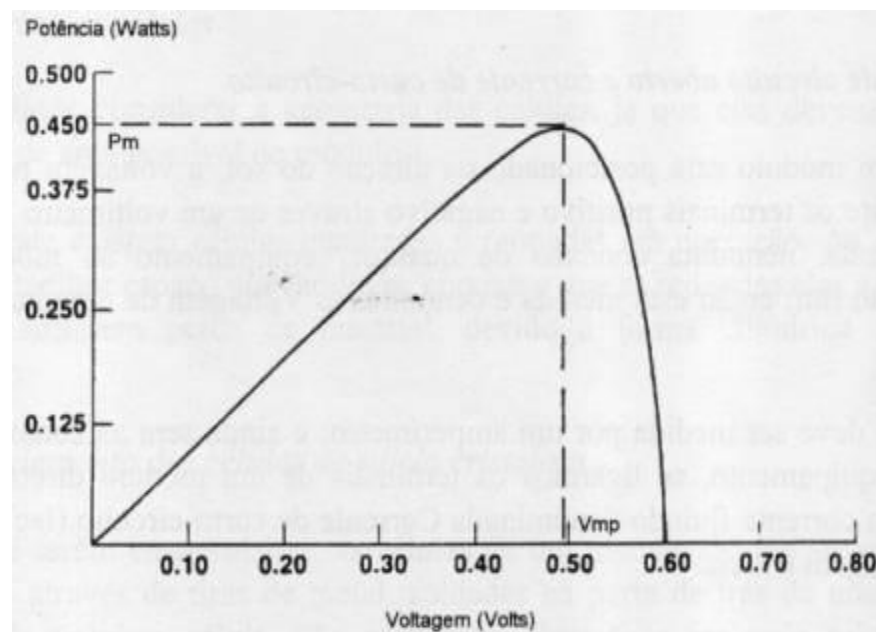
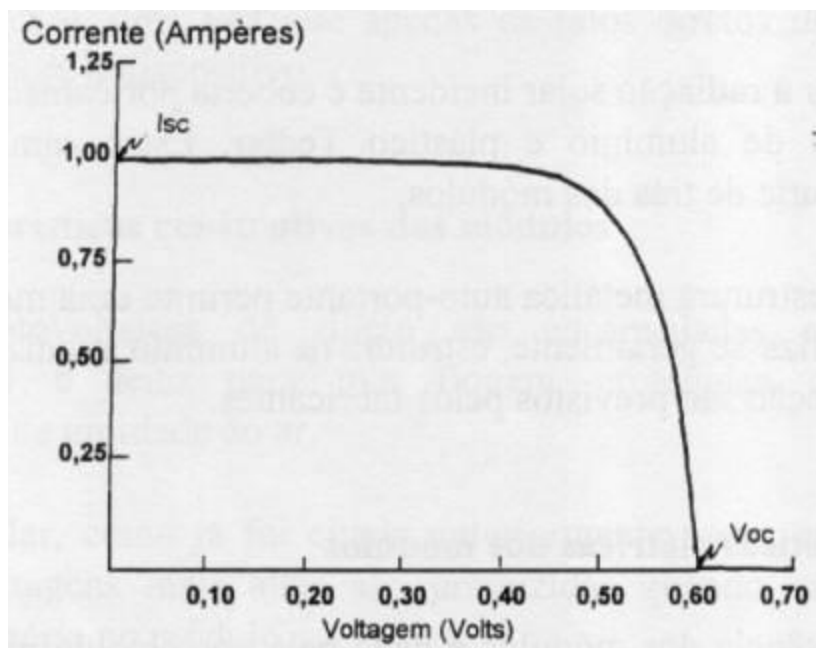
$I$  – corrente nos terminais de saída

$R_p$  – resistência shunt

$R_s$  – resistência série

# Características elétricas dos módulos

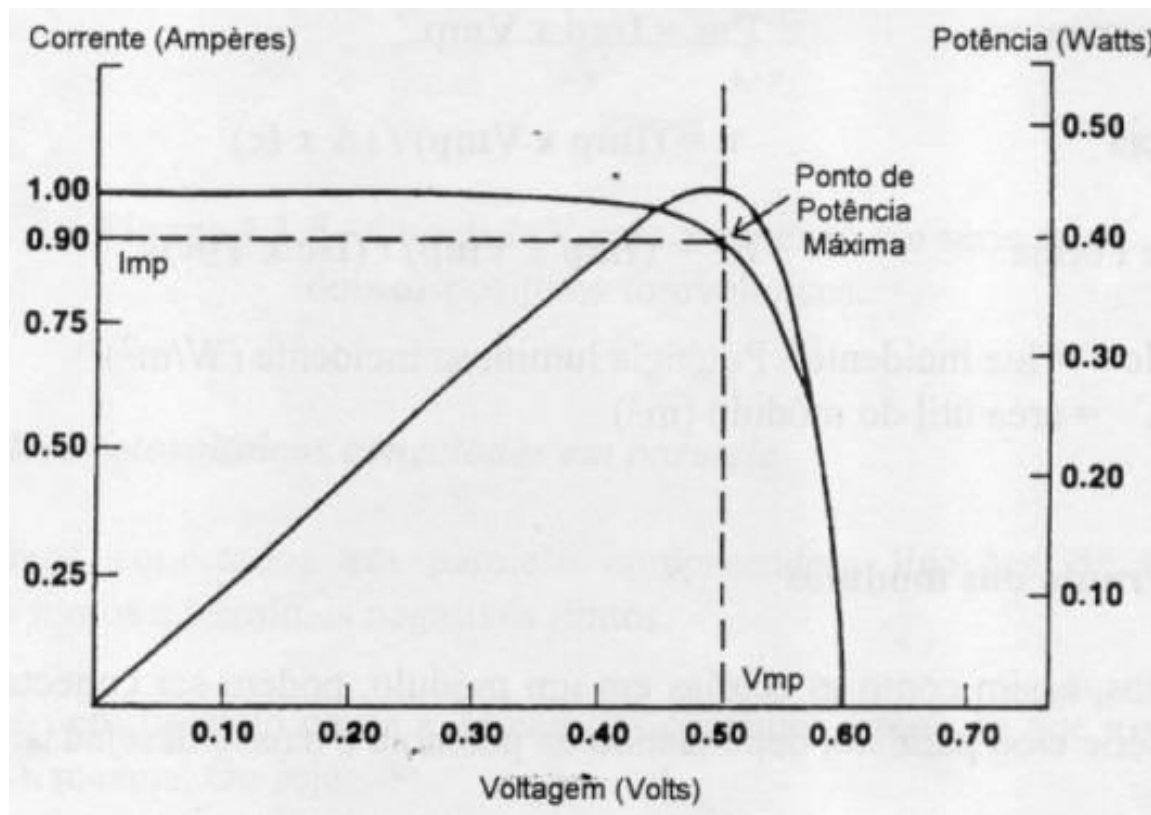
- Voltagem de circuito aberto e curto-circuito



Curva característica  $I \times V$  típica de uma célula de silício monocristalino

Curva típica de potência versus voltagem para uma célula de silício monocristalino

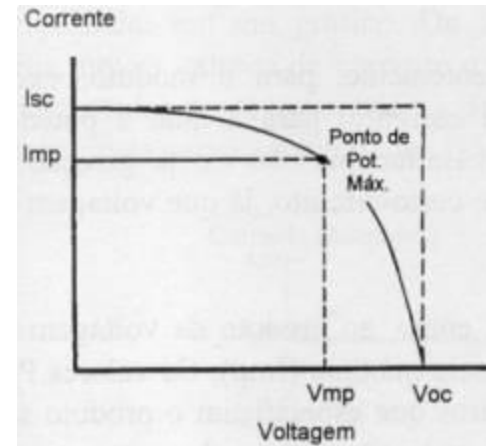
## Curva característica $I \times V$ superposta à curva de potência para análise de parâmetros



Parâmetros de potência máxima

**Fator de forma - FF** é uma grandeza que expressa quanto a curva característica se aproxima de um retângulo no diagrama  $I \times V$ . Quanto melhor a qualidade das células no módulo mais próxima da forma retangular será sua curva  $V \times I$ .

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}}$$



Conhecida então a curva característica  $I \times V$  de uma célula ou um módulo pode-se calcular:

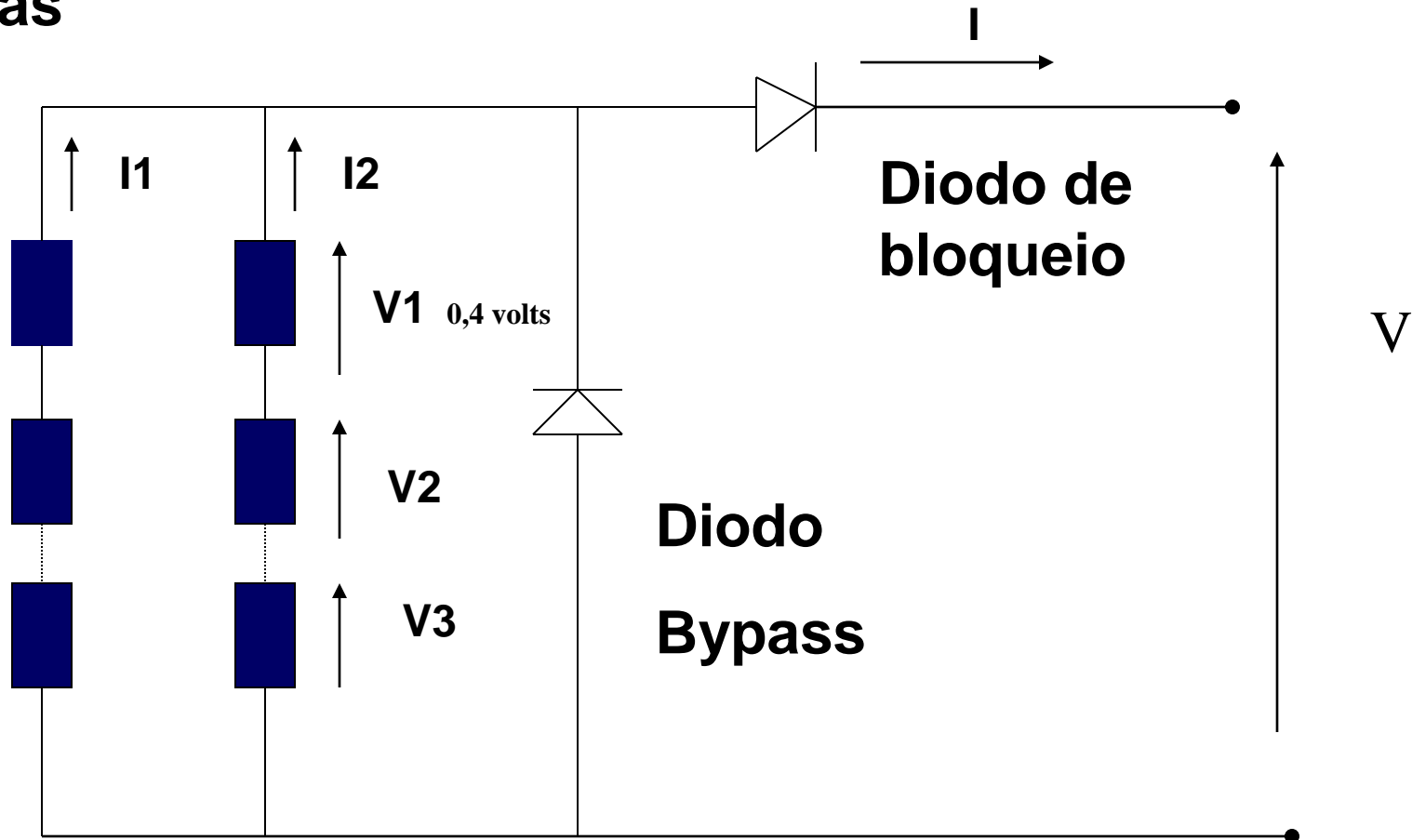
- Potência máxima  $P_m = I_{mp} \times V_{mp}$
- Eficiência  $\eta = (I_{mp} \times V_{mp}) / (A \times I_c)$
- Fator de forma  $FF = (I_{mp} \times V_{mp}) / (I_{sc} \times V_{oc})$

Onde:  $I_c$  = Luz incidente - Potência luminosa incidente ( W/m<sup>2</sup>)

A - área útil do módulo (m<sup>2</sup>)

# Módulo - Arranjo das células

## Células



$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots V_n$$

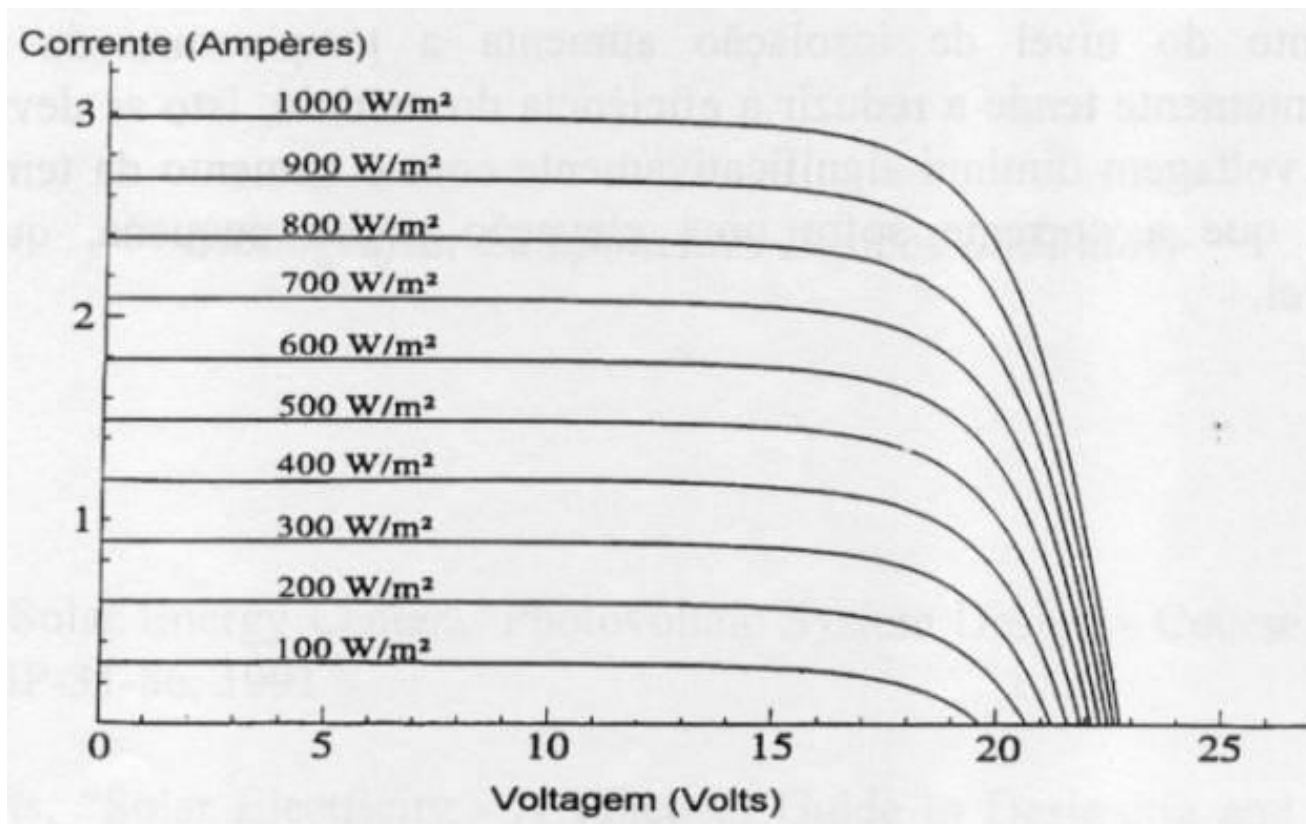
$$I = I_1 + I_2 + \dots I_n$$

## **Fatores que afetam as características elétricas dos módulos**

- Intensidade luminosa
- Temperatura das células

A condição padrão para plotagem das curvas características e testes dos módulos é definida para radiação de  $1000 \text{ W / m}^2$  (radiação recebida da superfície na terra em dia claro, ao meio dia), e temperatura de  $25^\circ\text{C}$  na célula ( a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura)

# Intensidade luminosa

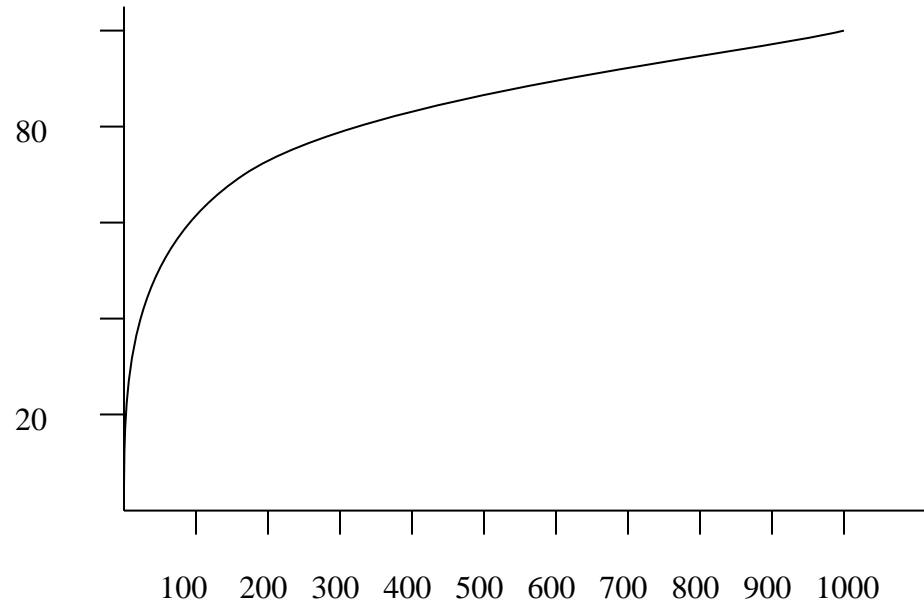


Efeito causado pela variação da intensidade da luz na curva característica  $I \times V$  para um módulo fotovoltaico



# Eficiência de conversão versus radiação

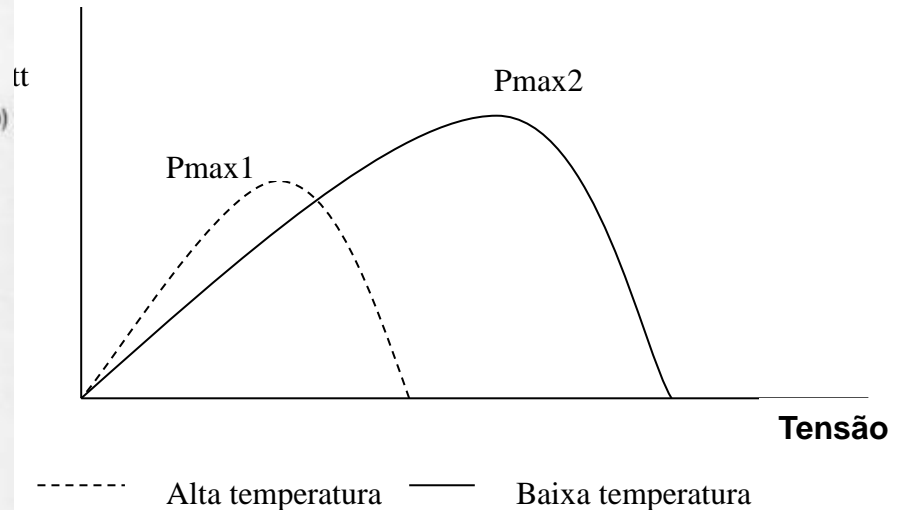
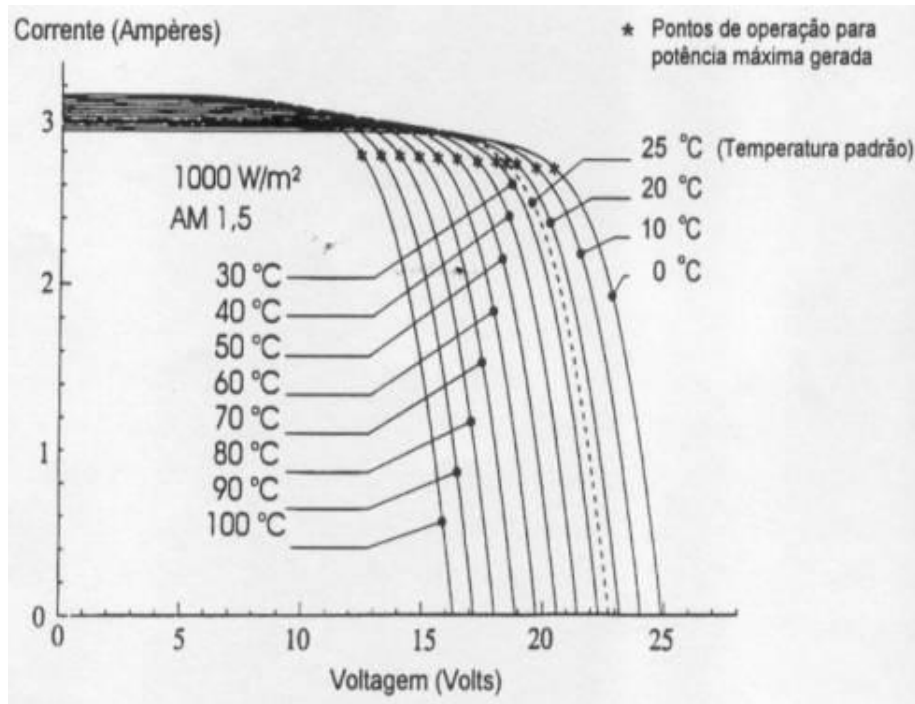
%



Radiação solar  $\text{W/m}^2$

## Temperatura das células

A incidência de um nível de insolação e a variação da temperatura ambiente implicam em uma variação de temperatura nas células que compõem o módulo

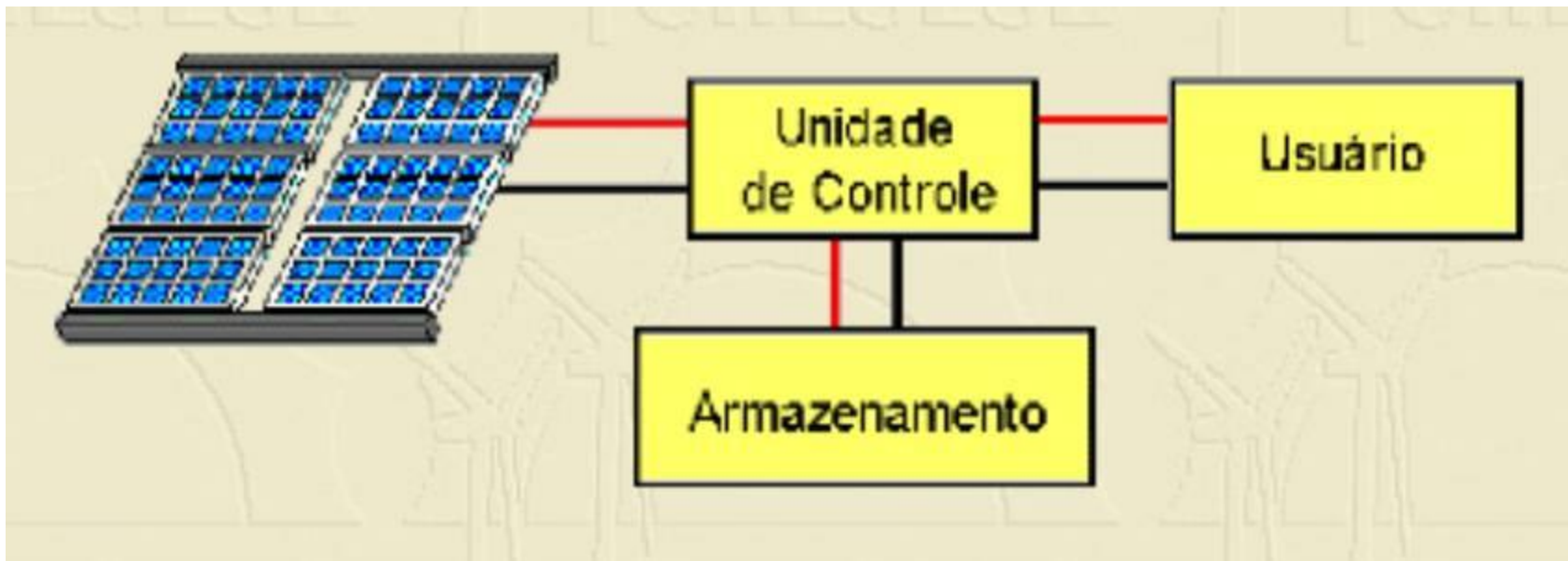


Efeito causado pela temperatura da célula na curva característica  $I \times V$  ( para 1000 W/m<sup>2</sup>) em um módulo fotovoltaico

# Configurações básicas

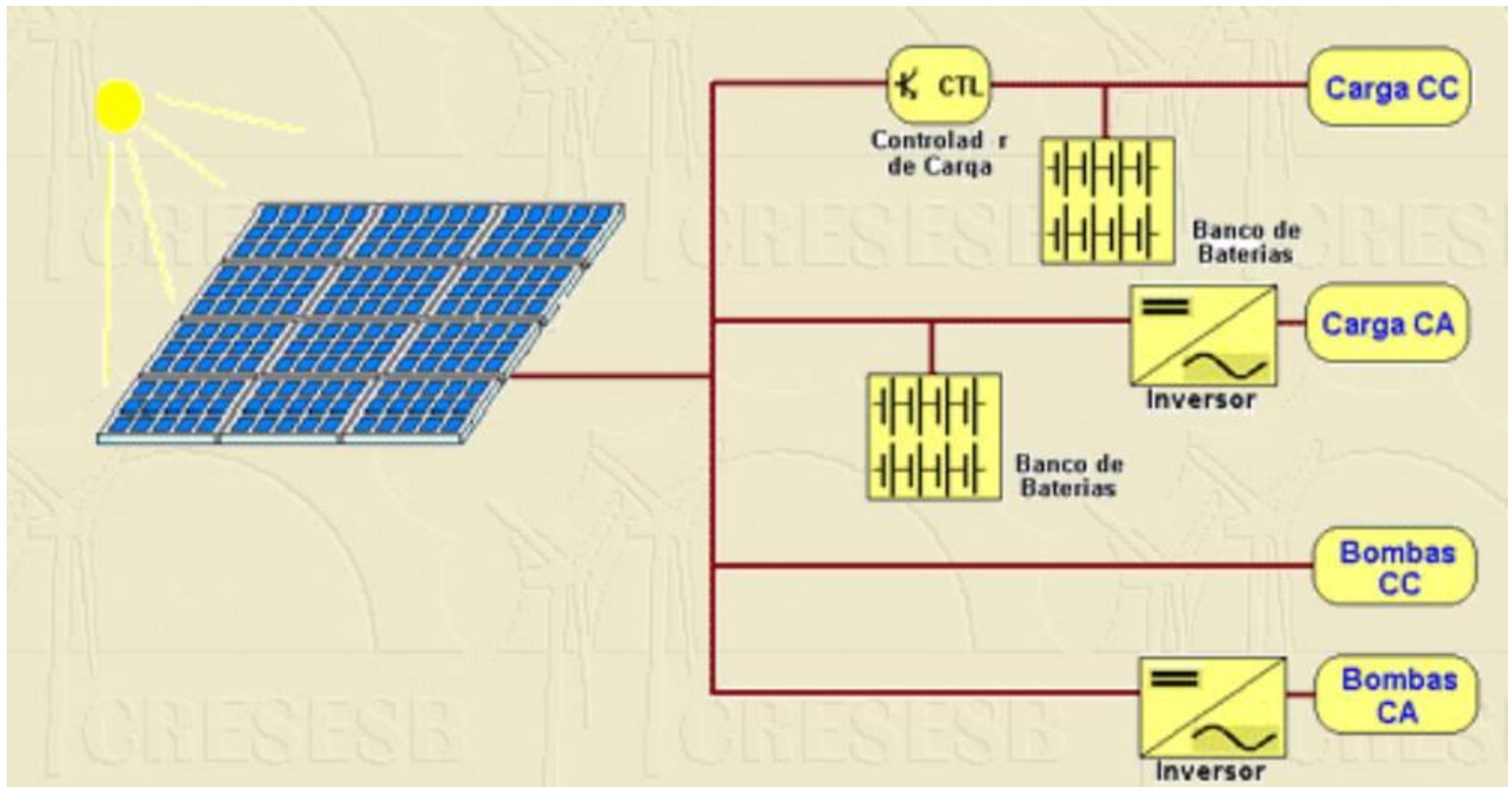
## Classificação:

- Sistemas isolados
- Sistemas híbridos
- Sistemas conectados à rede



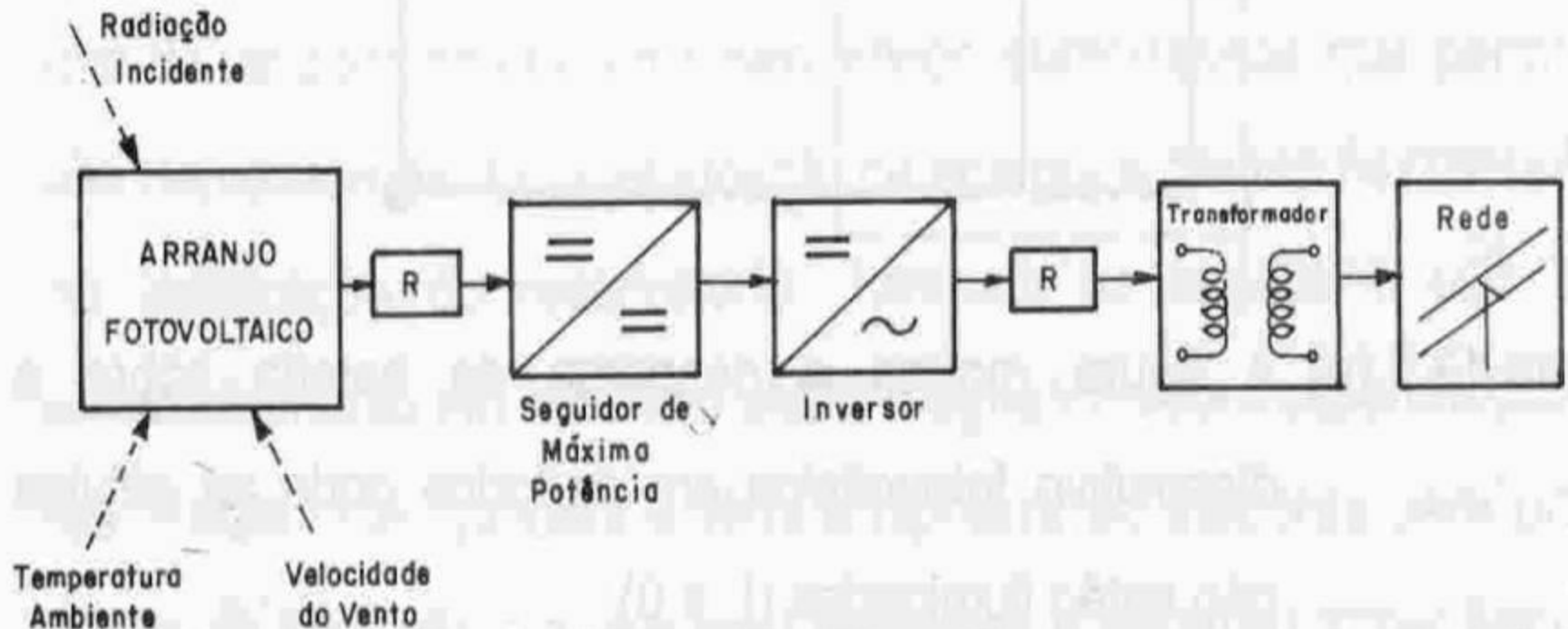
Configuração básica de um sistema fotovoltaico

# Sistema autônomo ou isolado



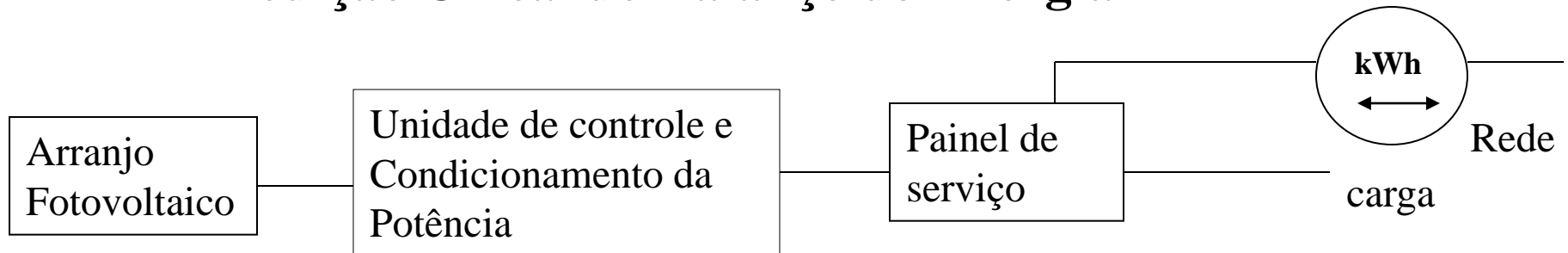
# Sistema conectado à rede elétrica

## Grande porte

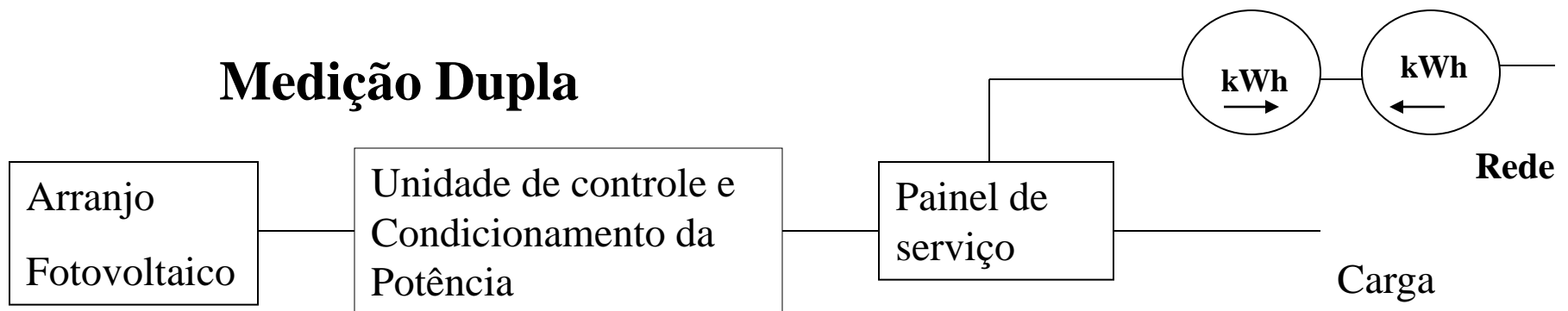


# Sistemas conectados à rede - Sistemas residenciais

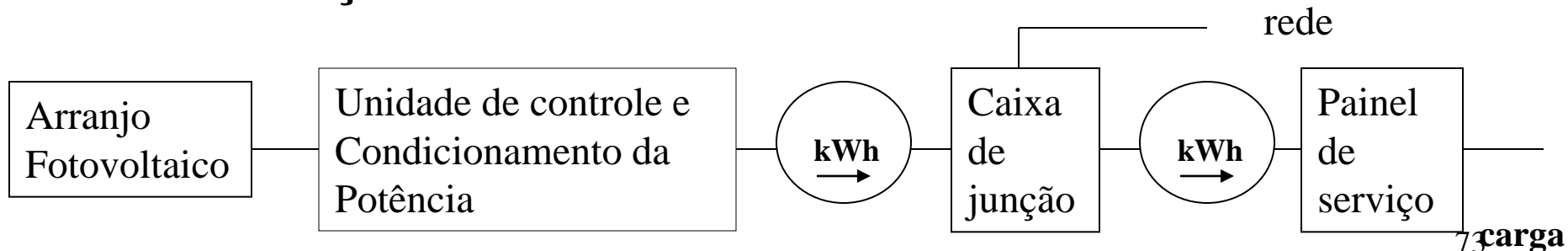
## Medição Única do Balanço de Energia



## Medição Dupla

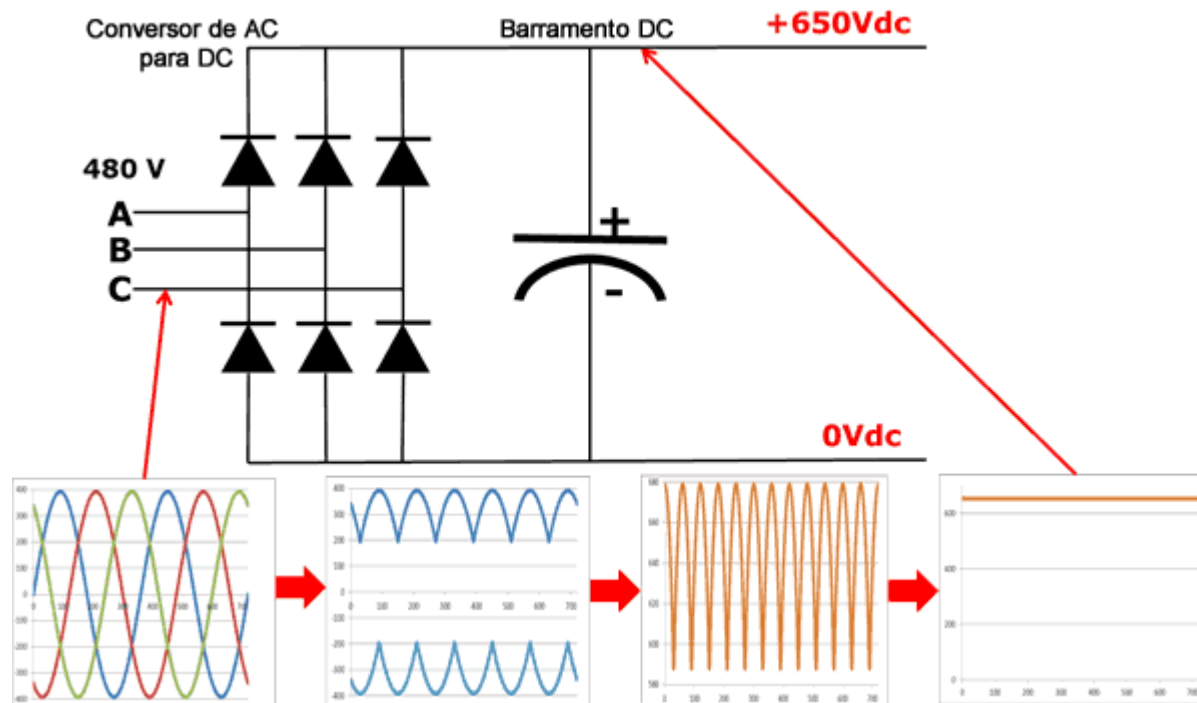


## Medições simultâneas



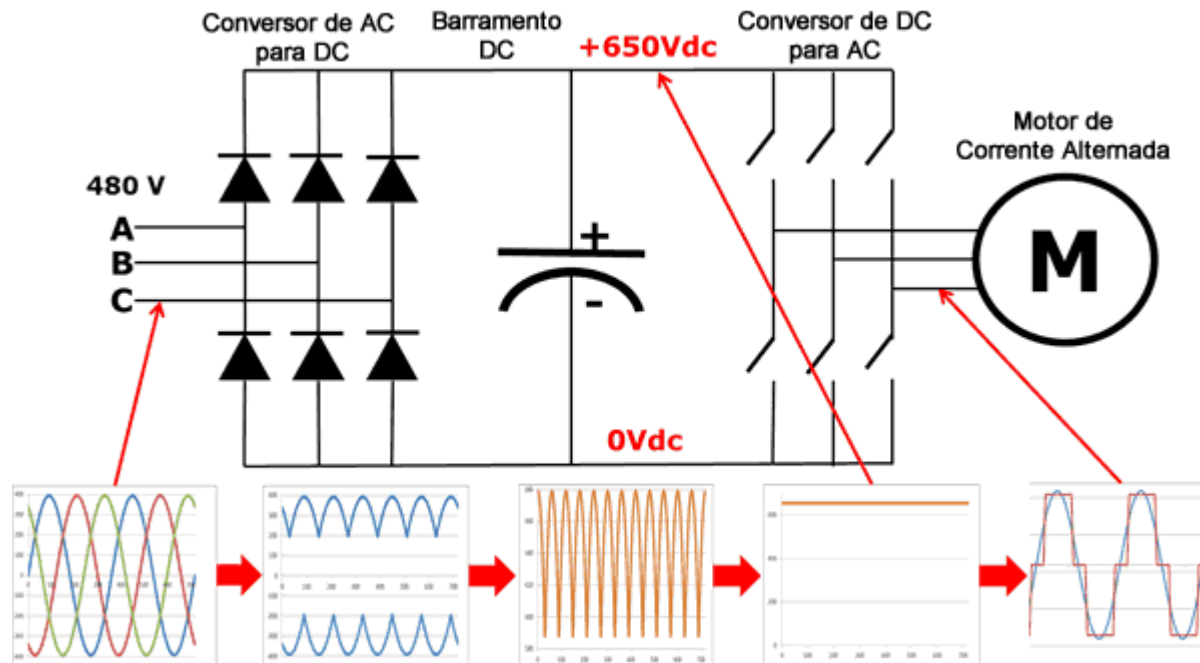


Inversor

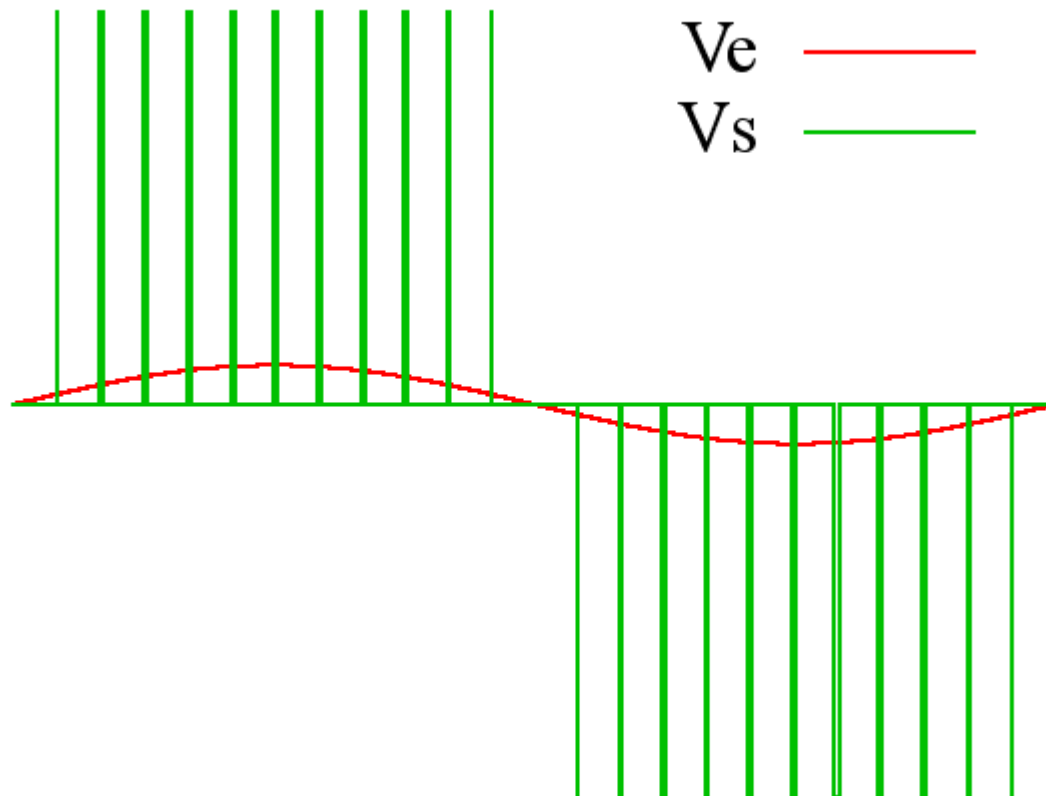


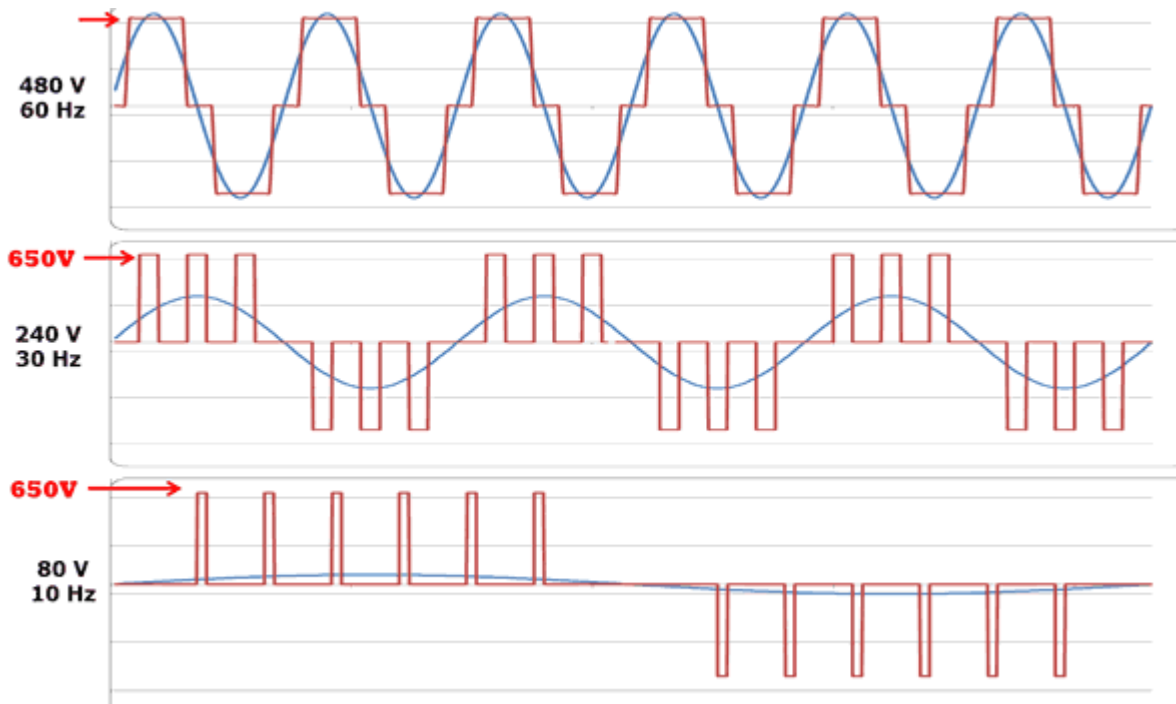
Barramento DC de um *inversor de frequência*

[https://youtu.be/WVI8Z7p\\_rdY](https://youtu.be/WVI8Z7p_rdY)



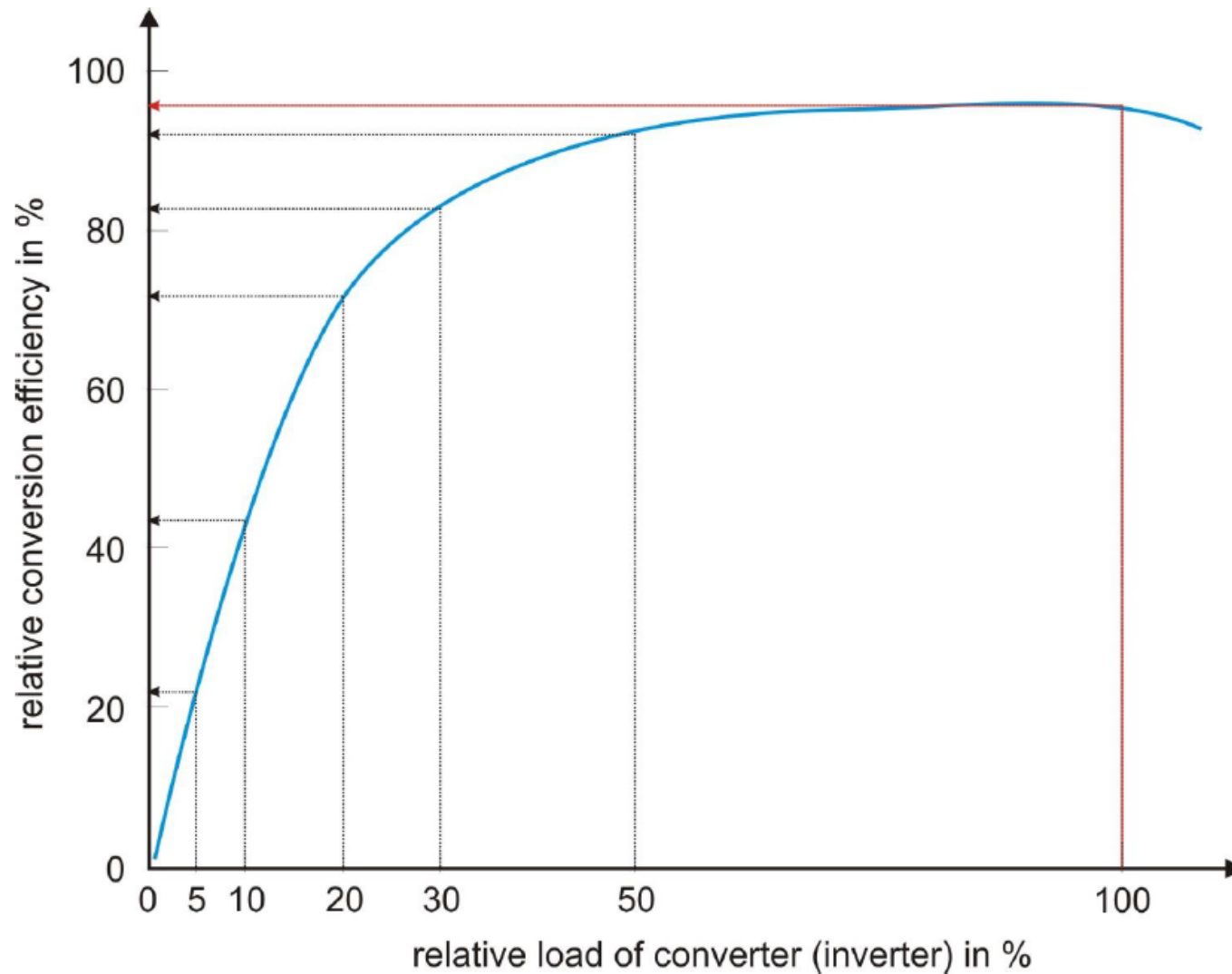
Circuito de um *inversor de frequência*





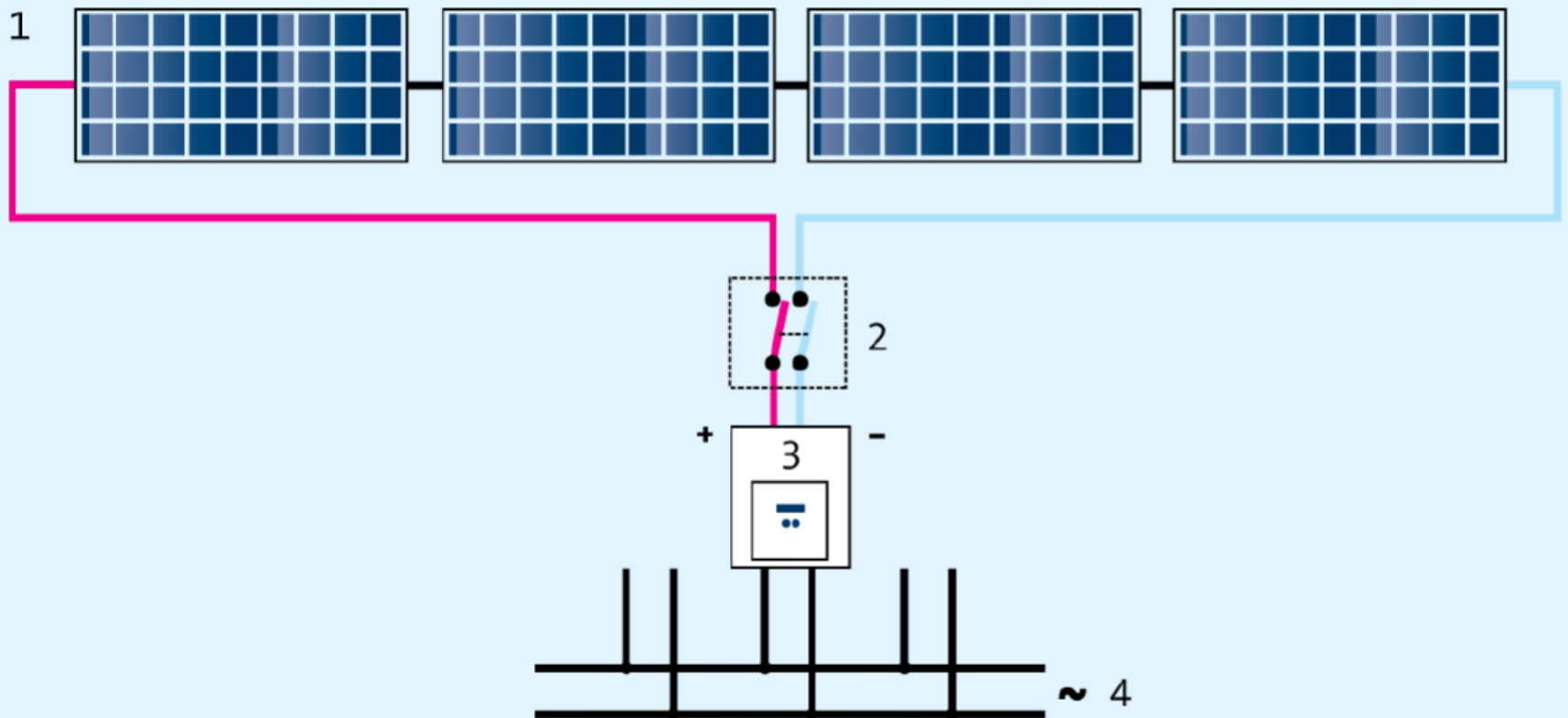
Modulação [PWM](#) de um Inversor de Frequência

## Example for the calculation of the weighted “*European Efficiency*” $\eta_{Euro}$ of an inverter



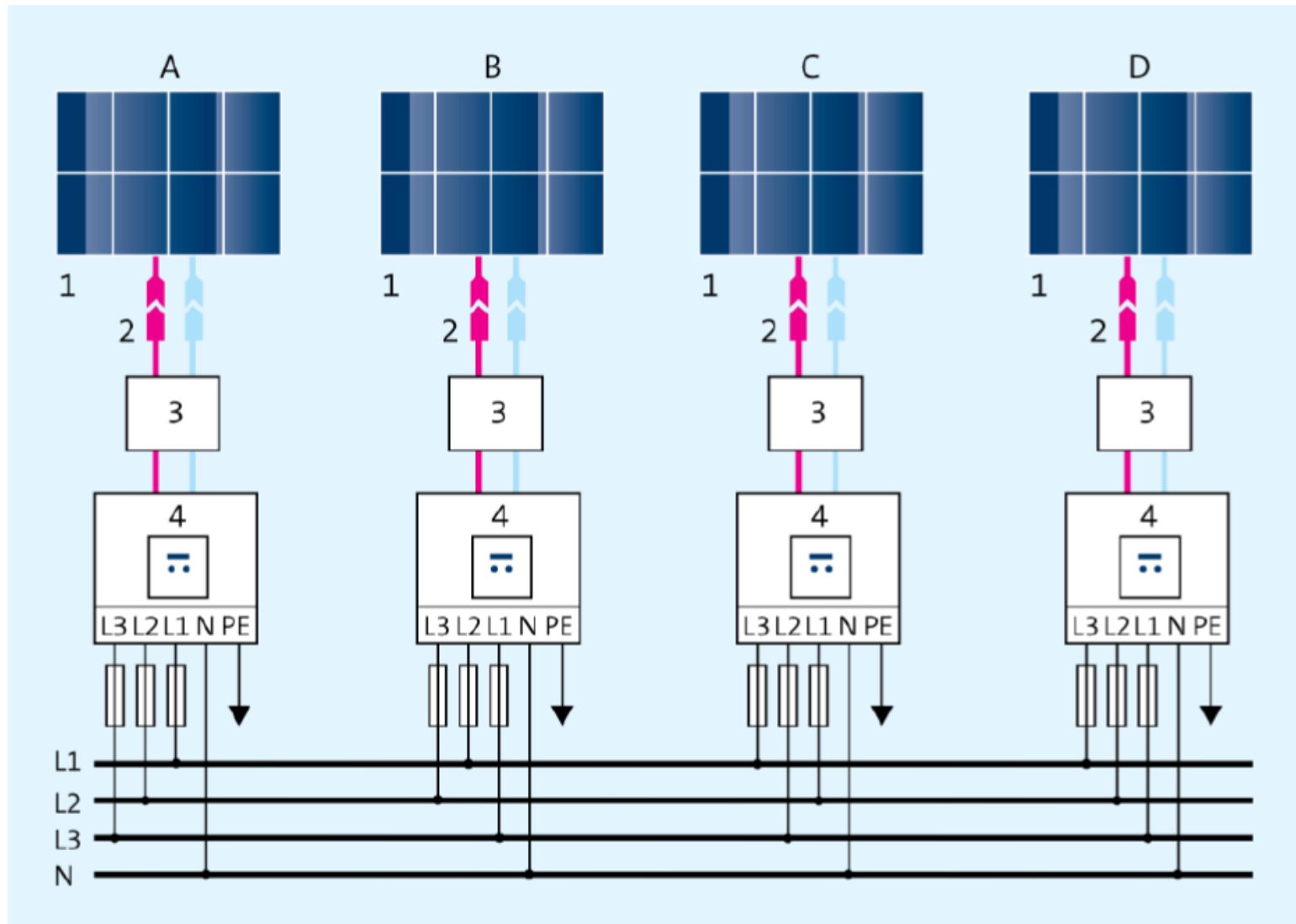


## Configuration 1: Grid connection via a single inverter of a string or an array of modules



1 PV generator, 2 DC Breaker, 3 Inverter, 4 Grid

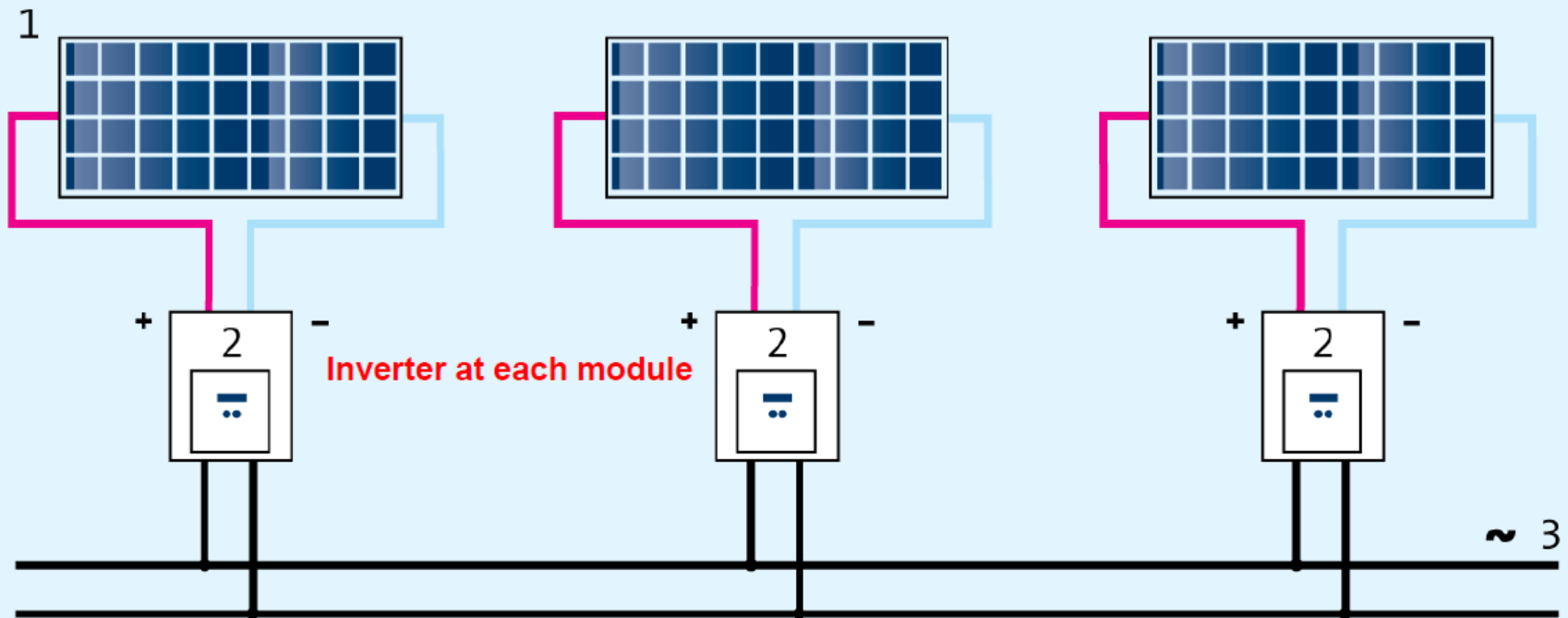
## Configuration 2: Multi-string grid connection (3 phases) of PV generators with several inverters



1 PV generator, 2 PV connector, 3 generator junction box, 4 inverter

## Configuration 3: Module Inverters

Each module independent: Reduced effects of shading losses and electrical faults, easier to install, less planning – slightly higher costs



1 PV generator, 2 Inverter, 3 Grid

# COMPONENTES PRINCIPAIS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

## QUAL BATERIA UTILIZAR em um SFV?

- REGARREGÁVEIS E NÃO-RECARREGÁVEIS
- ABERTA OU SELADA
- CICLO RASO OU CICLO PROFUNDO
- QUAL TIPO?

TIPOS: {

- CHUMBO-ÁCIDO
- NÍQUEL-CÁDMIO
- NÍQUEL-FERRO
- SÓDIO-ENXOFRE
- NÍQUEL-HIDROGÊNIO

## Principais parâmetros de avaliação de uma bateria:

**Capacidade: ; (Ah); ( Wh)**

**Capacidade de energia** – número total de Wh que pode ser retirado de uma célula ou bateria totalmente carregada

Teoricamente , uma bateria de 200Ah deve ser capaz de fornecer:

- 200 A durante 1 hora
- 50 A por quatro horas
- 4 A por 50 horas
- Ou ainda 1 A por 200 horas

## Outros parâmetros

**Eficiência -**

**Vida útil – número de ciclos ; ou período de tempo**

**Taxa de auto-descarga;**

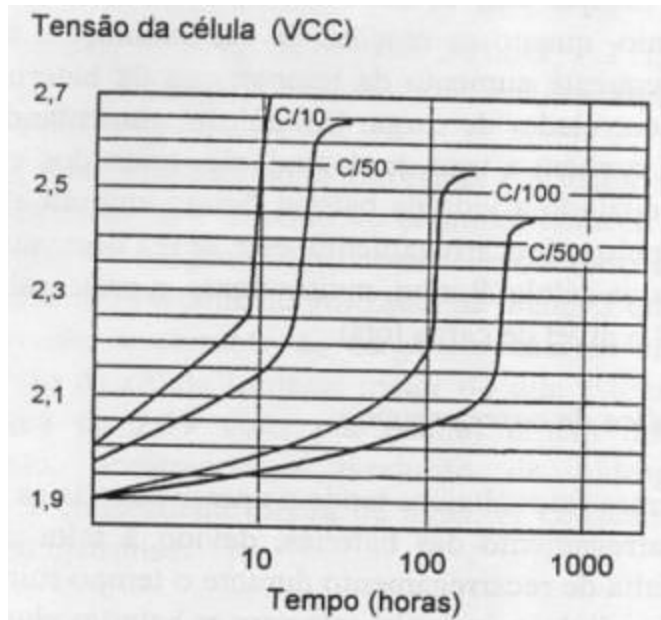
**Custo**

**Fatores que afetam a eficiência, a capacidade e a vida útil de uma bateria:**

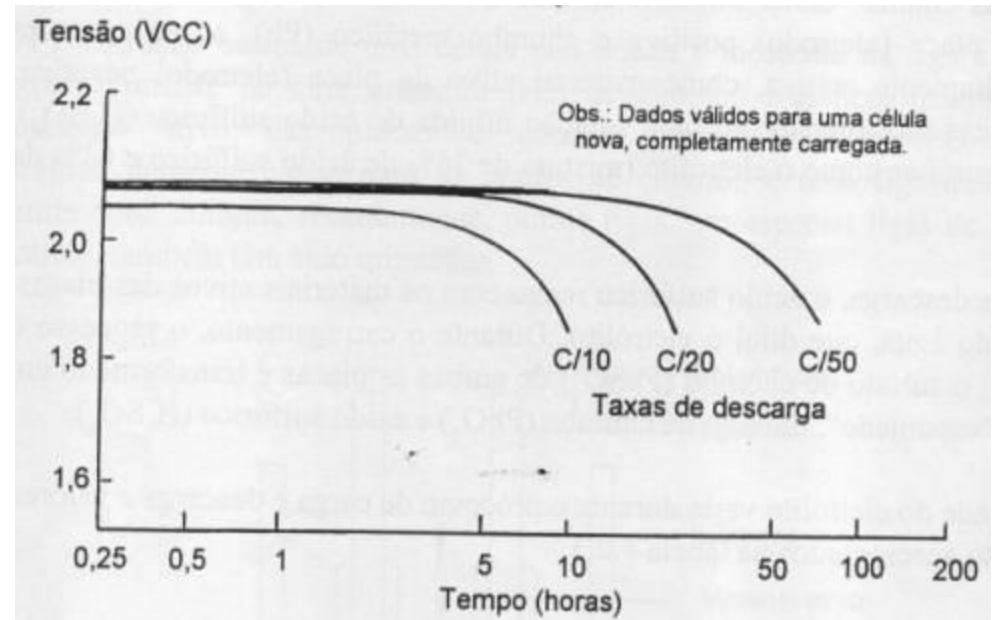
- **profundidade de descarga (por ciclo),**
- **temperatura**
- **controle de carga/descarga;**
- **manutenção periódica**



# Perfil típico de tensão durante o processo de carga/descarga



## Processo de carga



## Processo de descarga

Taxa de carga/descarga = valor de corrente aplicado/retirado de uma bateria durante o processo de carga/descarga

Taxa de carga = capacidade nominal / intervalo de carga

EX: 500 Ah/10 horas = 50 Amps = taxa C/10

# Baterias recarregáveis

- **Automotivas** – projetadas para descargas rápidas com elevadas taxas de corrente e com reduzidas profundidades de descarga
- **Tração** – indicadas para alimentar equipamentos móveis elétricos como, empilhadeiras, e são projetadas para operar em regime de ciclos diários profundos com taxa de descarga moderada.
- **Estacionárias**- baterias direcionadas tipicamente para aplicações em que permanecem em flutuação e são solicitadas ocasionalmente para ciclos de carga/descarga, Esta condição é típica de sistema de “back-up”
- **Fotovoltaicas** – São projetadas para ciclos diários rasos com taxa de descarga reduzidas e devem suportar descargas profundas esporádicas devido a possível ausência de geração ( dias nublados)

# CONTROLADOR DE CARGA

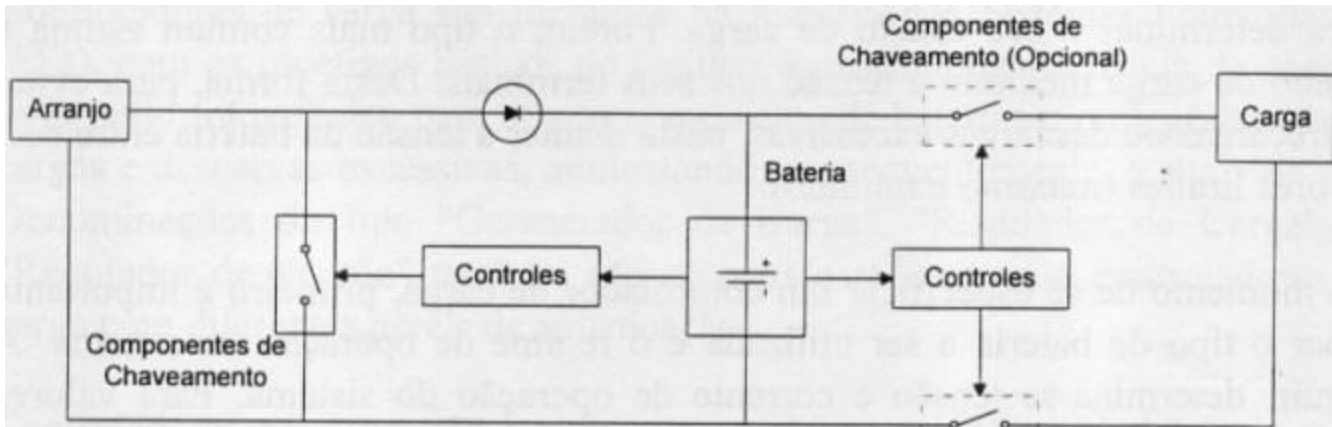
## Funções específicas:

- Desconectar o arranjo fotovoltaico quando a bateria atinge carga plena
- Interromper o fornecimento de energia quando o estado da carga da bateria atinge um nível mínimo de segurança
- Monitorar o desempenho do sistema fotovoltaico (corrente e tensão de carregamento da bateria)
- acionam alarmes quando ocorre algum problema
- compensam o efeito da variação da temperatura na bateria

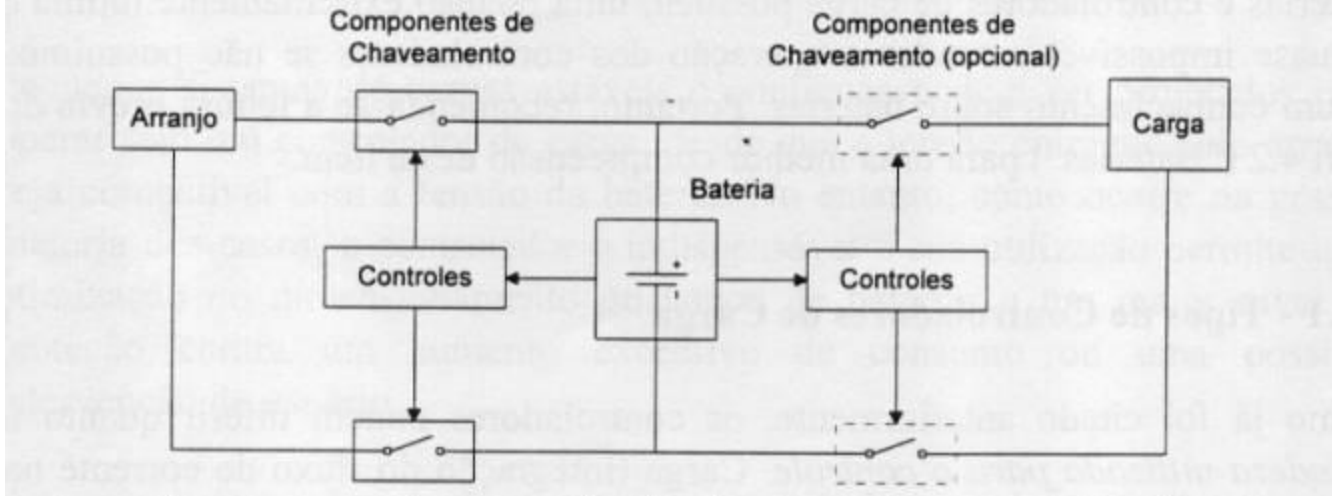
## TIPOS DE CONTROLADORES DE CARGA

- Quanto a grandeza utilizada para controle (corrente, tensão, densidade do eletrólito)
- forma como o controlador utiliza para desconectar o painel fotovoltaico da bateria : shunt ou série

# TIPOS DE CONTROLADORES DE CARGA



**Regulador  
shunt**



**Regulador  
série**

# ESPECIFICAÇÃO DO CONTROLADOR

**Os parâmetros para especificação dos controladores de carga são obtidos da:**

- **Demanda de energia e**
- **Curvas de características das baterias, como as de carga e descarga e a de vida útil (em ciclos) desejada.**

**O mínimo necessário para se especificar o controlador:**

- **Os valores de corrente máxima, que deve ser maior do que a máxima corrente de curto-circuito esperada para o arranjo fotovoltaico,**
- **Tensão de operação do sistema ;**

# INVERSORES ou CONVERSOR CC-CA


## TIPOS:

- CONVERSOR ESTÁTICO (ESTADO SÓLIDO)
- CONVERSOR ROTATIVO


Tipo	Vantagens	Desvantagens
Inversor auto-comutado	<ul style="list-style-type: none"><li>- Podem operar conectados a rede elétrica ou alimentando cargas isoladas</li><li>- Tem melhor fator de potência</li><li>- Produz menor quantidade de harmônicos</li></ul>	Projeto do equipamento mais complexo
Inversor comutado pela rede	<ul style="list-style-type: none"><li>- Projeto mais simples</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Depende da existência de tensão na rede</li><li>- Requer correção do fator de potência e dos harmônicos</li></ul>

# ESPECIFICAÇÃO DOS INVERSORES

- TENSÃO DE ENTRADA CC (12,24,48,120Vcc) E SAÍDA CA (120,240VCA)
- EXIGÊNCIA DA CARGA

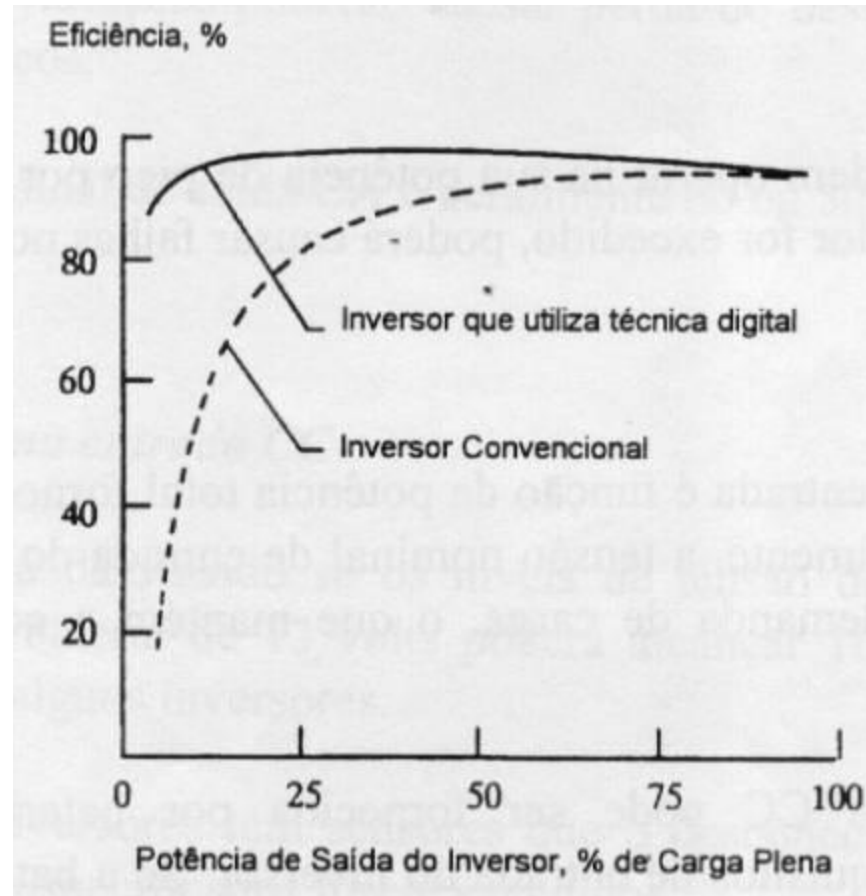
- 
- POTÊNCIA
  - VARIAÇÃO DE TENSÃO
  - FREQUÊNCIA
  - FORMA DE ONDA

• Dimensionamento:

- 
- Potência elétrica em operação normal
  - Potência de pico

# EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO

ENTRE 50 A 90%



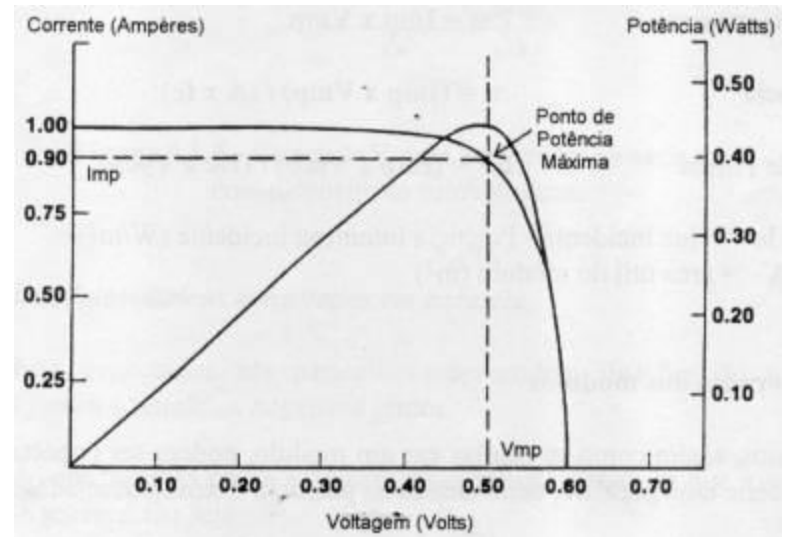
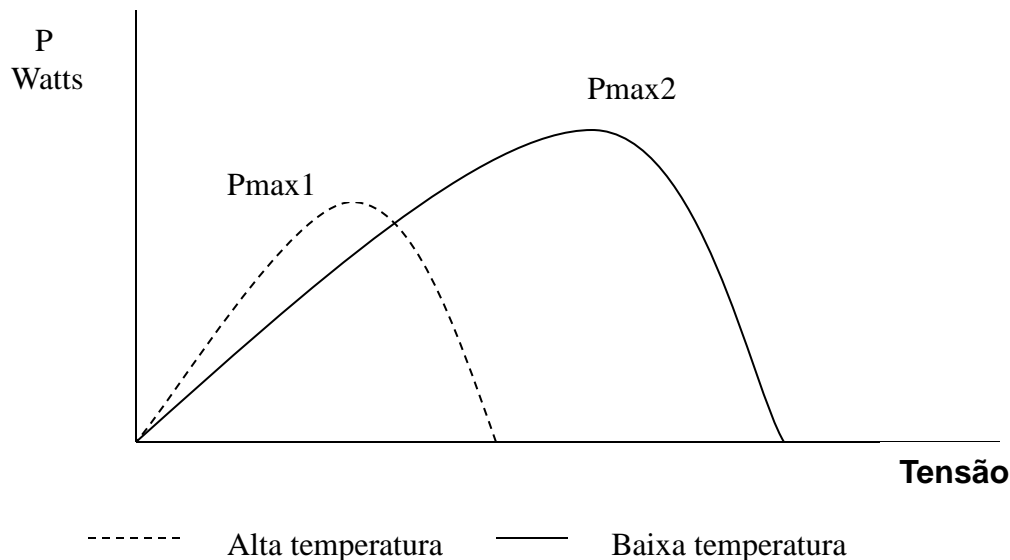
EFICIÊNCIA TÍPICA DE INVERSORES



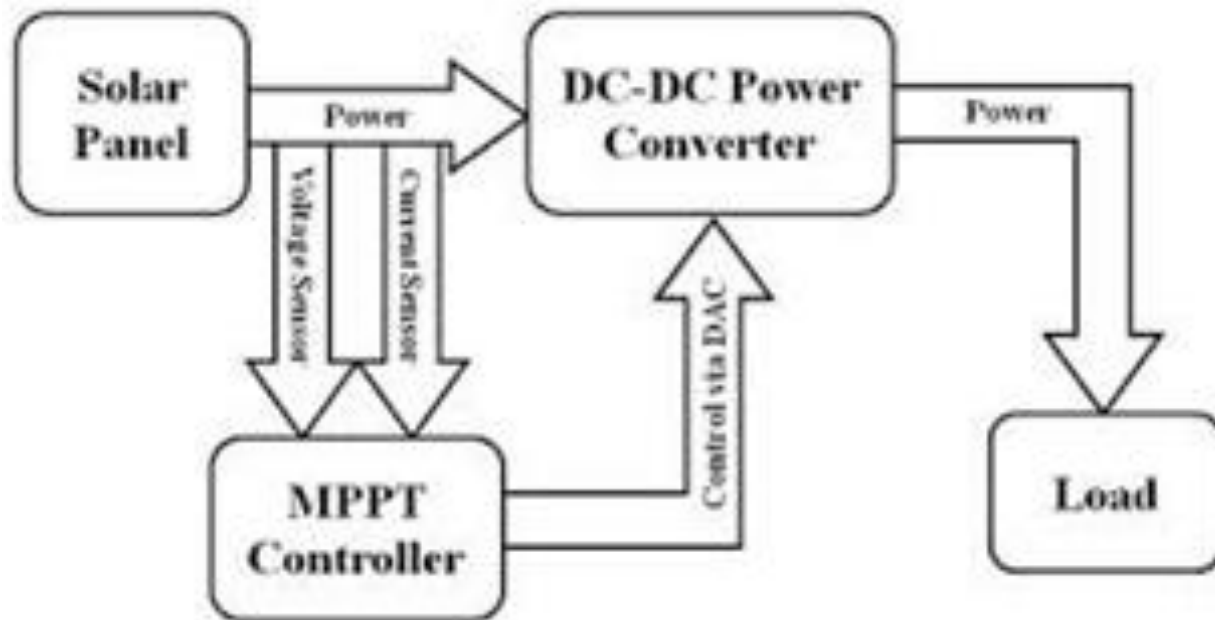
# CONVERSORES CC- CC

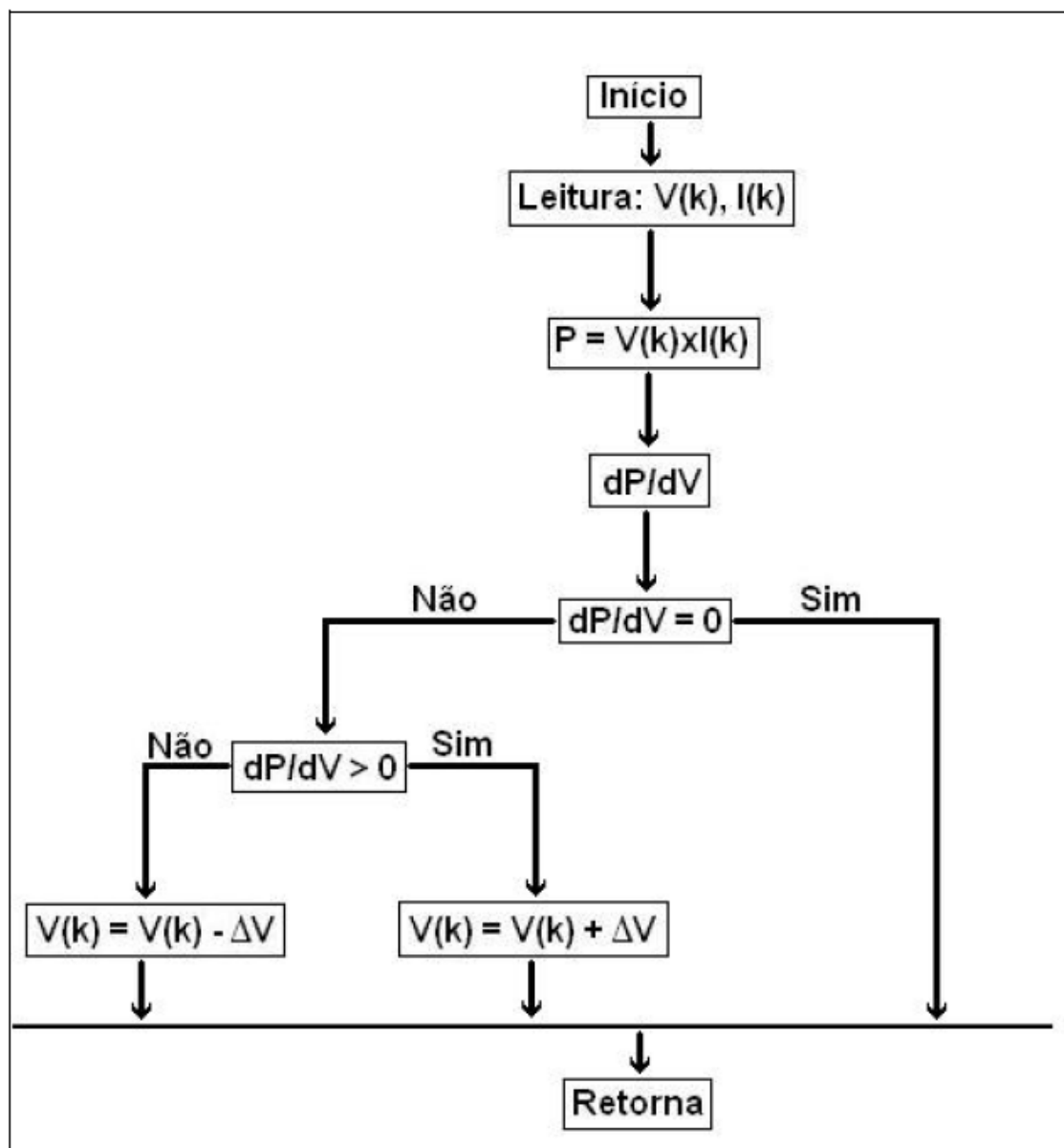
## FUNÇÃO:

- controlar de forma mais precisa a corrente e a tensão que são aplicados às baterias, proporcionando assim um aumento da vida útil da bateria e maior eficiência no processo de transferência de energia
- Pode ter incorporado um **seguidor do ponto de máxima potência**
- obter tensões na saída diferente da de entrada



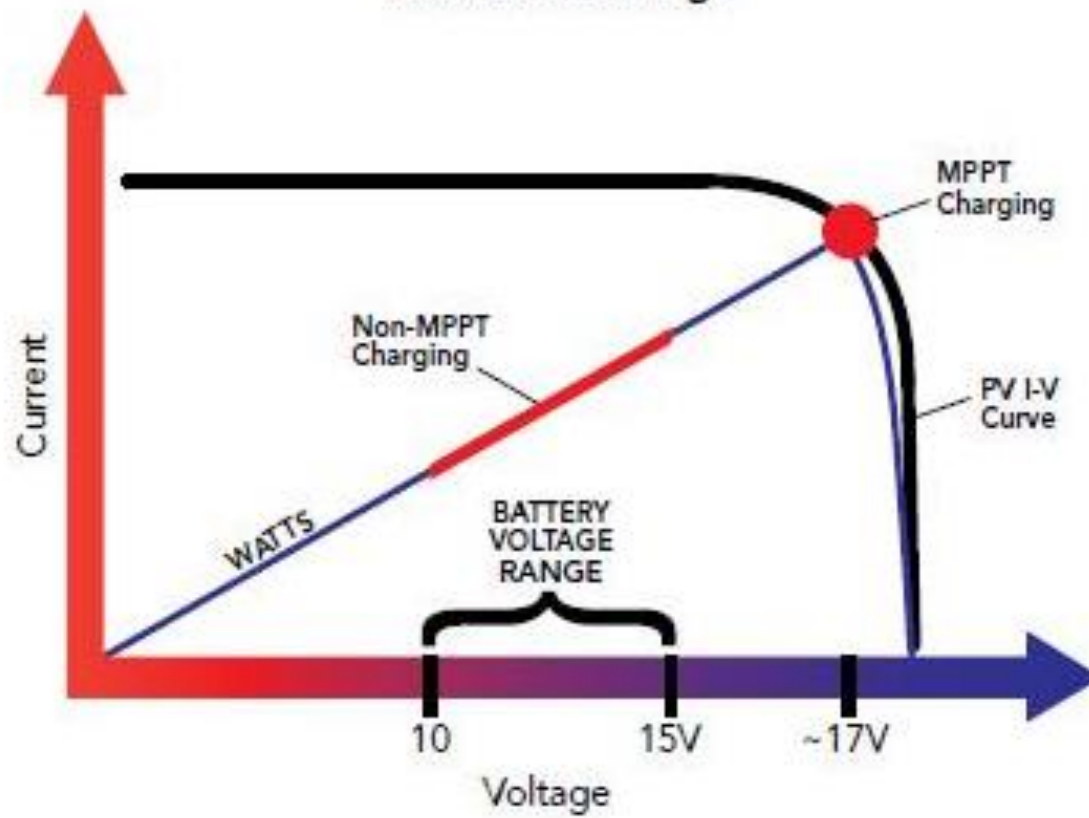
# MPPT – Maximum Power Tracker



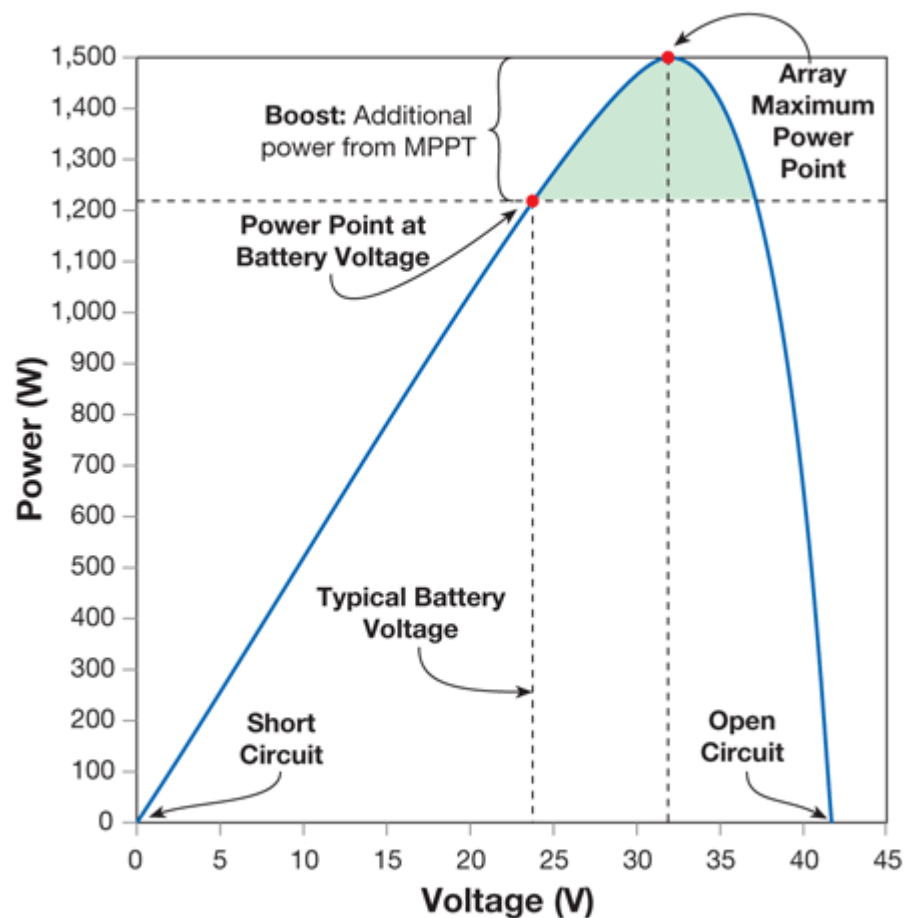


Fluxograma do algoritmo do controle utilizado no método da variação da condutância.

## MPPT Advantage



# MPPT VS. NON-MPPT

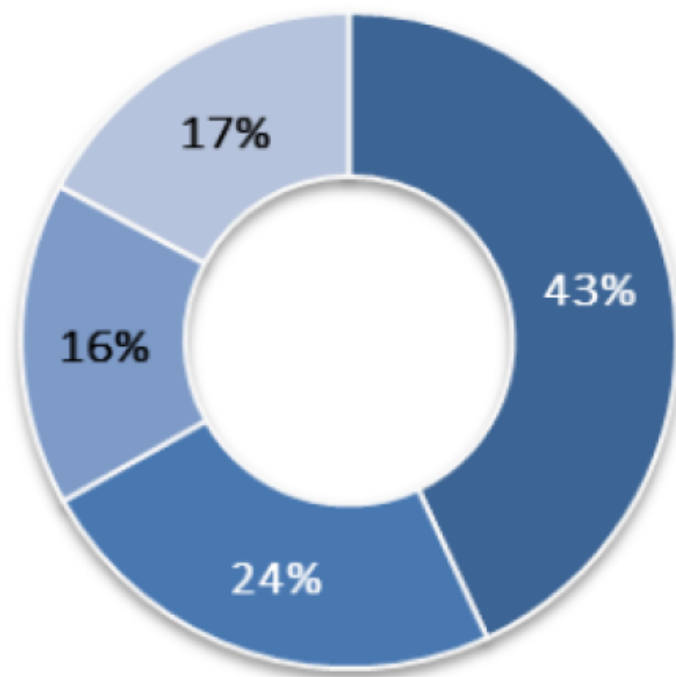


Array Rated Wattage: 1,800 W

Battery Nominal Voltage: 24 V

Array Nominal Voltage: 24 V

## Composição de Custos de um Sistema de Geração Fotovoltaico



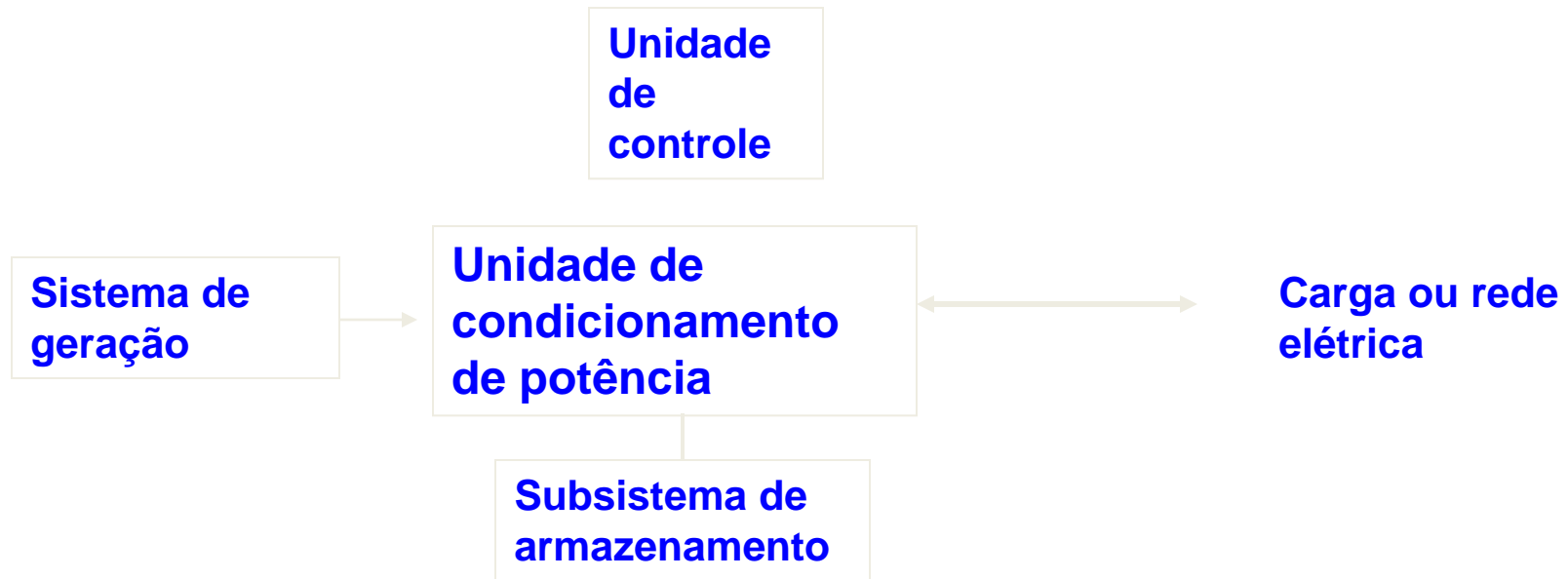
■ Módulos fotovoltaicos

■ Inversores

■ Outros componentes (estrutura física, instalações e proteções elétricas, etc)

■ Projeto e instalação

# PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO



Critério de dimensionamento ?

**PODE-SE DIVIDIR O PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM QUATRO PARTES:**

- **AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR**
- **ESTIMATIVA E AVALIAÇÃO DA CURVA DE CARGA**
- **ESCOLHA DA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA E CRITÉRIO DE PROJETO**
- **DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA**

# Projeto de um sistema fotovoltaico

- Avaliação do recurso solar

## Grandezas disponíveis

- Num. De horas de insolação
- radiação global no plano horizontal

## Dados especificados:

- Fluxo de potência =  $W / m^2$
- Energia por unidade de área =  $Wh/m^2$
- N. de horas de sol pleno /dia

**Forma comum:** Médias mensais para a energia acumulada ao longo de um dia



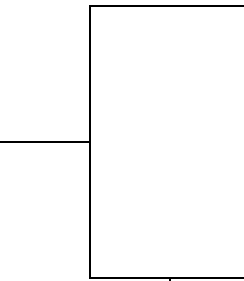
# Sistema a ser dimensionamento

Gerador (? Wp)



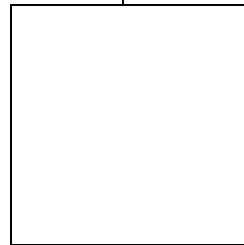
3

Controlador de Carga



2

Bateria  
(? Ah)



Inversor

Usuário Final  
(? Wh/dia)

1

Carga CA

Carga CC

## Passo 1

-Especificação da carga :

Tipo de carga/equipamento

Tensão : nível, (AC ou DC)

Horas diárias de uso

- Cálculo do consumo diário = Wh/dia

- Determinação da máxima potência = ..... watts

# 1- Cálculo do consumo diário das cargas

Exemplo:

Aparelho	Qtidade	Potência Watts	Horas/dia	Dias/semana	Consumo Wh/dia
Televisão (127Volts/AC)	1	100	3	7	300
Geladeira (127 volts/AC)	1	120	10	4	686
Ventilador 12Volts CC	1	50	3	7	150
Lâmpadas 12 Volts CC	4	10	4	7	160
Potência máxima CC		90			1296
Potência máxima CA		220			
Consumo AC					986
Consumo CC					310
Consumo diário total					1306

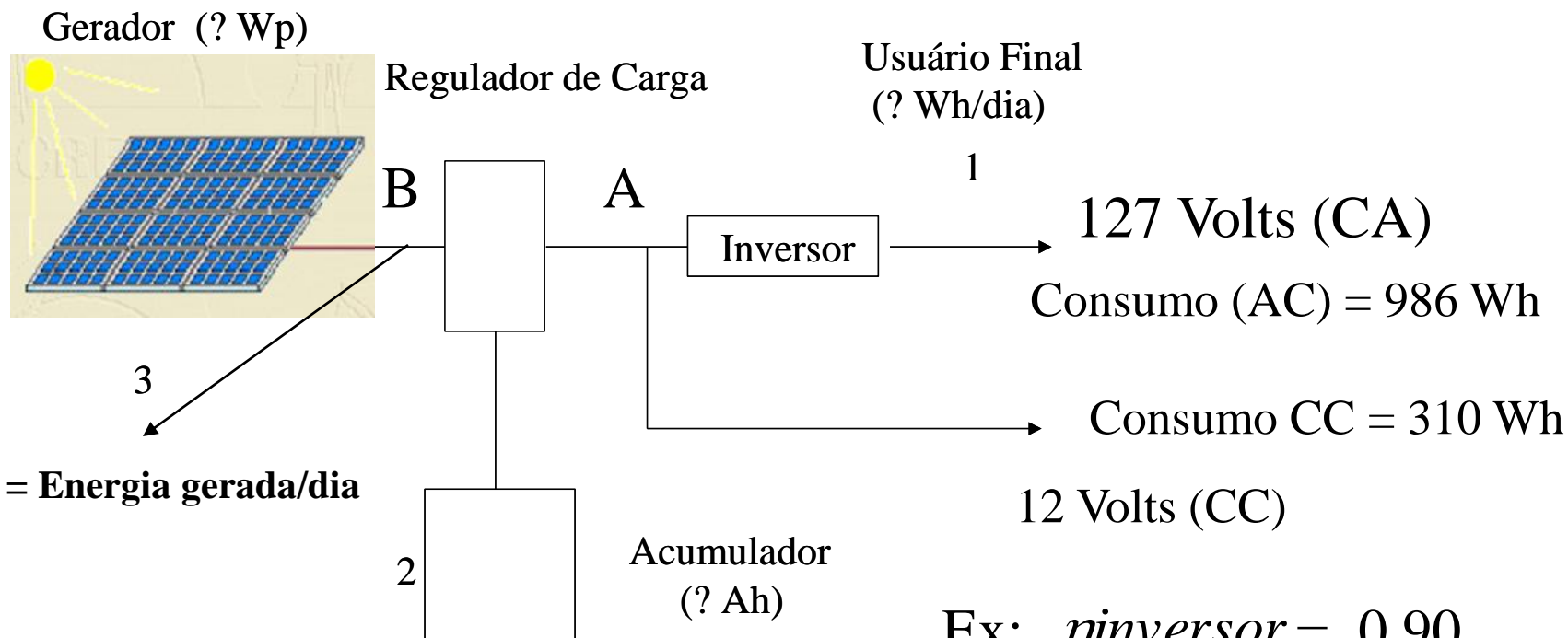
De outra forma:

$$P_{\max} = X$$

$$F_{\text{carga}} = Y$$

$$\longrightarrow \text{Consumo diário} = FC \times P_{\max} \times 24 \text{ horas / dia}$$

# Cálculo do consumo diário nos pontos do sistema



Consumo no ponto A : ????

Consumo no ponto B = ????

Consumo no ponto A = Consumo CC + Consumo CA /  $\eta_{inversor} = 1405,5 \text{ Wh}$

Consumo no ponto B = consumo no ponto A / ( $\eta_{bateria} \times (1 - \text{Perdas na fiação})$ )

**1704,66 Wh**

## 2- Dimen. do Sist. de Acumulação

### BATERIAS

$C_{bat} = \text{Consumo (A)} \times N / P_{dmax}$  , sendo consumo em Ah

N: dias de autonomia EX: N=3 dias

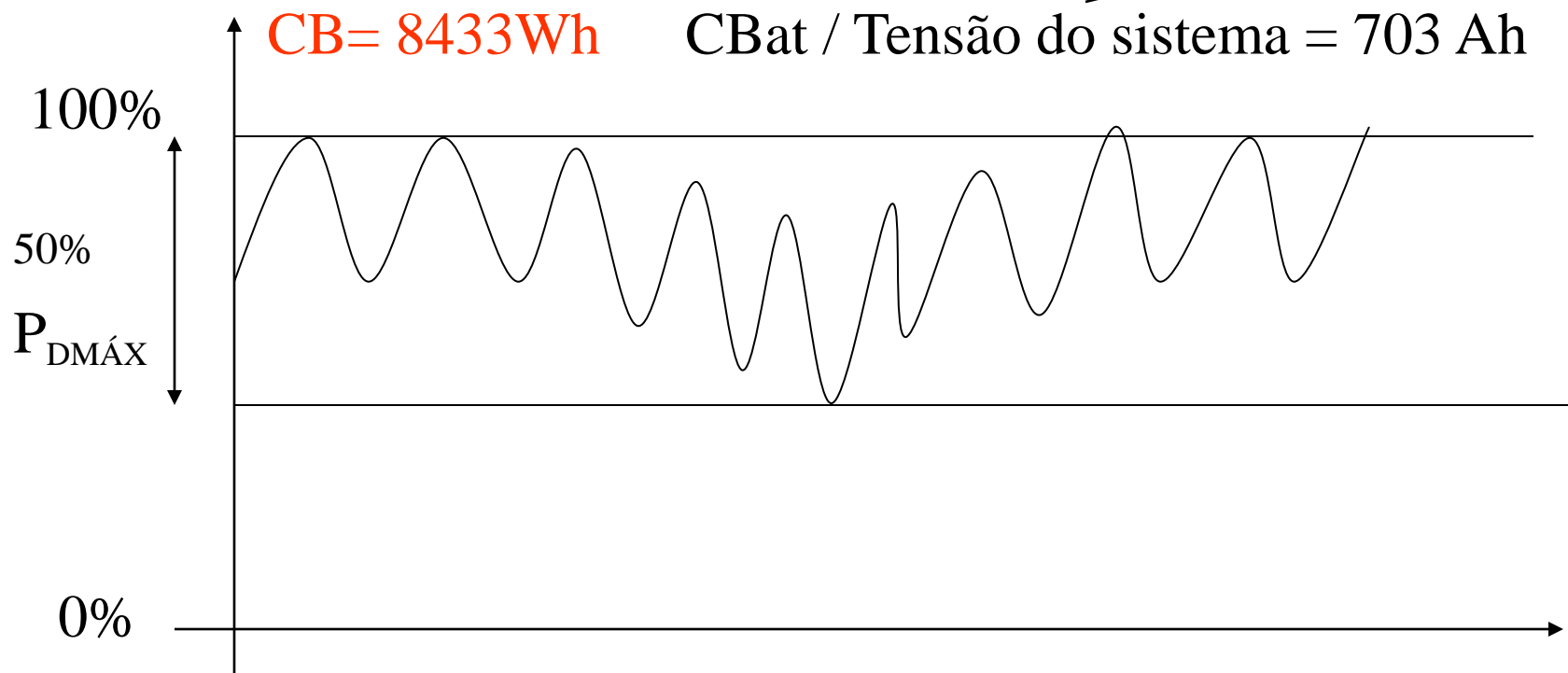
$P_{dmax}$ : máxima profundidade de descarga da(s) bateria(S)

$C_{bat}$ : Capacidade da (s) bateria(s)

12  
Volts

**CB = 8433Wh**

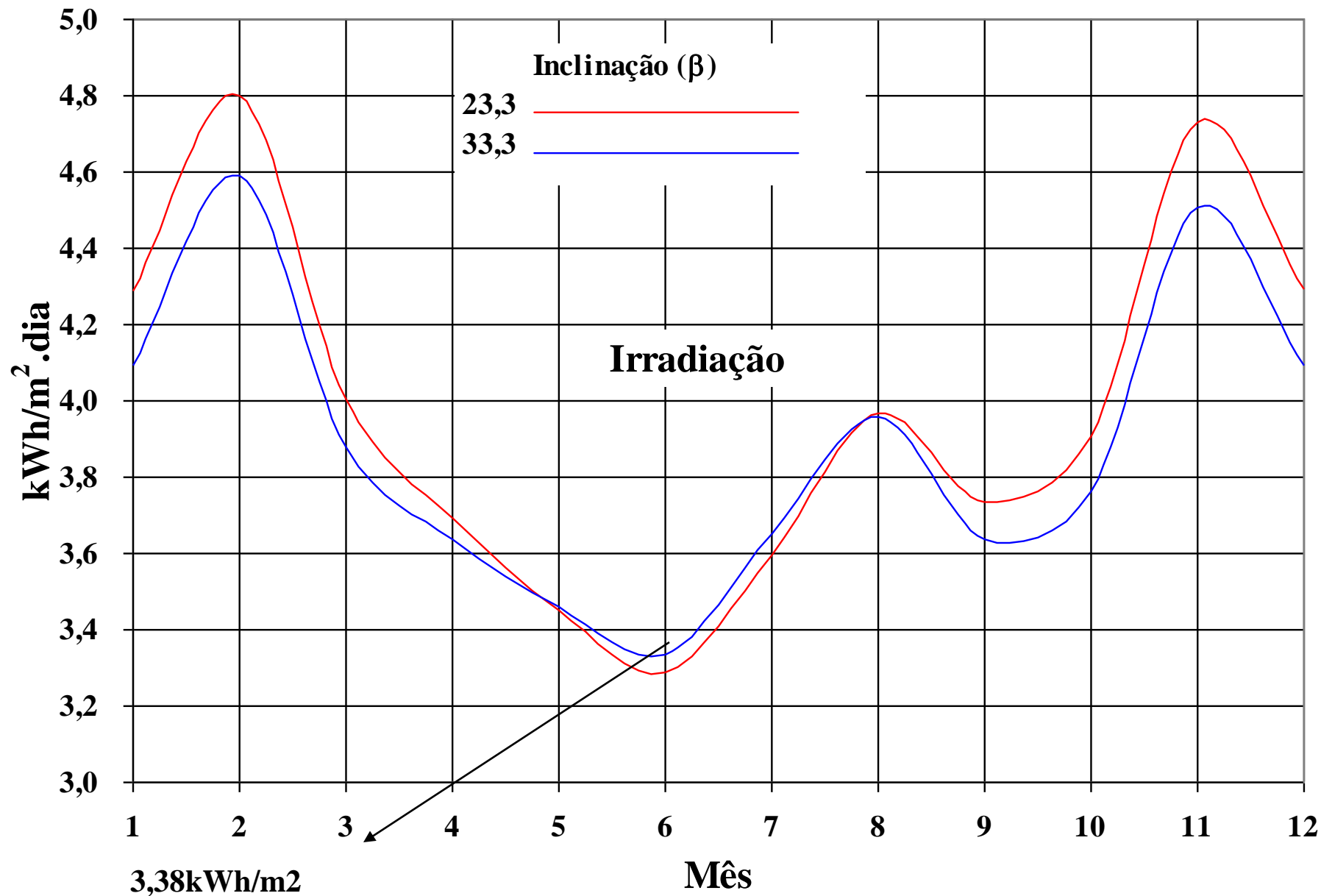
$C_{Bat} / \text{Tensão do sistema} = 703 \text{ Ah}$



# Dimensionamento do Sist. de Geração

## Capacidade instalada (WP)

### em painéis fotovoltaicos



Pior mês = menor radiação

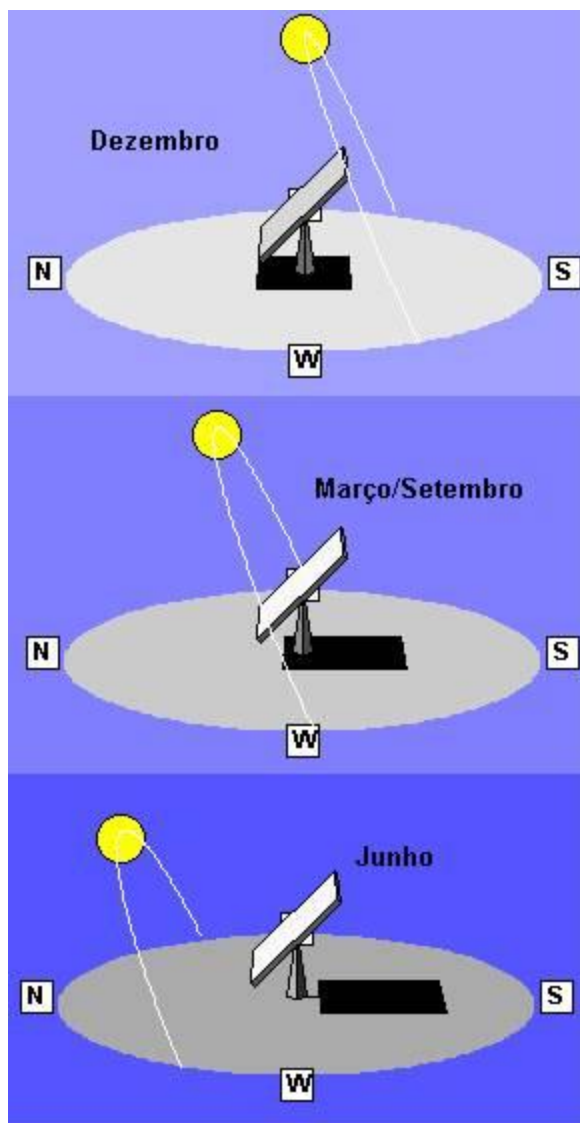
São Paulo

Para onde se deve direcionar ?  
Qual a inclinação ?

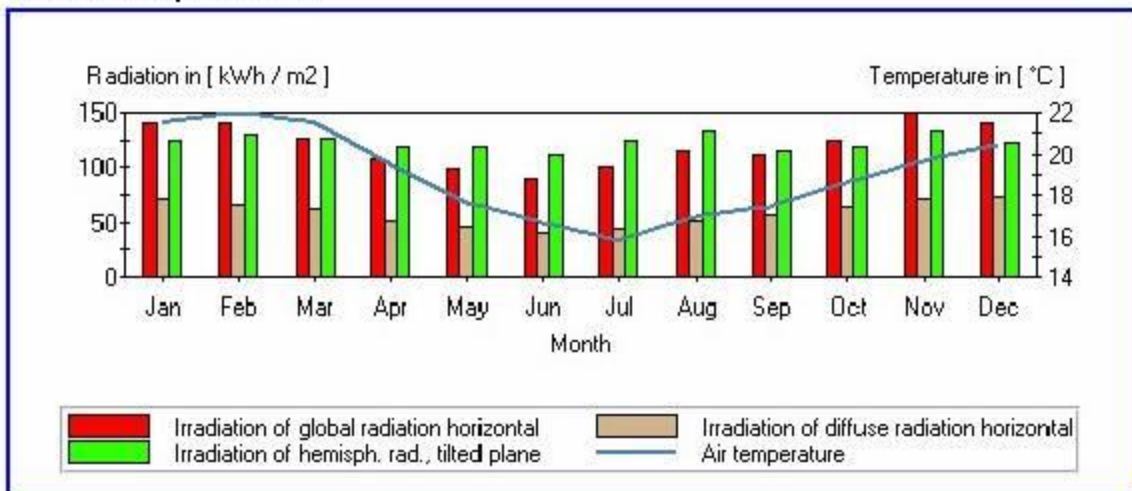


São Paulo (lat.  $-23,43$ )

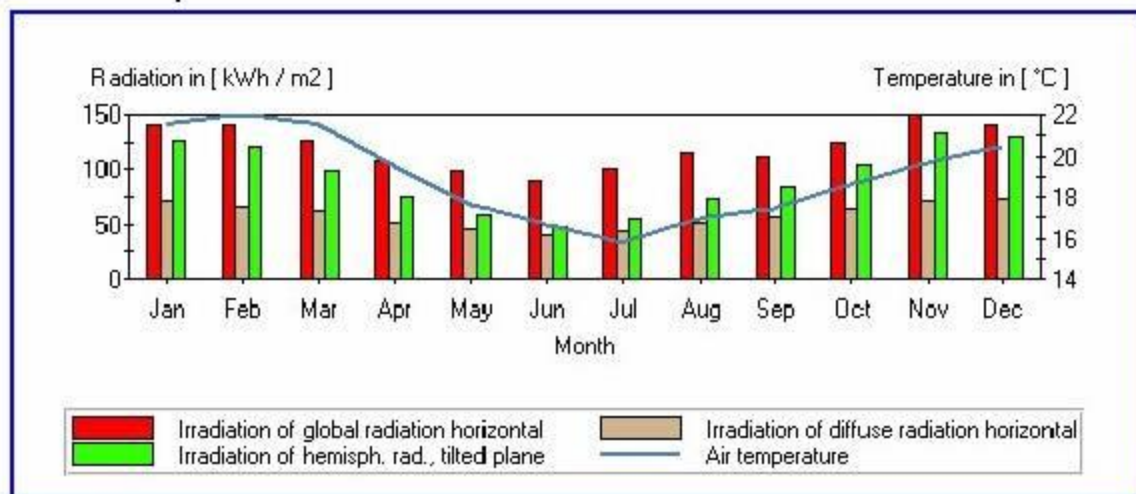
## Inclinação ? Orientação ?



Direcionado para o norte



Direcionado para o sul



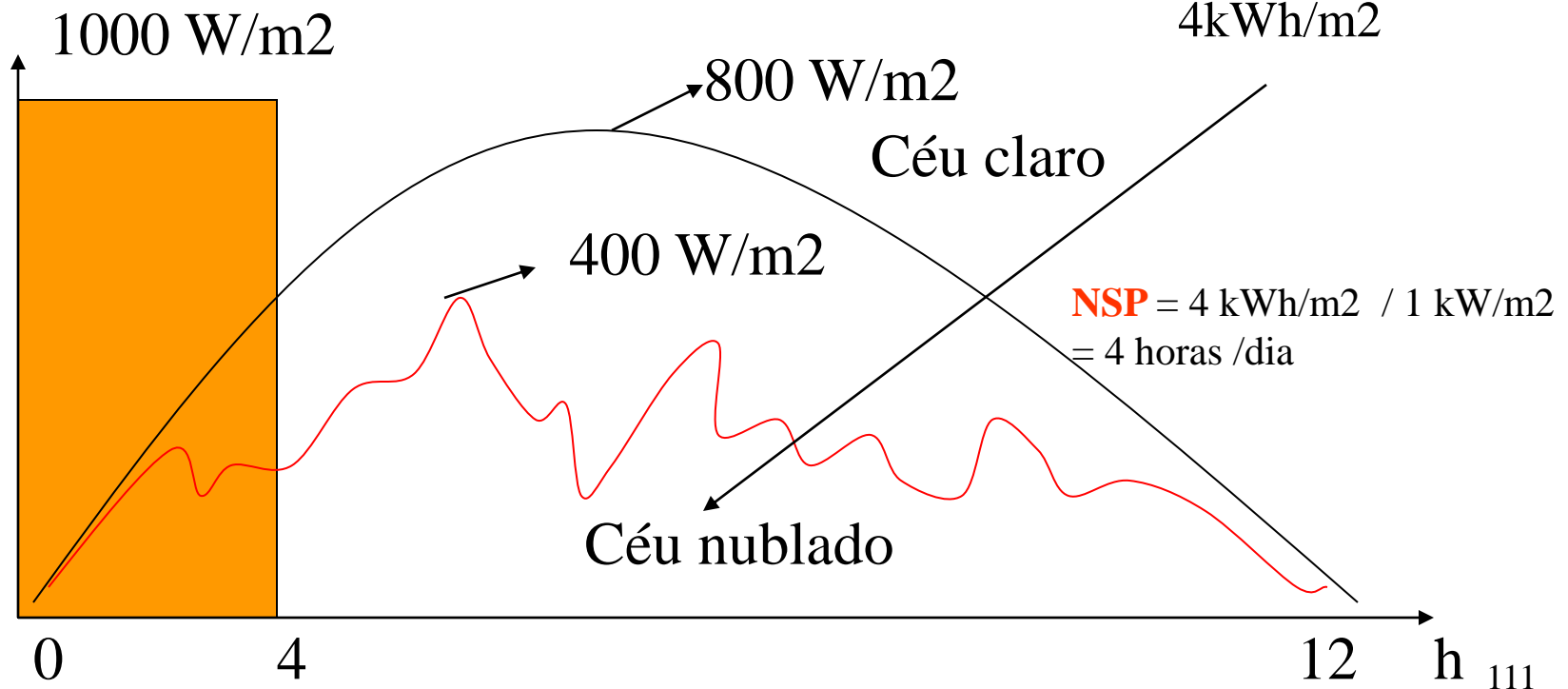
Critério de projeto: Pior mês? Valor Médio? Radiação no Inverno ou verão?

# Cálculo do número de horas de sol pleno (NSP)

Ex: pior mês = Radiação diária média mensal =  $4 \text{ kWh} / \text{m}^2$

**NSP** = Reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a  $1 \text{ kW/m}^2$  de forma que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada para o dia em questão.

Energia coletada  
ao longo do dia  
(média mensal) =  
 $4 \text{ kWh/m}^2$



## **Critério de projeto**

Qual a inclinação?

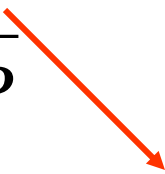
Vamos projetar utilizando a  
inclinação :  $(\text{Latitude} + 10^\circ)$

Maximizando energia coletada no  
inverno

**Pegar a radiação do pior mês do inverno :** Máxima  
confiabilidade

Local: Cidade de São Paulo

# Dimensionamento - Módulos

$$P(W_p) = \frac{E_G}{NSP}$$


**EG** – Energia diária gerada

**P** - potência a instalar (kW)

**NSP** – Número de horas de sol pleno

Igual ao consumo no ponto B =  
 $1704,66 / 3,38 = 504,3 \text{ Wp}$

Os módulos são vendidos em Wp

Ex: Um módulo de 58Wp, significa que este terá na sua saída 58Wp na incidência de sol pleno (  $1\text{kW/m}^2$ ), temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , AM (massa de ar) = 1,5

Como a temperatura ambiente em certos locais é maior e o módulo aquece com a incidência de radiação solar, faz-se uma correção da potência aplicando um fator (F).

# Potência instalada em módulos

$$P(\text{corrigida}) = P / F = 504,34 \text{ Wp} / 0,85 = 593,34 \text{ Wp}$$

→  $F=0,85$

Cálculo da área ocupada:

$$\text{Ex: } \eta_{\text{painel}} = 12\%$$

$$P(\text{Wp}) = \eta_{\text{painel}} \times \text{Area} \times 1\text{kW} / \text{m}^2$$

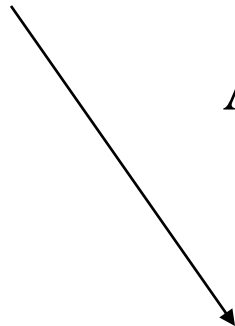


Potência  
corrigida

↓  
Eficiência do  
painel



Área dos  
coletores



$$\text{Área} = 4,94 \text{ m}^2$$

Sol pleno

## **ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES a serem utilizados**

**Considerando o uso do seguinte módulo disponível no mercado:**

Potência do módulo = 58Wp

$I_{sc} = 4,73 \text{ A}$

Tensão = 15,90volts

Eficiência = 12%

**A seguinte bateria:**

Chumbo – ácido de 36 Ah, 12 Vcc

Eficiência = 85%

Usando as especificações de módulo e bateria fornecidos:

## DESENHE

ARRANJO DE MÓDULOS

ARRANJO DE BATERIAS

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{N. De baterias em série} = 1 \\ \text{N. De baterias em paralelo} = 20 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{N. De módulos em série} = 1 \\ \text{N. De módulos em paralelo} = 11 \end{array} \right.$$

# Como se especifica o controlador de carga?

Especificação conforme o tipo de bateria e o regime de operação do sistema

$$I_{\text{contr}} = 1,25 \times I_{\text{sc}} \text{ do conjunto de módulos (painel)}$$

$$I_{\text{contr}} = 65 \text{ A}$$


$$I_{\text{sc}} \text{ do módulo} \times \text{Número de arranjos em paralelos}$$

Corrente de curto circuito do módulo selecionado

- verificar a tensão CC



## Como se especifica um inversor ?

Cargas indutivas ? —————> Recomenda-se inversor de onda senoidal  
Cargas resistivas ?

Potência nominal =  $1,20 \times$  potência que deverá alimentar

Potência de pico = para suprir por exemplo partida de motores

## Inversor ser adquirido no mercado

- Potência nominal ( watts) = 800W
- Tensão CC no lado da bateria = 12 Volts (CC)
- Tensão AC no lado da carga = 127 Volts
- onda senoidal
- eficiência = 90%

# Como dimensionar a fiação e circuito de proteção

**Aplicar seus conhecimentos adquiridos em instalações elétricas**

- **Capacidade Corrente**
- **Queda de tensão**

# ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Demais especificações dos componentes adquiridos para cálculo econômico

Módulo Fotovoltaico	
Potência (Wp)	58
Vida útil (anos)	20
Custo (R\$)	870

Controlador de carga	
Capacidade (A)	65
Vida útil (anos)	10
Custo (R\$)	1200

Bateria	
Capacidade (Ah)	36
Vida útil (anos)	5
Custo (R\$)	170

Inversor	
Capacidade (W)	800
Vida útil (anos)	10
Custo (R\$)	3200

Custos adicionais para instalação ( estrutura, fiação ,  
conexão) = 1.000,00 R\$

Custo anual de O&M – 1% do custo total do capital instalado

Taxa de desconto = 10%

## Cálculo do custo anual de geração ( R\$/MWh)

$$Cg(ano) = \frac{C \times FRC + CO \& M}{Eg}$$

**Onde:**

**C = Custo de capital instalado (R\$)**

**CO&M = Custo anual de operação e manutenção (R\$/ano)**

**FRC = Fator de recuperação do capital investido**

**Eg = Energia anual gerada (MWh)**

**O fator de recuperação de capital é definido por:**

$$FRC = \frac{(i+1)^N \times i}{(i+1)^N - 1} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} i = \text{taxa anual de retorno} \\ N = \text{período de recuperação do investimento} \end{array} \right.$$

**O custo anual de O&M (R\$/ano) pode ser calculado como uma fração do custo de capital**

$$CO \& M = C \times k$$

## OBS : VIDA ÚTIL DOS EQUIPAMENTOS

- Módulo fotovoltaico = 20 anos
- Baterias = 5 anos
- Controlador de carga = 10 anos
- Inversor = 10 anos

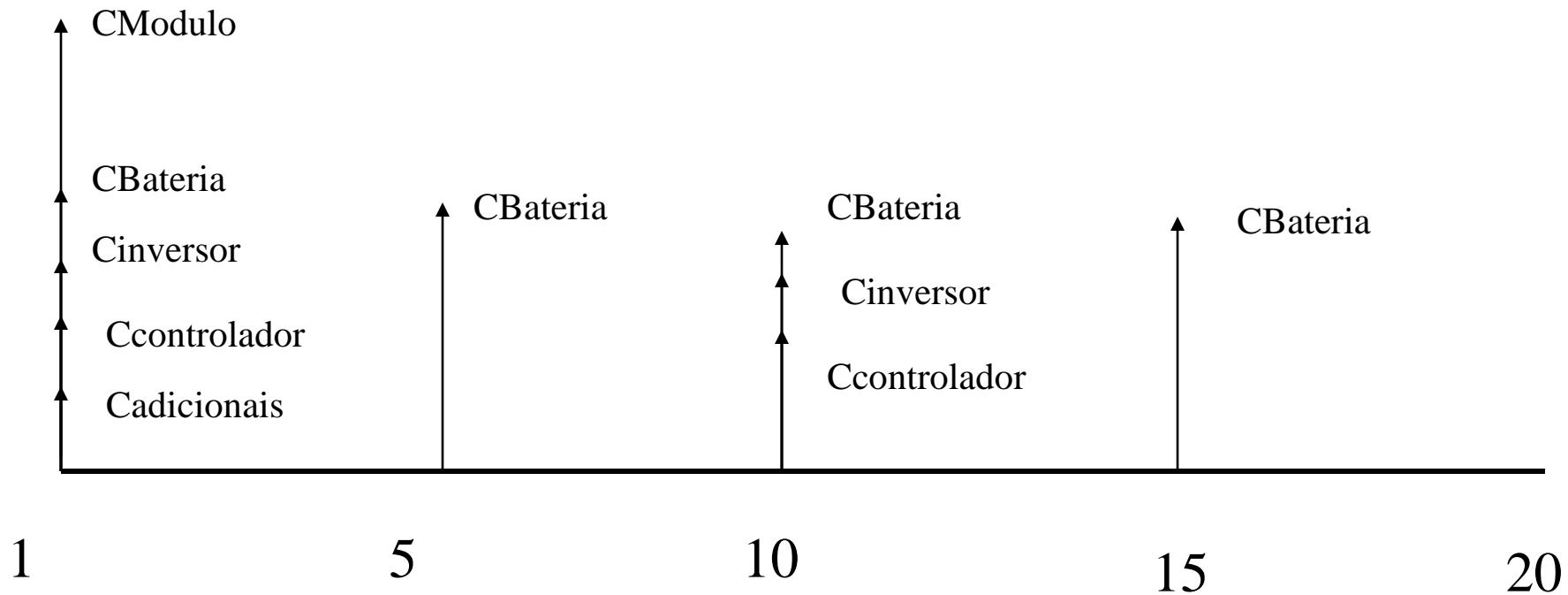
Neste caso, durante a vida útil do módulo:

### **Investimentos necessários**

- Investimento inicial no módulo fotovoltaico
- Investimento inicial na bateria + 3 trocas
- Investimento inicial no controlador de carga +1 troca
- Investimento inicial no inversor + 1 troca

# INVESTIMENTO INICIAL TOTAL

Equipamento	Custo unitário	Quantidade	Custo total
Módulo	870,00	11	9570,00
Bateria	170,00	20	3400,00
Controlador	1200,00	1	1200,00
Inversor	3200,00	1	3200,00
Adicionais	1000,00	1	1000,00
Investimento inicial			18.370,00



## Valor presente dos custos (VP)

$$VP = \frac{In}{(1+i)^n}$$

Onde

In = Investimento no ano n

i – taxa de retorno

n – ano futuro



Considerando a configuração de sistema mostrado na figura abaixo, dimensionar a capacidade do arranjo fotovoltaico e do sistema de armazenamento para atendimento de um consumidor isolado que apresenta o consumo indicado na tabela abaixo

Parâmetros para dimensionamento:

Latitude : 25°

Dimensione para condições críticas de carga e recurso solar

Autonomia do sistema de armazenamento = 2 dias

Calcular:

- Valores indicados em M1, M2
- Potência total instalada em painéis (watts)
- Capacidade em Ah do sistema de armazenamento (bateria)
- Área ocupada pelos painéis fotovoltaicos (m<sup>2</sup>)
- Desenhe o circuito do arranjo de painéis e baterias (indique na figura os valores das correntes e tensões )

Especificação dos componentes

Módulo– 120 Wp

Tensão do módulo = 12 Vcc

Eficiência do módulo = 12%

Capacidade da bateria = 100Ah

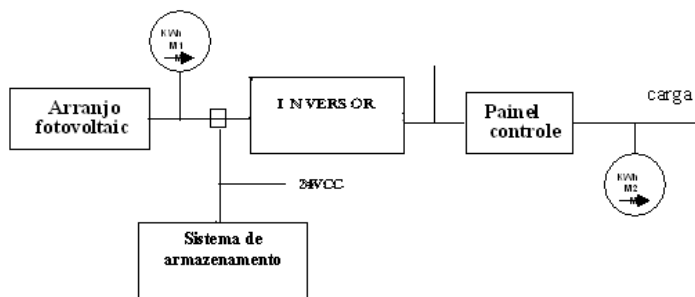
Tensão da bateria– 12 Vcc

Eficiência da bateria = 85%

Máxima profundidade de descarga = 85%

Eficiência do inversor = 85%

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Radiação solar diária no plano inclinado (kWh/m<sup>2</sup>)</b>											
4,22	3,96	4,15	4,2	5,25	5,30	5,90	6,15	5,50	5,72	5,46	4,80
<b>Consumo diário (kWh)</b>											
1,6	1,8	2,1	1,9	2,5	2,8	2,3	1,9	3,0	2,1	1,7	3,2



# O Mercado Fotovoltaico no Mundo

- Brasil ainda não figura no Ranking Mundial Solar FV

TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2016

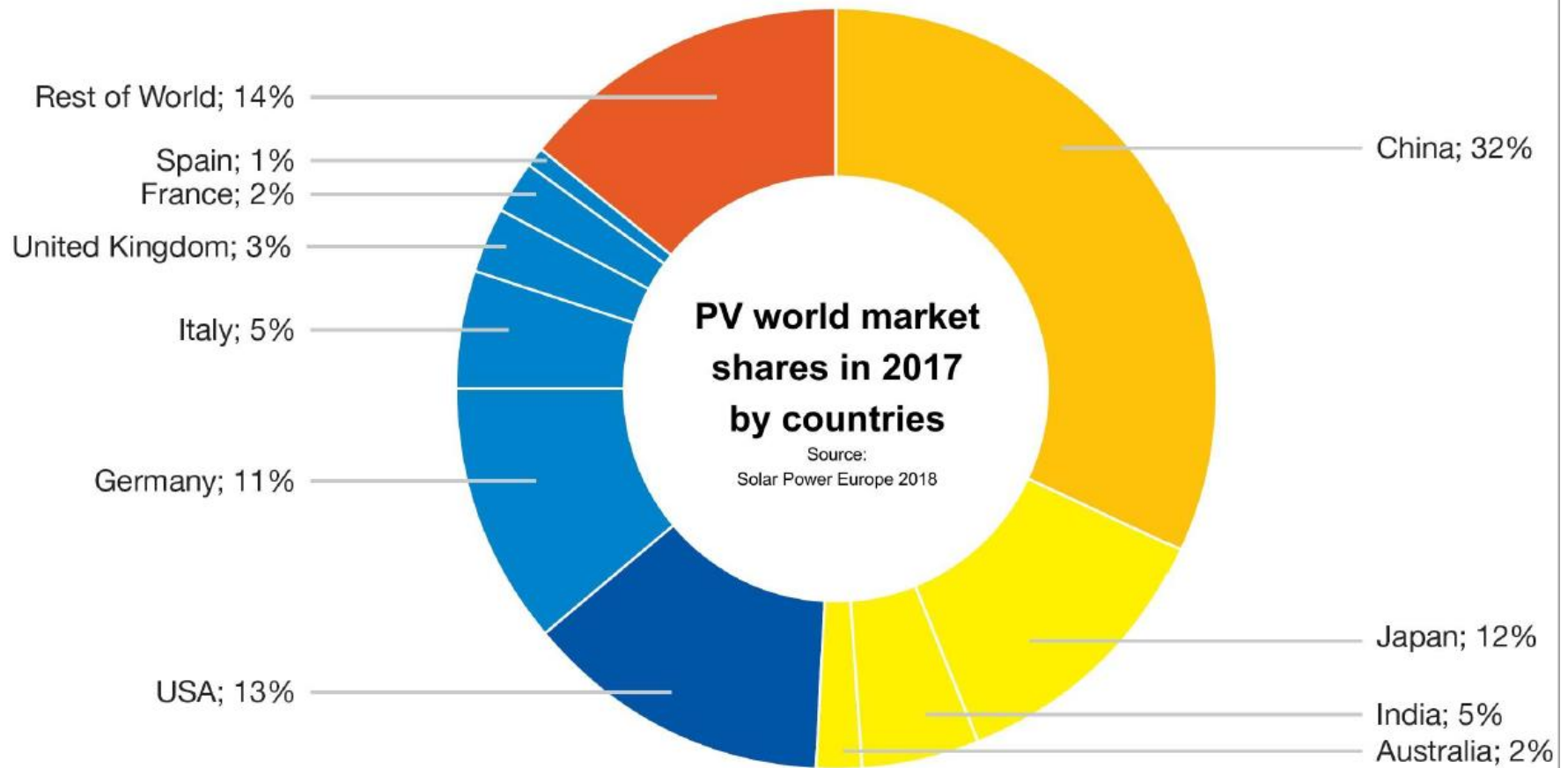
TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR  
ANNUAL INSTALLED CAPACITY

TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR  
CUMULATIVE INSTALLED  
CAPACITY

1		China	34,5 GW	1		China	78,1 GW
2		USA	14,7 GW	2		Japan	42,8 GW
3		Japan	8,6 GW	3		Germany	41,2 GW
4		India	4 GW	4		USA	40,3 GW
5		UK	2 GW	5		Italy	19,3 GW
6		Germany	1,5 GW	6		UK	11,6 GW
7		Korea	0,9 GW	7		India	9 GW
8		Australia	0,8 GW	8		France	7,1 GW
9		Philippines	0,8 GW	9		Australia	5,9 GW
10		Chile	0,7 GW	10		Spain	5,5 GW

# Solar PV world market 2017 (99.1 GW)

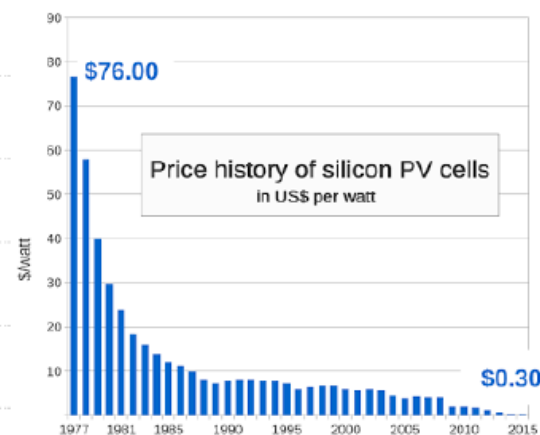
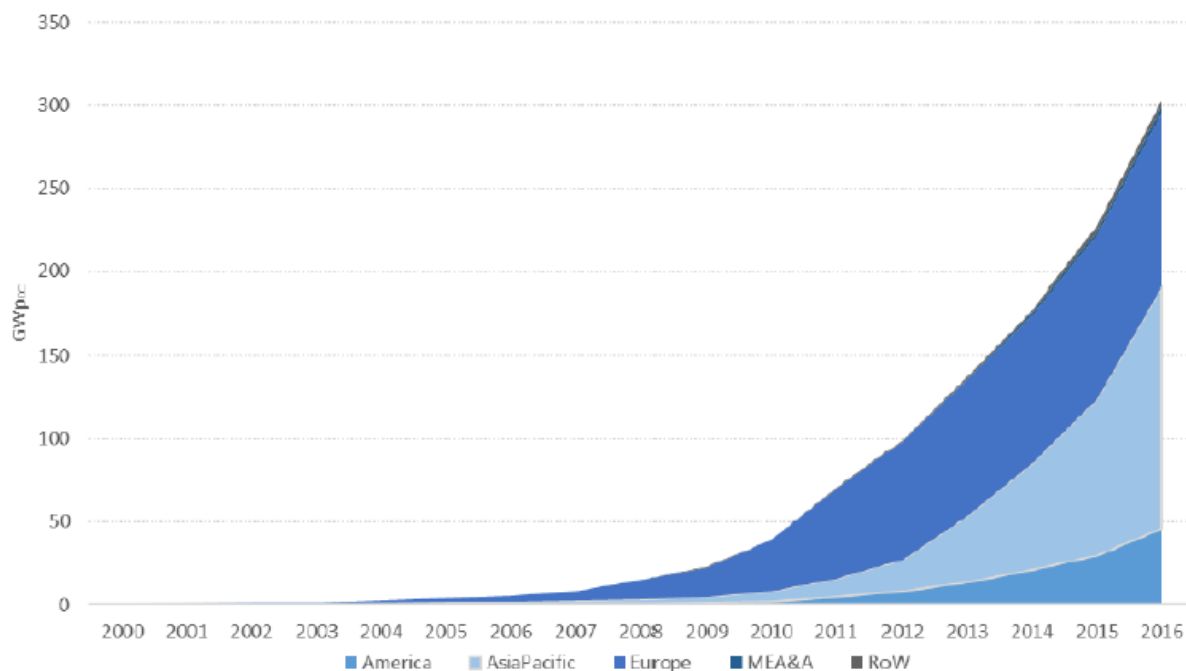
Relative shares by countries (< 1% in RoW)



# O Mercado Fotovoltaico no Mundo

- Capacidade instalada acumulada total: 305 GW (+75 GW em 2016).
- Explosão de investimentos em solar fotovoltaica no mundo.
- Interesse do mercado e poder de escolha direta dos consumidores.

## Evolução da Capacidade Instalada no Mundo

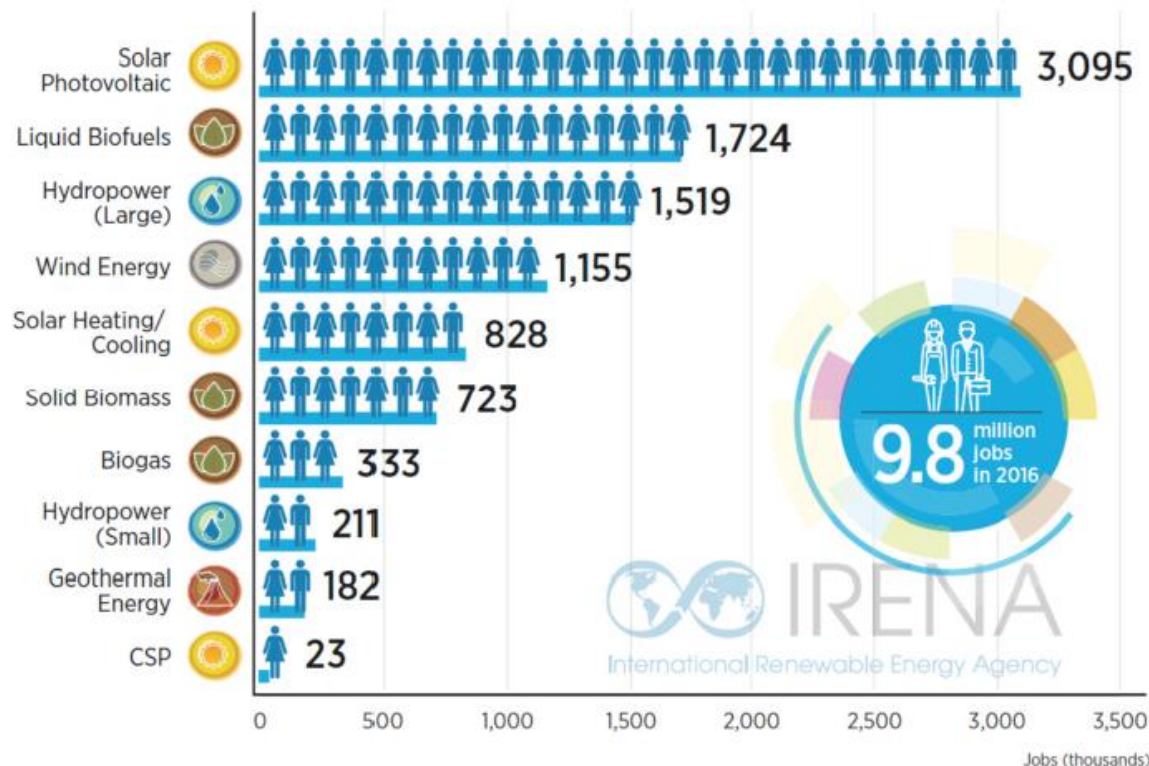


Source: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com



# Geração de Empregos do Setor FV

- Componente central da transição energética global.
- Energia solar fotovoltaica é a maior geradora de empregos renováveis do mundo!
- Geração de 25 a 30 empregos diretos para cada MW instalado por ano, nas seguintes áreas:
  - Instalação
  - Fabricação
  - Vendas e distribuição
  - Desenvolvimento de projetos
  - Outros



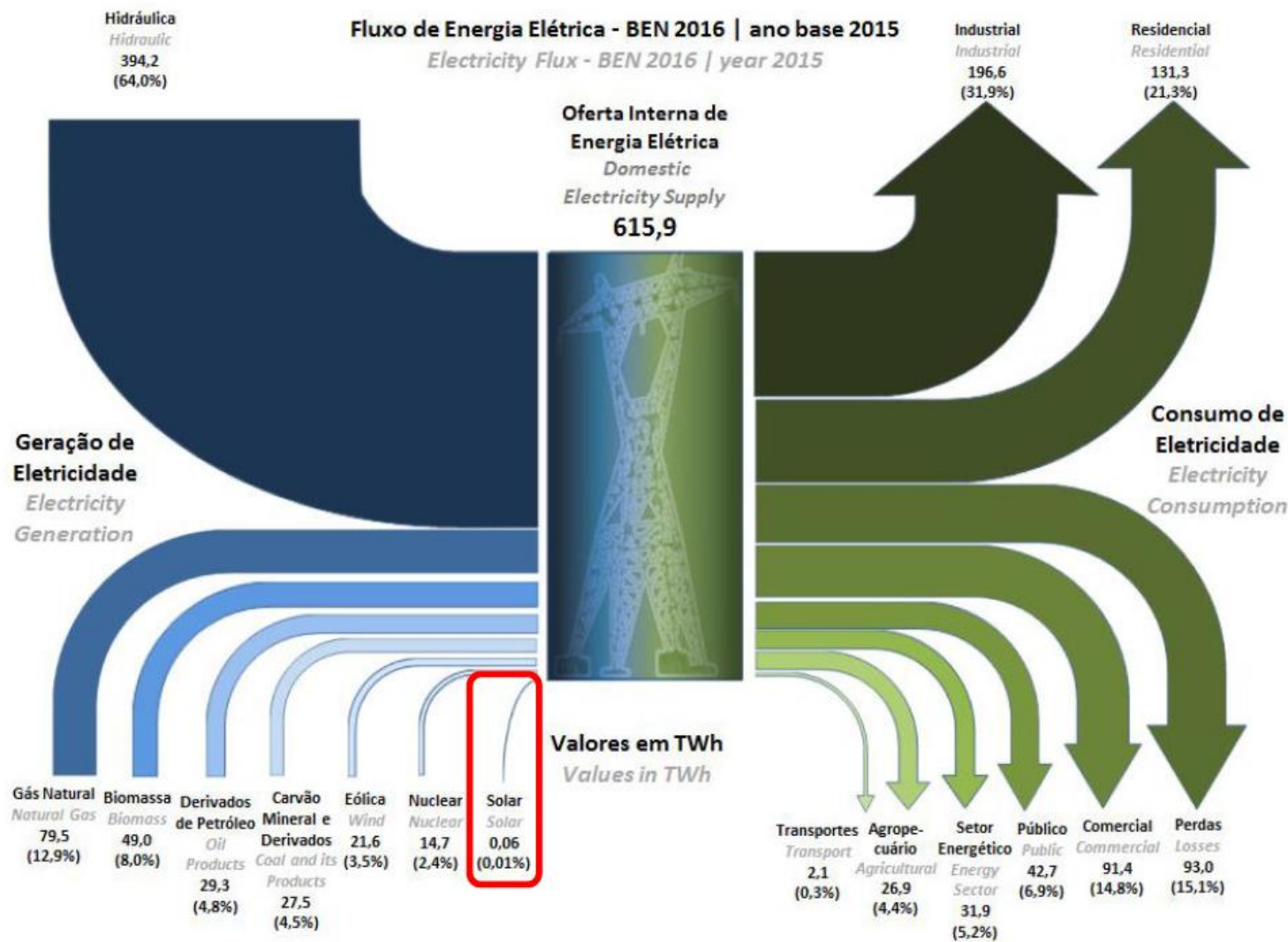
Fonte: Renewable Energy and Jobs – Annual Review, IRENA, 2017.

# O Compromisso Brasileiro

- Decreto Presidencial Nº 9.073/2017 – Acordo de Paris:



# Setor Elétrico Brasileiro



Fonte: Balanço Energético Nacional 2015, Empresa de Pesquisa Energética, 2016.



# Exemplos - Telhados Solares

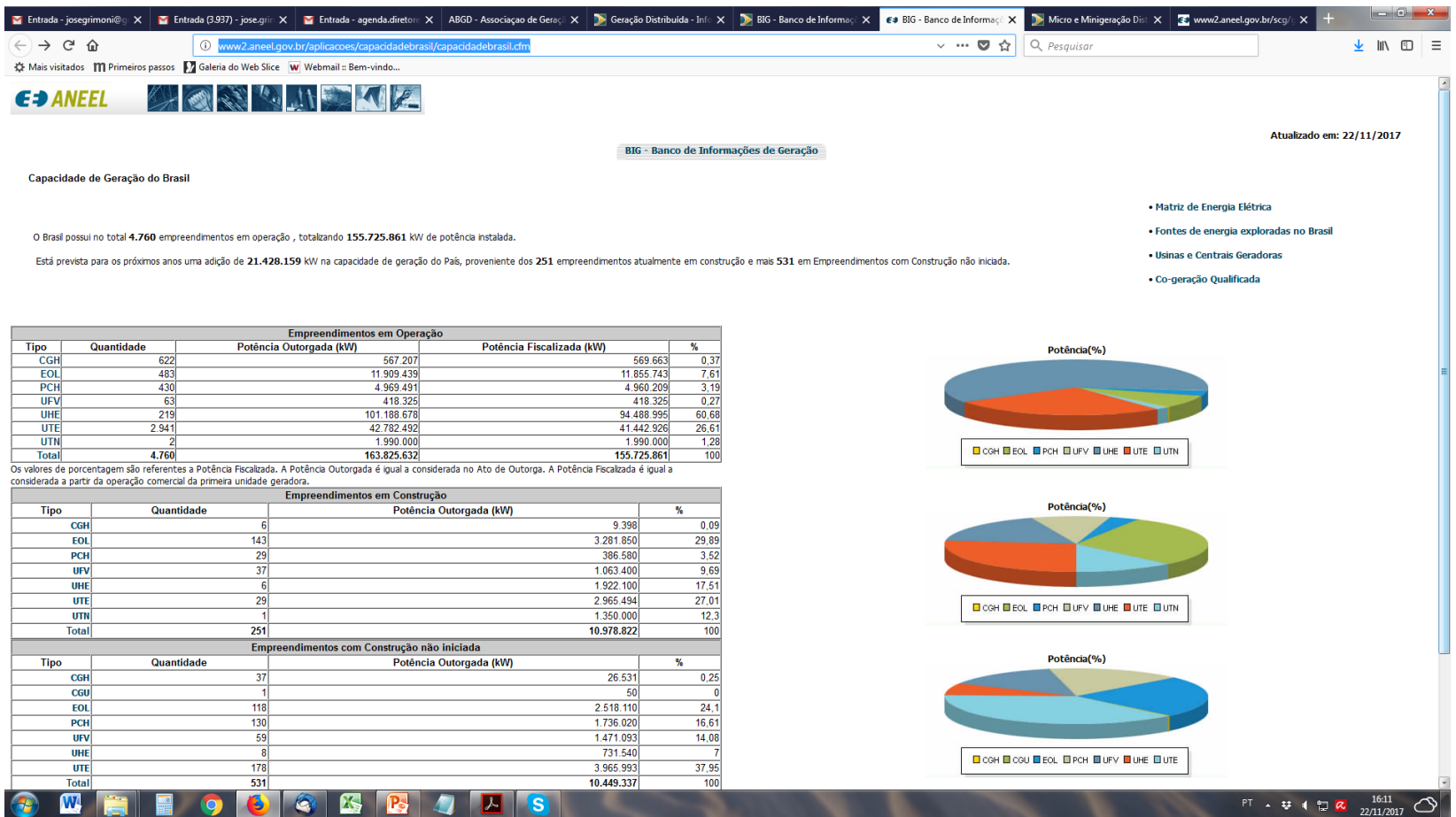


Freibourg, Alemanha



Ota, Japão





<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>

Entrada - josegrimoni@gmail.com X Entrada (3.936) - josegrimoni X Entrada - agenda.diretores.fur X ABGD - Associação de Geração Distribuída X Geração Distribuída - ANEEL X Micro e Minigeração Distribuída X

www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset\_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp\_p\_id%3D101\_INSTANCE\_mJhnKli7qcJG%26p\_p\_lifecycle%3D0%26p\_p\_state%3Dnormal%26p\_p\_mode%3Dview%26p\_p\_col\_id%3Dcolumn-2%26p\_p\_col\_pos%3D1%26p\_p\_col\_count%3D2

BRASIL Serviços Participe Acesso à Informação Legislação Canais

Ir para o conteúdo 1 Ir para o menu 2 Ir para a busca 3 Ir para o rodapé 4

ACESSIBILIDADE ALTO CONTRASTE MAPA DO SITE

ANEEL  
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Acesso à Informação Sala de imprensa Fale conosco

A ANEEL SERVIÇOS ESPAÇO DO CONSUMIDOR INFORMAÇÕES TÉCNICAS PARTICIPAÇÃO PÚBLICA TARIFAS

Informações Técnicas / Outorgas / Geração / Micro e Minigeração Distribuída (REN 482/2012)

**OUTORGAS**  
Geração  
Transmissão  
Distribuição

**LEILÕES**  
FISCALIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO  
REGULAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO  
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D) E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA  
CONTRATOS DE CONCESSÃO  
INDICADORES  
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS  
INFORMAÇÕES GERENCIAIS

## Outorgas e Registros de Geração

por: SCG - publicado: 27/01/2016 14:14, última modificação: 24/01/2017 09:06

Acesse orientações e modelos para interesses relacionados à outorga e à gestão da geração de energia elétrica.

por: SCG - publicado: 30/11/2015 11:53, última modificação: 24/07/2017 00:33

## Unidades Consumidoras com Geração Distribuída

A modalidade de registro de Centrais Geradoras de Capacidade Reduzida que permite a compensação da energia injetada na rede em relação a energia consumida está regulada pela Resolução nº 482, de 17 de abril de 2012 - REN 482/2012.

O Registro das Unidades Consumidoras com Geração Distribuída deverá ser solicitado apenas por **Concessionárias ou Permissionárias de Distribuição** por meio do Sistema de Registro de Geração Distribuída - SISGD, até o dia 10 (dez) de cada mês, para aquelas usinas que entraram em operação até o último dia do mês anterior.

Acesse os relatórios sobre as Unidades Consumidoras com Geração Distribuída:

- Resumo por Distribuidora
- Resumo Estadual
- Resumo por Tipo de Geração
- Resumo por Classe de Consumo
- Resumo por Modalidade

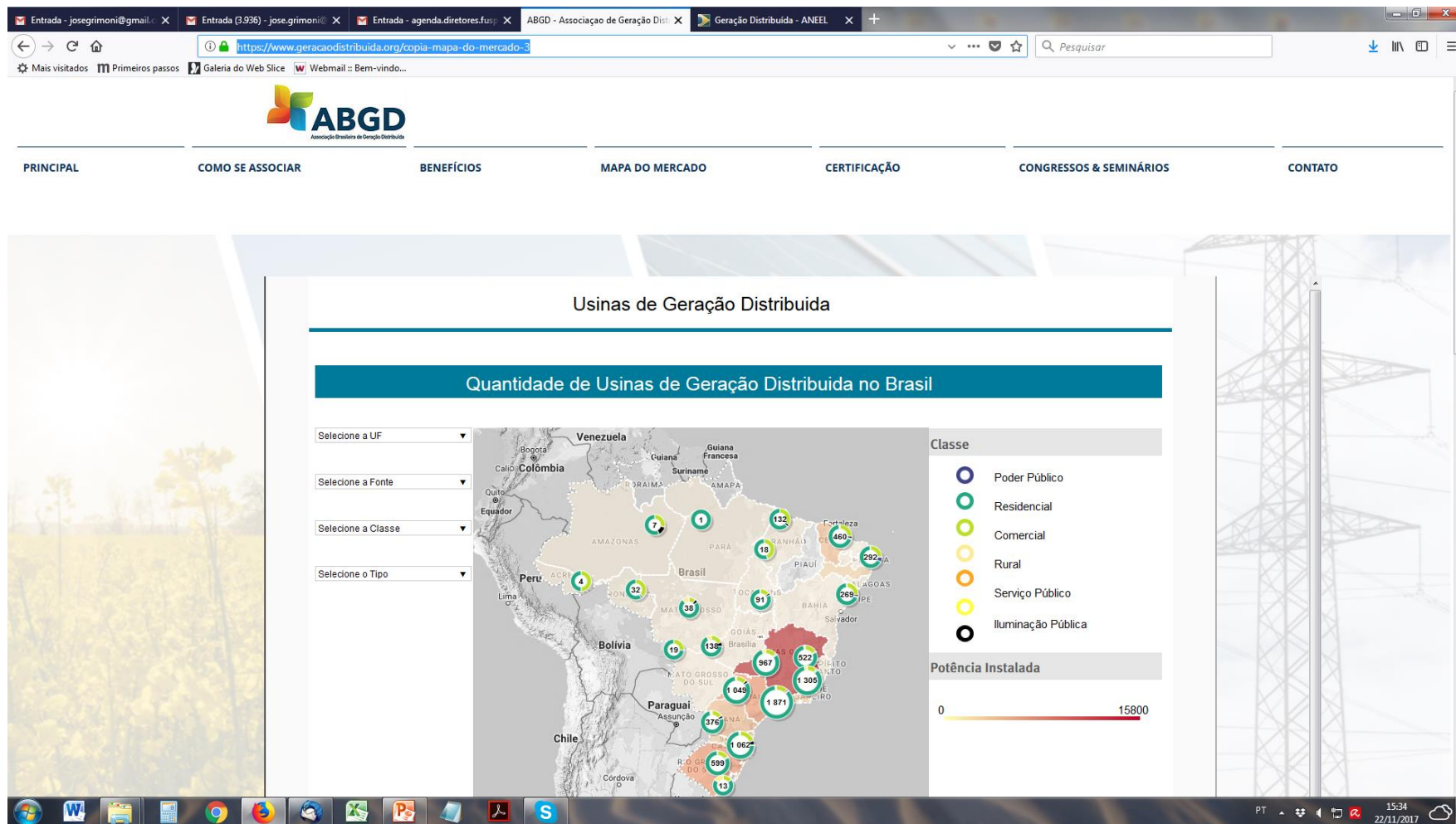
### Avisos e Comunicados

- LEILÕES ACR 2017 - EOL (NOVO!)
- LEILÕES ACR 2017 - CGH (NOVO!)
- LEILÕES ACR 2017 - PCH (NOVO!)
- LEILÕES ACR 2017 - DEMAIS FONTES (NOVO!)
- SEGURO GARANTIA - Informações p/ aporte
- Geração de Boletos Compensação Financeira (CFURH)
- Manual para Comercializadores (JUL/16)

### Links de Interesse

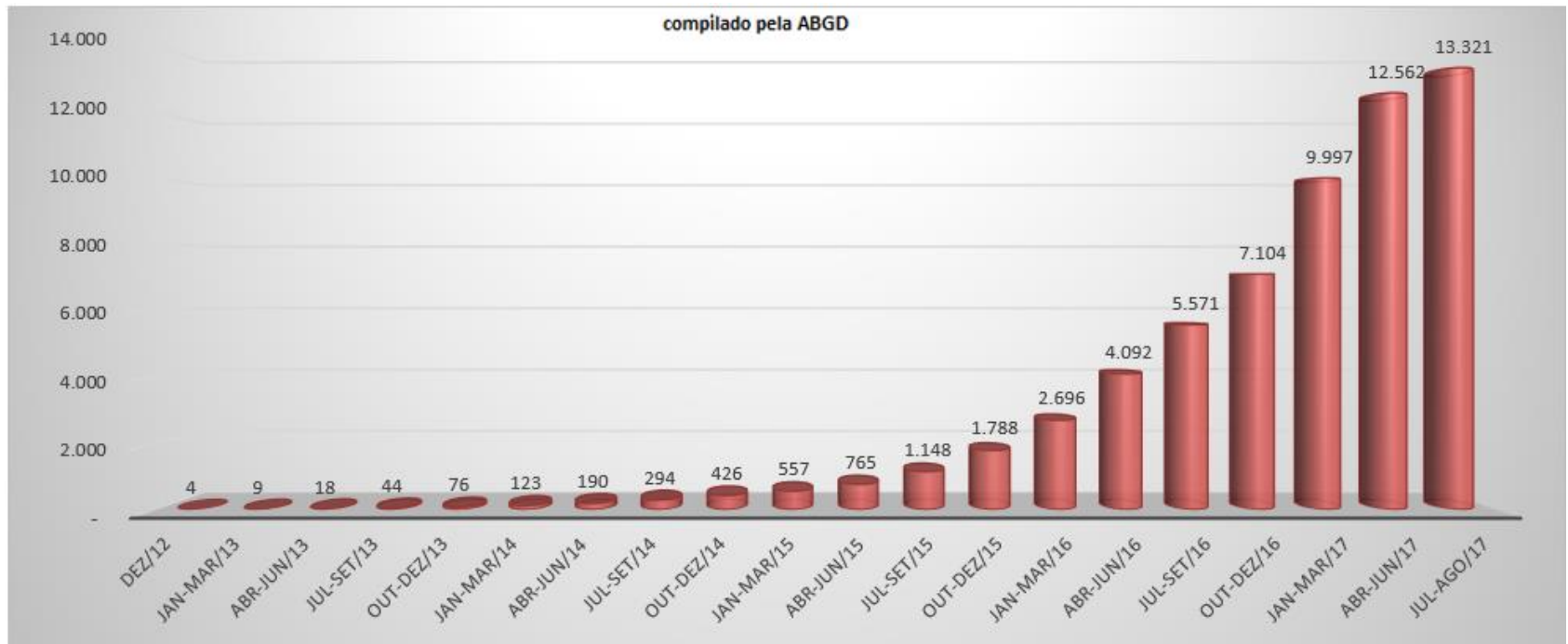
- Acompanhamento dos Processos na SCG
- Acompanhamento dos

[http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset\\_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_mJhnKli7qcJG%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-2%26p\\_p\\_col\\_pos%3D1%26p\\_p\\_col\\_count%3D2](http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2)



<https://www.geracaodistribuida.org/copia-mapa-do-mercado-3>

# Potência Instalada de GD



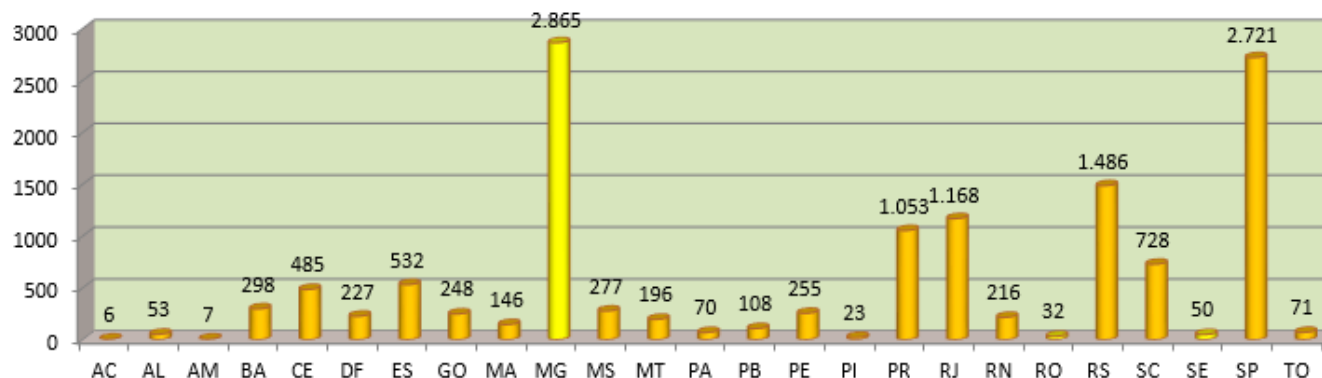
Mapa Dinâmico do Mercado

<https://www.geracaodistribuida.org/copia-mapa-do-mercado-3>

# Sistemas GD

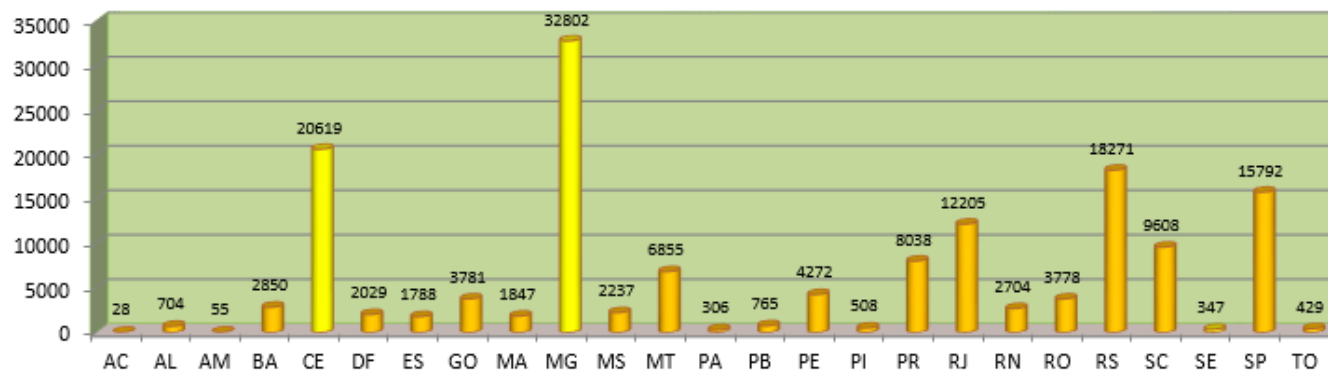
número de conexões por Estado

compilado pela ABGD



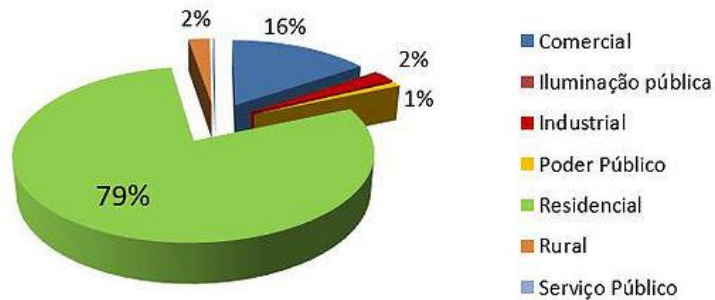
Potência instalada por Estado

compilado pela ABGD

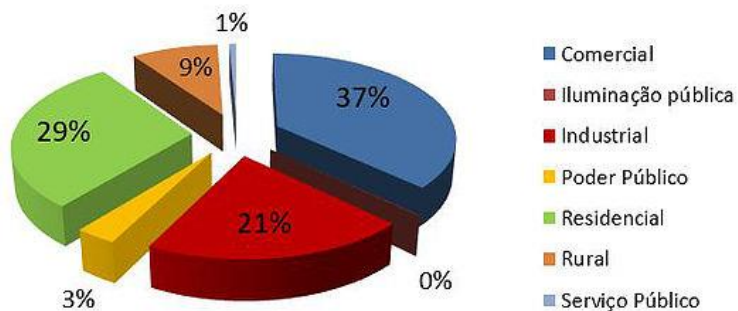


# Sistemas GD

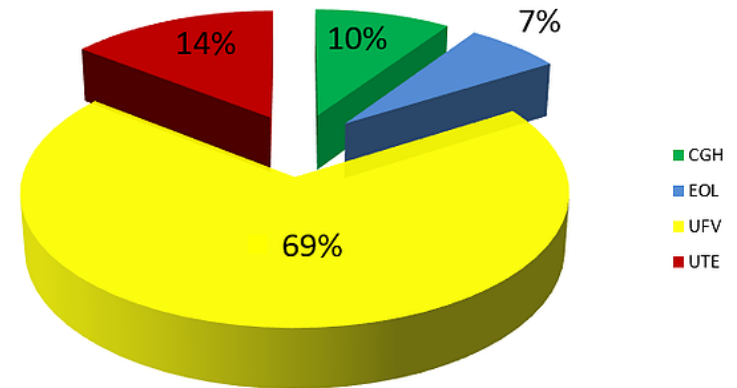
no. de instalações por Classe



potência instalada por Classe

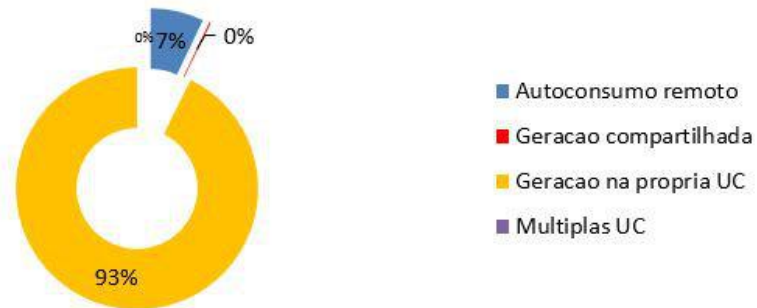


GD por tipo de fonte de energia (potência)



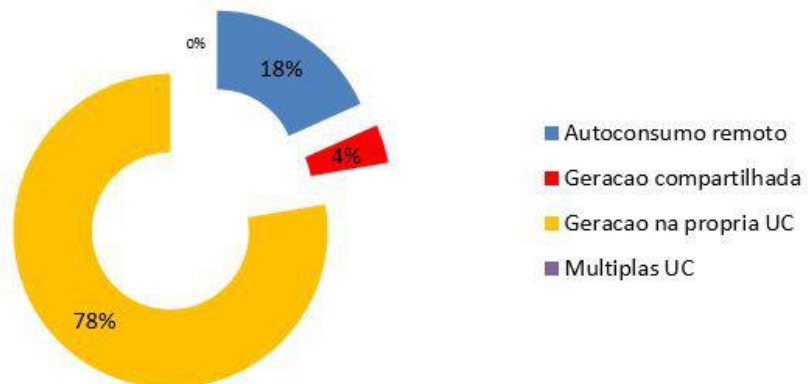
# Sistemas GD

no. de instalações por Modalidade



---

potência por Modalidade



## As informações da coluna abaixo foram compiladas da 1a. pesquisa da Greener / 2017 para FV.

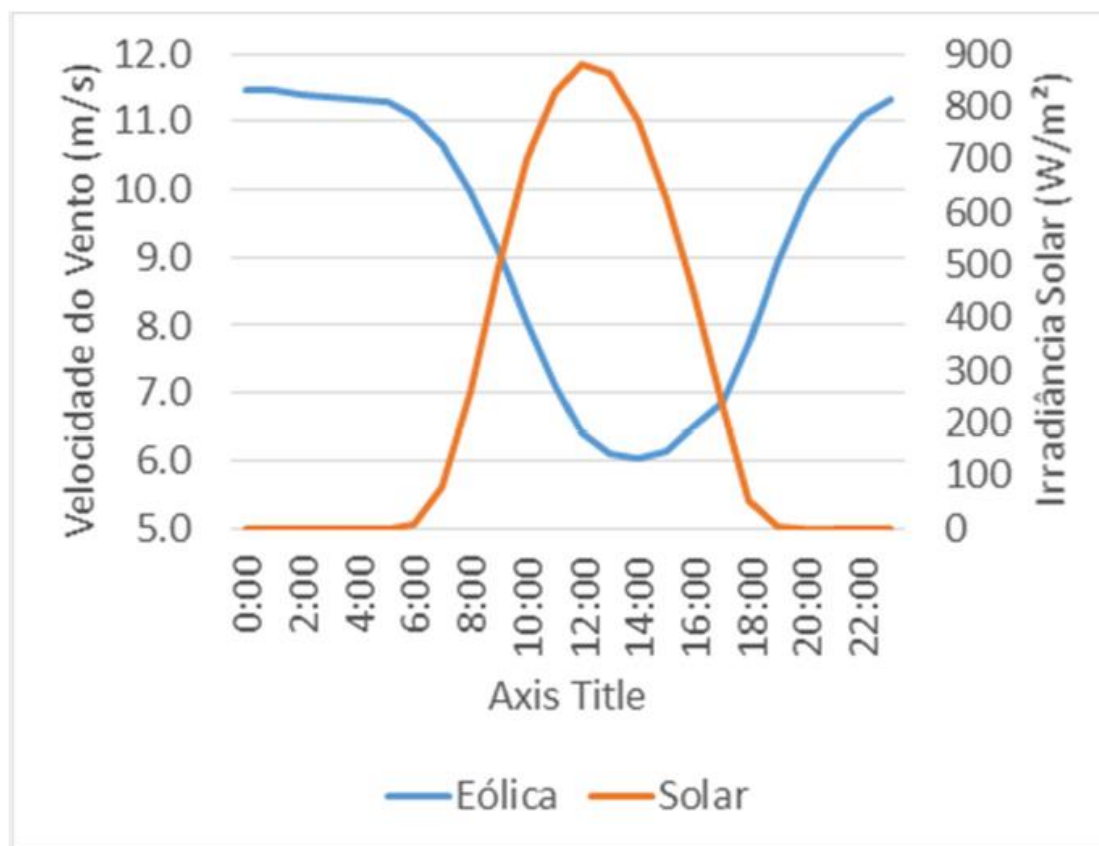
- - **Novas empresas no setor de integração:**  
39,61% atuam a menos de um ano no setor.
- - **Região de atuação**  
74,73% atuam nas Regiões Sul/Sudeste
- - **Satisfação com o mercado FV**  
51,59% se encontram insatisfeitos. Porém, otimistas para 2017 e principalmente para 2019.
- - **Principal fator para o crescimento do Setor**  
58,99% indicam o Financiamento
- - **Principal fator de incerteza**  
24,16% indicam a cobrança sobre a TUSD
- - **Tempo para conexão à rede**  
62,92% necessitam de um tempo superior ao prazo regulatório
- - **Modelo de fornecimento**  
81,74% compra equipamentos via distribuidores
- - **Faturamento**  
10,11% faturam mais de R\$100mil / mês
- - **Crescimento das vendas**  
62,36% indicam baixo crescimento/estagnação
- - **Preços do sistema fotovoltaico ( ao cliente final )**  
12,24% foi a queda de preços em 6 meses.

<http://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/>



# Complementariedade Solar FV - Eólica

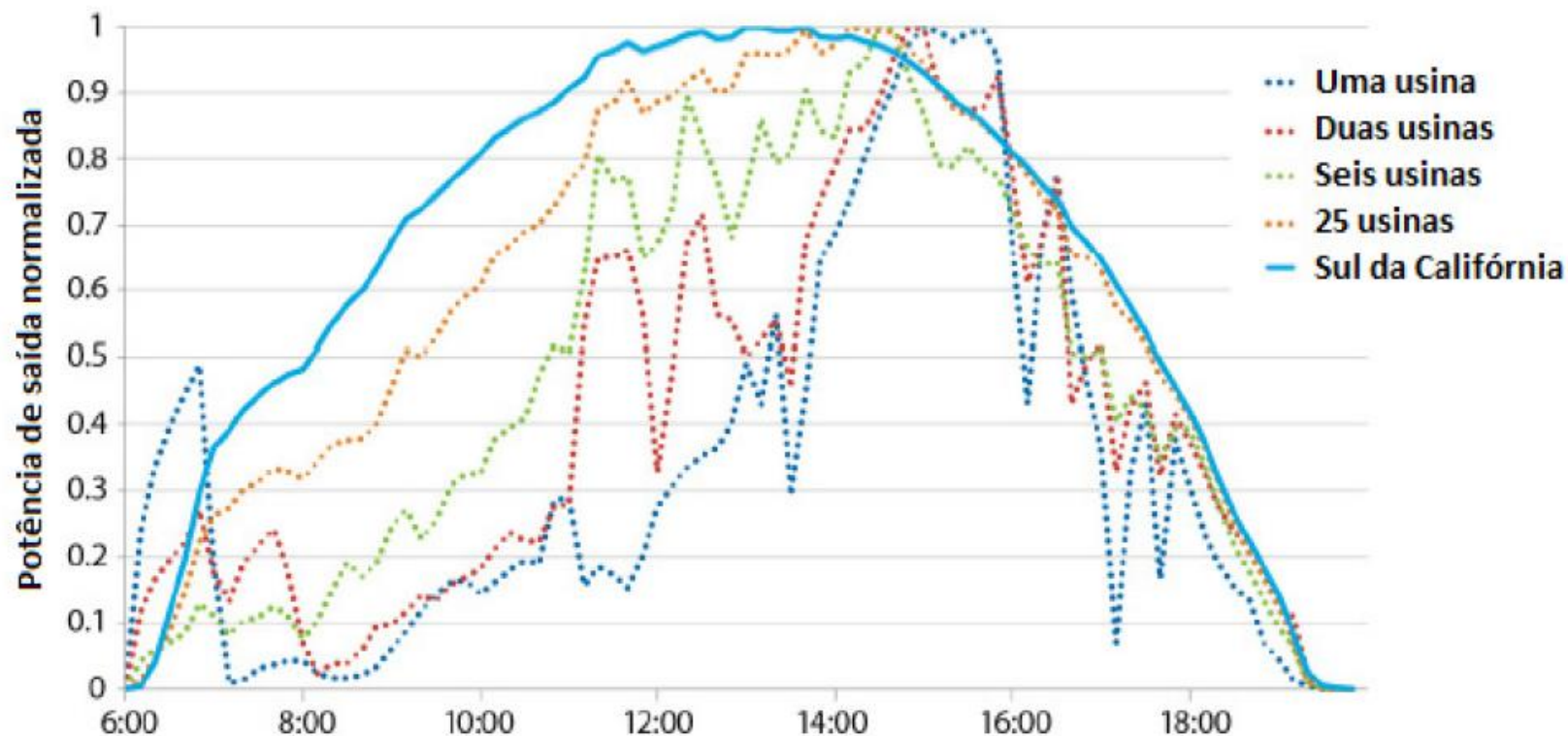
Efeito Portfólio de Projetos Híbridos (Entre Fontes)



Fonte: Engenho Consultoria, 2017.

# Robustez na Dispersão Geográfica FV

Efeito Portfólio Locacional Intra-Fonte



## Sistemas de microgeração e minigeração distribuída solar fotovoltaica operacionais até outubro de 2017

Total de unidades consumidoras no Brasil

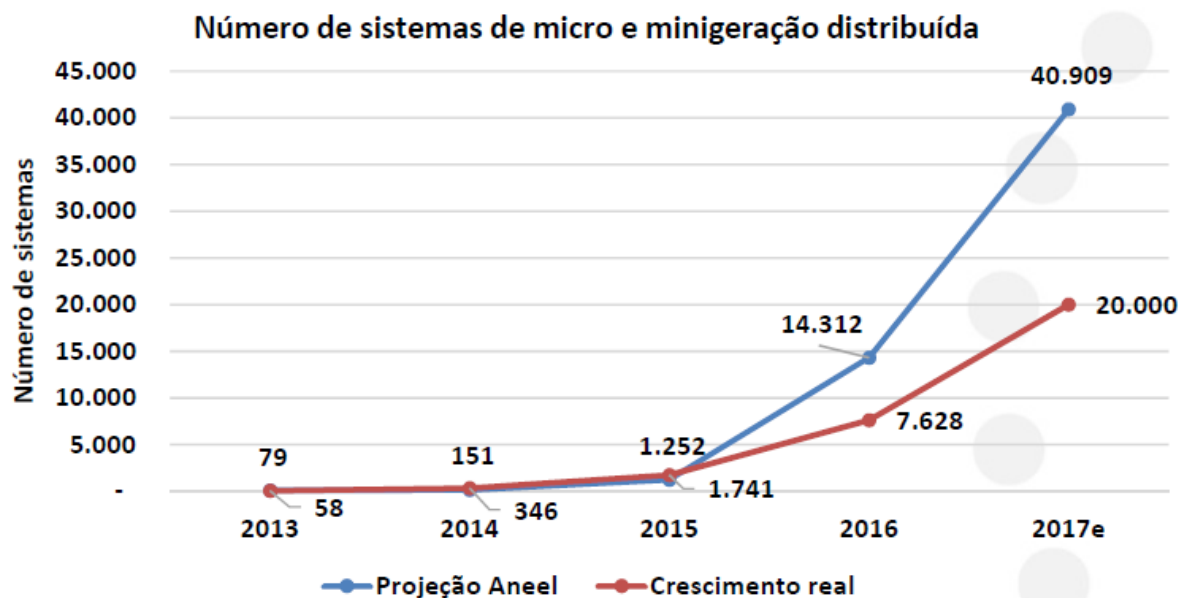


16.000

81.000.000+



Representa apenas  
**0,02%** das unidades  
consumidoras do país!



Fonte: ANEEL, 2017.

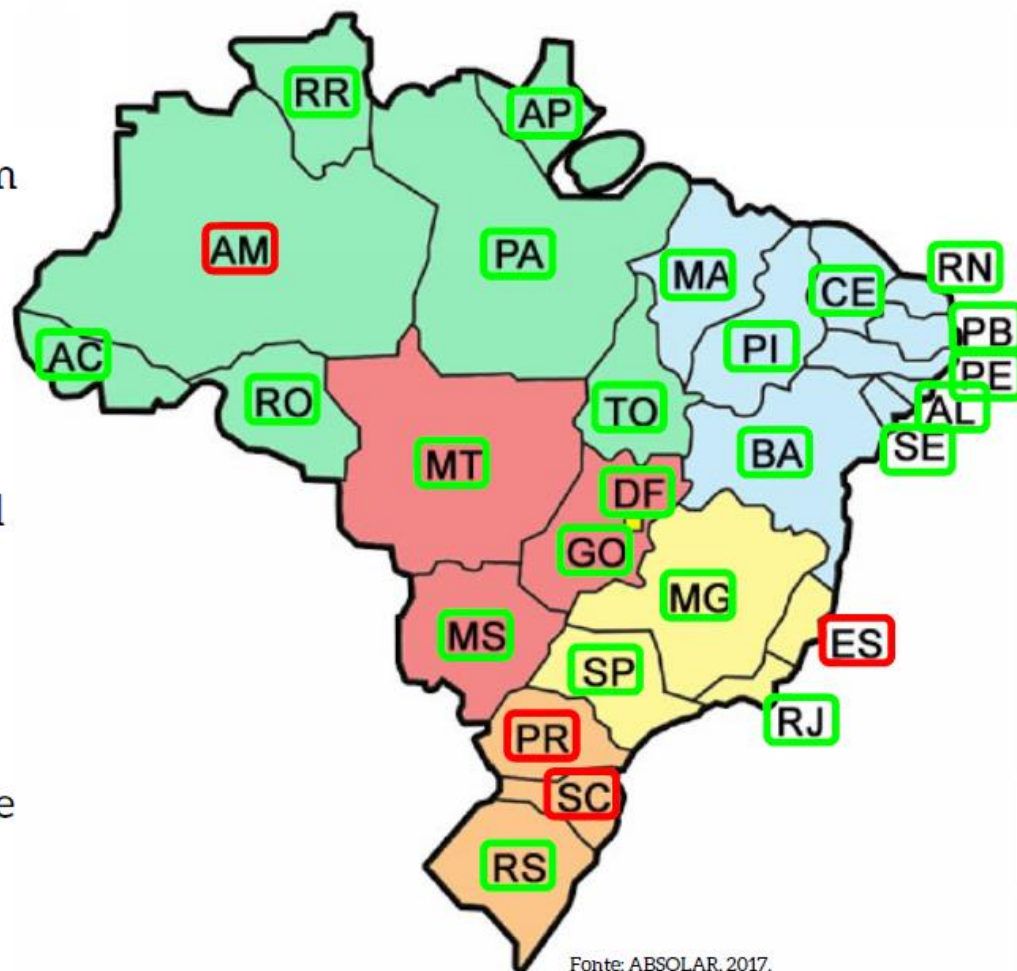
# Tributação

Convênio ICMS N° 16/2015

- Autoriza estados a isentarem o ICMS sobre a energia da REN 482/2012.
- 23 estados já aderiram:
  - Mais de 178 milhões de brasileiros beneficiados (87,4% do país).
- Todos os 23 estados já publicaram decreto estadual efetivando o benefício.
- 4 estados ainda precisam aderir.

Lei N° 13.169/2015

- Isenção de PIS/COFINS sobre a energia da REN 482/2012.



Fonte: ABSOLAR, 2017.

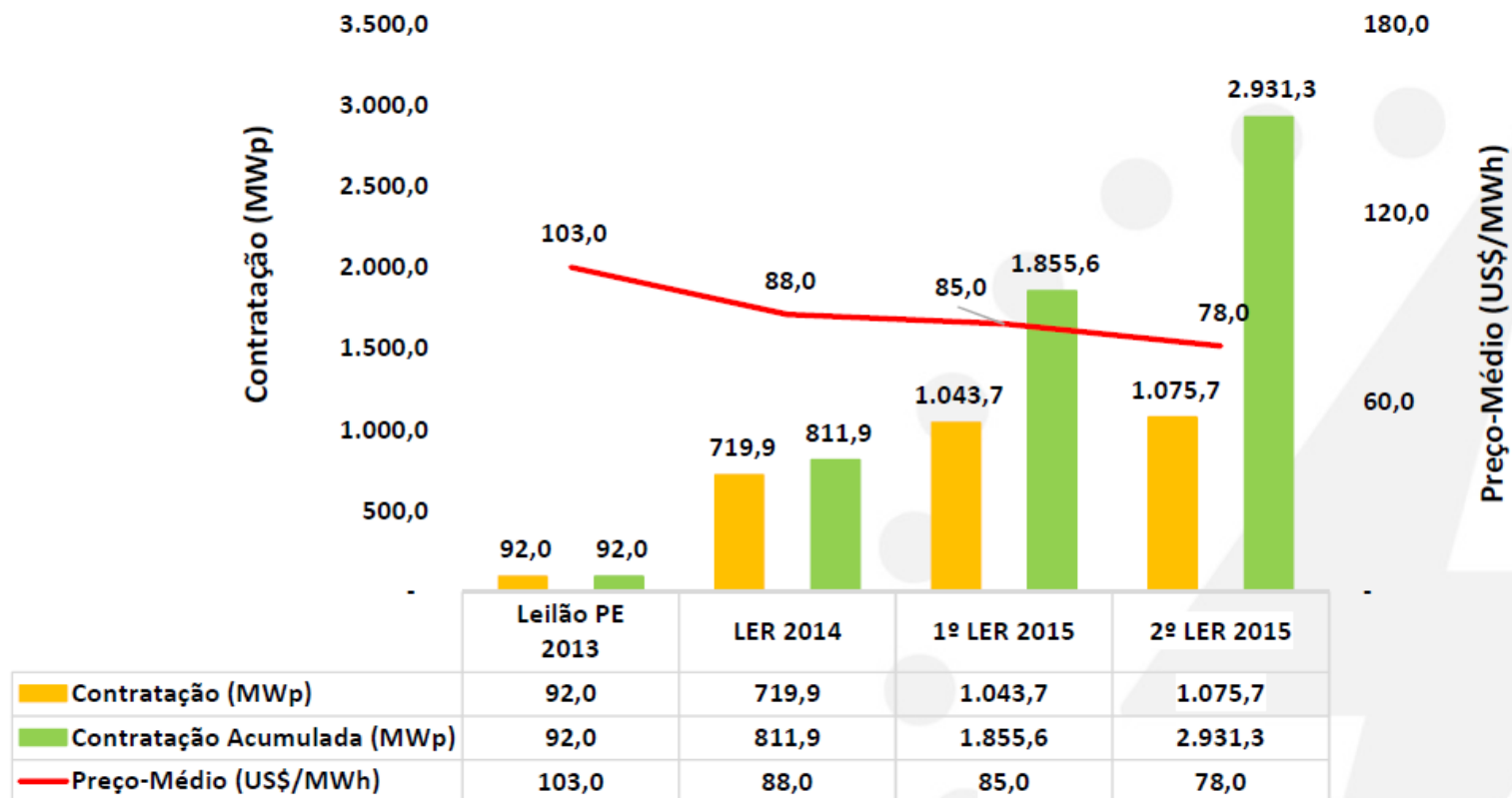
● Adesão e Decreto OK! ● Aderiu, mas falta Decreto ● Falta Adesão e Decreto



## LEILÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

# Geração Centralizada

Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica em Leilões







## LEILÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

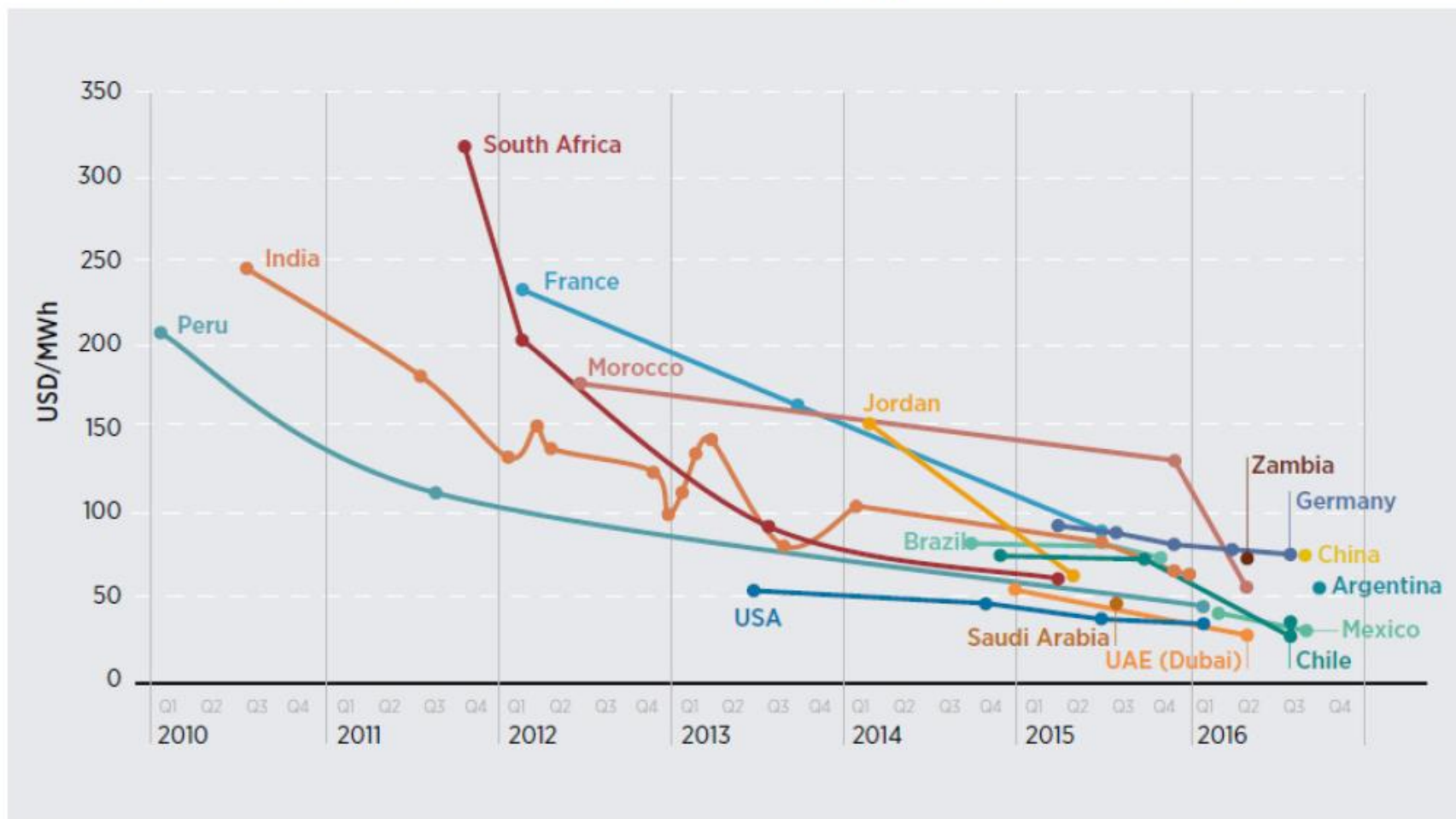
# Geração Centralizada

Leilão de Energia Nova (LEN) A-4 de 2017 – 18/12/2017

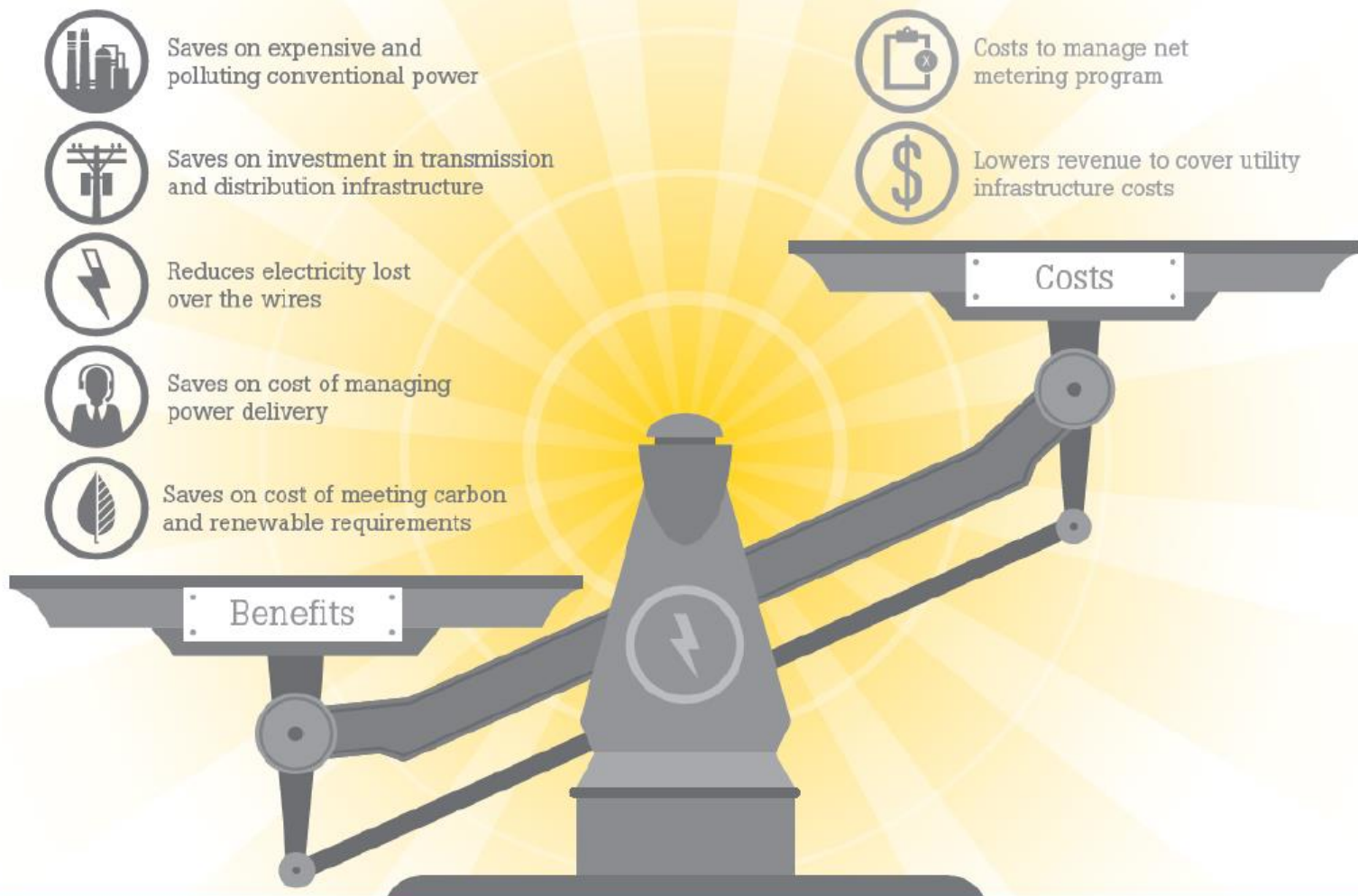
- Produto específico para a fonte solar fotovoltaica.
- Contratos por 20 anos, com início de suprimento em 01/01/2021.
- Preço-teto deverá ser divulgado no próximo mês.
- Projetos cadastrados da fonte solar fotovoltaica:

Estado	Projetos	Oferta (MW)
Alagoas	2	50
Bahia	162	4.758
Ceará	50	1.575
Mato Grosso do Sul	21	1.220
Minas Gerais	29	1.145
Paraíba	23	613
Pernambuco	40	1.201
Piauí	104	3.354
Rio Grande do Norte	89	2.978
São Paulo	42	1.243
Tocantins	12	215
<b>Total</b>	<b>574</b>	<b>18.352</b>

# Competitividade Crescente da Energia Solar Fotovoltaica



- Solar FV  $\leq$  US\$ 50/MWh não é caso isolado: EUA, México, Peru, Chile, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos. Novos virão!



In California, net metering grid benefits outweigh the costs by **\$92.2 Million per year**. Actual costs and benefits are specific to each utility. However, the size of California's solar market and its unique tiered rate structure make it a strong test bed for the economics of net metering. A net benefit in California indicates a likely net benefit in many other states as well.