

# Usinas Solares de Grande Porte Conectadas à Rede

Apresentador: **Eng° João Carlos Camargo**  
Hytron - Energia e Gases Especiais  
[joao.carlos@hytron.com.br](mailto:joao.carlos@hytron.com.br)

Leonardo ENERGY  em português

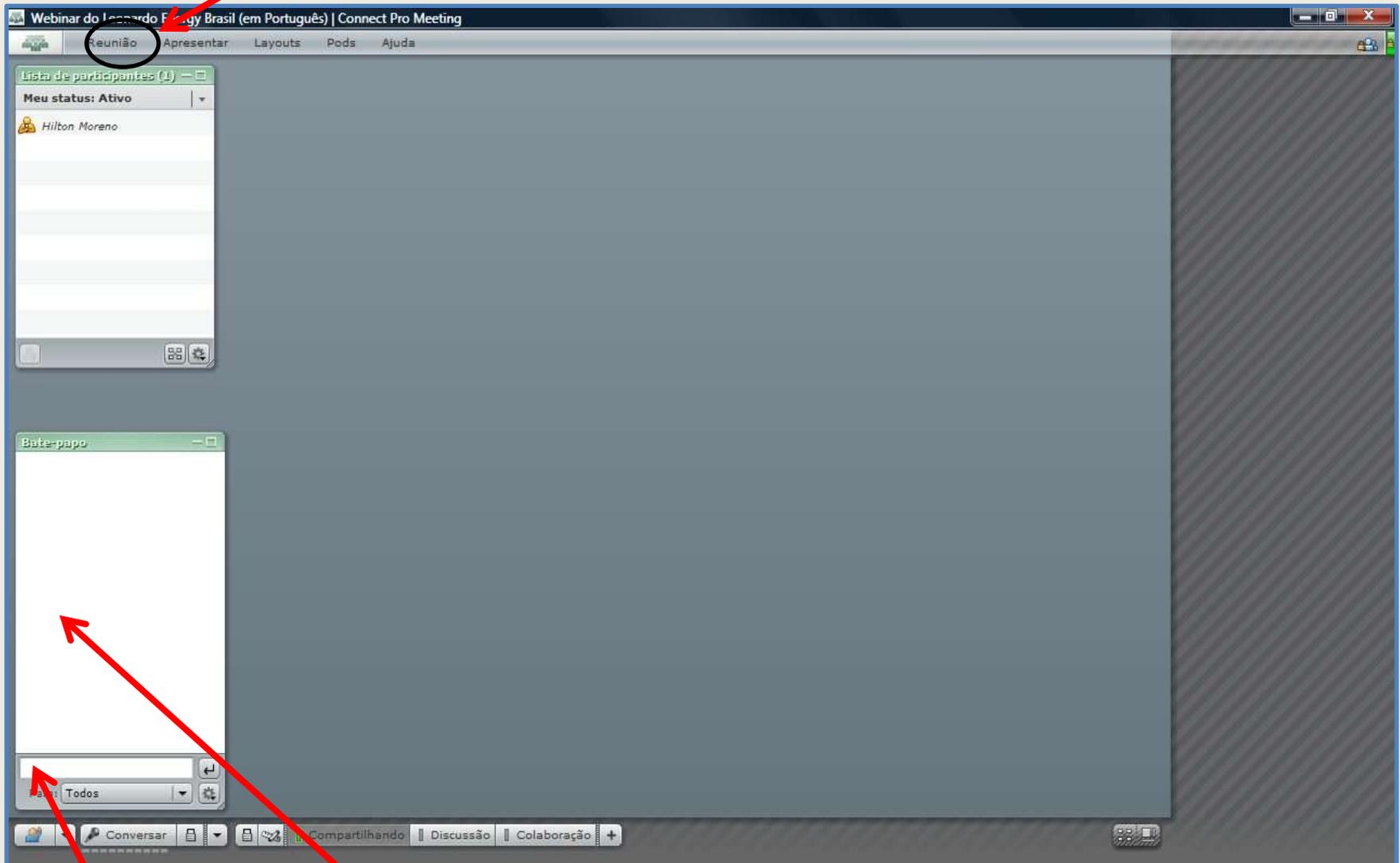
 international  
energy  
initiative



**O PORTAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**



✓ 1. Teste de som: Reunião → Assistente de configuração de áudio → Sigam as instruções.



✓ 3. Digitem aqui

✓ 2. Espaço para apresentação pessoal , eventuais perguntas e/ou comentários - respostas no final da apresentação.



## **PRINCIPAIS REGRAS DESTE WEBINAR:**

1. Esta apresentação será gravada e disponibilizada, na forma original e em “pdf”, na página do Leonardo Energy na Internet (<http://www.leonardo-energy.org.br>);
2. As perguntas deverão ser feitas ao final da apresentação, unicamente por escrito, utilizando-se o campo apropriado (Q&A);
3. O espaço “bate-papo” é destinado a comentários e apresentações pessoais;
4. Pode acontecer que, dependendo do número de perguntas e do tempo disponível, algumas perguntas fiquem sem resposta e serão respondidas através de e-mail;
5. Se houver interrupção inesperada do Webinar, certifique-se que sua conexão com a internet esteja funcionando normalmente e tente se conectar novamente;
6. Se desejar obter o Certificado de Participação, por favor, informe seu e-mail no “chat”, no final ou durante a apresentação.



## O PORTAL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA



### Palestrante:

#### Eng° João Carlos Camargo

Eng. Eletricista formado pela Universidade Federal de Santa Maria – RS. Pesquisador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE/UNICAP. Mestre e Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos pela UNICAMP. Dissertação de mestrado com foco em sistemas fotovoltaicos. Gerencia e atua como pesquisador de projetos na área de geração distribuída de energia elétrica (sistemas fotovoltaicos, eólicos e híbridos solar/eólico). Coordenador do projeto de pesquisa ANEEL Usina Solar Tanquinho CPFL, Campinas – SP.



### Mediador:

#### Eng° Eduardo Gradiz

Consultor do Procobre – Instituto Brasileiro do Cobre  
[eduardo.gradiz@procobre.com.br](mailto:eduardo.gradiz@procobre.com.br)





# Usinas Solares de Grande Porte Conectadas à Rede

Projeto  
João Carlos Camargo  
HYTRON  
Webinar 13/08/2014

# Usinas Solares de Grande Porte Conectadas à Rede

- Tecnologia solar fotovoltaica.
- O recurso solar local.
- Seleção local.
- Previsão da produção de energia.
- Projeto da Planta.
- Construção, comissionamento, operação e manutenção.
- Aspectos econômicos.

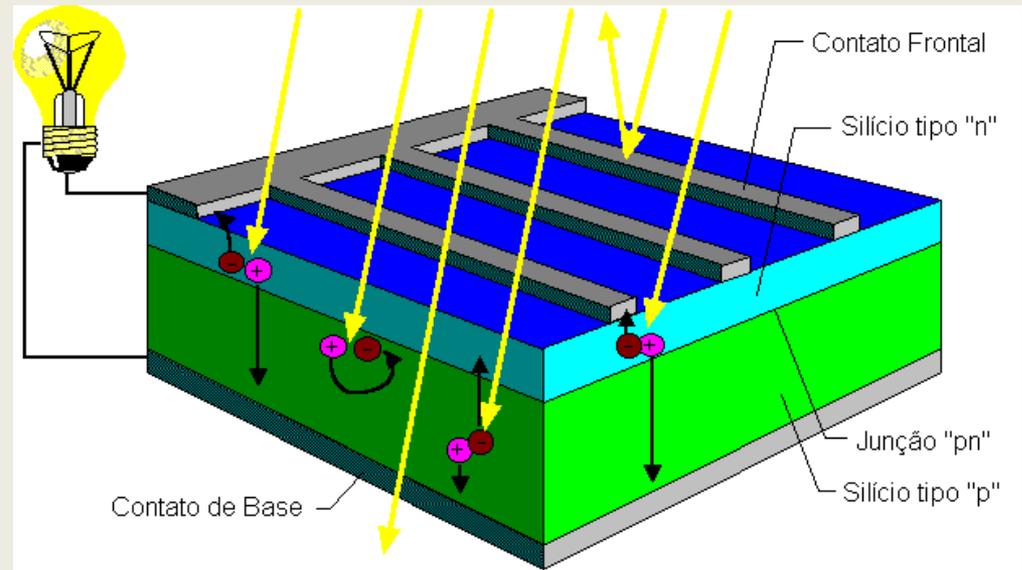
# Usina Fotovoltaica de Grande Porte

- Usina Solar Grande Porte
- Resolução ANEEL 482/2012:
  - Microgeração FV:  $P < 100 \text{ kW}$ ;
  - Minigeração FV:  $100 \text{ kW}_p < P < 1.000 \text{ kW}_p$ ;
- Usina FV Grande Porte:  $P > 1.000 \text{ kW}_p$ .

# Tecnologia Fotovoltaica

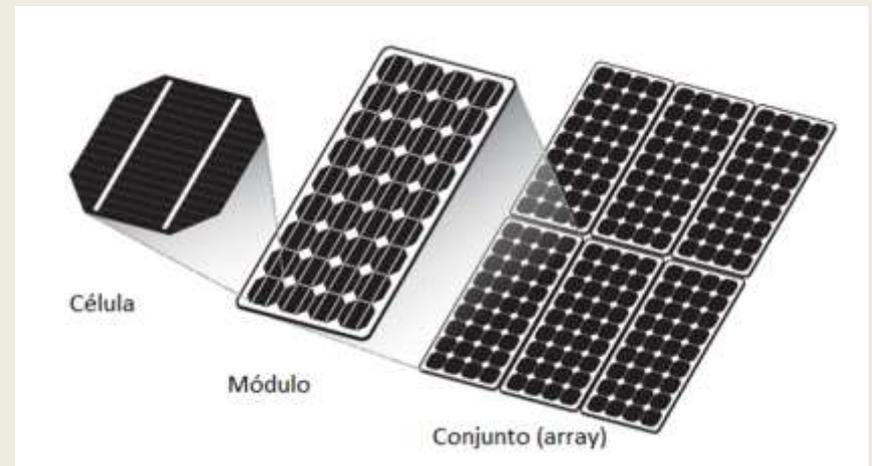
## Efeito fotovoltaico

•As células solares são dispositivos semicondutores que produzem energia elétrica a partir da luz solar através do efeito fotovoltaico.



# Tecnologia Fotovoltaica

- As células FV são conectadas eletricamente em circuito série e/ou paralelo para produzir níveis de tensão, correntes e potências maiores.
- Os módulos consistem de circuitos de células FV seladas em um encapsulamento protegido das condições ambientais.



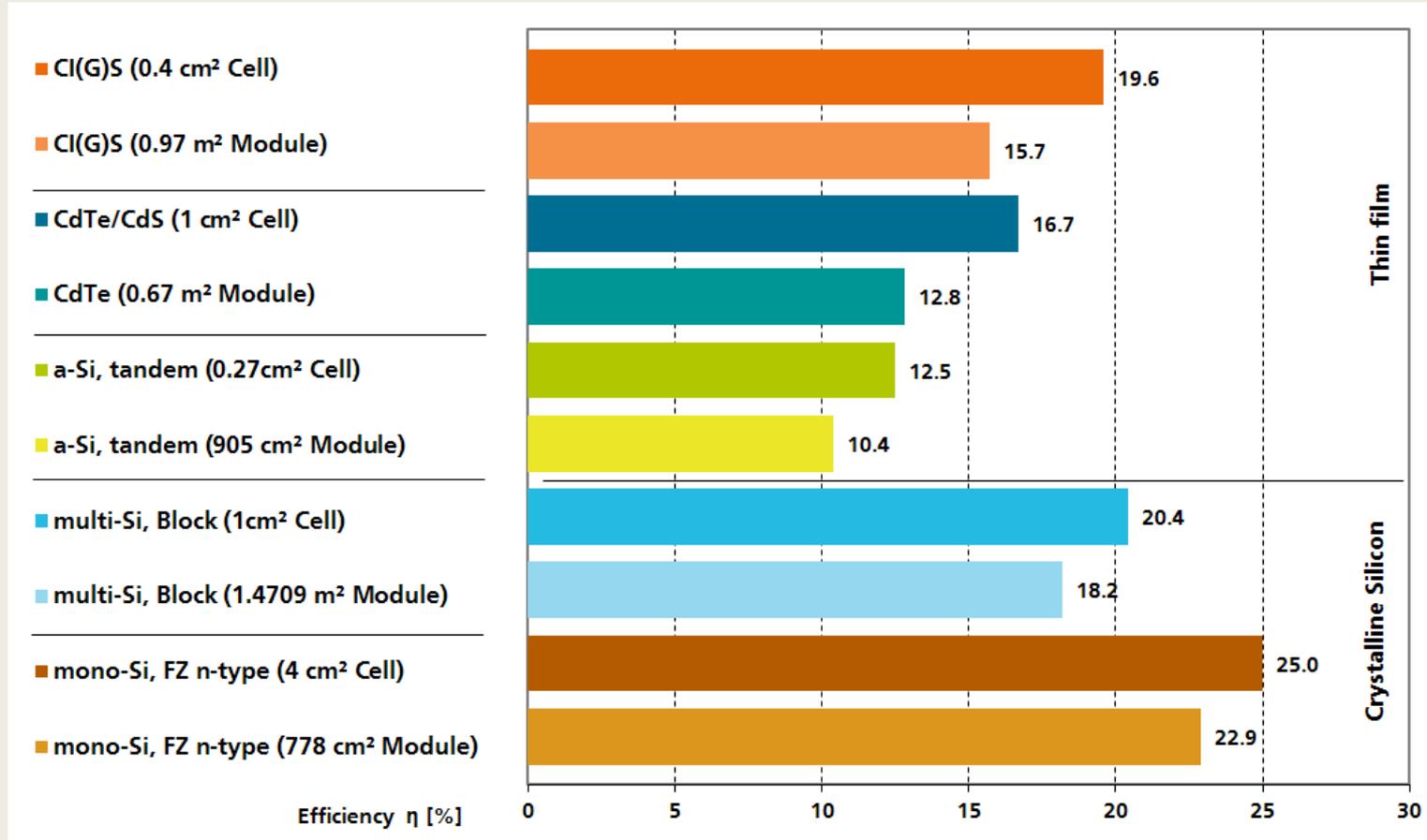
# Tecnologia Fotovoltaica



	Policristalino	Monocrystalino	Filme Fino
Eficiência comercial (%)	14 – 18	16 – 21	6 – 14
Custo (US\$/Wp) <sup>(1)</sup>	1,06	1,1	0,84
Participação no Mercado	45%	40%	14%

Fonte (1): [www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com)

# Tecnologia Fotovoltaica

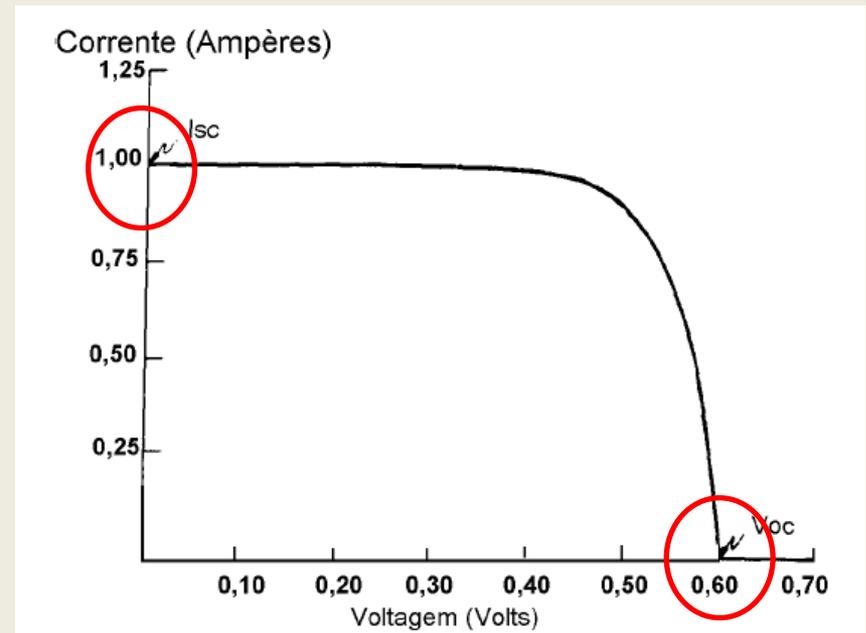


Fonte: Photovoltaics Report . Fraunhofer, 2013

# Tecnologia Fotovoltaica

## Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

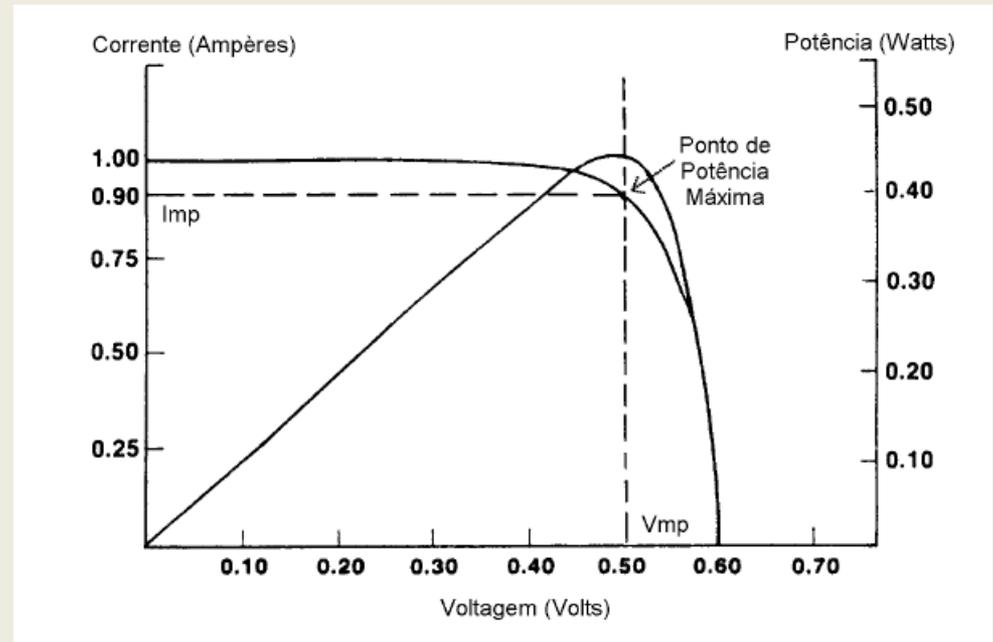
- Tensão de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ )
- Corrente de Curto Circuito ( $I_{sc}$ )



# Tecnologia Fotovoltaica

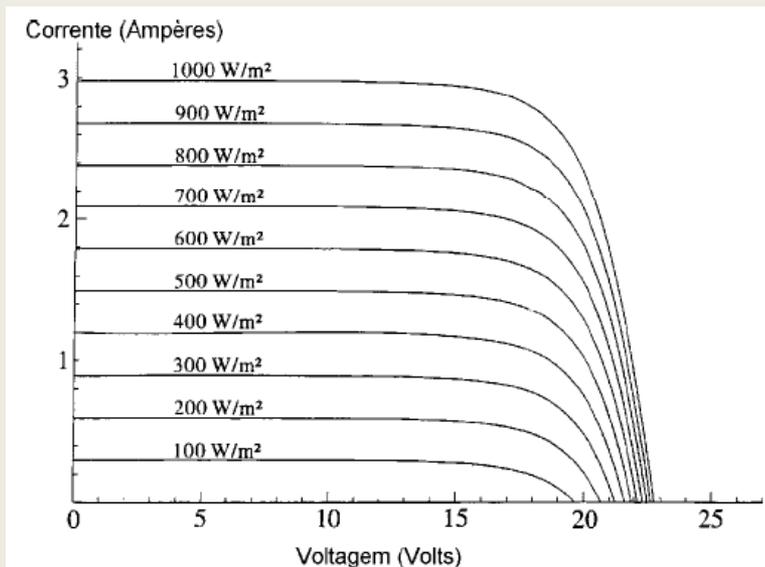
## Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

Tensão de Potência Máxima ( $V_{mp}$ )  
Corrente de Potência Máxima ( $I_{mp}$ )  
Potência Máxima ( $P_m$ )

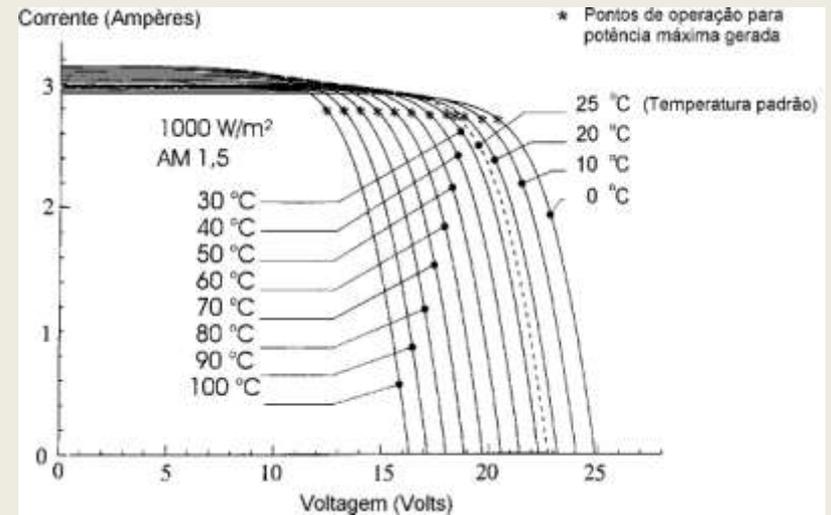


# Tecnologia Fotovoltaica

## Características elétricas dos módulos fotovoltaicos



Efeito causado pela variação de intensidade luminosa



Efeito causado pela temperatura na célula

# Tecnologia Fotovoltaica

## Especificações dos módulos

Características Elétricas STC			
MODELOS	295 W	300 W	
Potência máxima (Pmax)	295	300	Wp
Tensão de funcionamento (Vmp)	36,4	36,87	V
Corrente de funcionamento (Imp)	8,1	8,15	A
Tensão em circuito aberto (Voc)	45,3	45,6	V
Corrente de curto-circuito (Isc)	8,65	8,77	A
Tolerância	±1,2	±1,2	%
Eficiência do módulo	15,1	15,3	%
Tensão máxima do sistema (Vsys)	1000	1000	V

STC: Irradiação de 1000W/m<sup>2</sup>; temperatura do módulo de 25°C, AM = 1,5.  
As especificações estão sujeitas a alterações sem aviso prévio.

Características de temperatura	
Coefficiente de temperatura da Pmax	-0,45 %/ °C
Coefficiente de temperatura da Voc	-0,34 %/ °C
Coefficiente de temperatura da Isc	0,04 %/ °C
Temperatura nominal de funcionamento da célula (NOCT)	46±2°C

Características mecânicas	
Nº Células	72
Tipo de células	monocristalino
Dimensões células	156 x 156 mm
Dimensões módulo	1966 x 997 x 42 mm
Peso	22 kg

Potência STC (*Standard Test Condition*): potência fornecida pelo módulo FV quando submetido a uma irradiação de 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de 25°C.

A especificação elétrica mais importante é a eficiência do módulo.

Quanto maior a eficiência, menor a área necessária para produzir determinada quantidade de energia.

Os parâmetros tensão e corrente não são determinantes, pois os módulos podem ser conectados em série ou em paralelo para ajustarem-se à potência do inversor.

# Tecnologia Fotovoltaica

- Perdas devido à temperatura afetam a produção especialmente em países com latitudes entre 0 - 35°.
- Entre módulos com a mesma tecnologia: o coeficiente térmico é similar entre os diferentes fabricantes e modelos
- Entre módulos de diferentes tecnologias: há grandes diferenças

Filme Fino (CdTe)

TEMPERATURE CHARACTERISTICS		
Temperature Coefficient of $P_{MPP}$	$T_k (P_{MPP})$	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of $V_{oc}$	$T_k (V_{oc})$	-0.28%/°C
Temperature Coefficient of $I_{sc}$	$T_k (I_{sc})$	+0.04%/°C

Silício monocristalino

## Características de temperatura

Coefficiente de temperatura da $P_{max}$	-0,45 %/ °C
Coefficiente de temperatura da $V_{oc}$	-0,34 %/ °C
Coefficiente de temperatura da $I_{sc}$	0,04 %/ °C
Temperatura nominal de funcionamento da célula (NOCT)	46±2°C

# Tecnologia Fotovoltaica

- Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) – INMETRO.
- Portaria Inmetro nº 4/2011 – A partir de 01/07/2012 todos os módulos fotovoltaicos comercializados no Brasil devem ser certificados.

**INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA**  
PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM

**TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA - MÓDULOS - Edição 01/2013**

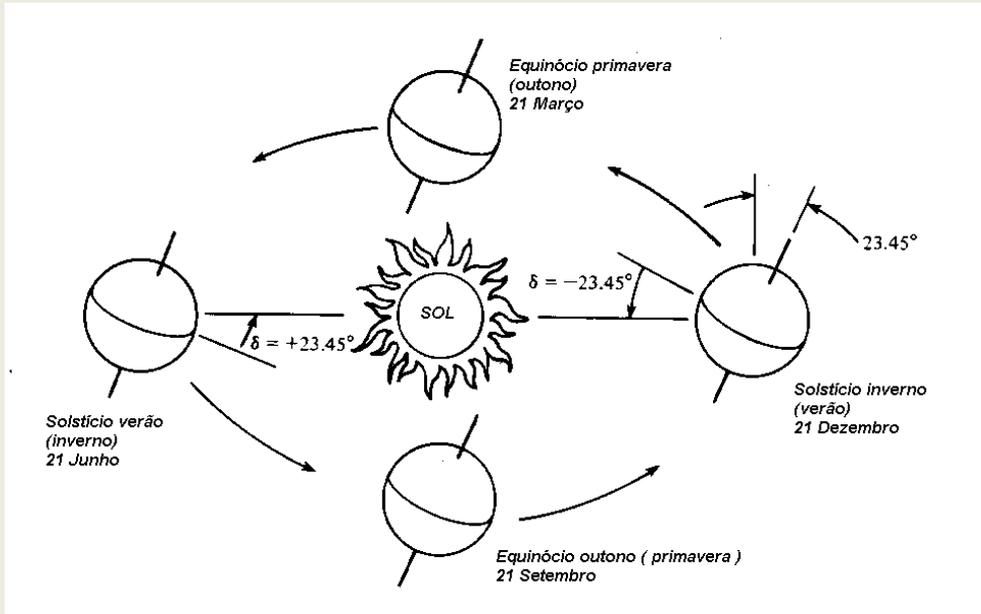
**Informações:**  
 Nº Exames: 02  
 Nº de Módulos: 02  
 Nº de Instalações: 04

CLASSE	ÍNDICE DE MÓDULO		SILICO CRISTALINO		FILMES FINOS		EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
	MÍNIMO	MÁXIMO	TOTAL	%	TOTAL	%	
1	100	120	20	20,0	0	0	10,0
2	100	110	20	20,0	0	0	10,0
3	100	100	20	20,0	0	0	10,0
4	100	90	20	20,0	0	0	10,0
5	100	80	20	20,0	0	0	10,0

\* Atenção: Esta tabela tem a função de facilitar a consulta das informações e o cumprimento das medidas obrigatórias do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), não é informação para venda e comercialização. Não substitui a etiqueta emitida pelo órgão competente e deve ser conferida em base de produtos registrados. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pt/ptp.aspx>. O banco de produtos registrados é fornecido gratuitamente aos produtores registrados, no site, disponível para consulta, inserção e atualização on-line.

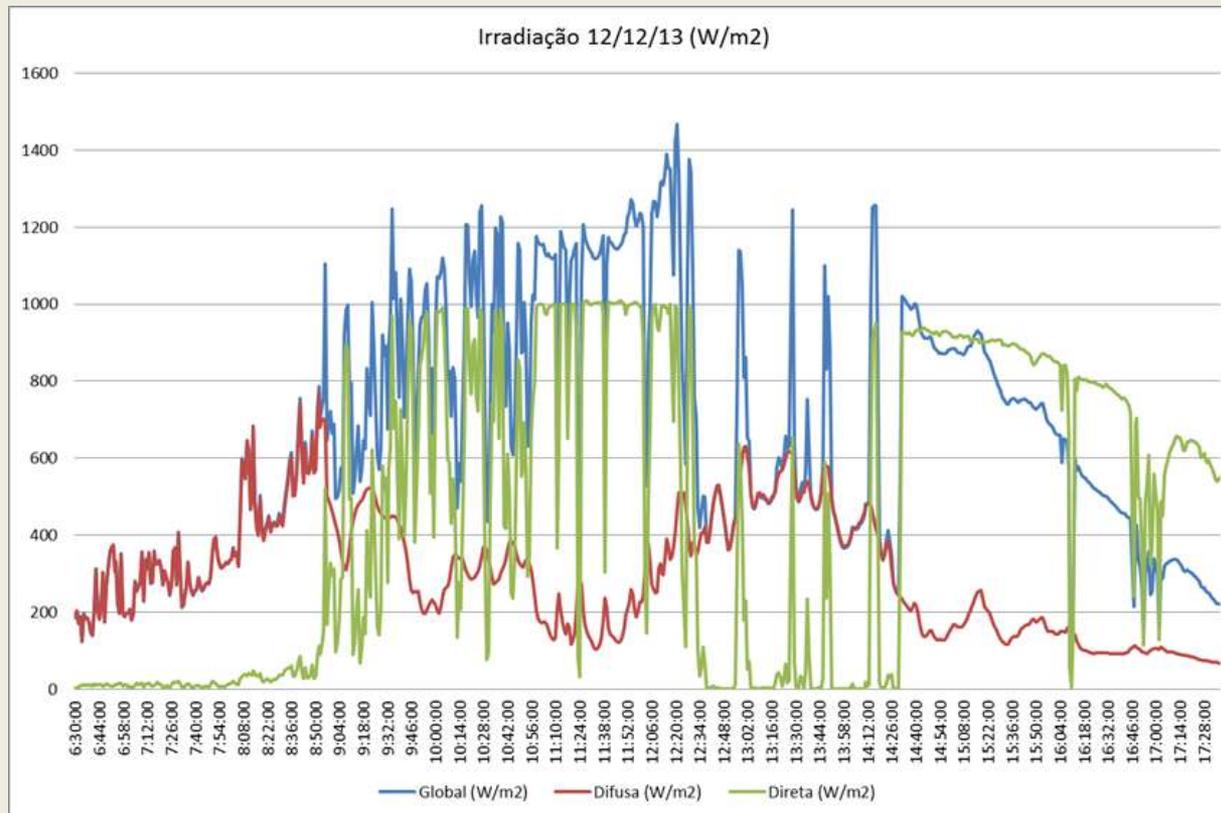
EMPRESA	MARCA	MODELO/CODIGO	MATERIAL	Características Físicas				Tensão (V)	Corrente (A)	Potência Máx. (W)	Eficiência (%)	Temperatura Máxima de Operação (°C)	Produção Média de Energia Anual (kWh)	Eficiência Energética (%)	Classificação Energética	Índice Brasileiro de Registro	Data Inicial do Registro	Data Final do Registro	Selo Procel
				Comprimento (mm)	Largura (mm)	Área (m²)	Peso (kg)												
AL SOLAR	MONOLAR	MONOLAR	MONOLAR	600	676	0,408	4,91	23,60	2,78	16,30	2,61	91	48	6,34	12,8	C	02/27/2013	12/2013	
AL SOLAR	MONOLAR	MONOLAR	MONOLAR	610	676	0,410	5,5	23,60	3,36	17,60	3,75	91	48	12,01	13,2	B	02/27/2013	12/2013	
AL SOLAR	MONOLAR	MONOLAR	MONOLAR	642	676	0,432	11,8	22,20	6,34	14,00	1,22	130	48	16,28	13,3	C	02/27/2013	12/2013	
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	600	662	0,397	18	30,80	3,38	28,90	7,70	200	48	20,79	16,1	A	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	600	662	0,397	18	30,80	3,67	28,80	7,80	230	48	20,28	16,4	B	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	600	662	0,397	18	30,80	3,95	28,80	7,90	240	48	20,01	16,7	B	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	600	662	0,397	18	31,20	3,68	30,00	8,00	240	48	20,34	16,7	A	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	600	662	0,397	18	31,40	3,93	30,40	8,20	240	48	20,93	16,8	A	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	600	662	0,397	18	31,60	3,70	30,80	8,17	240	48	21,28	16,8	A	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	675	662	0,444	22	31,10	3,73	30,80	8,19	240	48	22,01	16,8	A	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	675	662	0,444	22	31,70	3,71	31,00	8,22	240	48	22,16	16,8	A	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	1000	662	0,602	27	44,30	3,91	33,00	7,90	300	48	23,01	16,4	B	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	1000	662	0,602	27	44,70	3,88	30,00	7,90	300	48	20,34	16,7	A	02/19/2013	12/2013	0,90
AL SOLAR S.A.	ALPER	AL700P-01	MONOLAR	1000	662	0,602	27	44,80	3,90	30,40	7,97	300	48	20,28	16,8	B	02/19/2013	12/2013	0,90
APLICADOR TECNOLOGIA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, LTA	APPLICADIT	AP7-001	MONOLAR	642	662	0,424	18	23,50	3,60	17,34	8,00	144	48	17,00	13,3	A	02/05/2013	02/12/2012	0,90
APLICADOR TECNOLOGIA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, LTA	APPLICADIT	AP7-002	MONOLAR	642	662	0,424	18	22,38	3,76	18,32	8,27	100	48	18,80	16,8	B	02/05/2013	02/12/2012	0,90

# Recurso Solar Local



# Recurso Solar Local

- Características do recurso solar: aleatório e variável

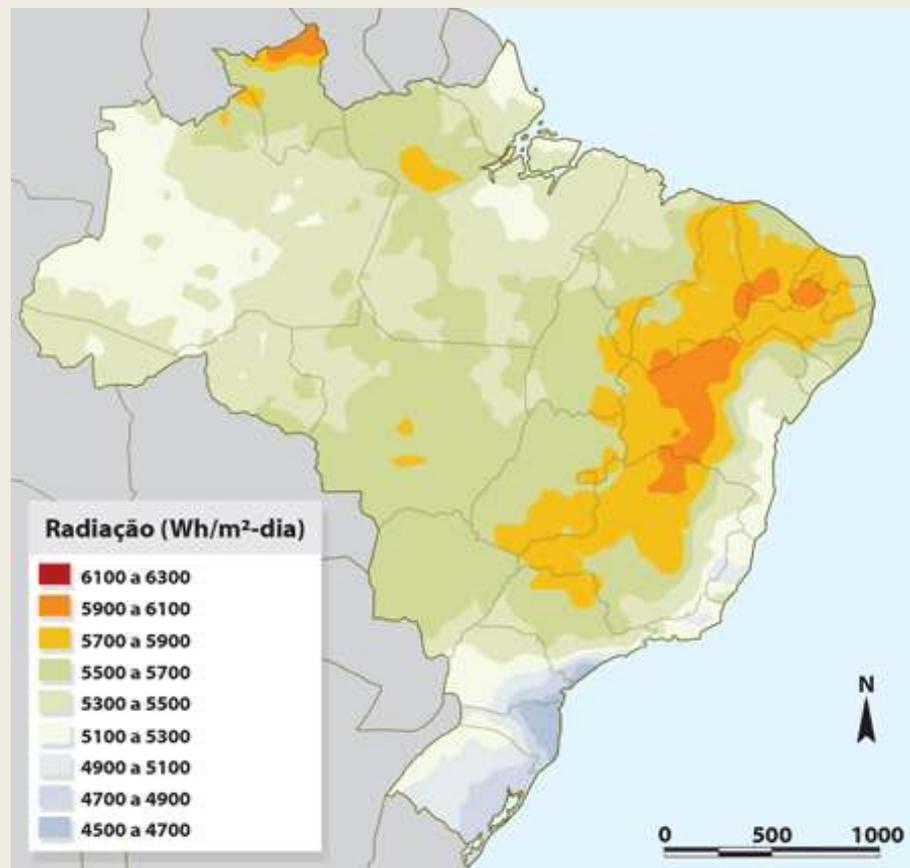


# Recurso Solar Local

Os mapas de irradiação permitem fazer uma primeira aproximação de um estudo de viabilidade para a localização de uma planta solar FV.

Para pequenas instalações eles podem ser suficientes. Mas para obter maior certeza, a medição local da irradiação solar deve ser feita. Adicionalmente pode-se comparar a medição local com os valores fornecidos por satélite e com outras estações meteorológicas próximas ao local.

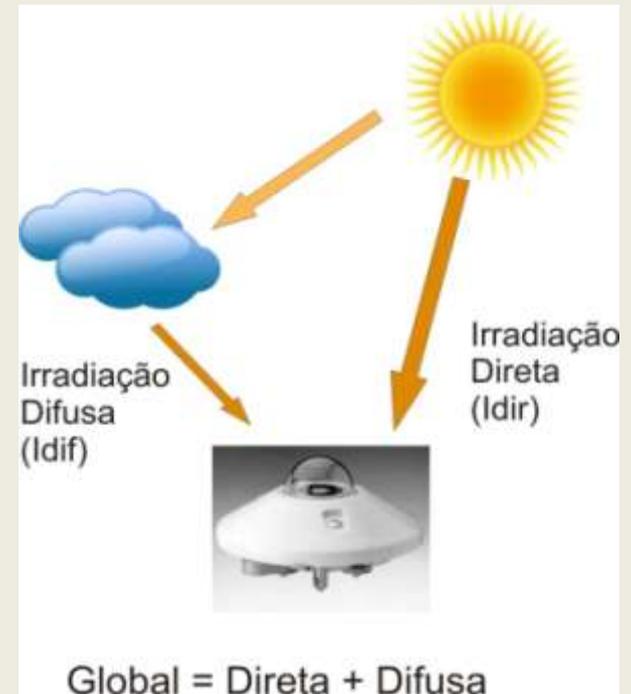
Há uma constante atualização dos mapas de irradiação implicando em previsão de produção mais precisa.



Fonte: CRESESB

# Recurso Solar Local

- Irradiação Global Horizontal (IGH) – A IGH inclui a irradiação recebida diretamente e a irradiação recebida de todas as direções devido à dispersão na atmosfera (irradiação difusa e albedo).
- Irradiação Normal Direta – é a irradiação solar total recebida em uma superfície que está diretamente faceando o Sol durante todo o tempo. A irradiação direta é de interesse particular para instalações que utilizam estruturas móveis (sistemas com concentradores – CSP).
- Irradiação Difusa: é a irradiação recebida em uma unidade de área de superfície horizontal de todas as direções quando a irradiação é dispersa na atmosfera e das áreas adjacentes.
- Albedo: Parte da radiação solar que chega à superfície da Terra e é refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, etc.);
- Constante solar ( $I_0$ ): irradiação no topo da atmosfera  $1.367 \text{ W/m}^2$



# Recurso Solar Local

Irradiação: instrumentos de medição

Unidades:

Potência:  $W/m^2$

Energia: Wh ou J

## Irradiação Global Horizontal

Medida por um  
PIRANÔMETRO com um  
sensor horizontal



## Irradiação Direta

Medida por um  
PIRELIÔMETRO em um  
dispositivo móvel que segue  
a trajetória do Sol



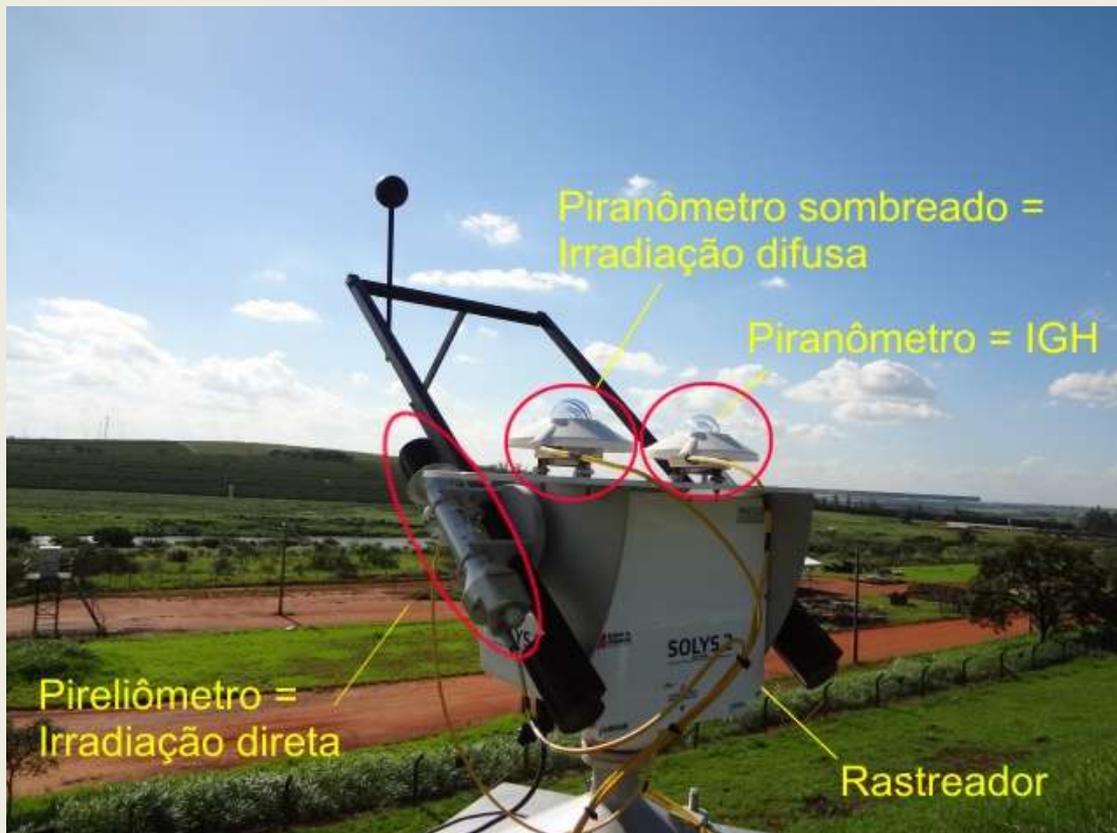
## Irradiação Difusa

Medida por um  
PIRANÔMETRO  
SOMBREADO



# Recurso Solar Local

Exemplo de Estação Solarimétrica – Usina Solar Tanquinho



# Recurso Solar Local

## Dados locais irradiação – Site Cresesb

Município: Campinas - SP  
Latitude: 22,905555° Sul  
Longitude: 47,060833° Oeste  
Distância: 48,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Radiação diária média mensal [kwh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,33	5,56	5,22	4,53	4,06	3,56	4,19	4,58	4,75	5,58	5,86	5,53	4,90	2,30
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	22° N	4,86	5,32	5,37	5,12	5,03	4,59	5,39	5,41	5,05	5,46	5,38	4,97	5,16	,87
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	22° N	4,86	5,32	5,37	5,12	5,03	4,59	5,39	5,41	5,05	5,46	5,38	4,97	5,16	,87
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	26° N	4,72	5,22	5,34	5,16	5,15	4,73	5,55	5,49	5,05	5,37	5,24	4,82	5,15	,82

Marque as caixas de seleção  para atualizar a visualização das curvas de radiação no gráfico.

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

# Seleção do local

- Recurso solar – Irradiação Global Horizontal, anual e variação entre ano, impacto de sombras.
- Clima local – enchentes, ventos, neve e temperaturas extremas.
- Área disponível – área necessária para módulos de diferentes tecnologias, exigências de acesso, ângulo de inclinação dos módulos, distância entre fileiras a fim de minimizar o sombreamento entre fileiras.
- Topografia: terreno plano ou levemente inclinado na direção norte.
- Geotécnico: lençol freático, resistividade, capacidade do terreno para suportar a carga das estruturas, nível de PH do solo e riscos sísmicos.
- Geopolítico – proximidade à zonas militares e fronteiras.
- Acessibilidade – proximidade à estradas existentes, extensão de estradas ou construção de novas.
- Conexão à rede – custo, prazos, capacidade, proximidade e disponibilidade.
- Sujeira nos módulos – fatores locais como clima, ambiente, vida selvagem, lavouras, etc.
- Disponibilidade de água – um suprimento confiável necessário para limpeza dos módulos.
- Incentivos financeiros – cidades podem ter incentivos para instalações fotovoltaicas.

# Previsão Produção Energia

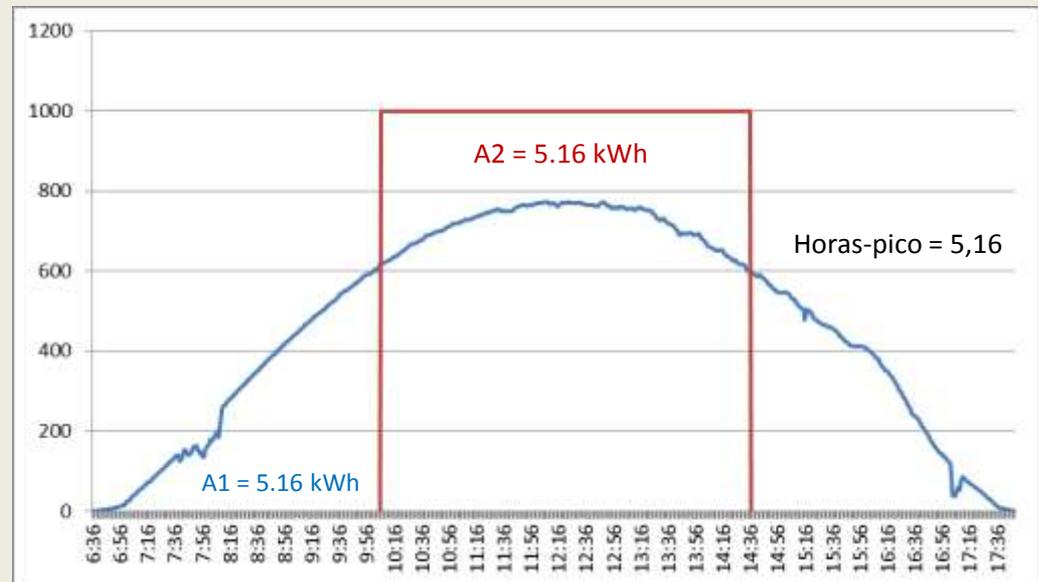
- Modelos de previsão de irradiação ou dados obtidos no local como IGH, velocidade do vento e temperatura a partir de estações meteorológicas locais ou imagens de satélite (ou uma combinação dos dois).
- Cálculo da irradiação incidente sobre o plano inclinado dos módulos em determinado período de tempo.
- Modelagem do desempenho da planta levando em conta a variação da irradiação e temperatura para obter a estimativa de produção de energia em determinado intervalo de tempo.
- Determinação das perdas envolvidas no sistema: módulos FV, arranjo da planta, inversores, cabeamento C.C. e C.A., degradação dos módulos, desligamentos, sombreamentos, sujeira.
- Avaliação estatística da incerteza dos dados de entrada a fim de determinar os níveis de incerteza na previsão final da energia produzida.

# Previsão Produção Energia

- Primeira aproximação: horas-pico ou horas de sol pleno.
- Permite calcular o valor aproximado da produção de energia produzida por uma planta FV.
- Por exemplo, uma planta FV de 1.000 kWp (STC) situada em um local com o perfil médio diário de irradiação conforme a figura produzirá anualmente:

$$E_{anual} = P_{STC} \times H_{pico} \times 365 \text{ dias}$$

$$E_{anual} = 1.000 \times 5,16 \times 365 = 1.883,4 \text{ MWh}$$

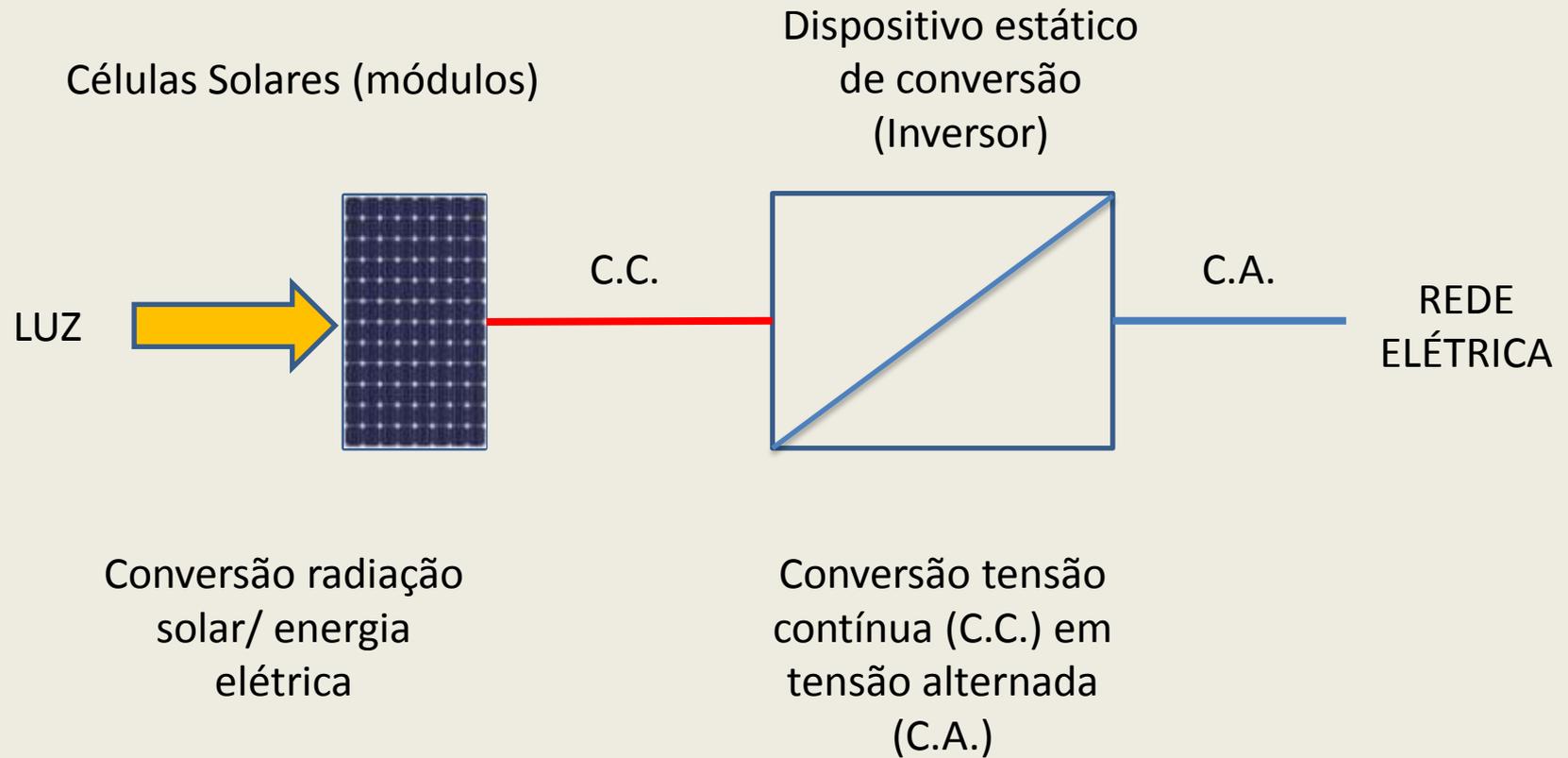


# Previsão Produção Energia

- Uso de softwares: softwares de simulação são usados normalmente para a previsão da produção de energia de uma planta fotovoltaica.
- Exemplos de softwares: PVSyst, PV – Design Pro, PV-Sol, SolarPro, PV F-Chart, etc.

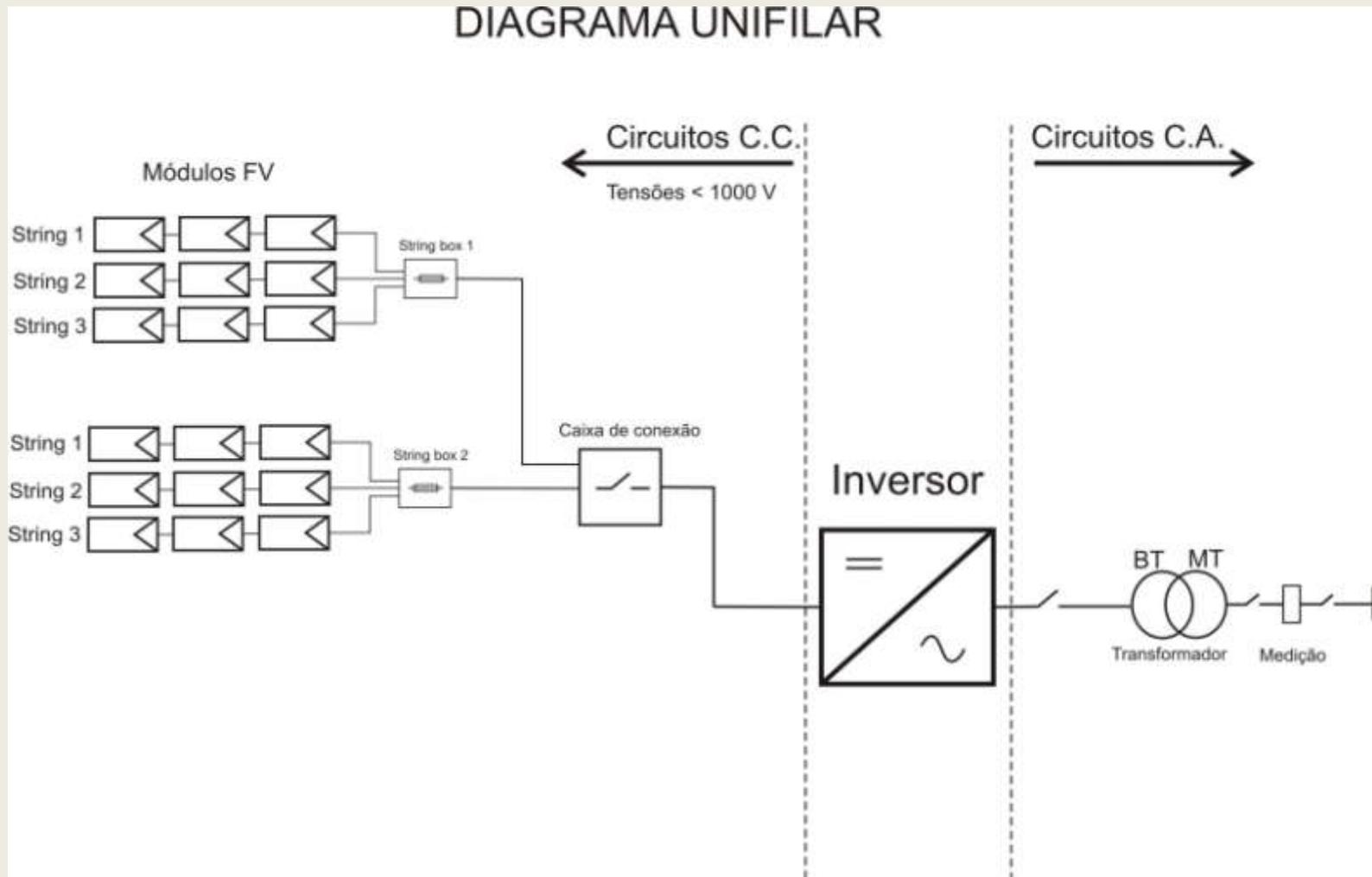
# Projeto da Planta FV

## Sistema Geração Fotovoltaica Conectado à Rede



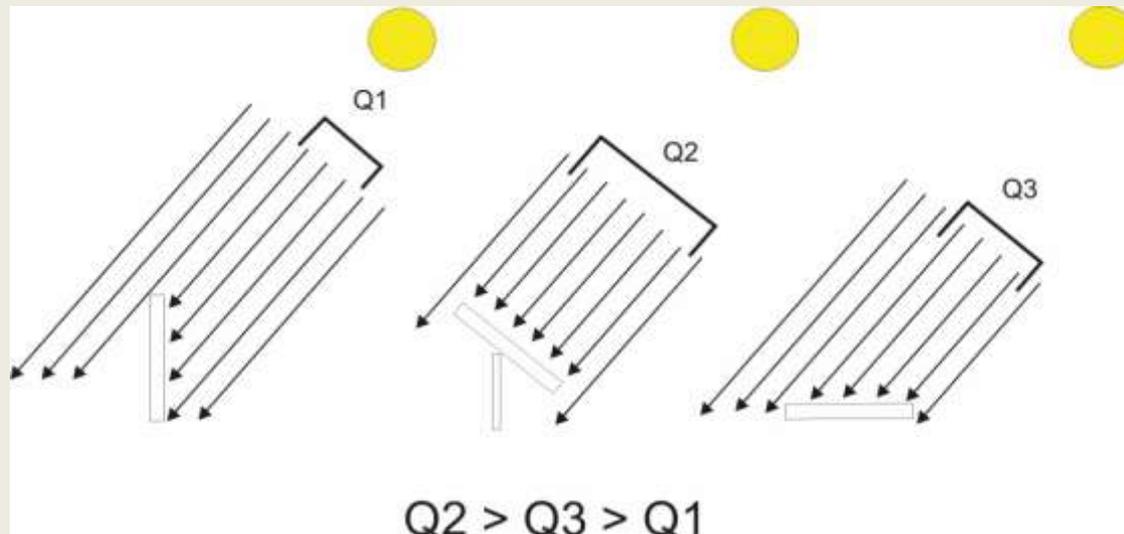
# Projeto da Planta FV

## DIAGRAMA UNIFILAR



# Projeto da Planta FV

- Orientação dos módulos: hemisfério sul – face voltada para o Norte.
- Ângulo de inclinação que otimiza a produção de energia de acordo com a latitude do local. Regra geral: inclinação de acordo com a latitude a fim de otimizar a produção no inverno



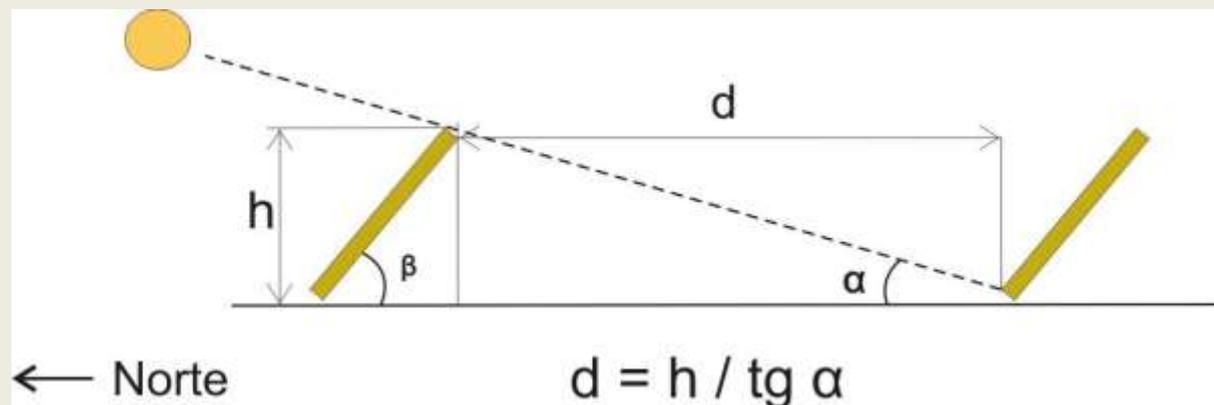
# Projeto da Planta FV

- Estruturas móvel (tracking)?
- Vantagem: maior produção em locais com boa irradiação direta.
- Desvantagens: custo maior, consumo de energia, área ocupada maior, O&M maior



# Projeto da Planta FV

- Definição do espaço entre fileiras de módulos para minimizar ou eliminar o sombreamento.



# Projeto Planta FV

## Inversores

Dispositivo capaz de transformar tensão C.C. em tensão C.A. ao mesmo tempo regulando a tensão, corrente e a frequência do sinal.

Potências – 1 kW a 1.000 kW

Sincronização automática.

Devem ser aptos a detectar situação de ilhamento e tomar as medidas apropriadas de modo a proteger pessoas e equipamentos.

Varredura do ponto de máxima potência (MPPT) dos módulos FV conectados.

IEEE 1547: regulação de tensão; sincronização, limitação de injeção de C.C.; harmônicos, ilhamento.

Com ou sem isolação galvânica.



# Projeto da Planta

## Características dos Inversores

- Tensão Máxima de Entrada
  - A tensão máxima dos módulos em série deve ser menor que a tensão máxima de entrada CC do inversor.
- Tensão MPP
  - É a faixa de tensão onde o inversor consegue operar o Ponto de Potência Máxima do perfil da curva IxV dos módulos conectados ao inversor.
  - A tensão do conjunto de módulos conectados ao inversor deve estar dentro dessa faixa em diferentes condições e clima durante o ano inteiro.

Maximum DC power at $\cos \phi = 1$	15 340 W
Maximum input voltage*	1 000 V
MPP voltage range	360 V ... 800 V
Rated input voltage	600 V
Minimum input voltage	150 V
Start input voltage	188 V
Maximum input current input A	33.0 A
Maximum input current input B	11.0 A
Maximum input current per string input A**	40.0 A
Maximum input current per string input B**	12.5 A
Number of independent MPP inputs	2
Strings per MPP input, input A	5
Strings per MPP input, input B	1

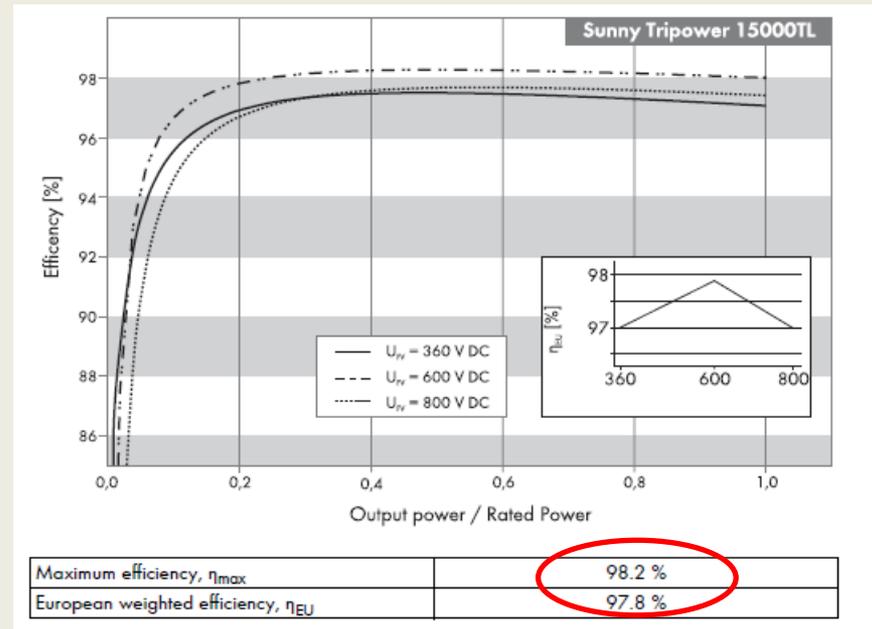
\* The maximum open-circuit voltage, which can occur at a cell temperature of  $-10^{\circ}\text{C}$ , must not exceed the maximum input voltage.

\*\* To be observed in the event of short-circuit of the string fuse.

# Projeto da Planta

## Características Inversores

- Outros parâmetros importantes
  - Eficiência do inversor:
    - O inversor apresenta diferentes eficiências de acordo com a potência de saída. Normalmente os fabricantes mostram a eficiência máxima e a eficiência europeia, que é uma média ponderada das eficiências quando a carga está a 5%, 10%, 30%...100%.
- Faixa de temperatura de operação do inversor
  - Este é um parâmetro importante, pois o excesso de temperatura durante a operação do inversor acarretará diminuição de potência de saída na maioria dos inversores.



# Projeto da Planta

## Principais critérios de seleção de inversores

Critério	Descrição
Tamanho	O tamanho influencia o tipo de conexão. Inversores centrais são os usados normalmente em grandes plantas FV.
Desempenho	Preferencialmente inversores de alta eficiência. A produção adicional de energia normalmente compensa o custo inicial maior. Também deve ser considerado que a eficiência muda com a variação da tensão C.C. de entrada, o nível de carga, e outros fatores
Faixa Ponto Máxima Potência (MPP)	Uma faixa mais ampla dessa característica implica em melhor flexibilidade do projeto.
Inversores trifásicos ou monofásicos	Pode haver restrições de carregamento assimétrico das fases no ponto de conexão. Normalmente inversores > 25 kW são trifásicos
Tecnologia dos módulos	Compatibilidade entre módulos com tecnologia de filme fino e inversores sem isolamento galvânica (transformerless inverter) deve ser avaliada.

# Projeto da Planta FV

## Caixa de Ligação dos módulos em série – String Box



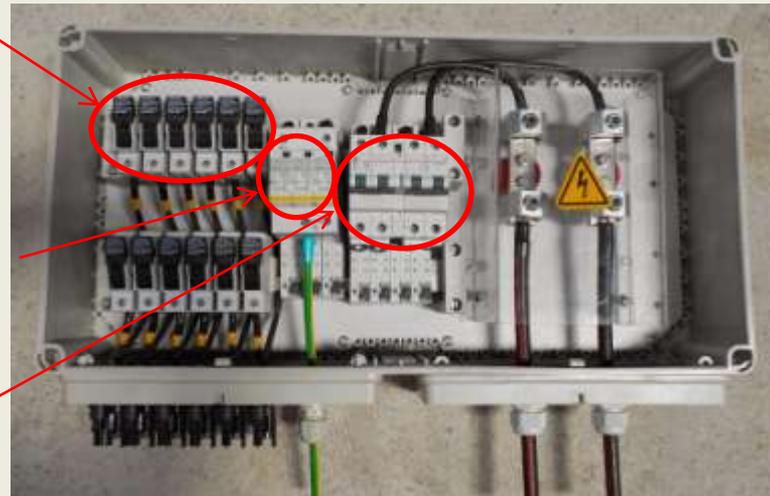
Fusíveis C.C.



Protetor de surto



Disjuntor C.C.



# Projeto da Planta

## Parâmetros de Avaliação

- Performance Ratio (PR): PR quantifica o efeito geral das perdas à saída nominal devido a: ineficiência do inversor, cabeamento, desajustes entre módulos, e outras perdas quando da conversão c.c. para c.a.; temperatura dos módulos, uso incompleto da irradiação devido à reflexão que ocorre na superfície do módulo, acúmulo de sujeira principalmente poeira, desligamentos e falha de componentes.

$$PR = \frac{\text{Energia C. A (kWh)}}{\text{Capacidade Instalada (kWp)} \times \text{Irradiação no plano dos módulos } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right) \times 100\%}$$

- Fator de Capacidade (FC): é a relação entre a energia produzida e a energia que seria produzida se a usina operasse em sua capacidade máxima (anual)

$$FC = \frac{E_{\text{anual}}}{P_{STC} \times 8760 \text{ h}}$$

- Produção específica: kWh/kW<sub>p</sub>- é a energia anual total gerada por kW<sub>p</sub> instalado.

Exemplo

$$FC = \frac{1.883,4 \text{ MWh}}{1.000 \text{ kW} \times 8760} = 0,215 \Rightarrow 21,5\%$$

- Produção específica = 1.883 kWh/kW<sub>p</sub>

# Projeto da Planta

## Fatores que contribuem para a redução do PR

- Sujeira nos módulos;
- Sombreamento;
- Temperatura de operação dos módulos;
- Qualidade dos módulos;
- Ângulo de incidência da irradiação;
- Baixa Irradiação;
- Diferenças entre módulos (*mismatch*);
- Desempenho do inversor
- Perdas lado C.C. – perdas ôhmicas –  $I^2 R$
- Perdas lado C.A. – cabos, transformadores
- Desligamentos/paradas

# Construção

- Acesso ao local
- Segurança
- Preparo do terreno (terraplenagem, supressão vegetal, etc.)
- Trabalho de fundações
- Montagem e instalação das estruturas
- Instalação dos módulos
- Construção da subestação e instalações auxiliares (dutos/canaletas; caixas de passagens, flexodutos, etc.)
- Instalação elétrica geral (cabearamento C.C., C.A., instalação painéis elétricos, aterramento, proteções

# Comissionamento

- O processo de comissionamento certifica que as exigências do contratante foram atingidas, a instalação da planta está completa e a planta obedece às exigências de segurança e de conexão à rede.
- O comissionamento compreende fases de testes da planta a fim de garantir que a planta FV esteja elétrica e estruturalmente segura, que seja suficientemente robusta para operar para a vida útil projetada e que a planta opera como projetada e desempenha conforme o esperado.
- Os testes são divididos normalmente em três grupos: testes visuais, testes pré-conexão e testes de pós-conexão à rede elétrica.

# Operação e Manutenção

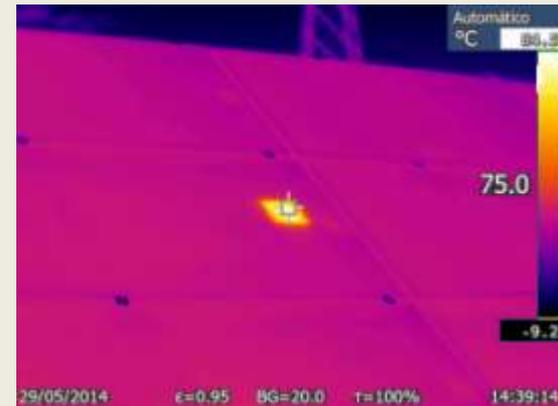
- Operação automática
- Manutenção programada
  - Limpeza dos módulos.
  - Verificação da integridade das conexões entre módulos.
  - Verificação das caixas de strings.
  - Inspeção termográfica (pontos quentes em módulos e conexões).
  - Serviços nos inversores.
  - Inspeção da integridade mecânica das estruturas.
  - Controle da vegetação.
- Manutenção não programada
  - Aperto de parafusos soltos
  - Substituição de fusíveis queimados.
  - Substituição de protetores de surto (descargas atmosféricas)
  - Substituição de módulos danificados.
  - Reparos no sistema de aquisição de dados (SCADA, loggers, etc)
  - Conserto de estruturas danificadas.

# Operação e Manutenção

Limpeza dos módulos



Dejeto de pássaros



# Aspectos econômicos

- Custos de Capital (CAPEX)
- Custos de Operação e Manutenção (OPEX)
- Produção Anual de Energia
- Preço da Energia Elétrica
- Certificados de Redução de Emissões.
- Financiamentos
- Análises de sensibilidade.

Obrigado pela Atenção de Todos