



Energia Solar Fotovoltaica

Conceitos Básicos e Panorama

Prof. Fabiano Perin Gasparin
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

IFRS – 08 de agosto de 2018

Roteiro

- Introdução
- Energia solar fotovoltaica
- Sistemas isolados e sistemas conectados à rede
- Energia Solar Fotovoltaica no mundo
- Energia Solar Fotovoltaica no Brasil
- Conclusões

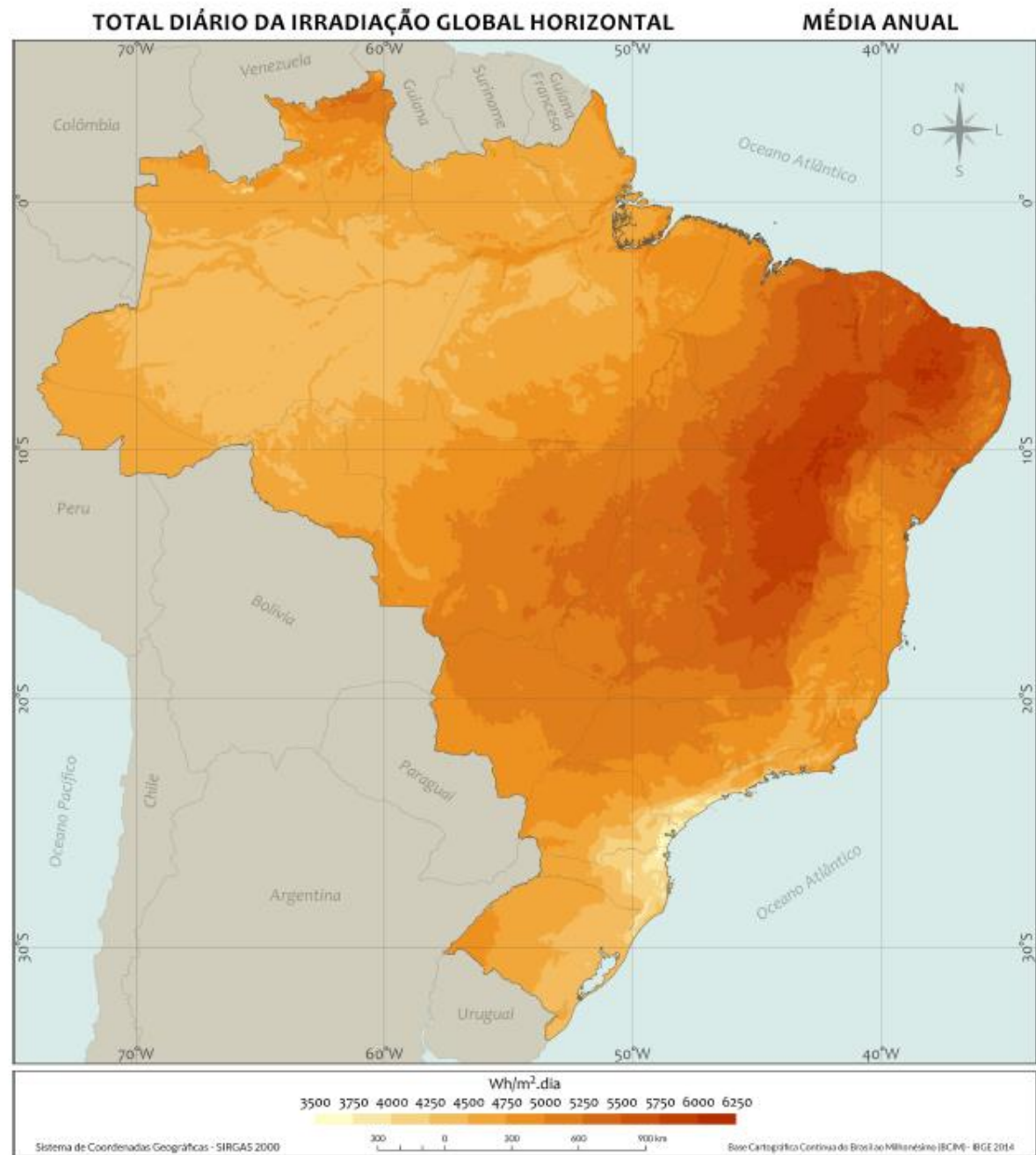
Disponibilidade de
Radiação Solar no
Brasil na Horizontal

No RS

4,4 kWh/m² dia

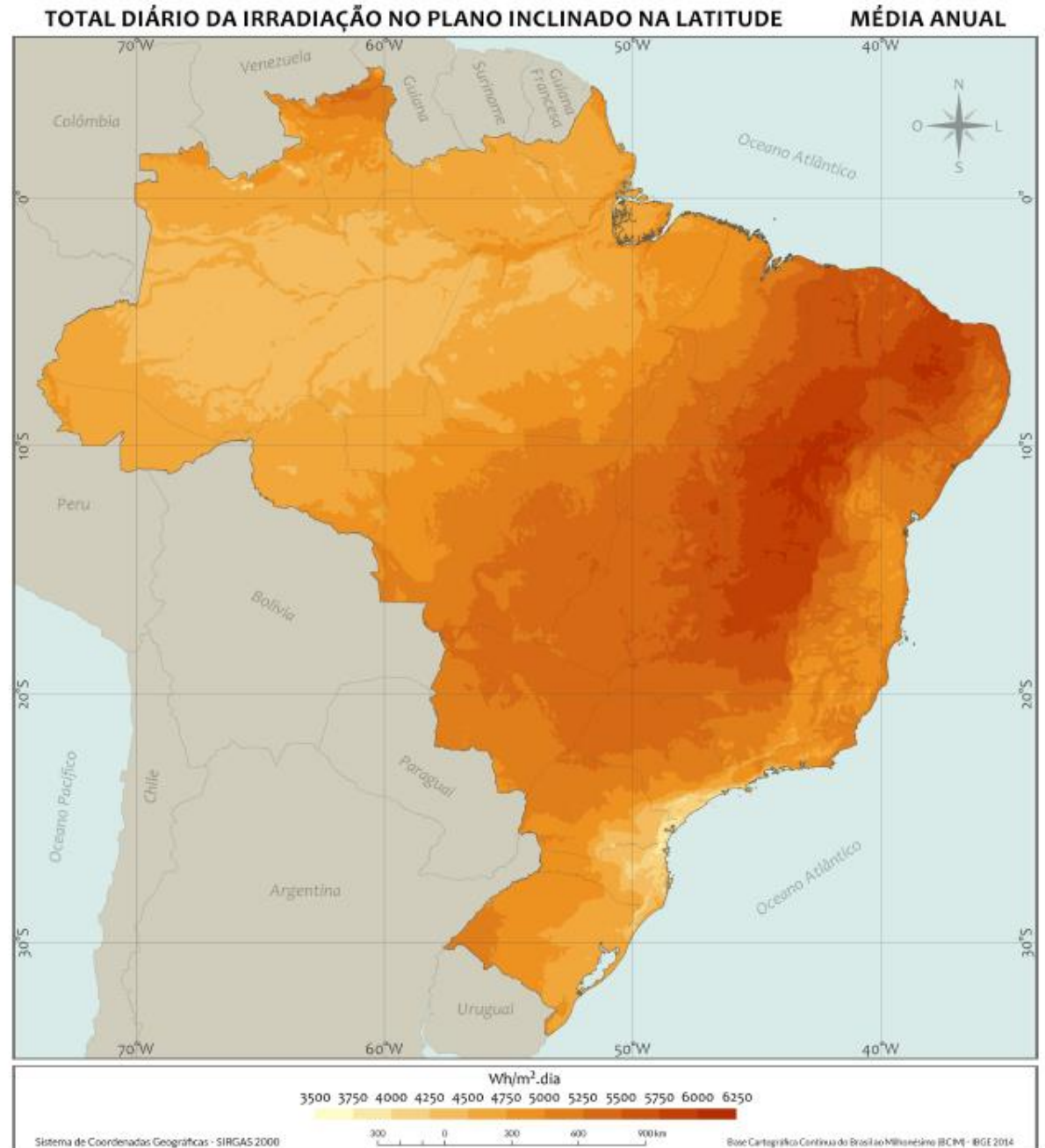
Comparação: 1
chuveiro de 4400 W
ligado por 1 hora

R\$ 3,38 / dia
(R\$0,77/kWh)



Disponibilidade de Radiação Solar no Brasil no plano inclinado

Valor no RS
RS 4,6 kWh/m² dia



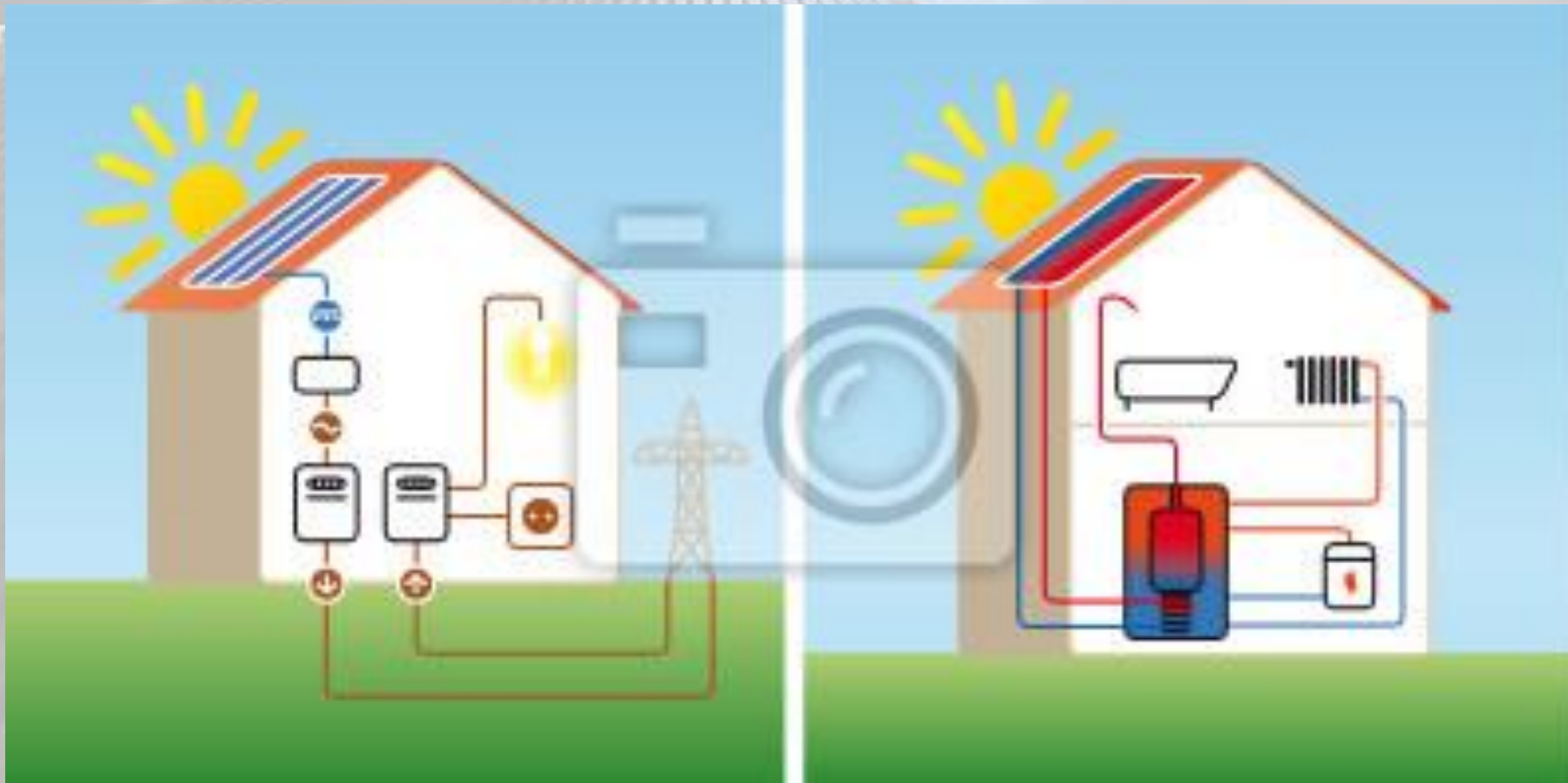
Como aproveitar esta energia!

- **Sistemas térmicos:**
 - aquecimento de água (piscina, banho, etc) com uso de coletores solares
 - aquecimento de ar
 - secagem de grãos
 - sistemas heliotérmicos (produção de energia elétrica)
- **Sistemas fotovoltaicos**

Energia Solar Fotovoltaica X Solar Térmica

- Converte radiação solar em energia elétrica

- Converte radiação solar em energia térmica



Energia Solar Fotovoltaica

- Efeito Fotovoltaico

phōs: Luz

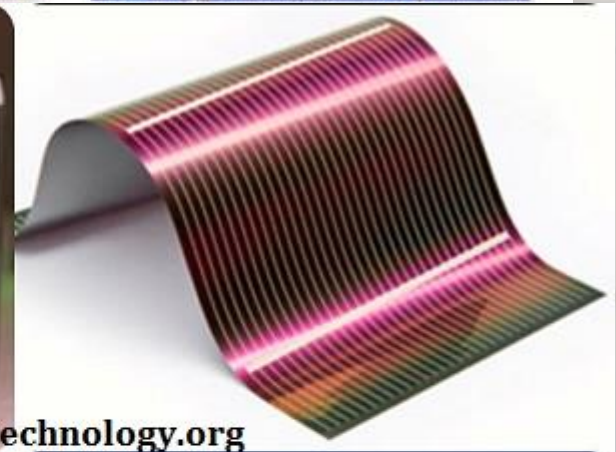
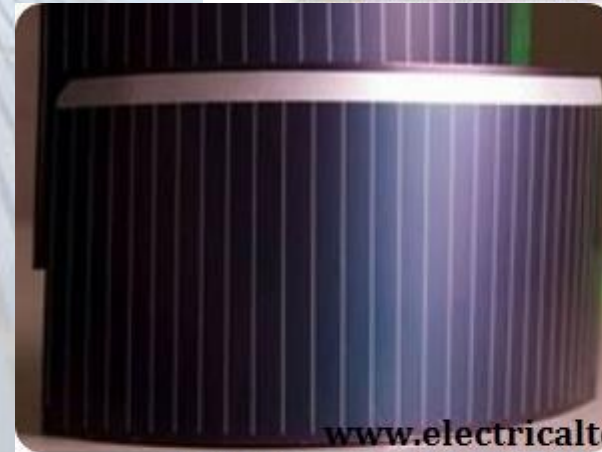
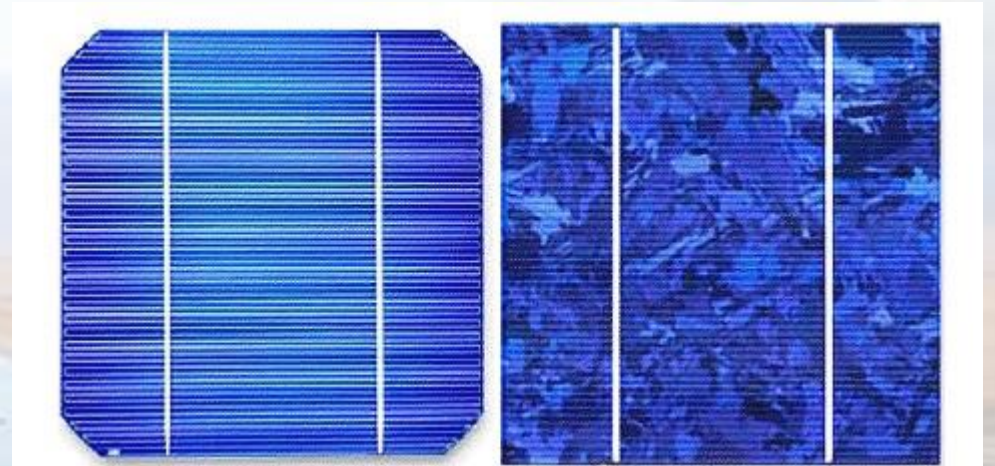
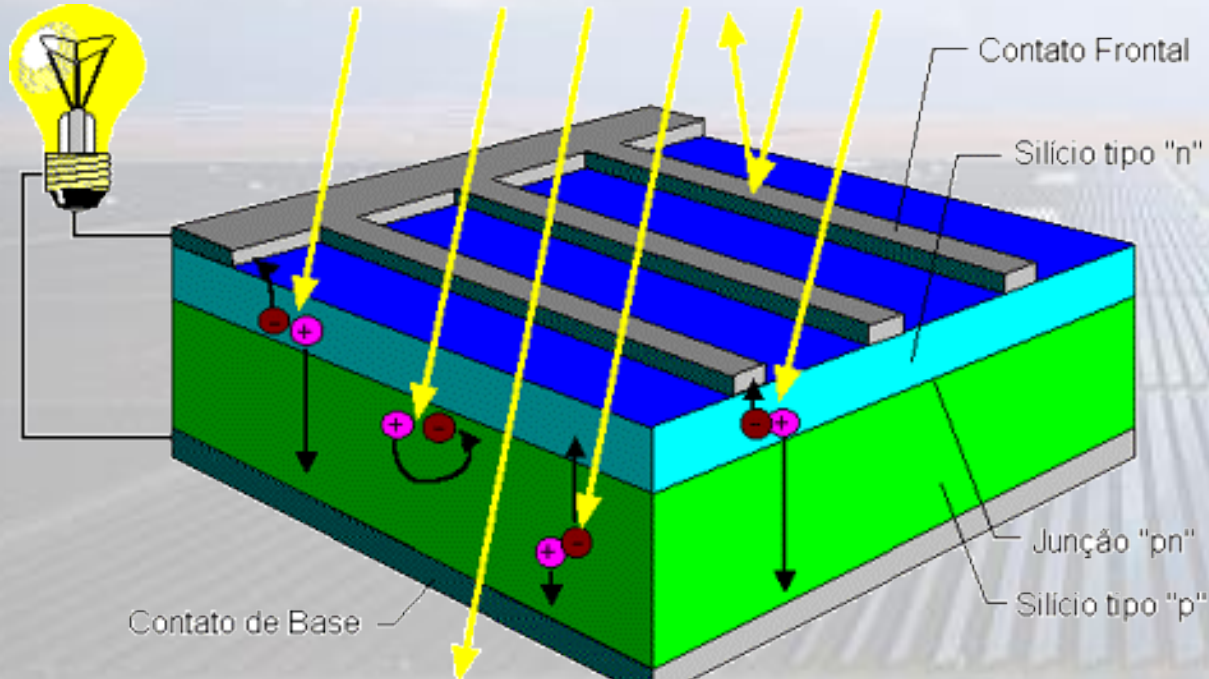
volt: unidade de diferença de potencial

- O efeito fotovoltaico é a conversão direta da energia da radiação solar em energia elétrica.
- O dispositivo que faz esta conversão é a célula fotovoltaica.

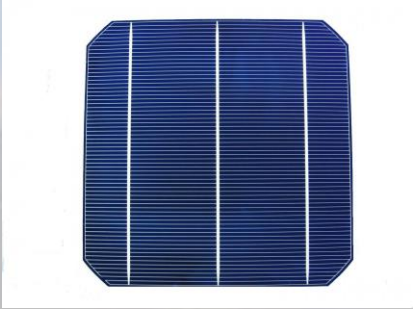
Energia Solar Fotovoltaica

- Alta confiabilidade. Renovável.
- Possibilidade de geração descentralizada.
- Baixos custos operacionais. Não utiliza combustível.
- Ausência de resíduos na produção de eletricidade.
- Modular – Podem ser instalados sistemas de poucos watts até usinas com vários MW de potência.

Célula Fotovoltaica



Célula e Módulo Fotovoltaico

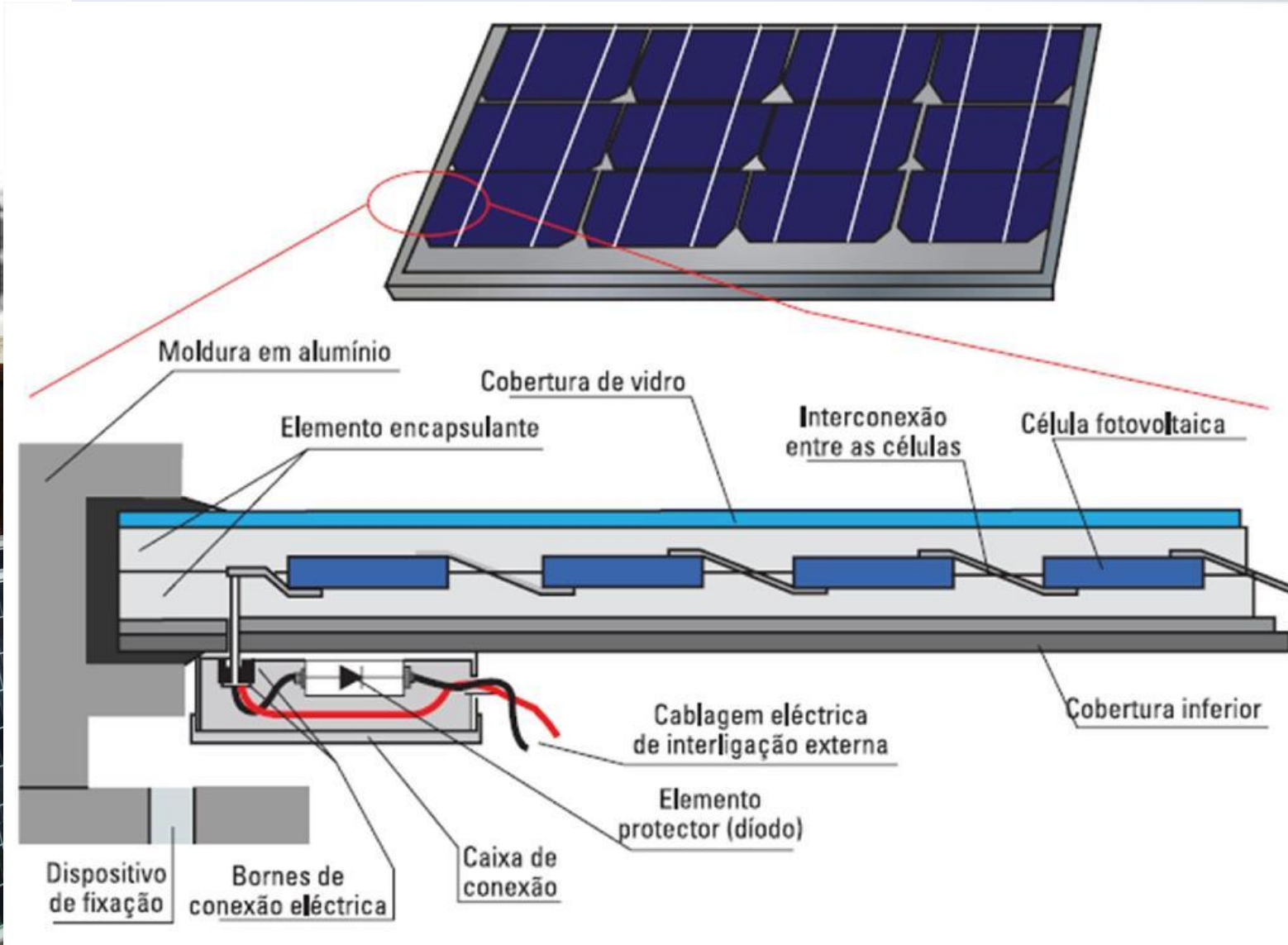


Célula: $P_m \sim 4,1$ a $4,8$ W; $I_{sc} \sim 9$ A e $V_{oc} \sim 0,5$ V

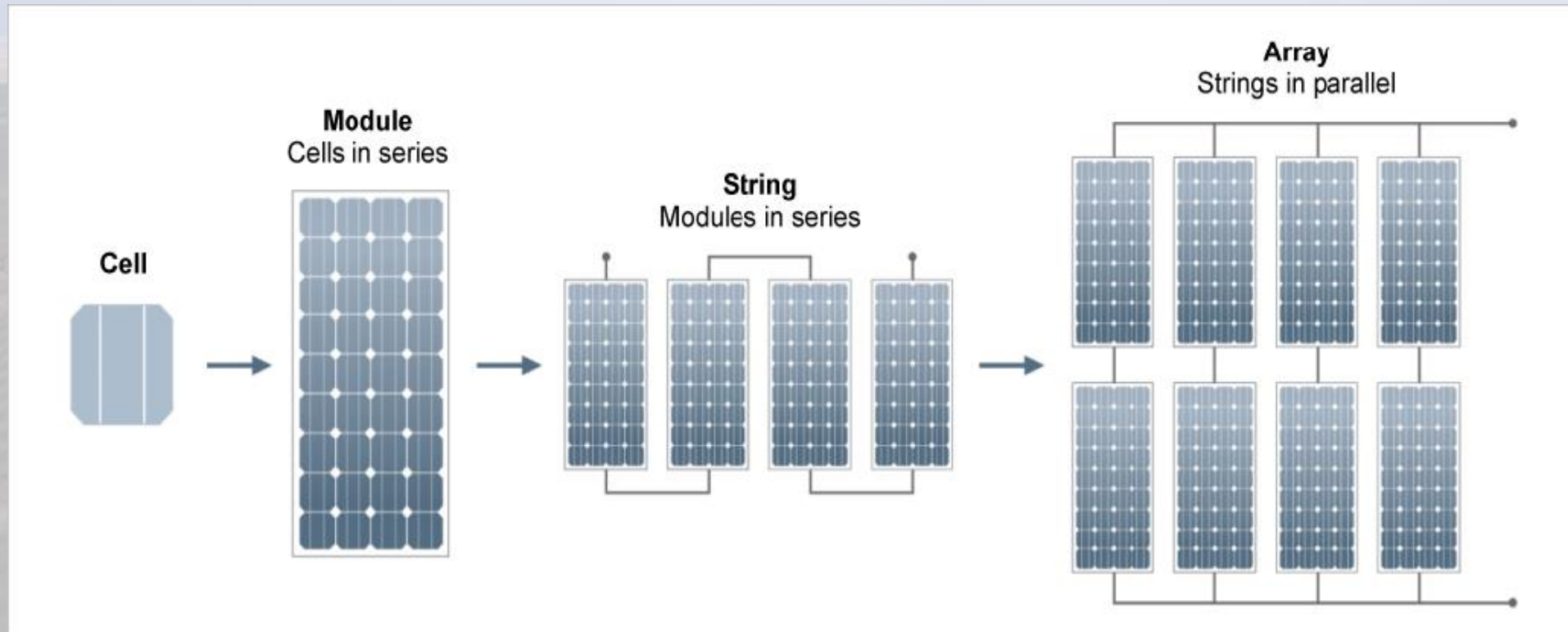


- Módulo Fotovoltaico: células conectadas em série.
- Tipicamente com 36, 60 ou 72 células em série
- Potências em condições padrão:
36 células: 150W (1,47 X 0,68 m) 11 kg
60 células: 240 ~ 280 W (> 300W) (1,64 X 0,99 m) 18 kg
72 células: 290 ~ 330 W (> 350W) (1,96 X 0,99 m) 23 kg
Há inúmeros modelos de diversas potências para aplicações isoladas.

Módulos Fotovoltaicos



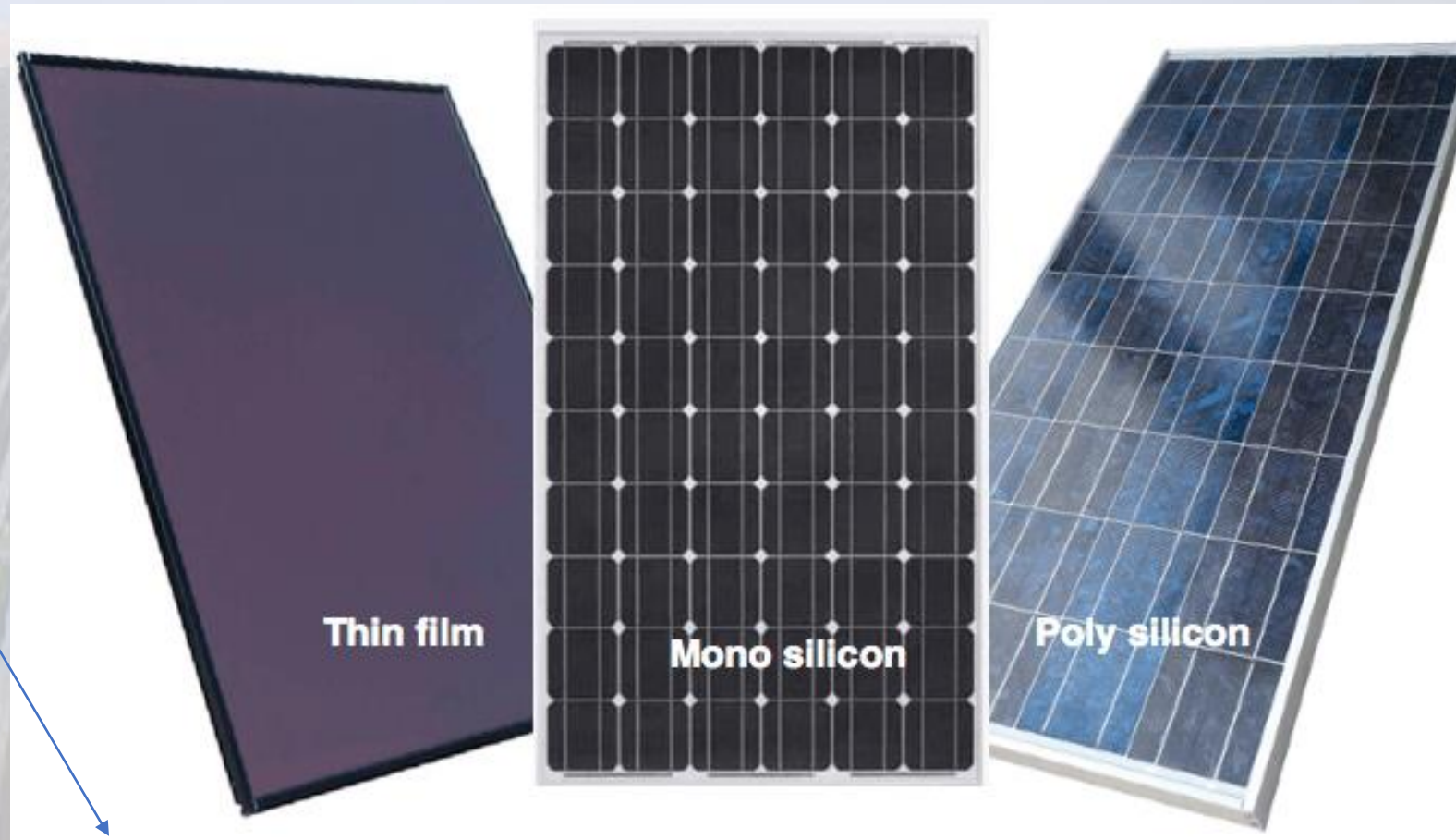
Da célula ao arranjo fotovoltaico



4,33 W (x 60) → 260 W (x 6) → 1560 W (x n) → →
célula → módulo → string/série → Arranjo (x n) → Usina

Módulos Fotovoltaicos - Tecnologias

- Silício Multicristalino
- Silício Monocristalino
- Filmes Finos
 - Silício Amorfo
 - CdTe
 - CIGS
- Orgânicos



aprox. 95 % do mercado mundial

Eficiências de conversão dos módulos fotovoltaicos

$$\eta = \frac{P_m}{A G}$$

Eficiência: Razão entre a potência máxima em condições padrão pela área e pela irradiância padrão.

Exemplo:

Módulo de 60 células de 265 W – Área: $1,64 * 0,99 = 1,624 \text{ m}^2$

$\eta = 16,3 \%$

Ou seja, da energia solar que incide no módulo, 16,3 % é convertida em energia elétrica em corrente contínua.

Eficiências de conversão dos módulos fotovoltaicos

A eficiência, em poucas palavras, vai determinar a área necessária para converter determinada energia da radiação solar em energia elétrica.

Módulos mais eficientes vão ocupar menor área para converter a mesma energia, fazer menos conexões e utilizar menor material de fixação.

Qual área é ocupada por 1000 Wp de potência

Eficiência	Área
20 %	5 m ²
16 %	6,25 m²
10 %	10 m ²

Eficiências típicas dos módulos fotovoltaicos

Há uma grande variedade de modelos, marcas e eficiências.

Tipicamente as eficiências encontram-se em uma faixa, podendo haver exceções.

Silício monocristalino: 16 ~ 20 %

Silício multicristalino: 15 ~ 17 %

Silício amorfo: 6 ~ 8 %

CdTe: 13 ~ 18 %

CIGS: 12 ~ 16 %

Sistemas Fotovoltaicos

Há dois grandes grupos de sistemas fotovoltaicos

1. Conectados à rede (Grid tied, on grid) – em um sistema clássico fornece energia à rede conforme incidência de radiação. Quando a rede está desligada, o sistema para de funcionar
2. Isolados (off grid): alimentação de cargas fora da rede elétrica. Em geral usam baterias para armazenamento.

Equipamentos de um sistema fotovoltaico

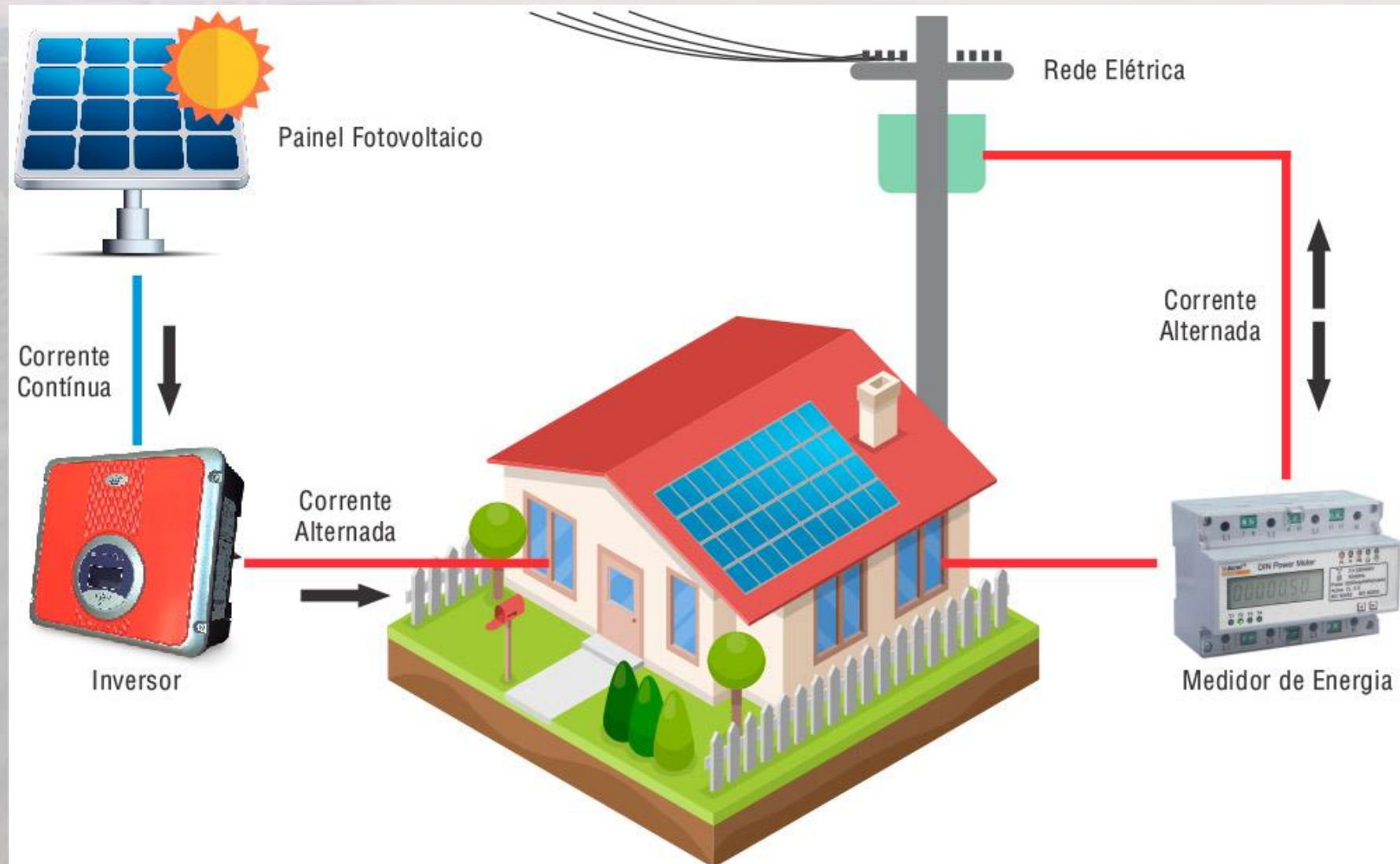
- **Módulos Fotovoltaicos**
 - **Sistema de fixação dos módulos fotovoltaicos**
 - **Inversor** – Converte a tensão em corrente contínua para corrente alternada
 - **Fios e cabos de conexão**
 - **Sistemas de proteção elétrica**
 - **Baterias**
 - **Controlador de carga**
- Sistemas Isolados
- Sistemas conectados com armazenamento (no break)

Inversores

- Equipamentos eletrônicos de conversão de corrente contínua em alternada.
- Tipos básicos:
 - - Inversor de tensão: para sistemas isolados (off-grid)
 - - Inversor de corrente: para sistemas conectados à rede. (grid-tie)



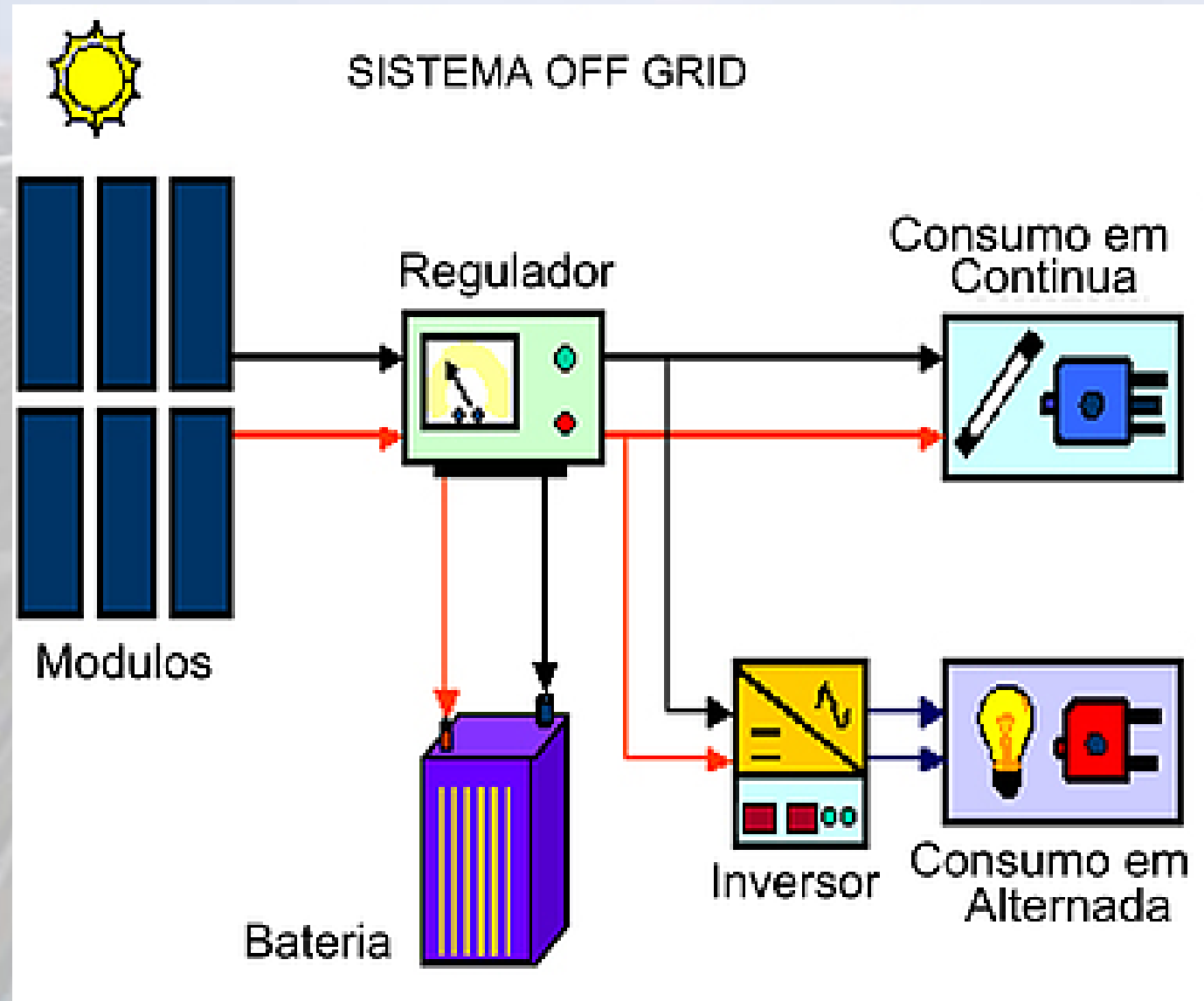
Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede



Sistema Fotovoltaico conectado à rede



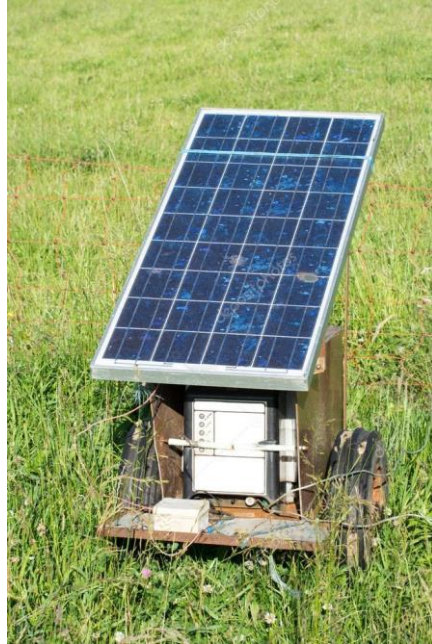
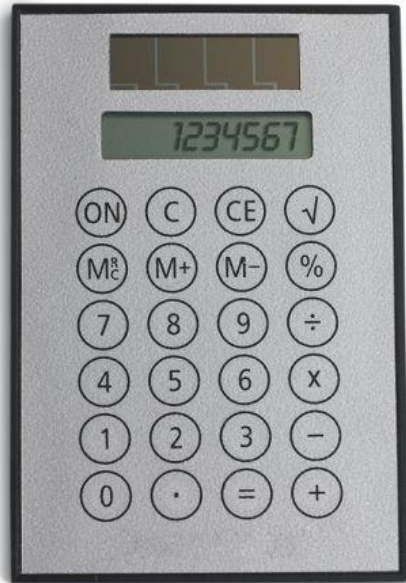
Sistema Fotovoltaico Isolado



Sistema Residencial Típico - Materiais

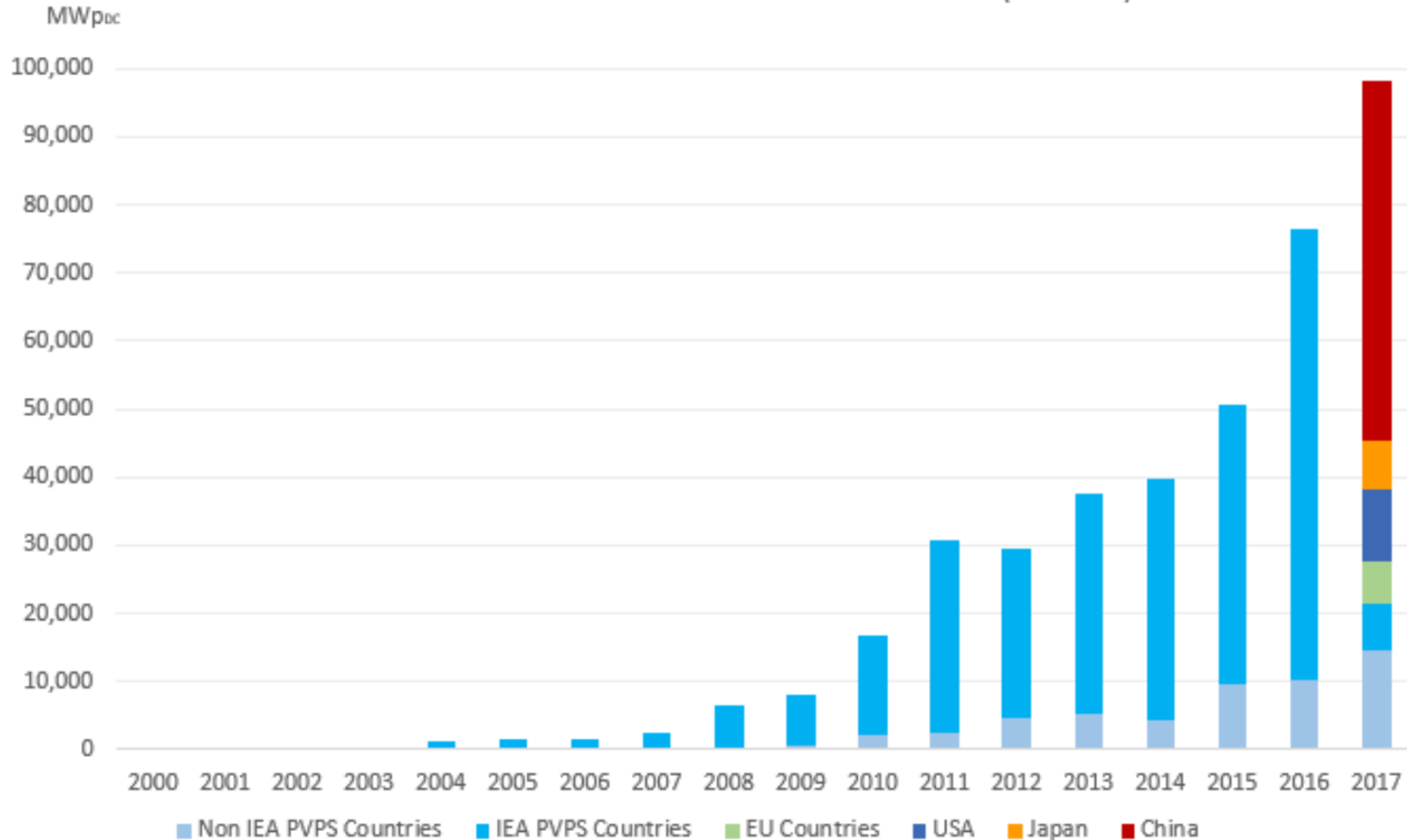


Energia Solar Fotovoltaica – de mW a GW



Energia Solar Fotovoltaica no Mundo

FIGURE 1: EVOLUTION OF ANNUAL PV INSTALLATIONS (MW - DC)



2017

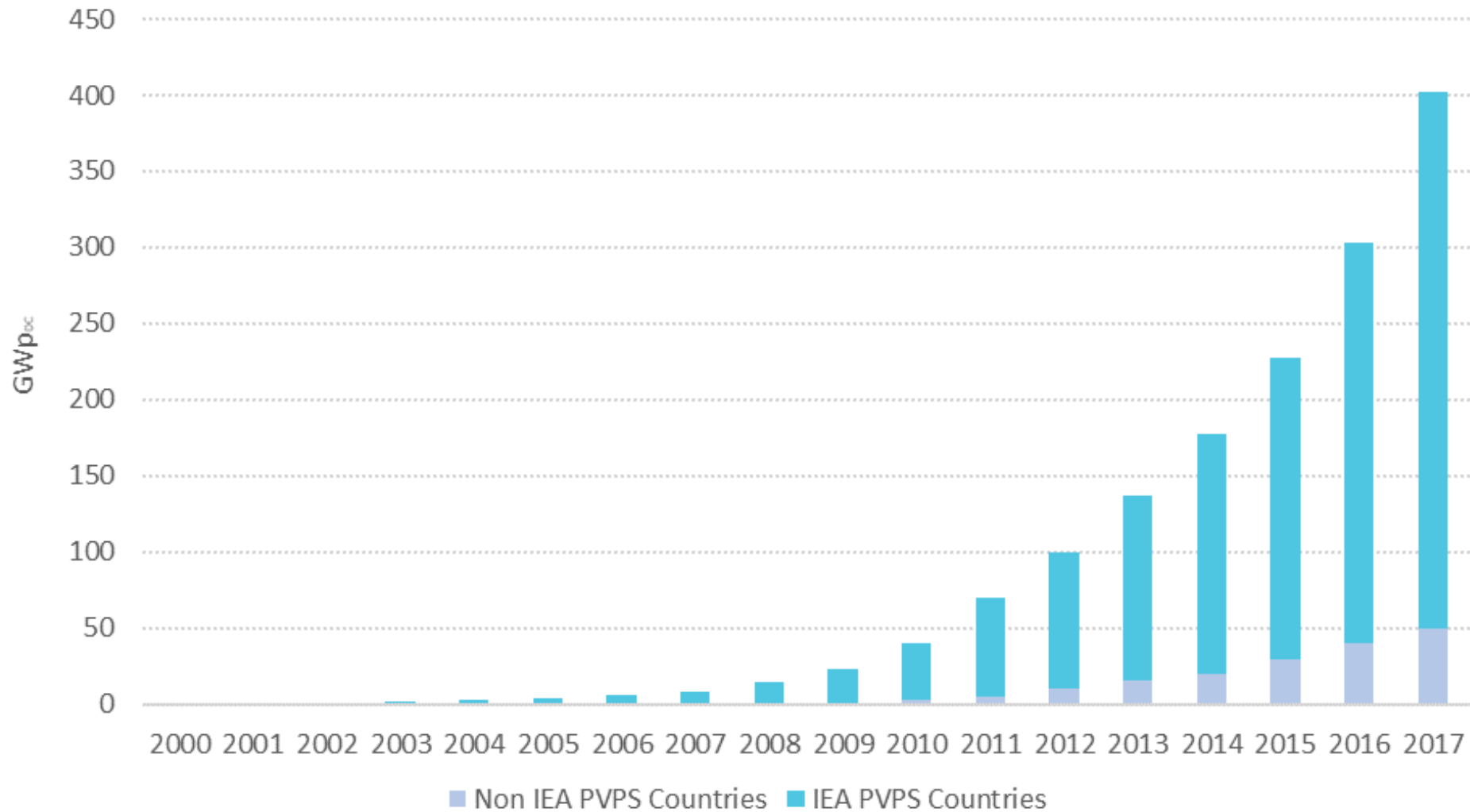
Total: 98 GWp instalados

China: 57 GWp

Dados da IEA
(International Energy Agency)

Energia Solar Fotovoltaica no Mundo

FIGURE 2: EVOLUTION OF TOTAL INSTALLED CAPACITY (GW - DC)



2017





















Atingiu 402 GWp

Energia Solar Fotovoltaica no Mundo

TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2017

TOP 10 COUNTRIES IN 2017

TOP 10 COUNTRIES IN 2017

1		China	53 GW	1		China	131 GW
2		USA	10,6 GW	2		USA	51 GW
3		India	9,1 GW	3		Japan	49 GW
4		Japan	7 GW	4		Germany	42 GW
5		Turkey	2,6 GW	5		Italy	19,7 GW
6		Germany	1,8 GW	6		India	18,3 GW
7		Australia	1,25 GW	7		UK	12,7 GW
8		Korea	1,2 GW	8		France	8 GW
9		UK	0,9 GW	9		Australia	7,2 GW
10		Brazil	0,9 GW	10		Spain	5,6 GW

Energia Solar Fotovoltaica no Mundo

FIGURE 5: SEGMENTATION OF PV INSTALLATION 2011 - 2017

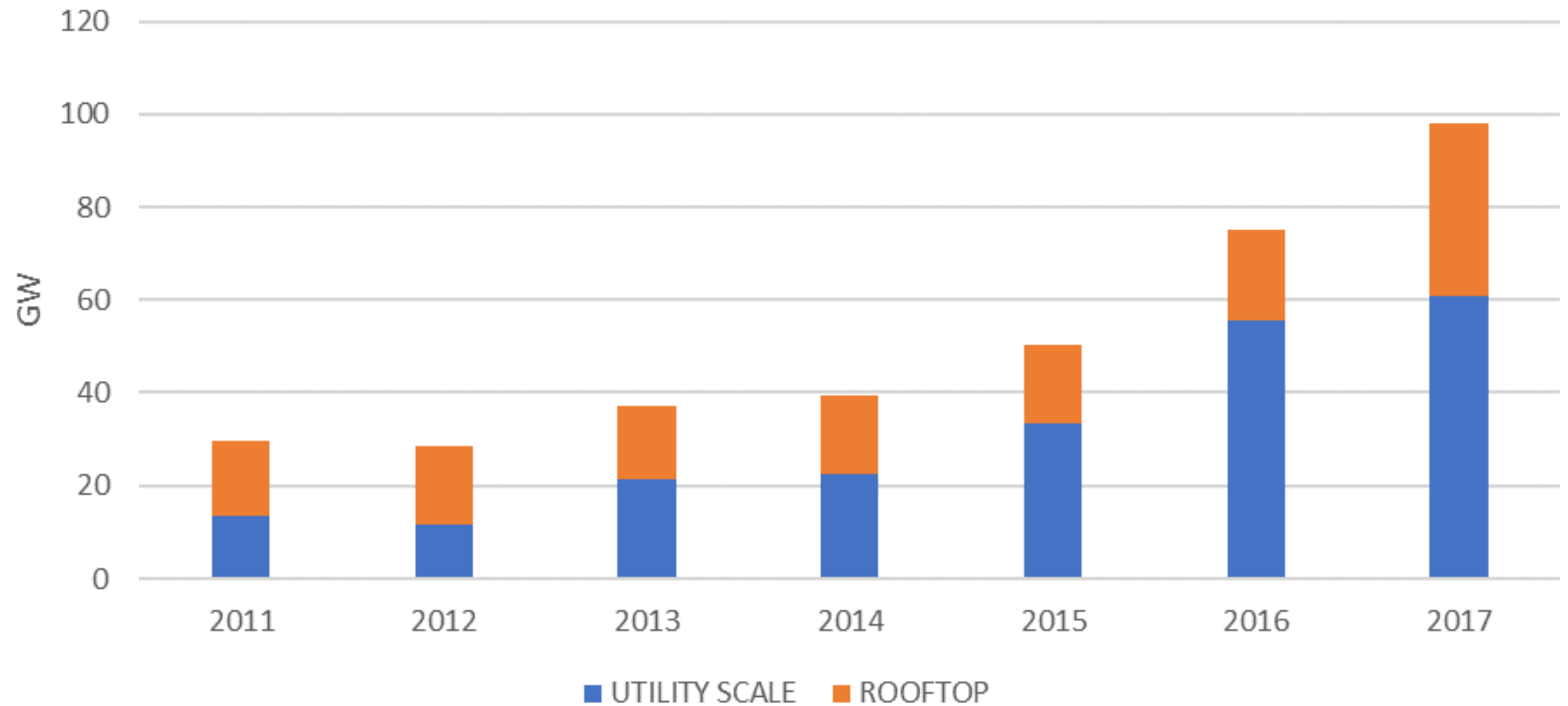
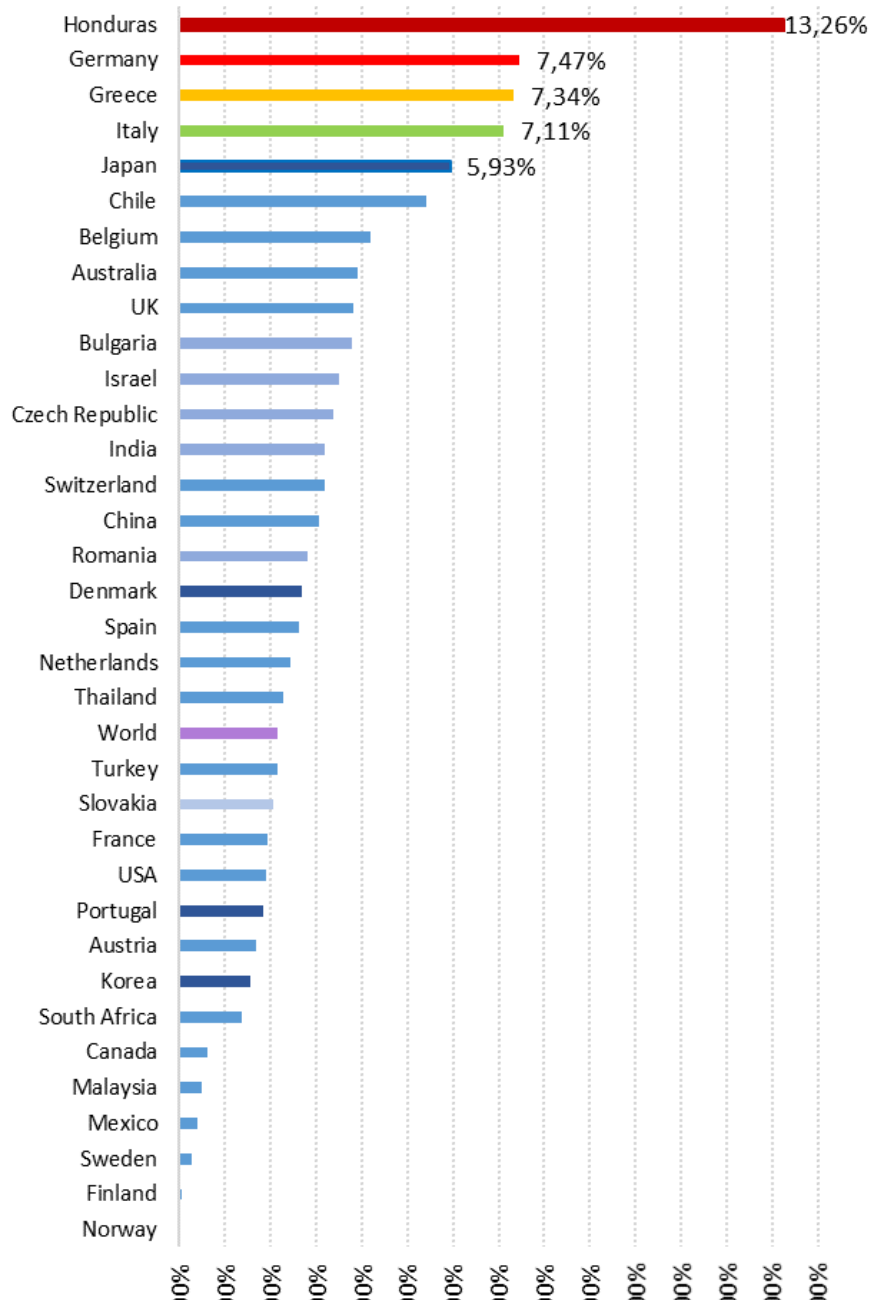


FIGURE 6: THEORETICAL PV PRODUCTION 2017



Produção teórica de
eletricidade por sistemas
fotovoltaicos em diversos
países



Tengger Desert Solar Park - China

1547 MW



Datong Solar Power Top Runner Base 1000MW – China (Terá 3 GW ao final)



Alguns dados para comparação Potência Instalada

- Itaipu: 14 GW
- Belo Monte: 11 GW, porém 4,5 GW efetivos
- Angra 1: 640 MW, ou 0,640 GW
- Angra 2: 1350 MW ou 1,350 GW
- Parque eólico de Osório: 150 MW (início),
375 MW (atuais)

Para comparação – energia elétrica produzida

- Itaipu – 95000 GWh / ano (média 2013 – 2017)
- 400 GWp mundiais: > 450 000 GWh anuais
- 1,3 GWp instalado no Brasil
Produção maior que 1800 GWh/ano (0,4 % de Itaipu)
- Angra 1 (640 MW) – Produção de 5100 GWh (2016)
- Angra 2 (1350 MW) – Produção de 10800 GWh (2016)
- Quando a potência fotovoltaica chegar a 11 GWp no Brasil, a produção anual de eletricidade vai ser compatível com as duas usinas nucleares brasileiras.

Para comparação – energia elétrica produzida

• Usina Fotovoltaica (produção intermitente e diurna)

Produtividade no Brasil entre 1300 a 1650 kWh/kWp ao ano.

Equivalente a 16 % do tempo na potência nominal (1400 kWh/kWp)

Itaipu

- Produtividade aproximada de 6800 GWh / GW ao ano.

Equivalente a 77,6 % do tempo na potência nominal.

Angra

- Produtividade aproximada de 8000 GWh / GW ao ano.

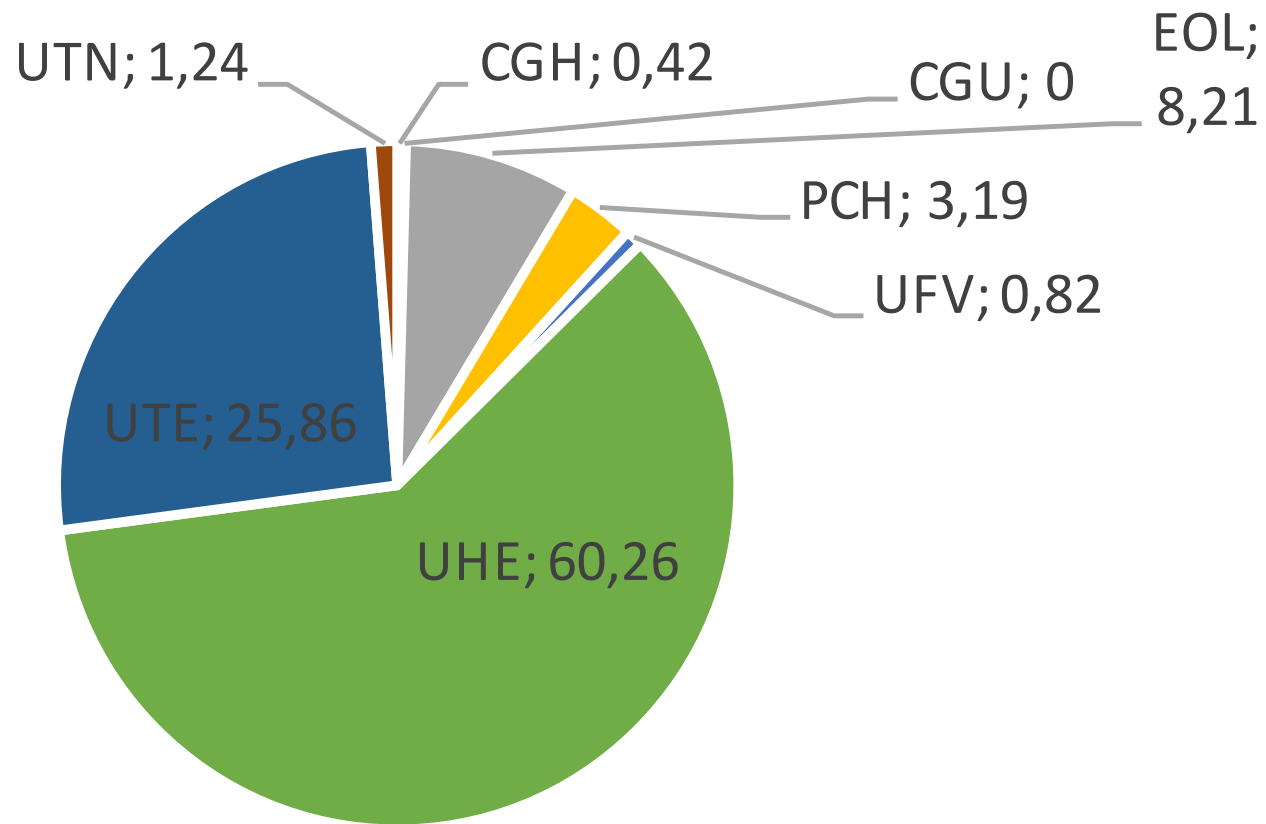
Equivalente a 91 % do tempo na potência nominal.

Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

- Empreendimentos em operação: 2249 - Potência: 1,3 GWp (0,82% da potência instalada no Brasil)
 - Empreendimentos em construção: 30 – Potência 831 MW
 - Empreendimentos a construir: 33 – Potência 907 MW
- Totalizando: 3 GWp

- Sistemas de geração distribuída (GD) – micro e mini-geração

Matriz Elétrica Brasileira - Jul 2018



■ CGH ■ CGU ■ EOL ■ PCH ■ UFV ■ UHE ■ UTE ■ UTN

<u>CGH</u>	Central Geradora Hidrelétrica (Até 1 MW sem reservatório)
<u>CGU</u>	Central Geradora Undi-elétrica (ondas)
<u>EOL</u>	Central Geradora Eólica
<u>PCH</u>	Pequena Central Hidrelétrica (a partir de 1 MW até 30 MW com reservatório de até 3 km ²)
<u>UFV</u>	Central Geradora Solar Fotovoltaica
<u>UHE</u>	Usina Hidrelétrica (a partir de 30 MW e reservatório maior que 3 km ²)
<u>UTE</u>	Usina Termelétrica
<u>UTN</u>	Usina Termonuclear

Usina Fotovoltaica em Tubarão – SC

3 MW



Usina Fotovoltaica Arena Pernambuco 1 MW



Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

- Sistemas de geração distribuída (GD) – micro e mini-geração

Geração descentralizada com injeção de energia diretamente na rede de distribuição.

Pequenas centrais geradoras instaladas nas unidades consumidoras e conectadas à rede elétrica.

Marco Legal da GD no Brasil

Resolução 482/2012 da ANEEL

A norma cria o **Sistema de Compensação de Energia**, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local.

Originalmente

- micro-geração até 100 kW
- mini-geração: a partir de 100 kW até 1 MW

Marco Legal da GD no Brasil

Resolução 482/2012 687/2015 da ANEEL

A resolução 482 foi alterada pela resolução 687 de 24/11/2015 modificando alguns pontos:

- Micro-geração distribuída: potência de até 75 kW
- Mini-geração distribuída: potência maior que 75 kW até 3 MW (fonte hídrica) ou 5 MW para outras fontes renováveis.
- Validade dos créditos: 60 meses

Resumo GD no Brasil

Resolução 482/2012 e 687/2015

- É possível instalar um gerador fotovoltaico na sua residência.
- A conta é reduzida com a energia produzida.
- Os créditos podem ser compensados em outra unidade consumidora do mesmo CPF na mesma concessionária.
- Se for gerado mais energia do que consumida, os créditos podem ser compensados em até 60 meses.

Resumo GD no Brasil

Resolução 482/2012 e 687/2015

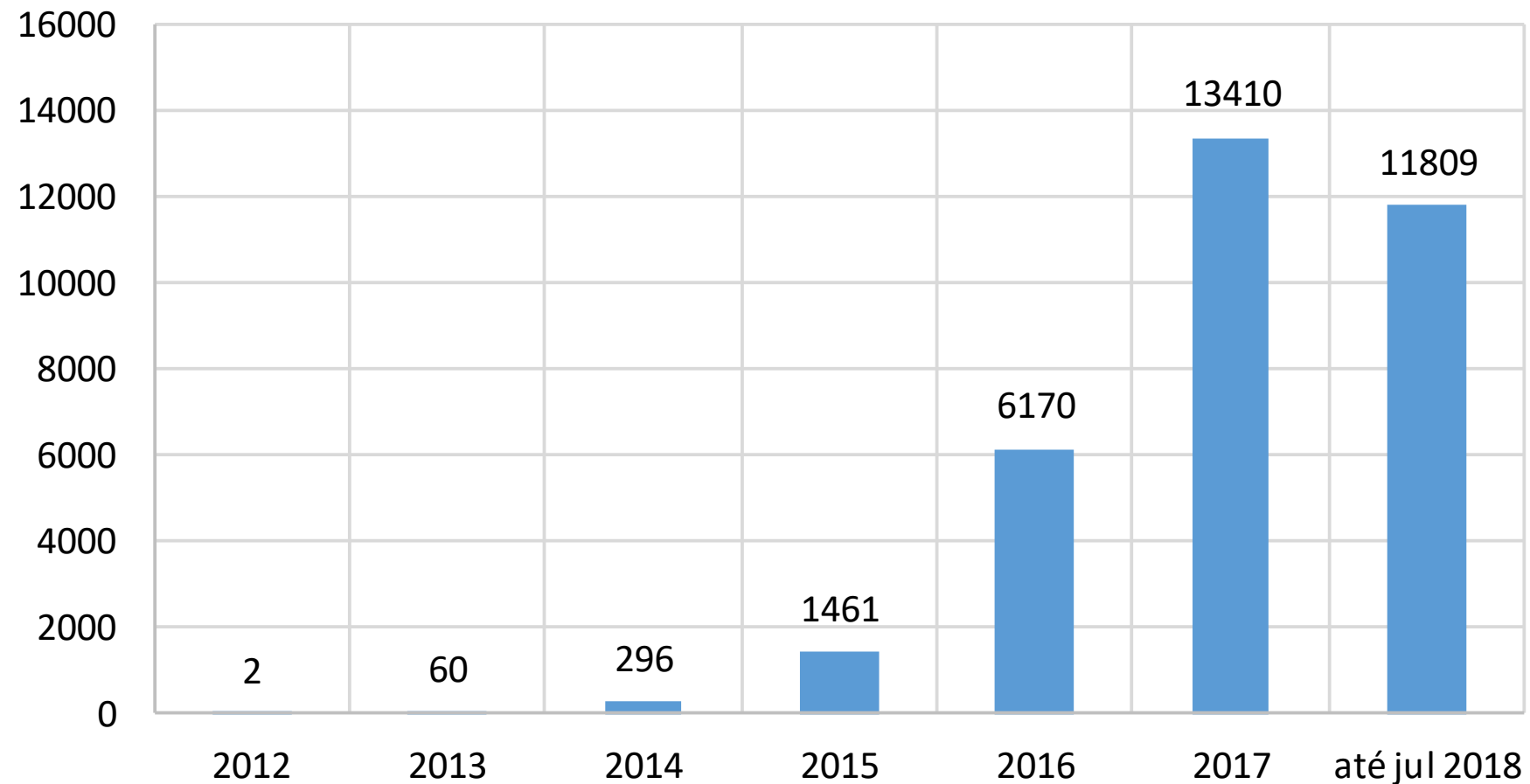
- Pode ser instalado em condomínios e a energia repartida entre os condôminos.
- Pode ser feito geração compartilhada, onde os interessados se unem em cooperativa ou consórcio para abater das faturas de energia a geração distribuída.

Geração Distribuída no Brasil – Julho 2018

- Número de sistemas instalados: 33.208 (até 24 julho 2018)
- Em 06 de agosto de 2018: 34.542
- Mais de 99 % dos sistemas são fotovoltaicos
- Outras fontes incluem: eólico, biomassa, biogás, etc

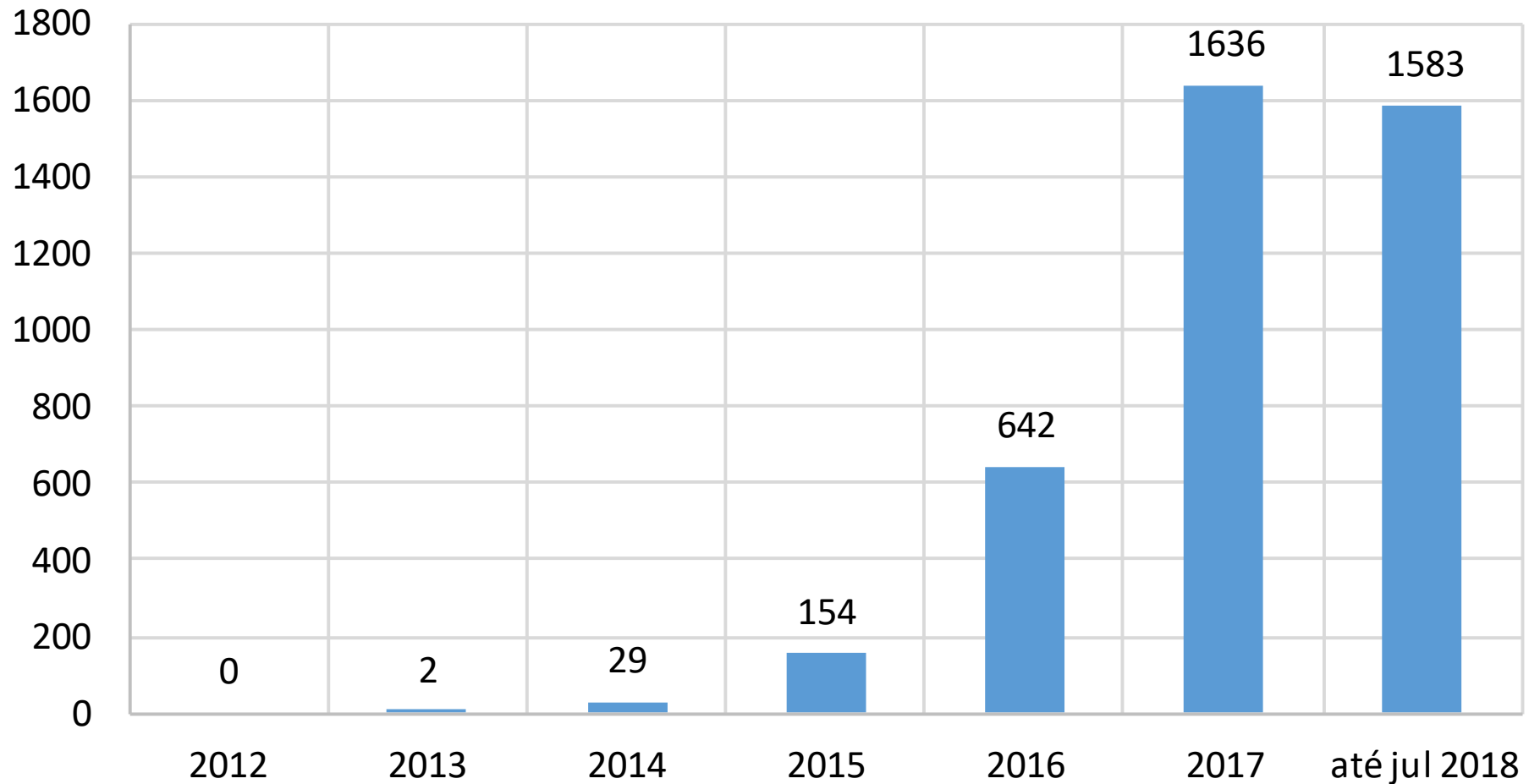
Geração distribuída no Brasil

Número de sistemas em GD instalados no Brasil



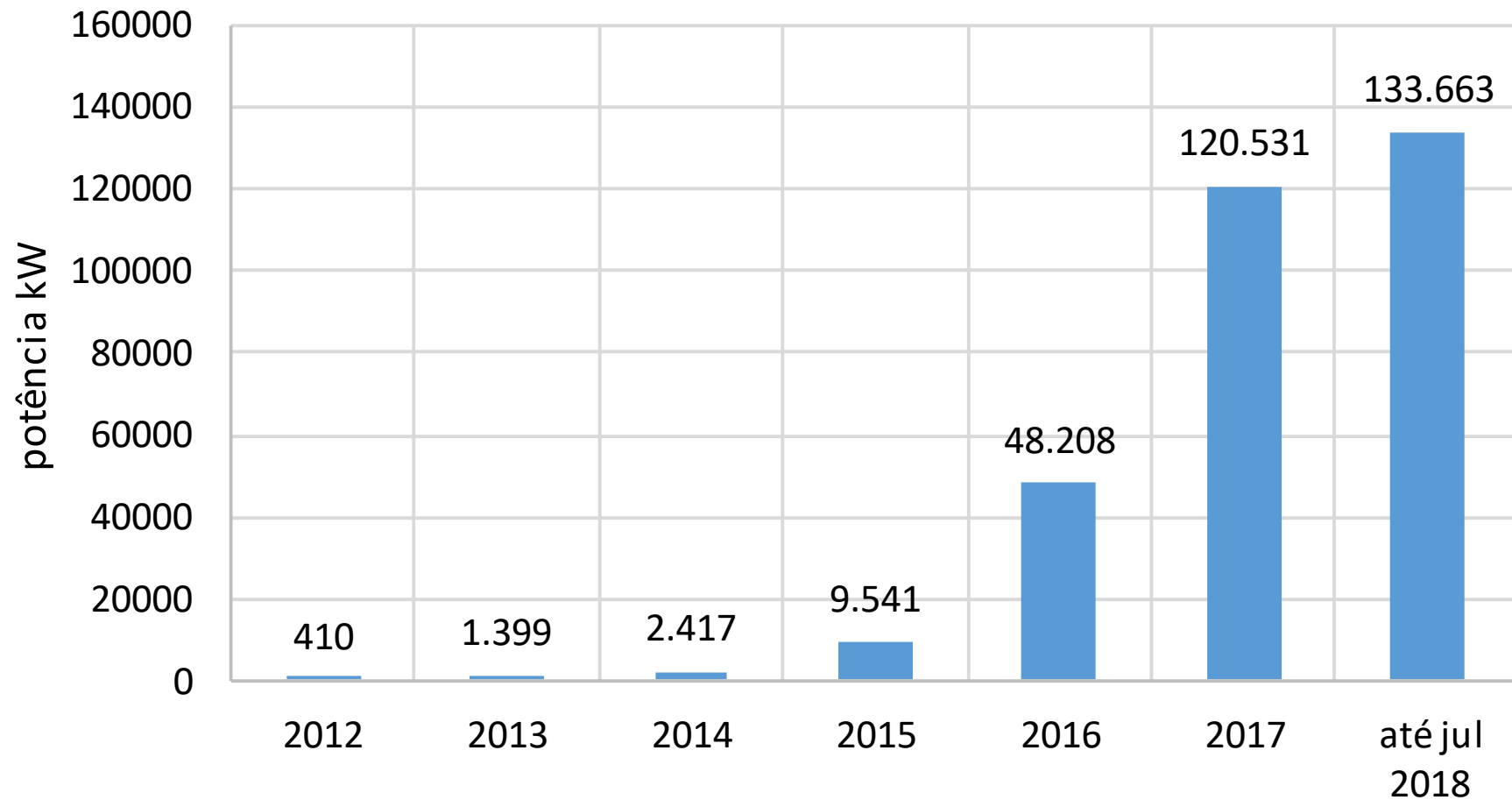
Geração distribuída no Rio Grande do Sul

Número de sistemas em GD instalados no RS



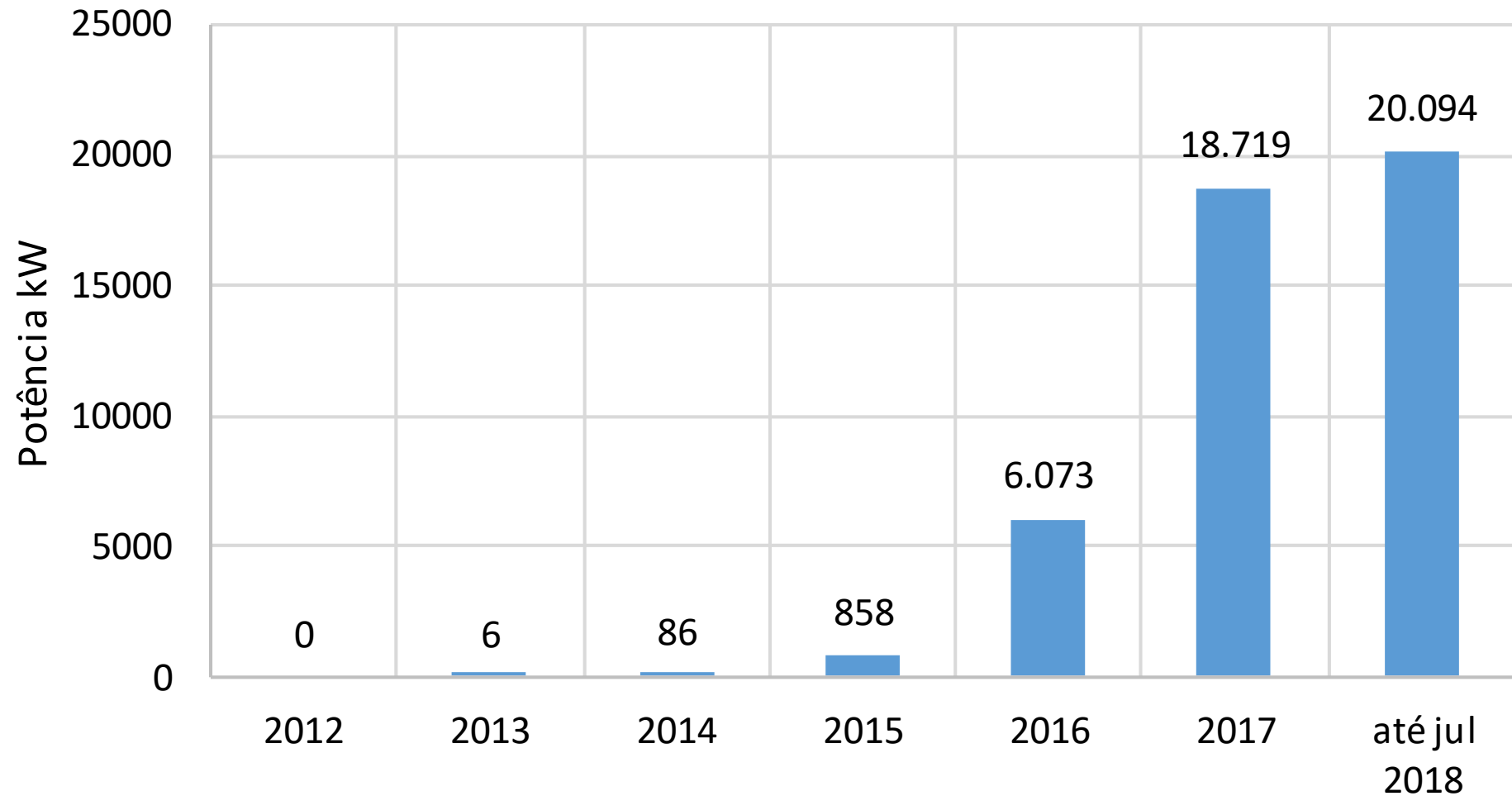
Geração distribuída no Brasil

Potência FV em GD instalada no Brasil

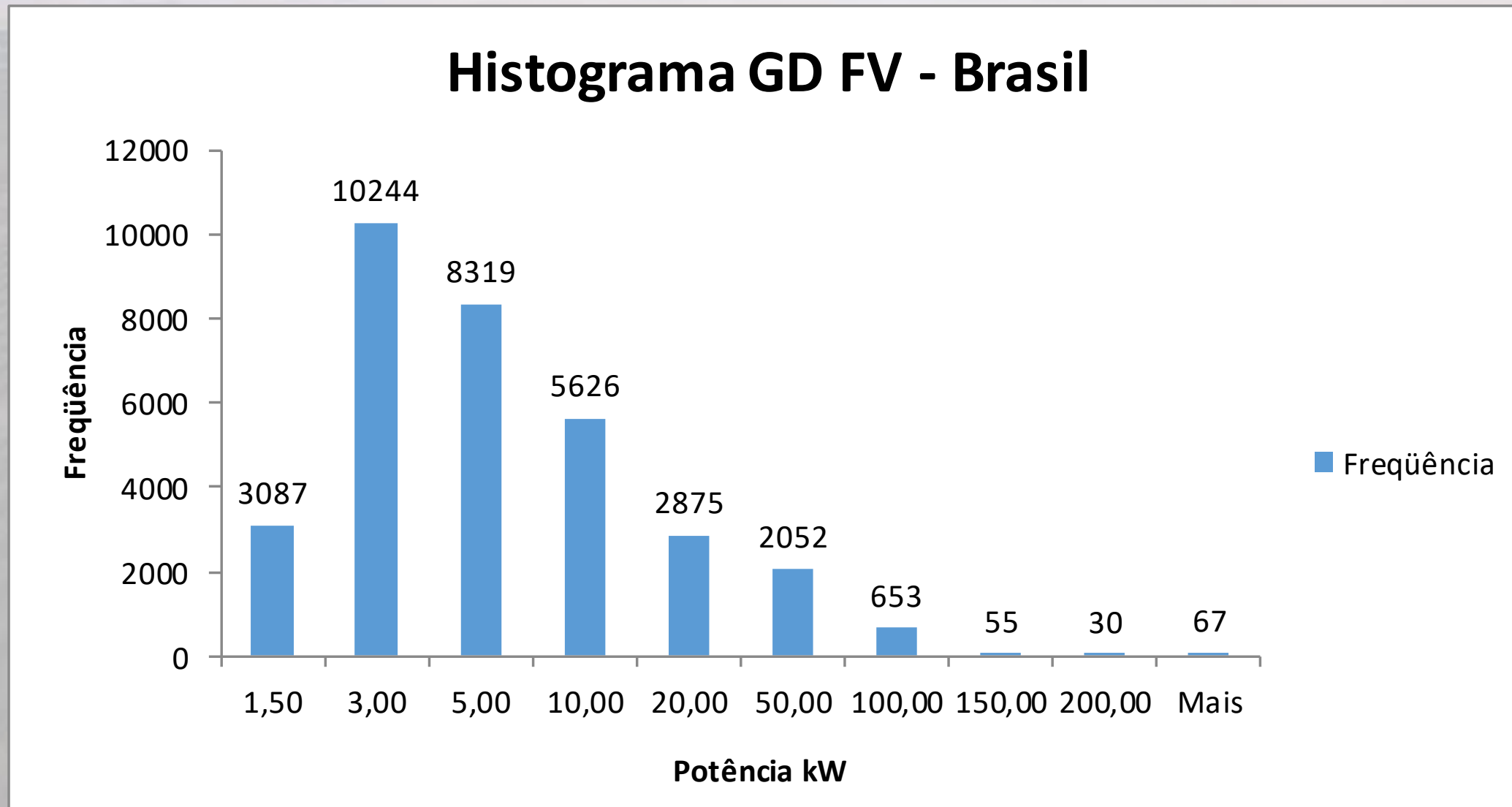


Geração distribuída no Rio Grande do Sul

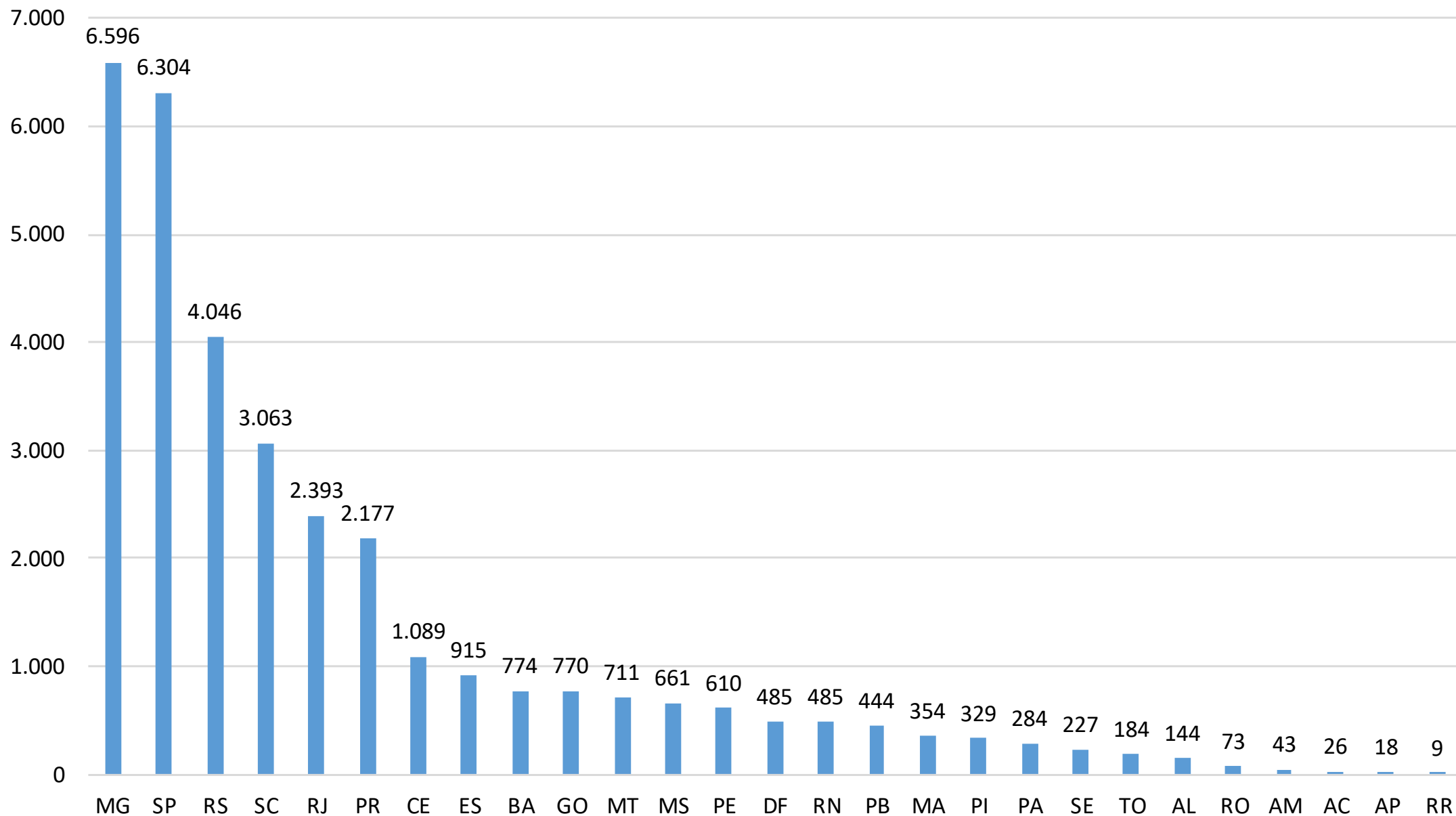
Potência FV em GD instalada no RS



Geração distribuída no Brasil



Número de Unidades consumidoras com GD por Estado / Julho 2018



Conclusões

A energia solar fotovoltaica é uma forma confiável de diversificar a capacidade de produção de eletricidade de maneira renovável.

Ela atua como suporte ao sistema elétrico poupando a queima de combustível ou mantendo os níveis dos reservatórios de hidrelétricas.

Ela não é uma energia de base, mas de apoio ao sistema elétrico.

Conclusões

O potencial de expansão no Brasil e no RS é muito grande, o processo está apenas iniciando.

O mercado ainda está em formação, mas há oportunidade para empreendimentos de instaladores, comercialização e manutenção de sistemas.

Conclusões

Um estudo da EPE estimou que o RS tem potencial técnico de geração distribuída nos telhados de 17257 GWh/ano.

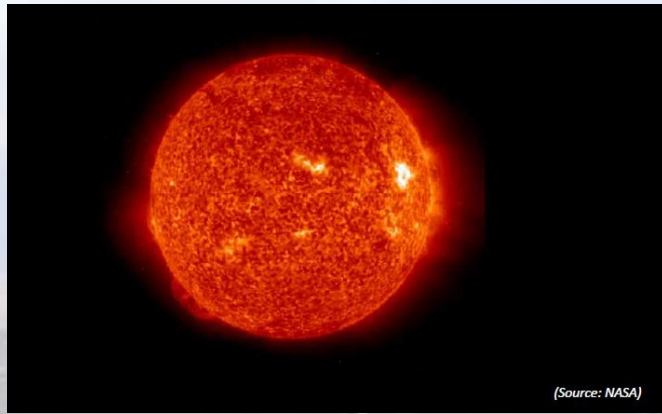
O consumo residencial do RS em 2013 foi de 7750 GWh.

Logo, só nos telhados residenciais, é possível suprir mais de 2 vezes o consumo residencial.

Conclusões

A tecnologia fotovoltaica permite a conversão direta da energia solar em energia elétrica.

Você pode fazer um investimento em um sistema para produzir energia limpa e sustentável e ainda economizar na fatura mensal de sua residência.



Obrigado!
Prof. Fabiano Perin Gasparin
UERGS
fabiano-gasparin@uergs.edu.br

