



LABORATÓRIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

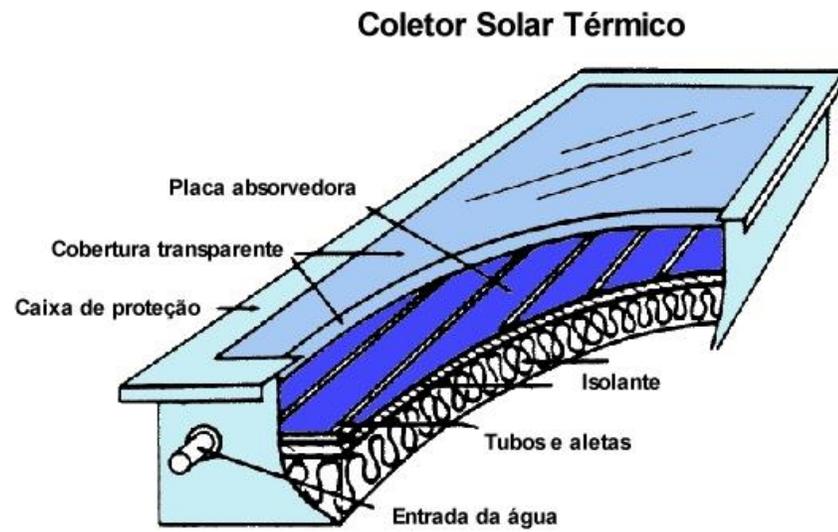
IEE0004 – APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Adnei Melges de Andrade
adnei@usp.br

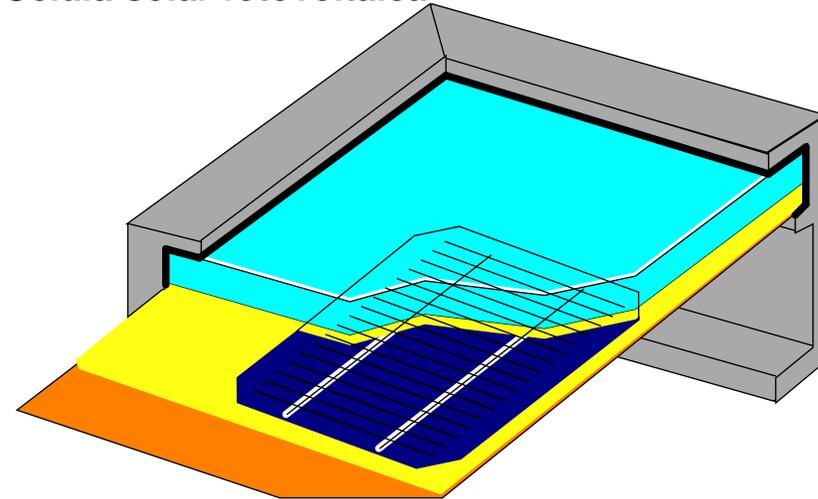
Roberto Zilles
zilles@usp.br

Monitor: Pedro Ferreira Torres
pftorres@iee.usp.br

CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR



Célula solar fotovoltaica

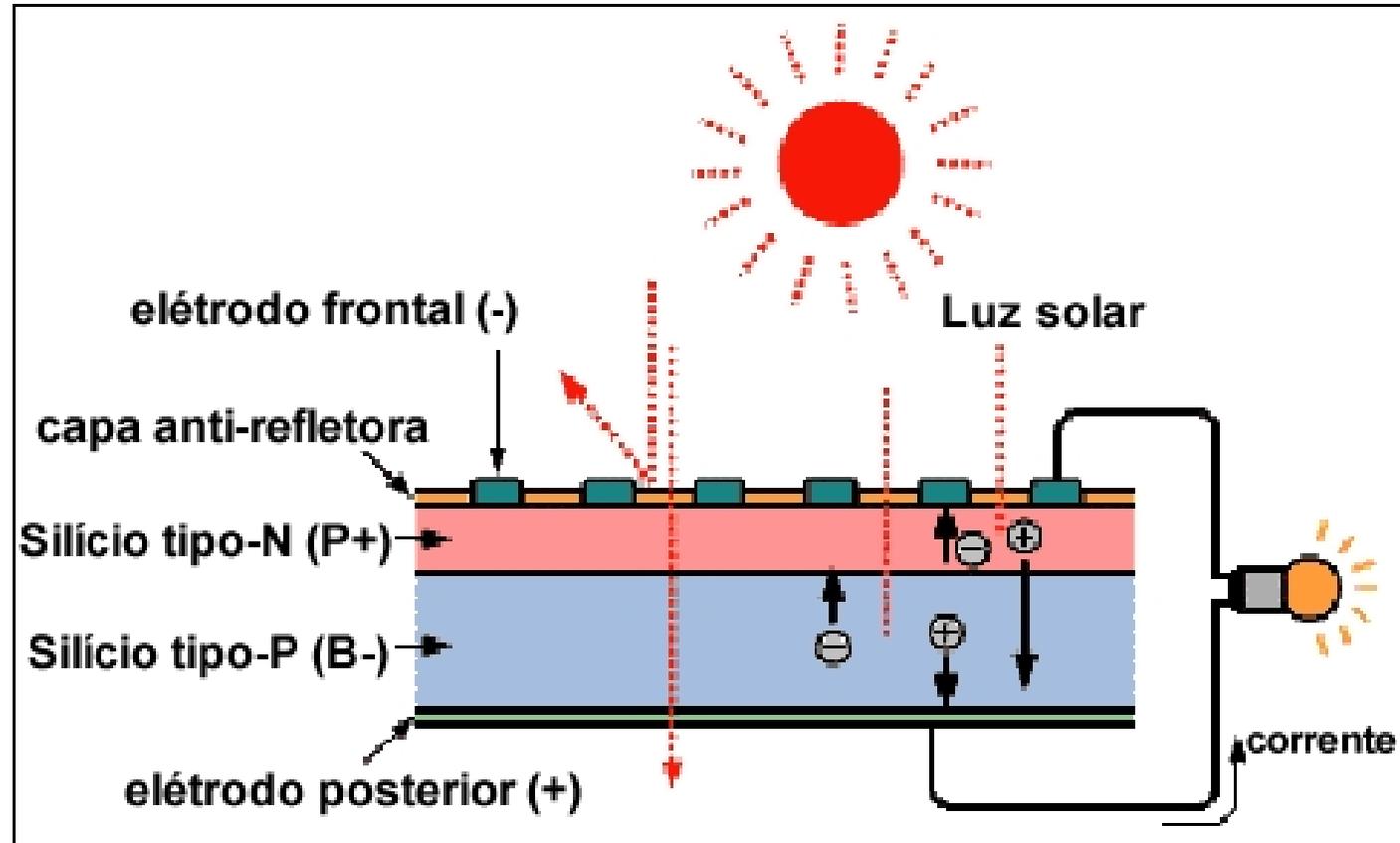


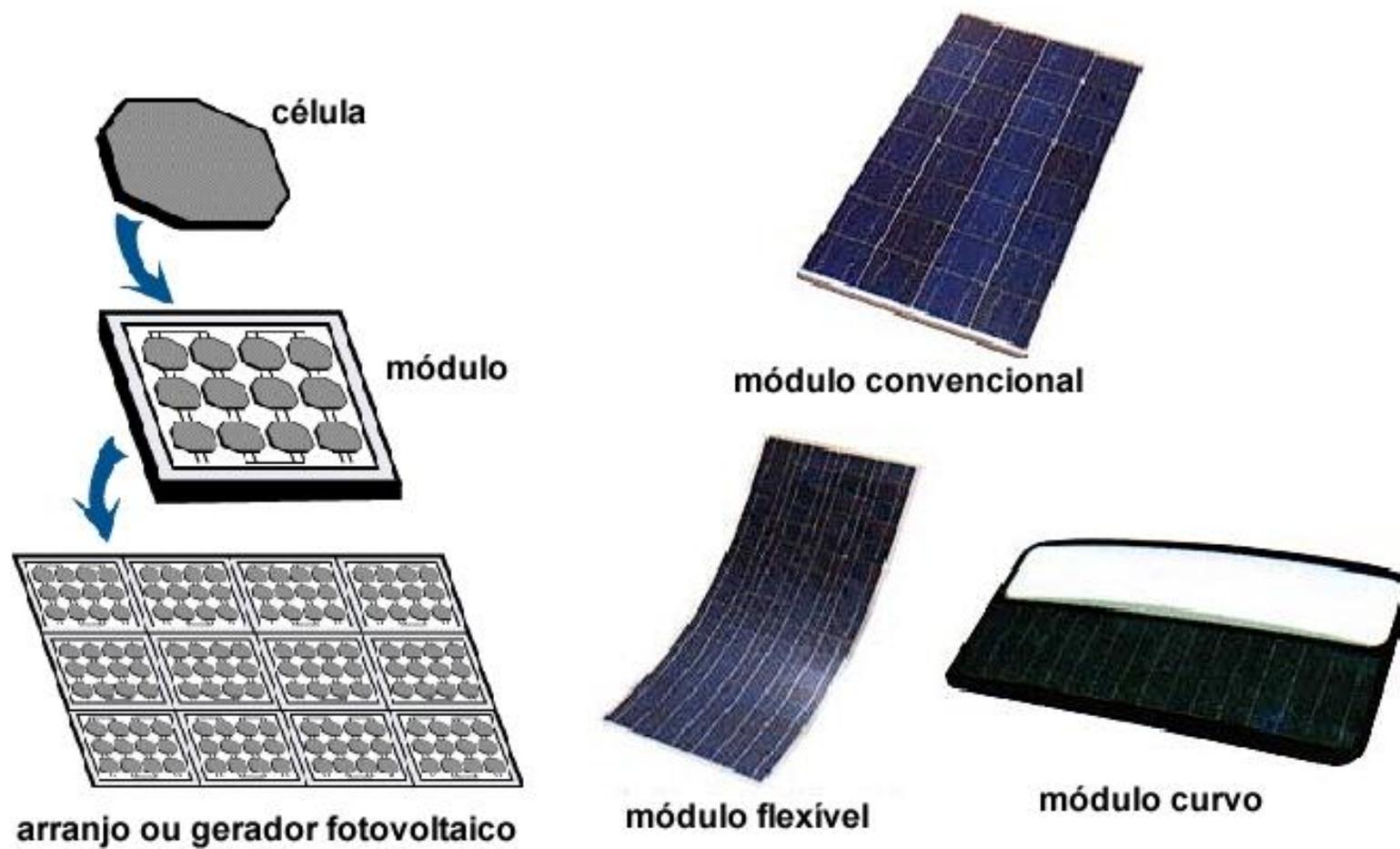
A conversão da luz em eletricidade

Conversão Fotovoltaica

- Conversão fotovoltaica é a conversão da energia solar diretamente em eletricidade através do efeito fotovoltaico.
- O dispositivo de conversão é chamado de **célula fotovoltaica**. Há várias tecnologias, mas dominam as células fabricadas com silício monocristalino ou com silício multicristalino.

CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA





HISTORIA DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

1839 O ponto de partida se considera a Edmund Bequerel, um físico francês descobrindo o efeito fotovoltaico quando experimentava com dois eletrodos metálicos em uma solução condutora, quando verificou um aumento da geração elétrica com a luz.

1873 Willoughby Smith descobre o efeito fotovoltaico em sólidos, no Selênio

1877 W.G.Adams y R.E.Day produzem a primeira célula fotovoltaica de Selênio

1954 Os pesquisadores D.M.Chaplin, C.S. Fuller y G.L.Pearson dos Laboratórios Bell em Murray Hill, New Jersey, produzem a primeira célula de Silício, publicam o artigo “A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power” e fazem sua apresentação oficial em Washington (26 abril).

1954 Pearson, Chaplin e Fuller (Laboratorio da Bell Telephone)
Célula de Si; eficiência > 5



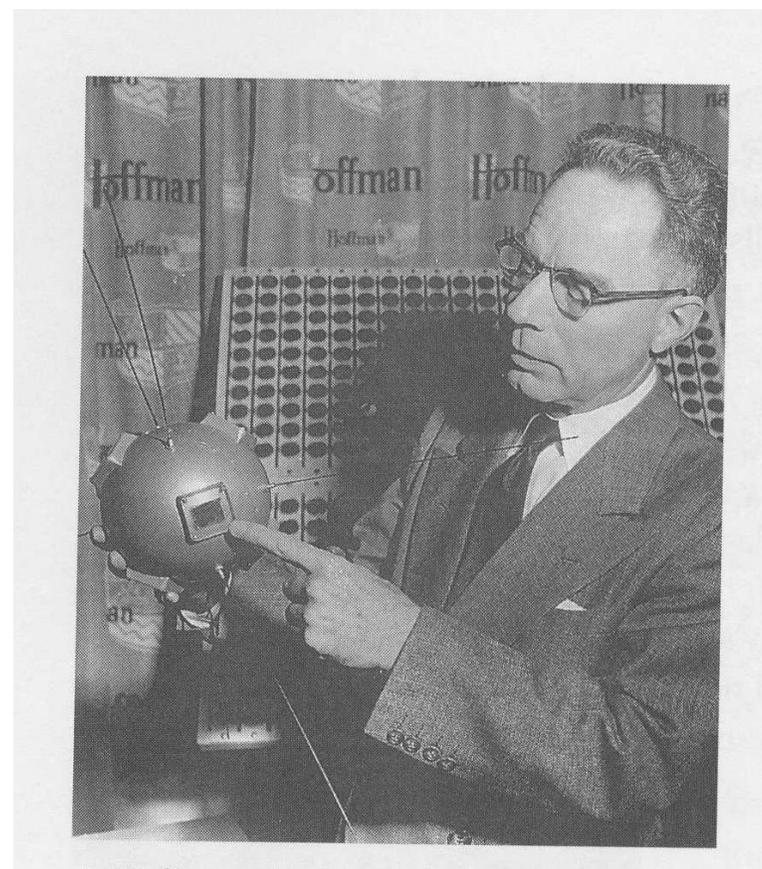
1955 É passada à indústria americana a tarefa de produzir elementos solares fotovoltaicos para aplicações espaciais. Hoffman Electronic, empresa de Illinois (EE.UU.) oferece células de 3% e de 14mW a 1.500 \$/Wp)

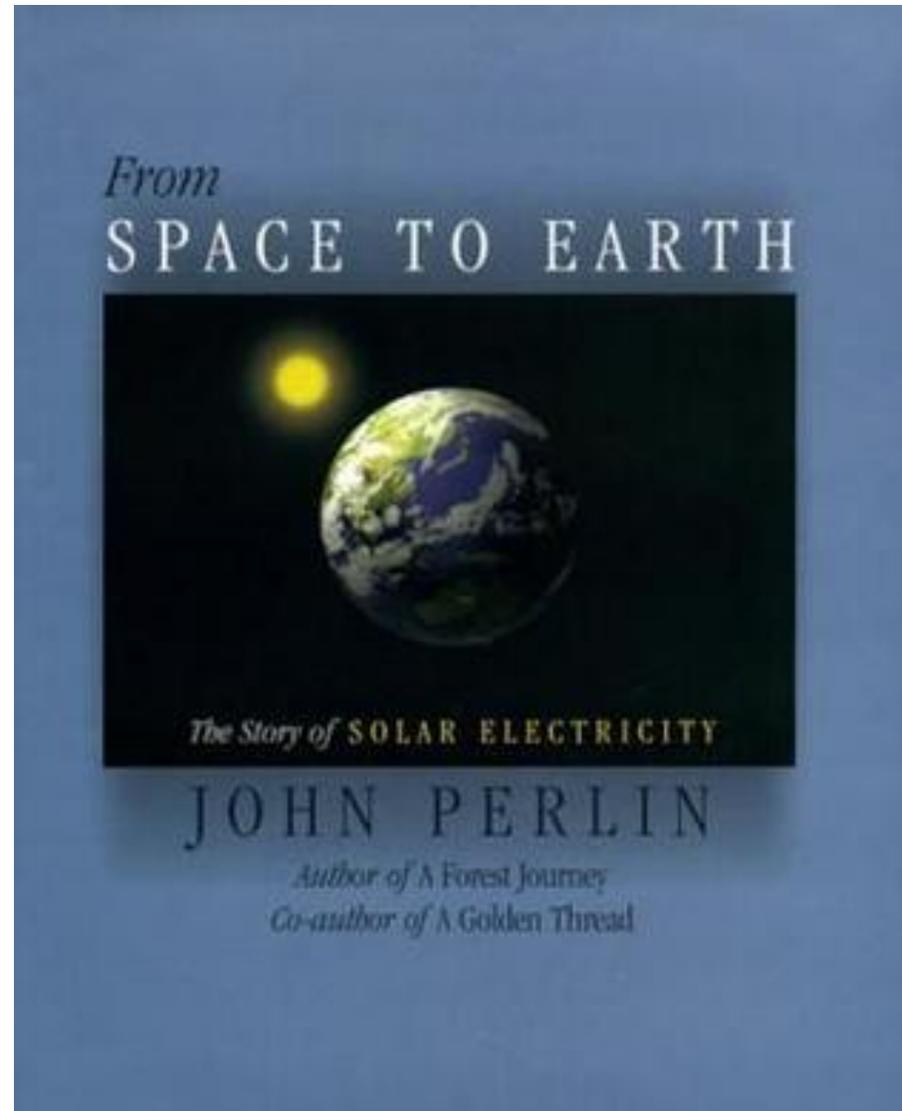
- Hoffman Electronic alcança 8 % de rendimento em suas células

1958 Em 17 de março se lança o Vanguard I, o primeiro satélite alimentado com energia solar fotovoltaica. O satélite leva 0,1W em uma superfície aproximada de 100 cm², para alimentar um transmissor de 5 mW, que esteve operativo por 8 anos. A União Soviética, mostra na exposição Universal de Bruxelas suas células fotovoltaicas com tecnologia de Silício.

O Vanguard I inaugura o uso espacial de células solares

O Spunik III, também com células solares é lançado três semanas depois

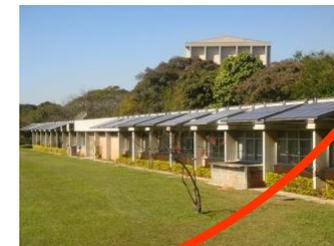


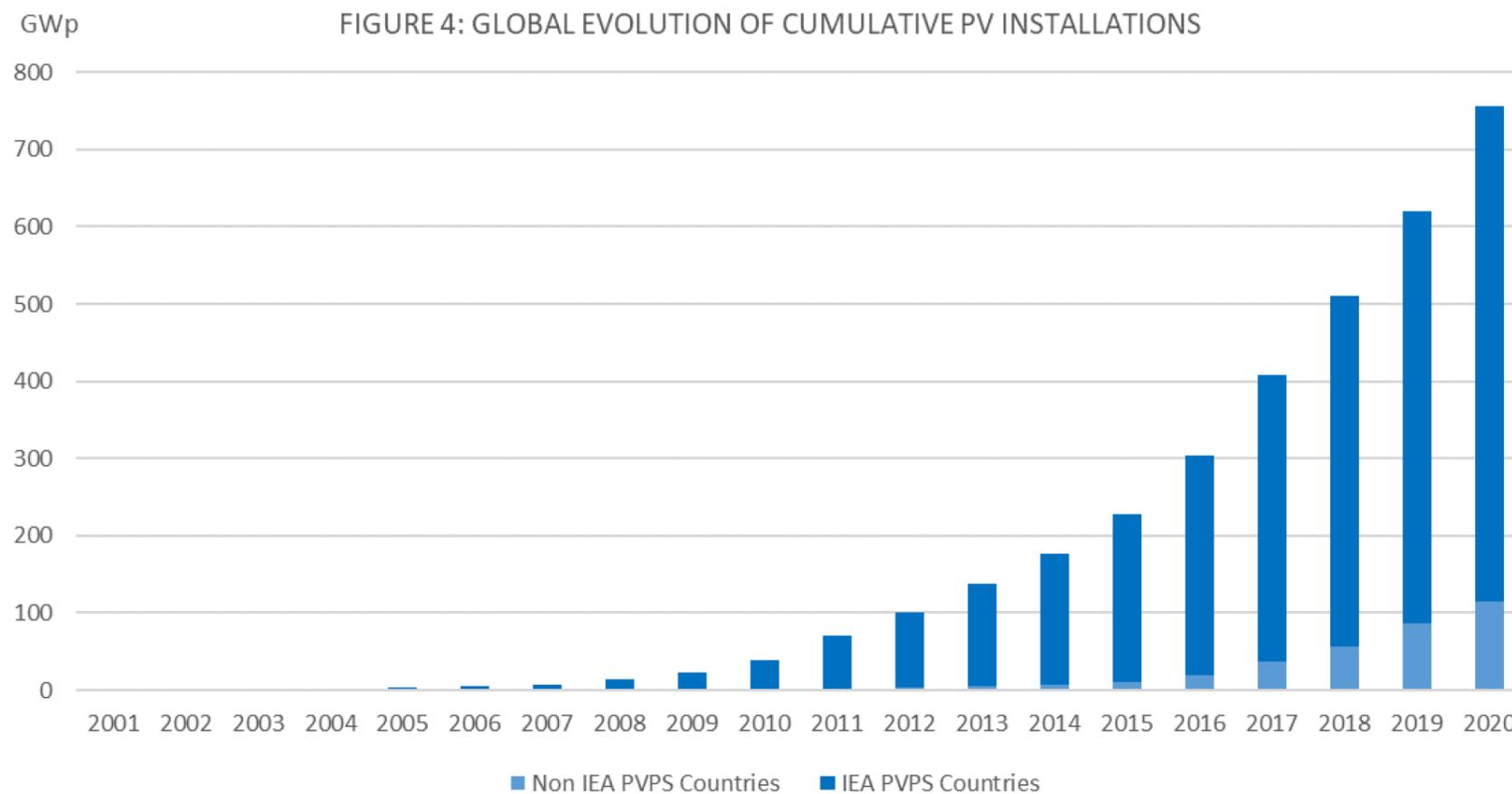


ISBN: 0937948144.

CADEIA DE VALOR DA INDÚSTRIA FOTOVOLTAICA

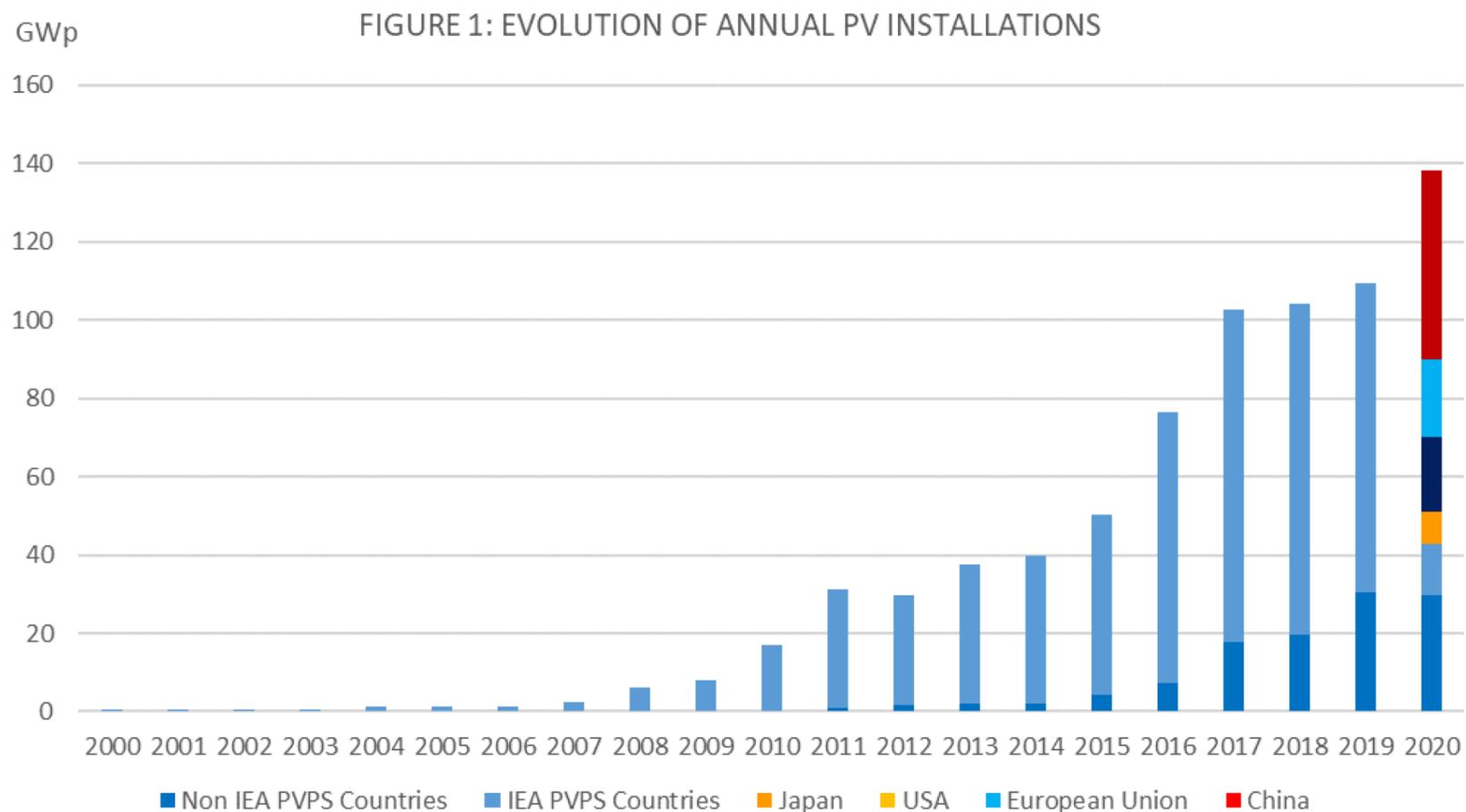
Introdução



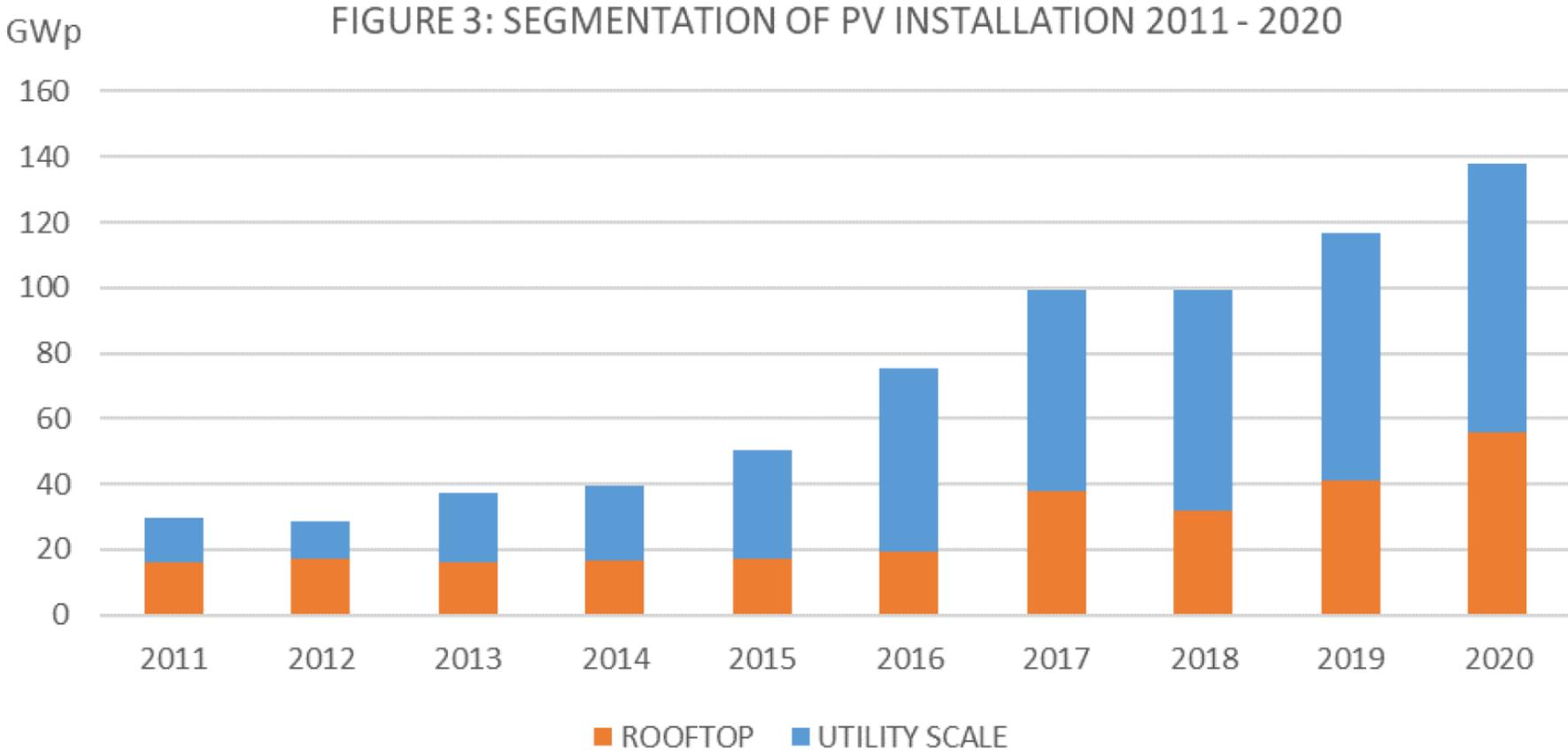


Fonte: Report IEA PVPS T1-39:2021 - *Snapshot of Global PV Markets (2021, April)*

CAPACIDADE FOTOVOLTAICA INSTALADA ANUALMENTE (GW – c.c.)



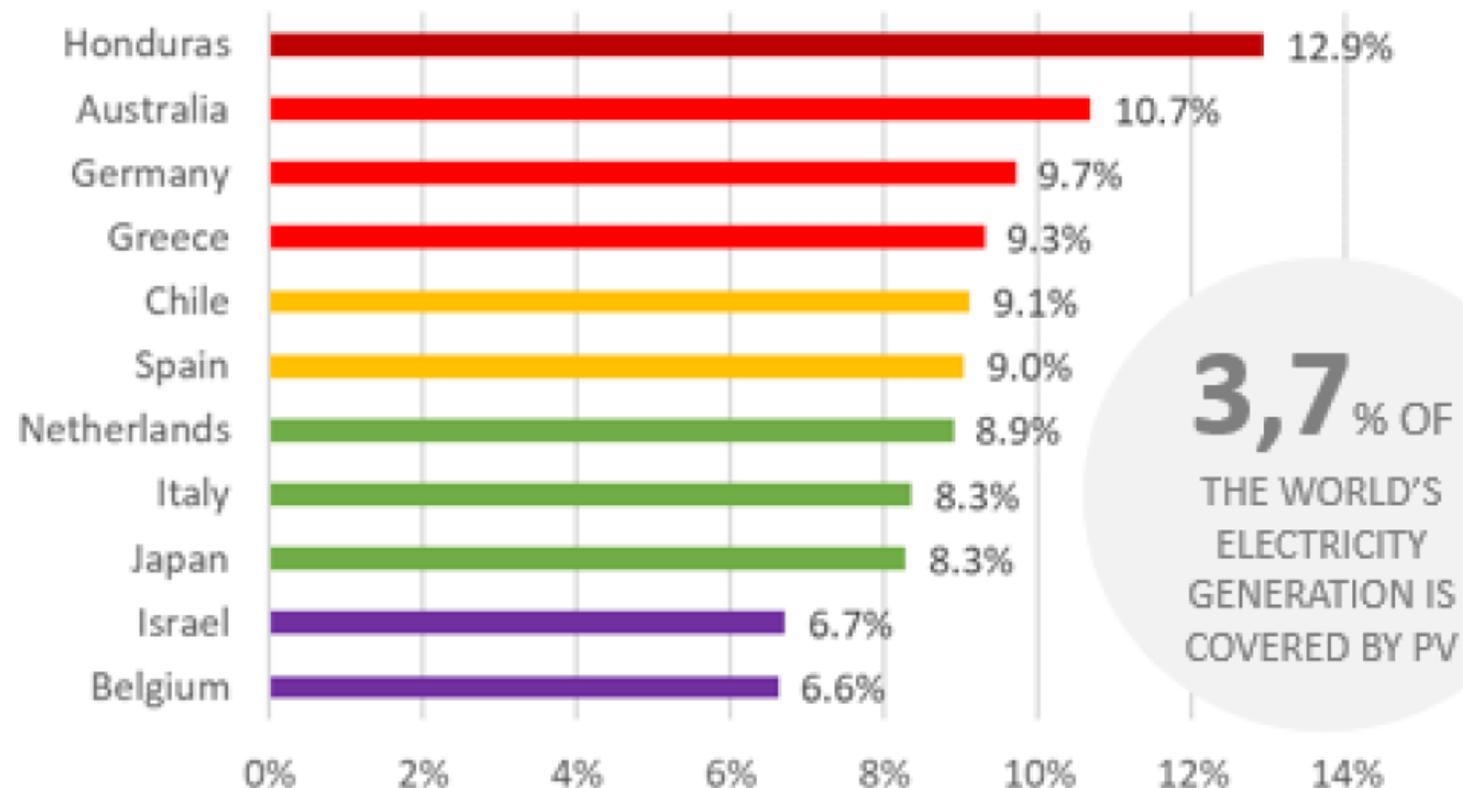
Fonte: Report IEA PVPS T1-39:2021 - *Snapshot of Global PV Markets (2021, April)*



Fonte: Report IEA PVPS T1-39:2021 - *Snapshot of Global PV Markets (2021, April)*

CONTRIBUIÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA DEMANDA ELÉTRICA DE ALGUNS PAÍSES, 2020

COUNTRIES WITH HIGHEST PV PENETRATION



Fonte: Report IEA PVPS T1-39:2021 - Snapshot of Global PV Markets (2021, April)

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA_PVPS_Snapshot_2021-V3.pdf

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Centrais solares



4 MW em Jaén, Espanha



42 MW em Moura, Portugal



Residencias - Alemanha

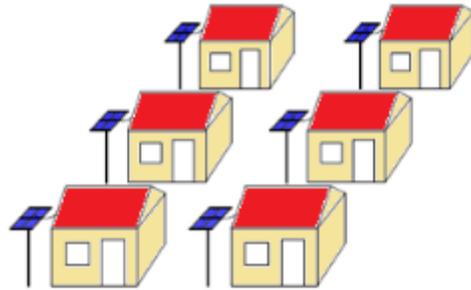
SISTEMAS ISOLADOS



SIGFI 13, Projeto LSF-IEE, Mimirauá, AM



Bombeamento, Projeto LSF-IEE, ITESP, Presidente Bernardes, SP
Bomba e condicionamento de potência de fabricação nacional



Sistemas individuais – Resolução ANEEL 83/2004

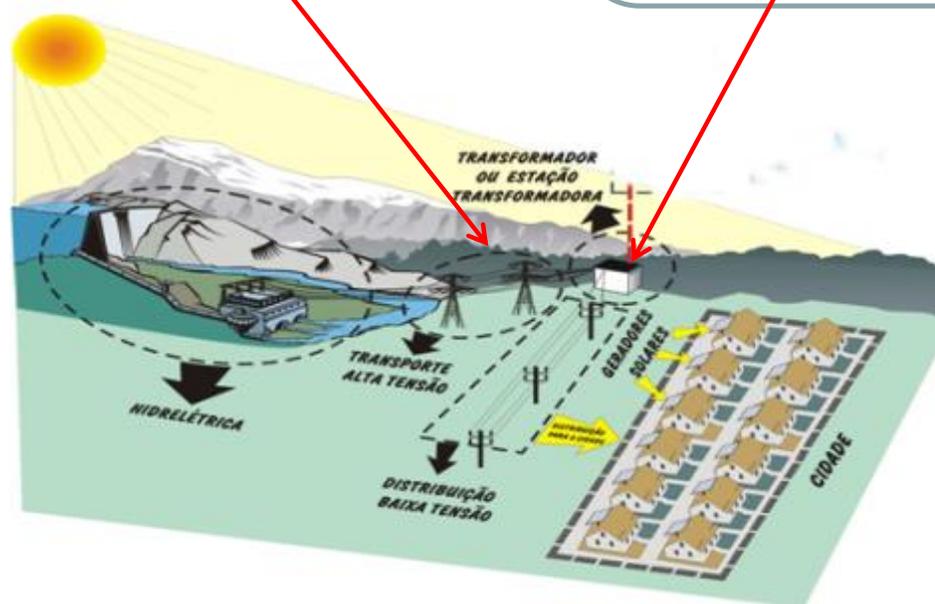


Minirredes em sistemas isolados



RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 493, DE 5 DE JUNHO DE 2012.

Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI.

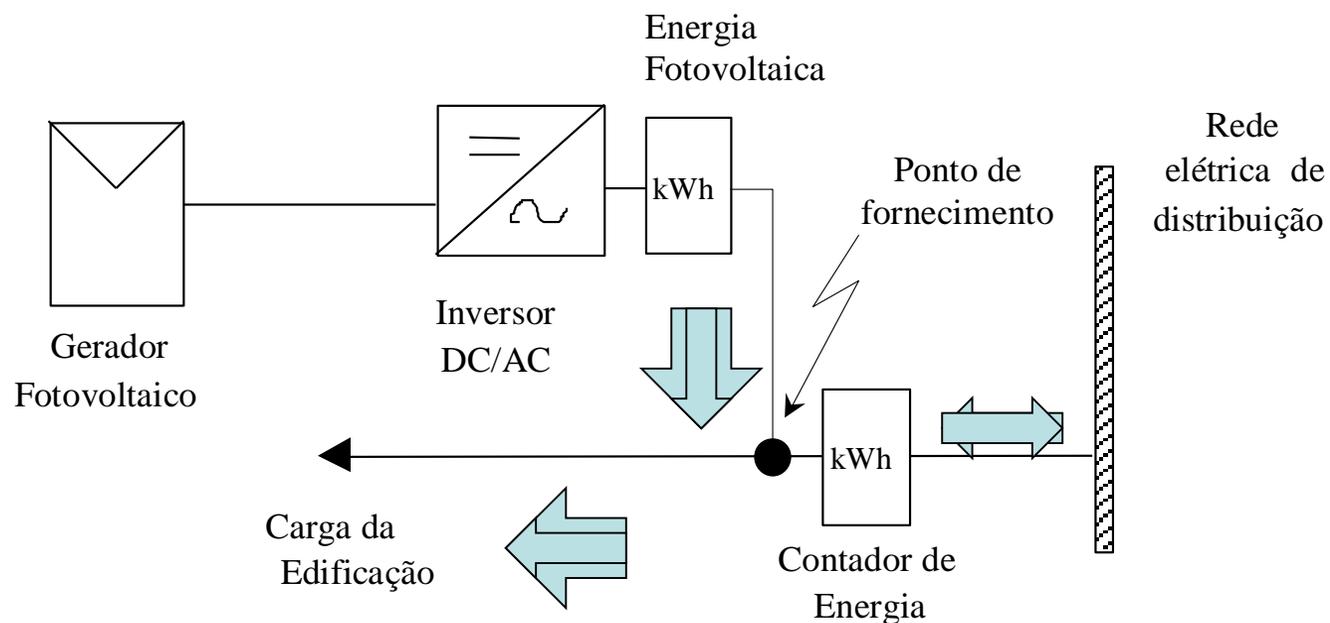


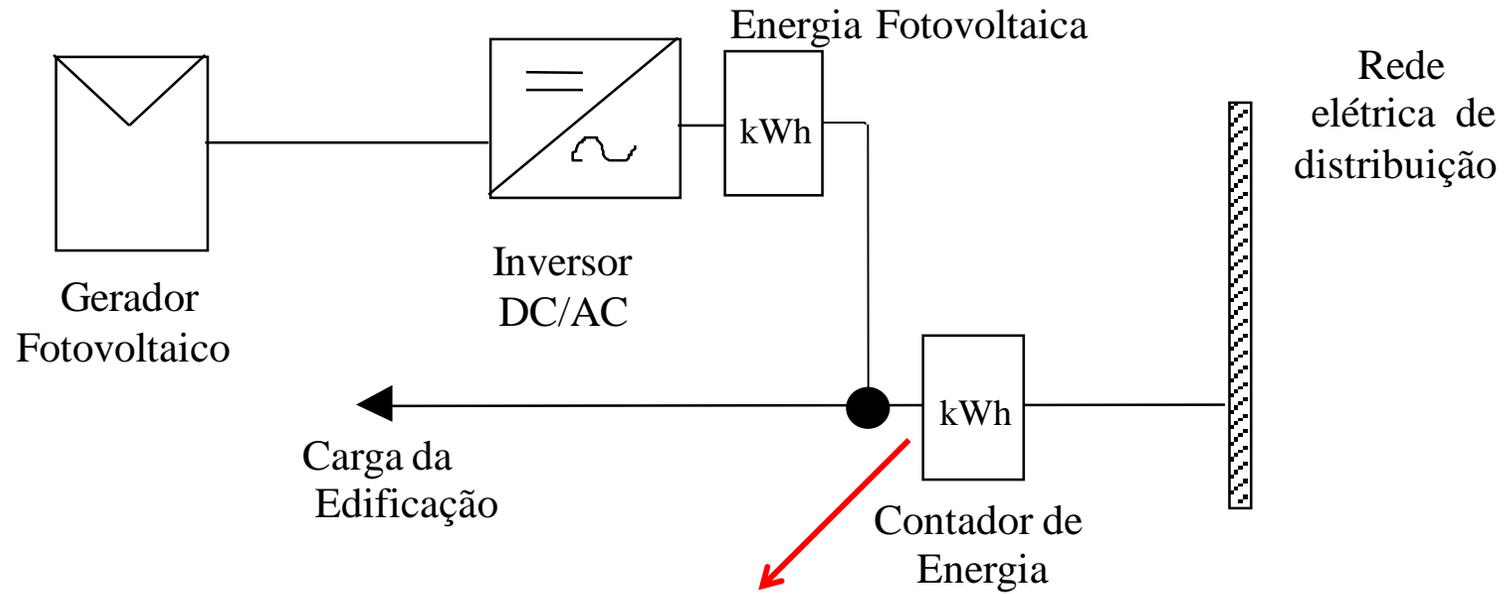
RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012 (Nº 687/2015)

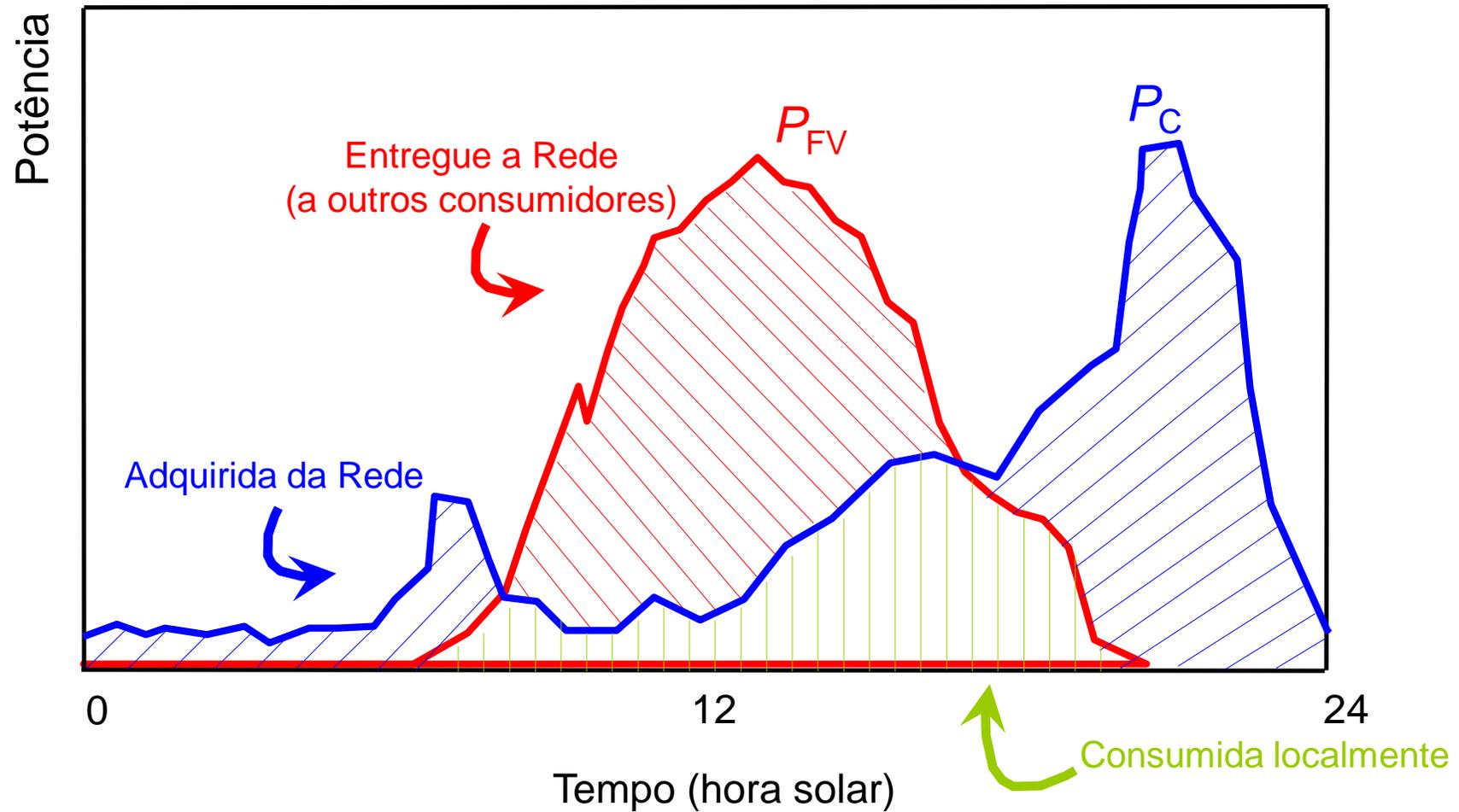
Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES

São unidades de geração que, além de consumidoras de energia, passam a produzir parte da energia necessária, podendo, em algumas situações verter o excedente à rede de distribuição de eletricidade.







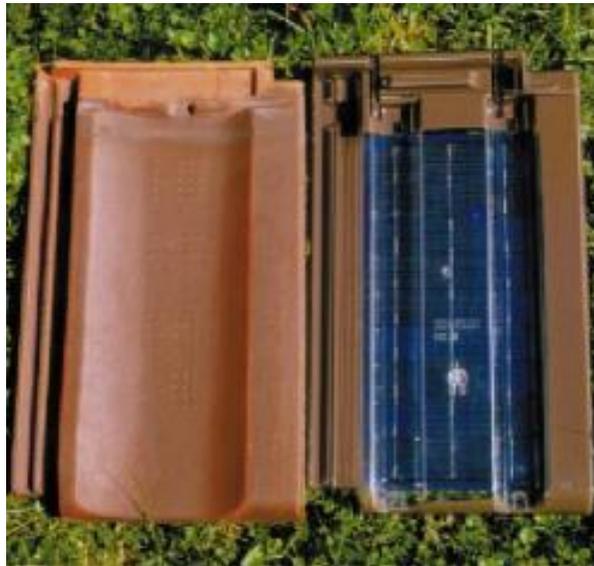
RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012 [Resolução Normativa nº 687/2015](#)

Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Exemplos de casas com sistemas fotovoltaicos instalados



Telhas





Megawatt Solar: 1,1 MWp instalado sobre a cobertura do Edifício Sede da Eletrosul e de estacionamentos, instalado na cidade de Florianópolis, SC (UFSC;2014).



Usina FV Fernando de Noronha I, 400 kWp (CELPE)

Usina solar fotovoltaica da USP



540 kWp, IEE-USP

Sistema Central, 156 kWp



Sistema BAPV, 156 kWp (Telhado do IEB, Biblioteca Brasileira)



Sistema BIPV, 150 kWp (estacionamento do IEE-USP)



Sistema BIPV, 150 kWp (estacionamento do IEE-USP)



O PRÉDIO DA ADMINISTRAÇÃO DO IEE-USP

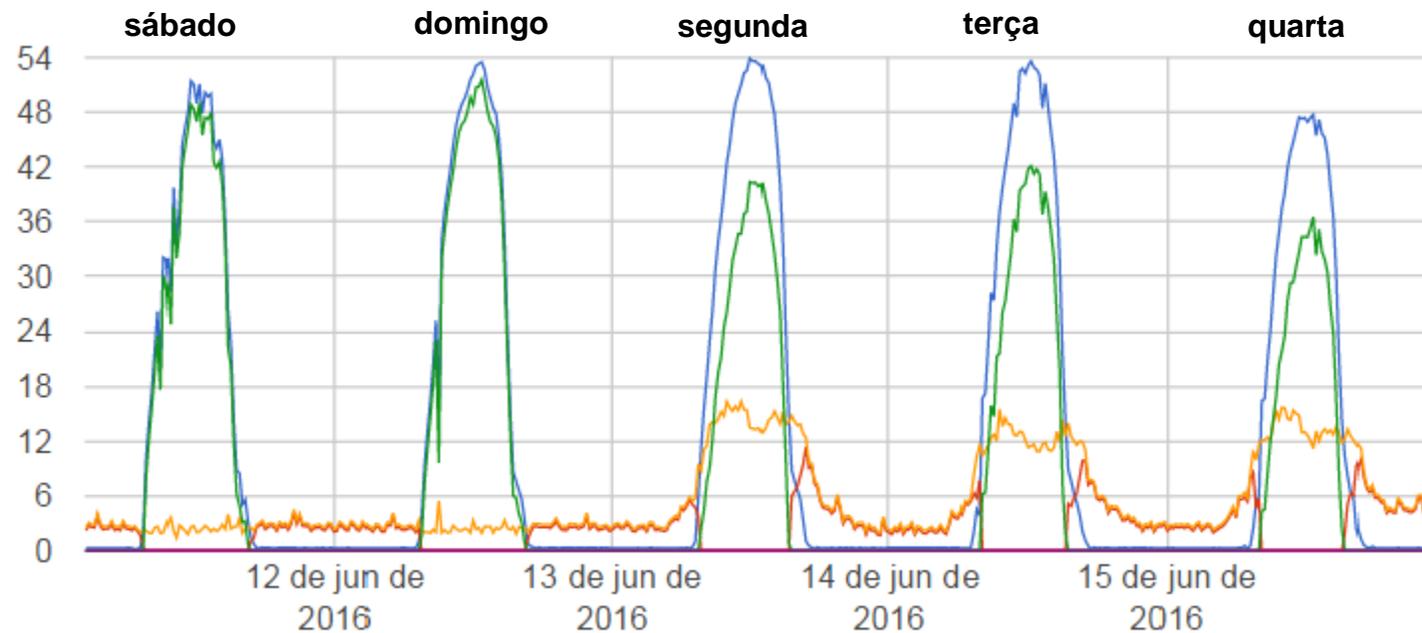


12 kWp



78 kWp

Potência instantânea



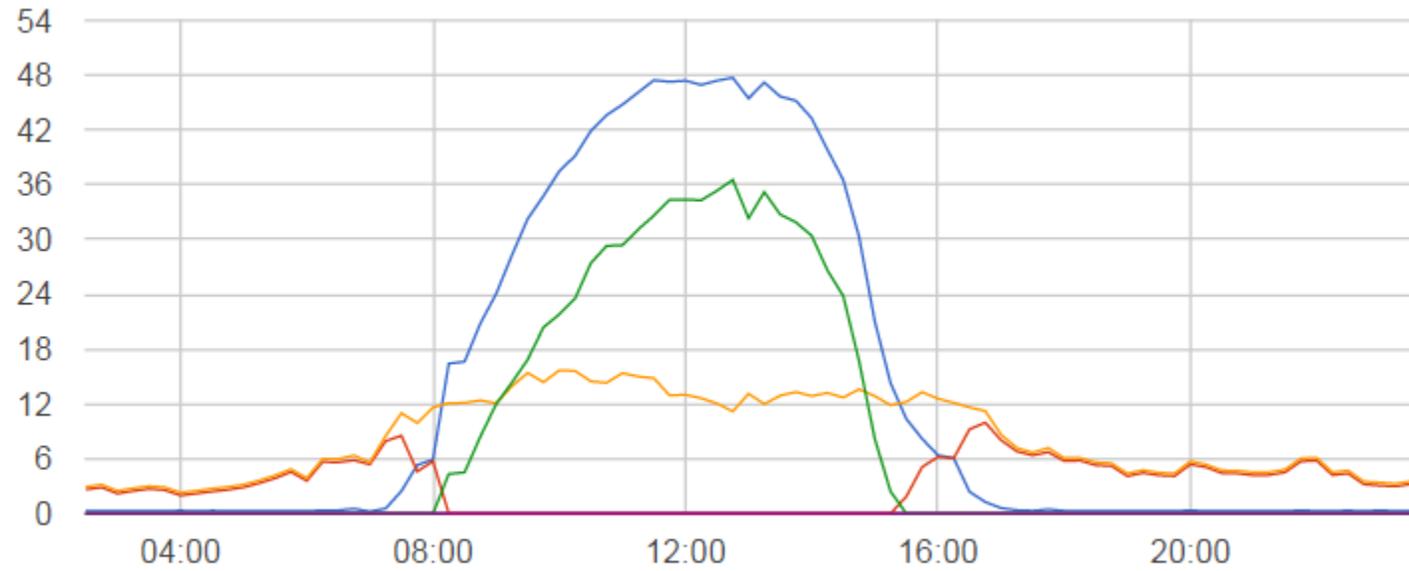
Da data:

até a data:

- Geracao Fotovoltaica [kW]
- Potencia demandada da rede [kW]
- Demanda total [kW]
- Potencia injetada na rede [kW]

Potência instantânea

quarta

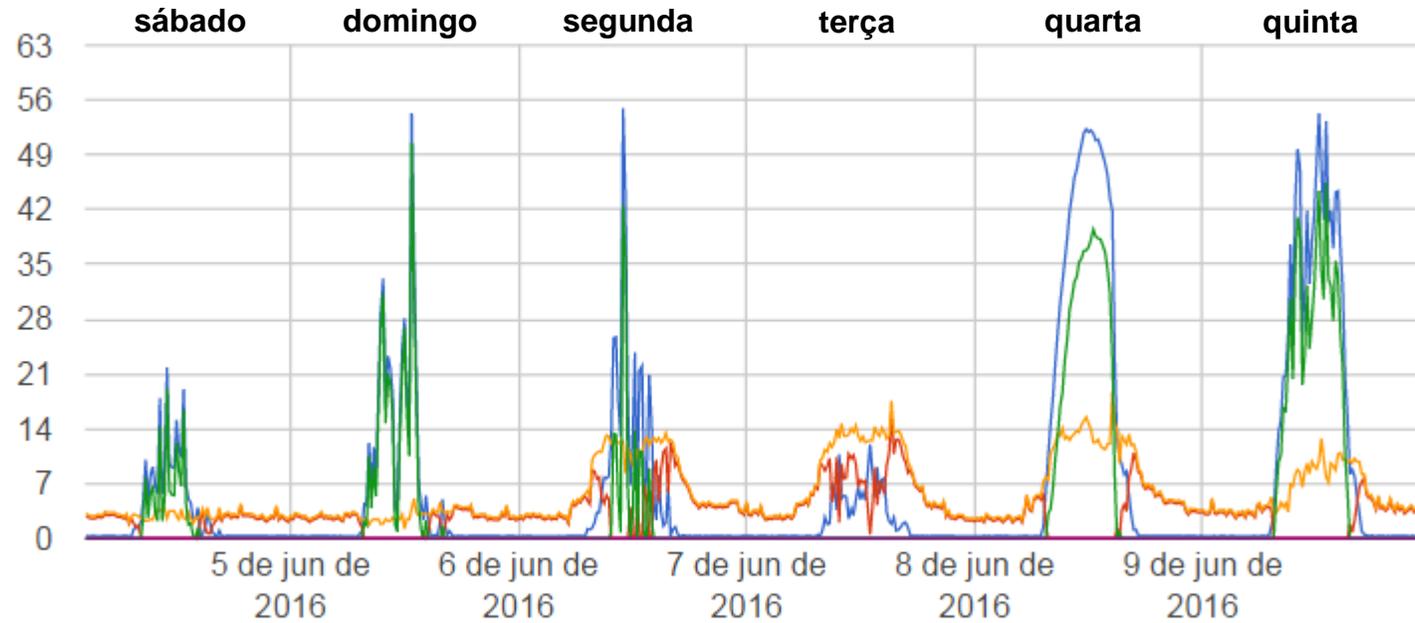


Da data:

até a data:

- Geracao Fotovoltaica [kW]
- Potencia demandada da rede [kW]
- Demanda total [kW]
- Potencia injetada na rede [kW]

Potência instantânea

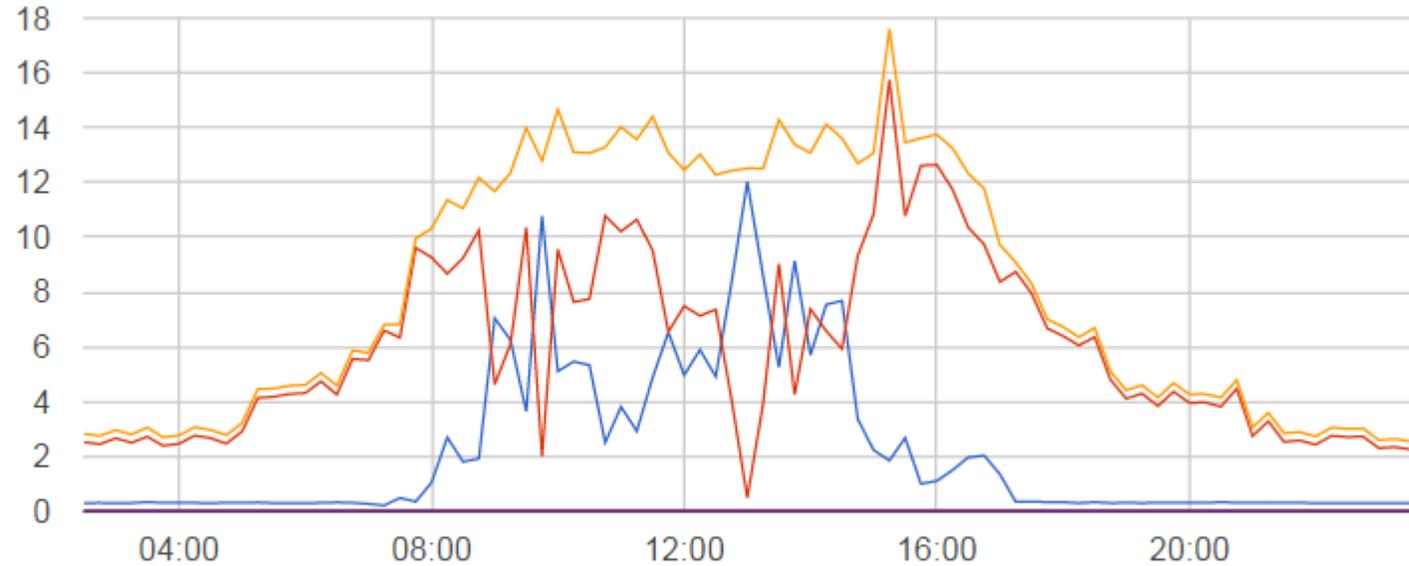


Da data:

até a data:

Potência instantânea

terça



Da data: 07-06-2016 02:16:43

até a data: 07-06-2016 23:50:43

Atualiza

- Geracao Fotovoltaica [kW]
- Potencia demandada da rede [kW]
- Demanda total [kW]
- Potencia injetada na rede [kW]



Geração Distribuída



AGENTE: Todos
MUNICÍPIO: Todos
REGIÃO: Todos
FONTE DE GERAÇÃO: Todos
MODALIDADE DE GERAÇÃO: Todos
CLASSE DE CONSUMO: Todos

Qtd de GDs
857.715

Municípios com GD
5.456

PERÍODO DE CONEXÃO
13/12/2008 25/02/2022

UCs Rec Créditos
1.102.034

Pot Instalada (kW)
9.468.895,58



ANO CONEXÃO
Todos

GRUPO DE TENSÃO
Todos

FAIXA DE POTÊNCIA (kW)
0,00 5.000,00

ESTADOS
Todos

TIPO DE GERAÇÃO
Todos



AGENTES			
AGENTE	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
AME	3.414	4.448	55.212,78
Total	857.715	1.102.034	9.468.895,58

REGIÃO			
REGIAO	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
Centro Oeste	113.593	138.982	1.504,8
Total	857.715	1.102.034	9.468.895,58



LEGENDA POR TIPO	
UFV	857.173
UTE	378
EOL	89
CGH	75

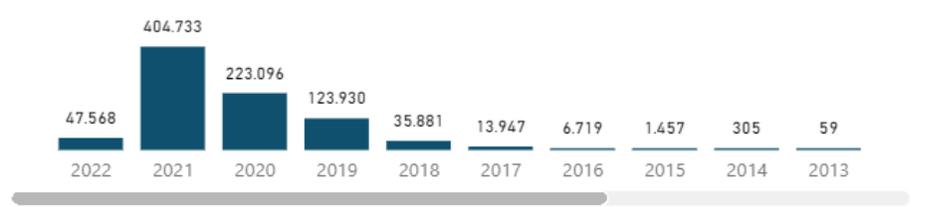
MUNICÍPIOS			
MUNICUF	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
Abadia de Goiás - GO	227	269	1.718,8
Total	857.715	1.102.034	9.468.895,58

ESTADOS			
UF2	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
AC	2.100	2.296	23.882,78
AL	6.863	10.729	81.908,63
Total	857.715	1.102.034	9.468.895,58

FONTE DE GERAÇÃO			
COMBUSTÍVEL	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
Bagaço de Cana de Açúcar	14	303	8.226,96
Total	857.715	1.102.034	9.468.895,58

ANO DA CONEXÃO			
ANO	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
2022	47.568	57.898	425.894,90
2021	404.733	507.441	3.966.540,77
Total	857.715	1.102.034	9.468.895,58

QUANTIDADE ANUAL DE CONEXÃO



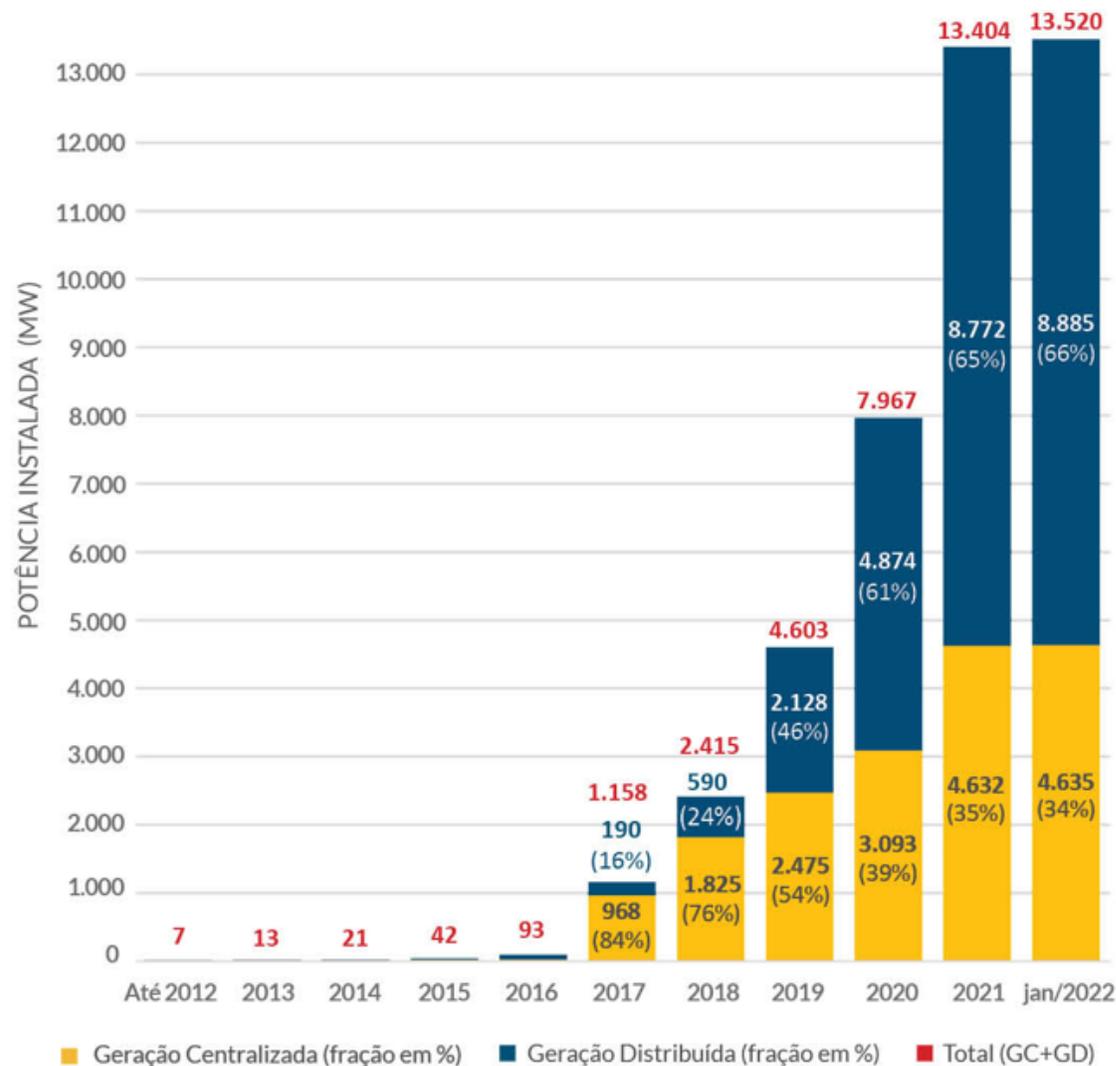
MODALIDADE DE GERAÇÃO			
MODALIDADE	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
Autoconsumo remoto	130.260	369.031	1.961.657,8
Total	857.715	1.102.034	9.468.895,58

TIPO DE GERAÇÃO			
TIPO	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
CGH	75	17.176	67.721,67
EOL	89	158	16.655,10
Total	857.715	1.102.034	9.468.895,58



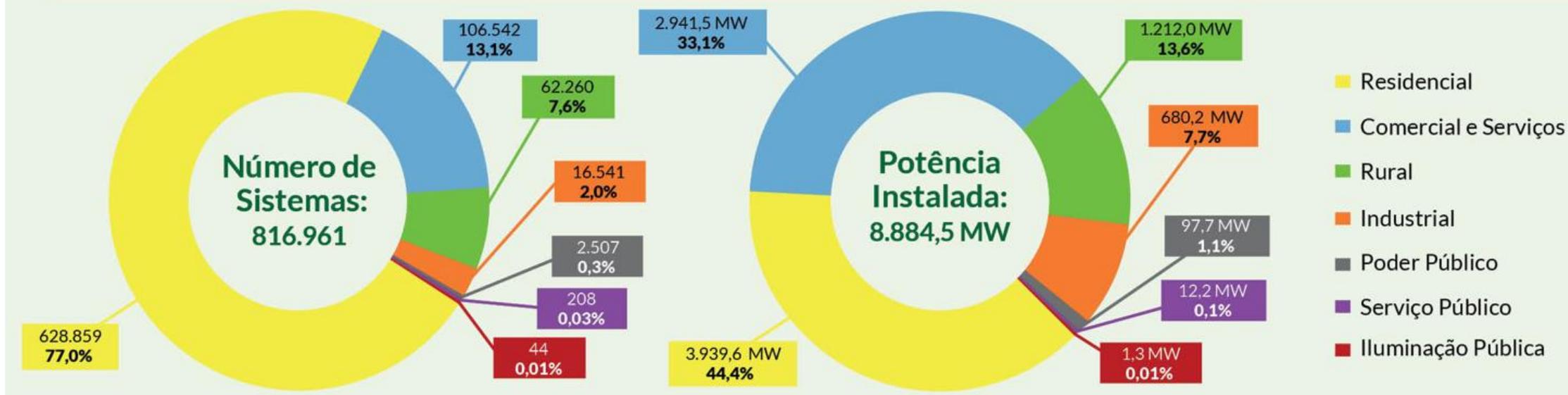
Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022.

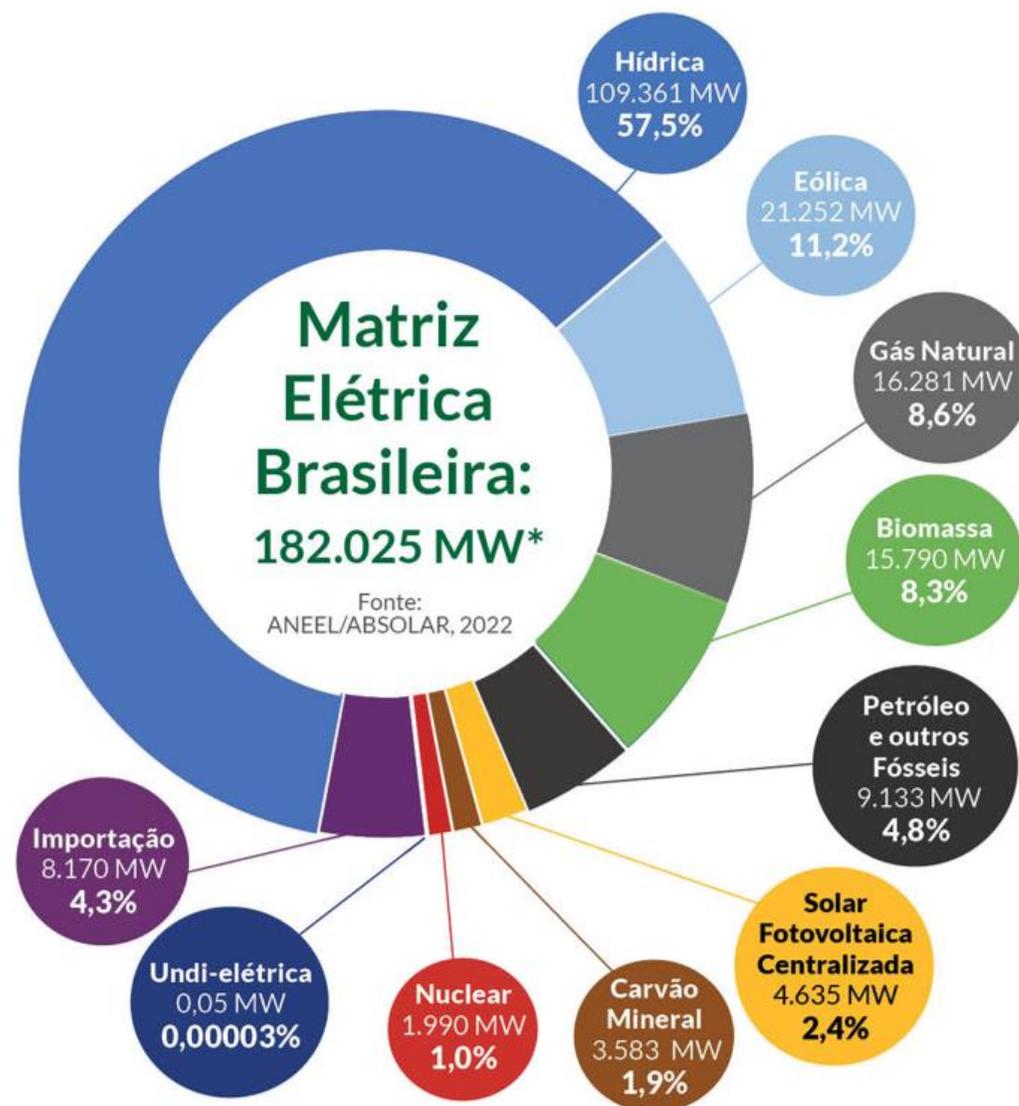


Geração Distribuída Solar FV no Brasil por Classe de Consumo

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022.



GERAÇÃO CENTRALIZADA



*A potência total da matriz não inclui a importação.

Atualizado em 02/02/2022

Recordes de Geração de Energia

Fontes: ONS/MME, 2022.

A fonte solar fotovoltaica atingiu novos recordes de geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN):



MÉDIA DIÁRIA

05/10/2021

1.322MW médios
atendendo a**1,8%**da demanda por
eletricidade do Brasil

MÁXIMA DIÁRIA

28/09/2021

3.626 MWàs 10h52
equivalente a**4,7%**da demanda nacional
naquele instante**1,7%**da oferta de energia
elétrica no Brasil foi
gerada pela fonte
solar fotovoltaica em
janeiro de 2022.

Evolução do Preço da Fonte Solar Fotovoltaica em Leilões de Energia no Mercado Regulado

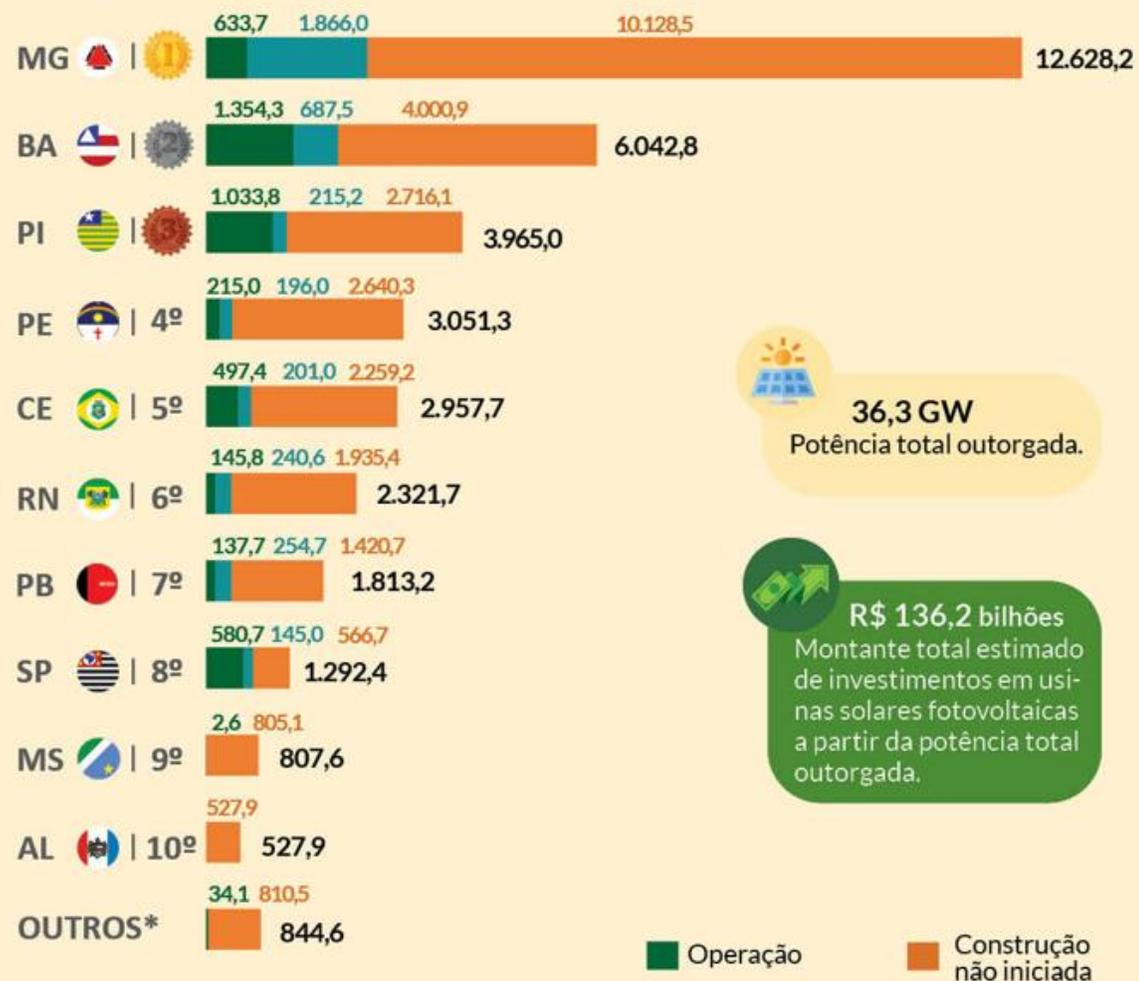
Fonte: CCEE/ABSOLAR, 2022.



Geração Centralizada

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022.

Potência instalada (MW) e status das usinas solares fotovoltaicas outorgadas do mercado regulado e do mercado livre por estado:



*Usinas espalhadas em 12 estados brasileiros

GERAÇÃO CENTRALIZADA



Matriz Elétrica Brasileira

SCG - Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração

Data de referência dos dados: 11/3/2022 13:00

Início

Tipo

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

UF

AC BA MA PA PR RO SE
 AL CE MG PB RJ RS SP
 AM ES MS PE RN SC TO
 AP GO MT PI

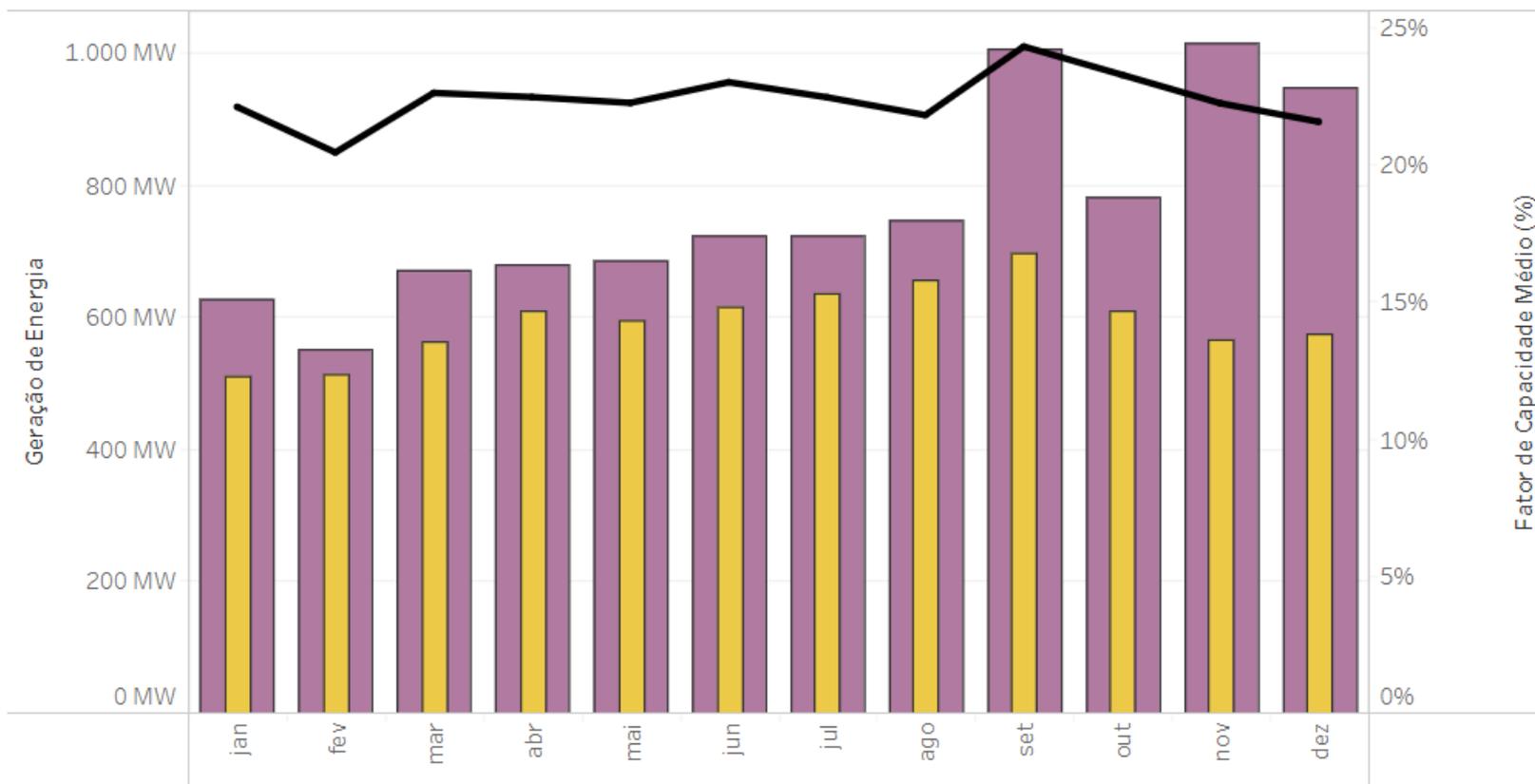
Fase

Construção não iniciada
 Construção
 Operação

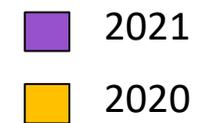
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
UFV	8274	40.880.675,88	4.741.385,78	100,00%
Total	8274	40.880.675,88	4.741.385,78	100,00%



Geração Solar e Fator de Capacidade Mensal (MWmed)



$$CF = \frac{\int_0^{8760h} P(t) dt}{P_{nom} \times 8760h}$$



Fabricação de componentes do sistema fotovoltaico

Impacto da valorização do polissilício no preço do módulo FV

Evolução do Preço do Polissilício



- Dificuldades enfrentadas pelos fabricantes de polissilício devido às restrições de produção na China geram desequilíbrio entre oferta e demanda por módulos, elevando o preço do polissilício.
- **Aumento superior a 200%** no custo do polissilício em 2021.
- A variação de preço deste insumo **impacta diretamente o preço dos módulos FV.**

Greener

Módulos fotovoltaicos

Evolução do Preço FOB

Evolução do Preço do Módulo FV



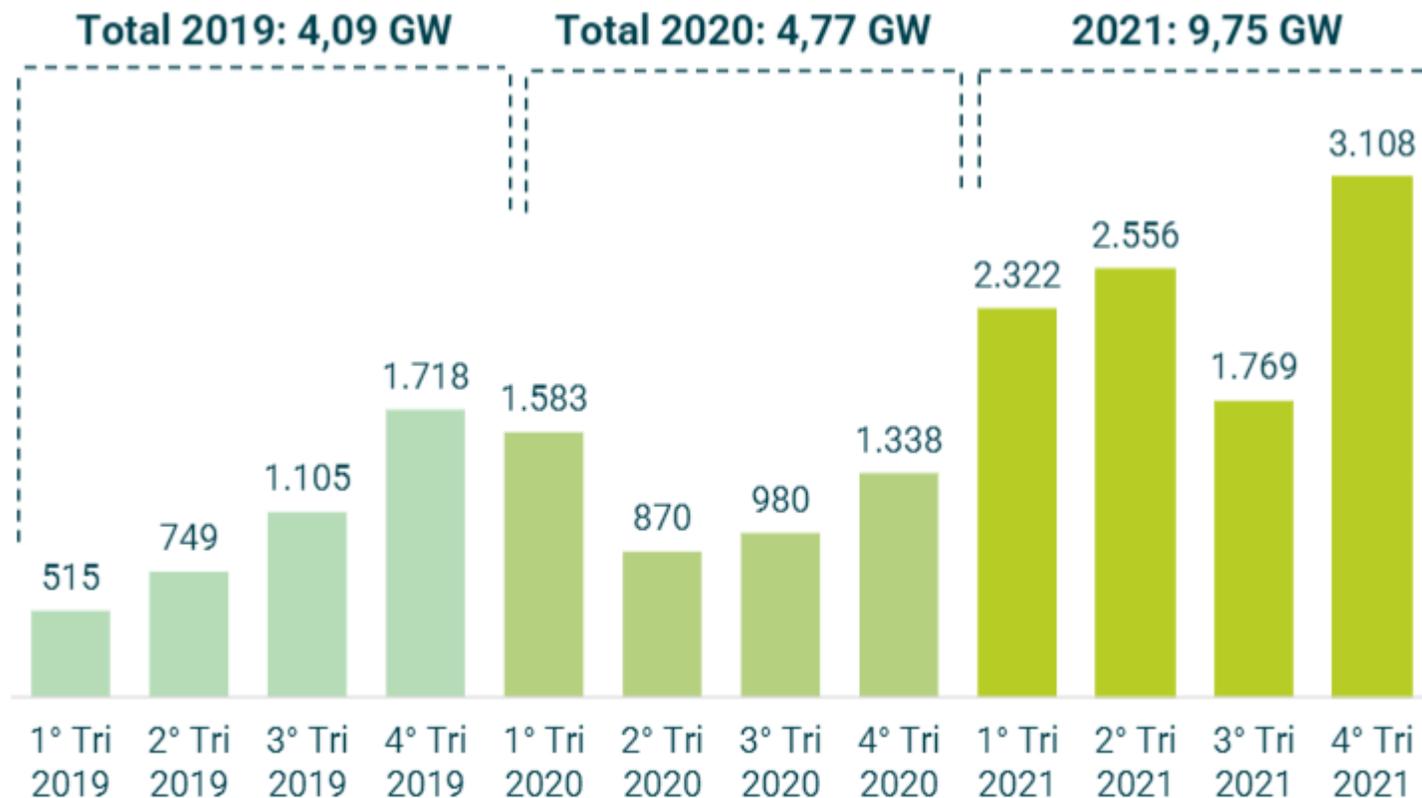
- **Aumento médio de 26%** no preço FOB do módulo Mono PERC. O preço do módulo fotovoltaico vem apresentando aumento especialmente em **função do preço de polissilício**, sua principal matéria-prima.
- O **Frete Internacional** foi um fator que contribuiu fortemente para elevação dos custos do produto do Brasil. A Aplicação de **EX Tarifário** (isenção de imposto de importação) foi um forte elemento para atenuar os custos do módulo FV no mercado brasileiro.

Greener

Fonte: GREENER - Estudo Estratégico Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico, 2º. Semestre 2021

Módulos fotovoltaicos – Volume importado [MWp]

Geração Distribuída e Geração Centralizada



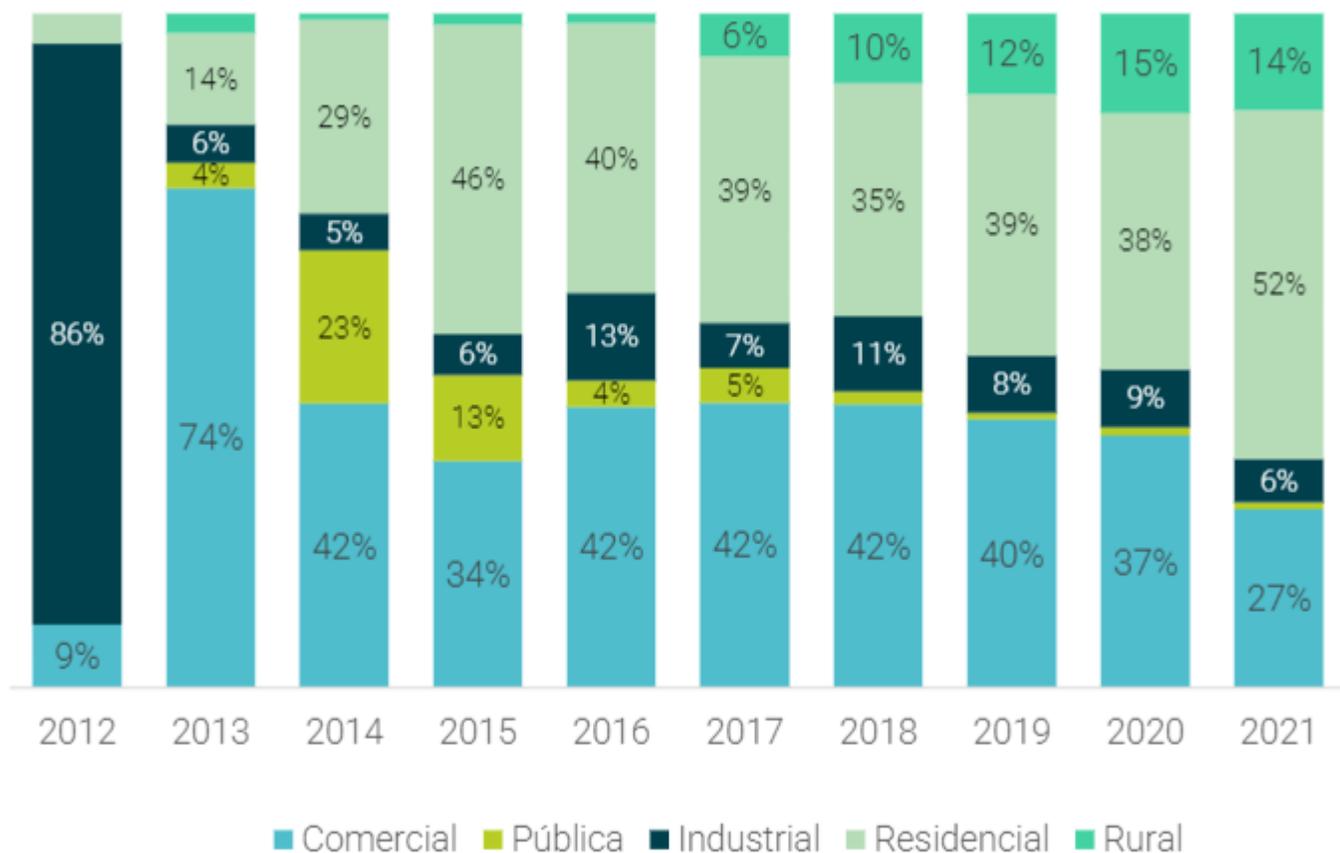
➤ Volume de módulos de **2021 superou em 104%** o volume de 2020.

Greener

Fonte: Receita Federal, 2021 e Greener

Fonte: GREENER - Estudo Estratégico Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico, 2º. Semestre 2021

Volume adicionado por classe de consumo



- A classe **residencial** ampliou sua participação no volume de sistemas FV adicionados em 2021, representando **52% do total**. A classe **comercial** continuou apresentando queda.
- A tarifa elevada e o trabalho remoto contribuíram para maior adoção de GD nas residências, aliados à queda nas atividades comerciais no período de pandemia.

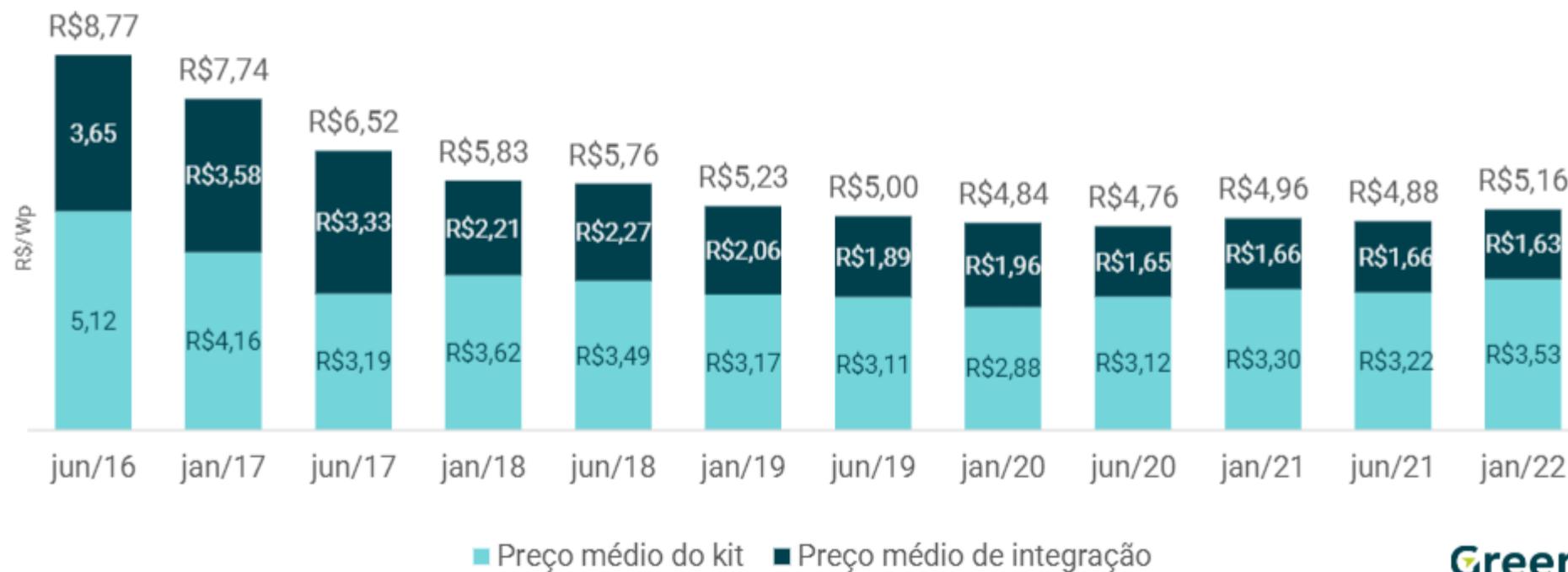
Fonte: Aneel, 2021 (relatório extraído em 01/02/2022).

Greener

Evolução dos preços de sistemas FV

Sistema residencial (4 kWp)

- Apesar da elevação dos preços em 2021, o sistema FV residencial acumula uma **redução de 33% nos últimos 5 anos**.



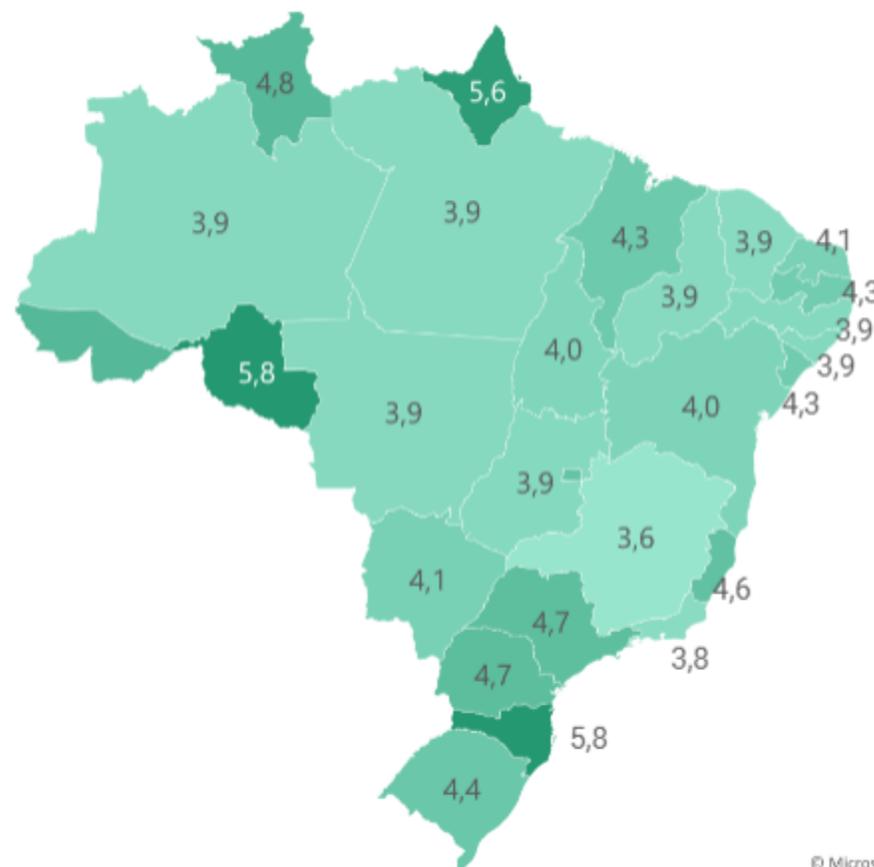
Greener

Fonte: GREENER - Estudo Estratégico Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico, 2º. Semestre 2021

Payback médio por Estado

Residencial (em anos)

- O valor dos sistemas residenciais foi de **R\$ 5,16/Wp** (dados médios conforme pesquisa GD 2º sem. 2021 para sistemas de **4 kWp**). O cálculo leva em consideração a produtividade do local, o custo médio dos sistemas, a tarifa das concessionárias, um PR* de **75%** e índice de simultaneidade de **30%**.

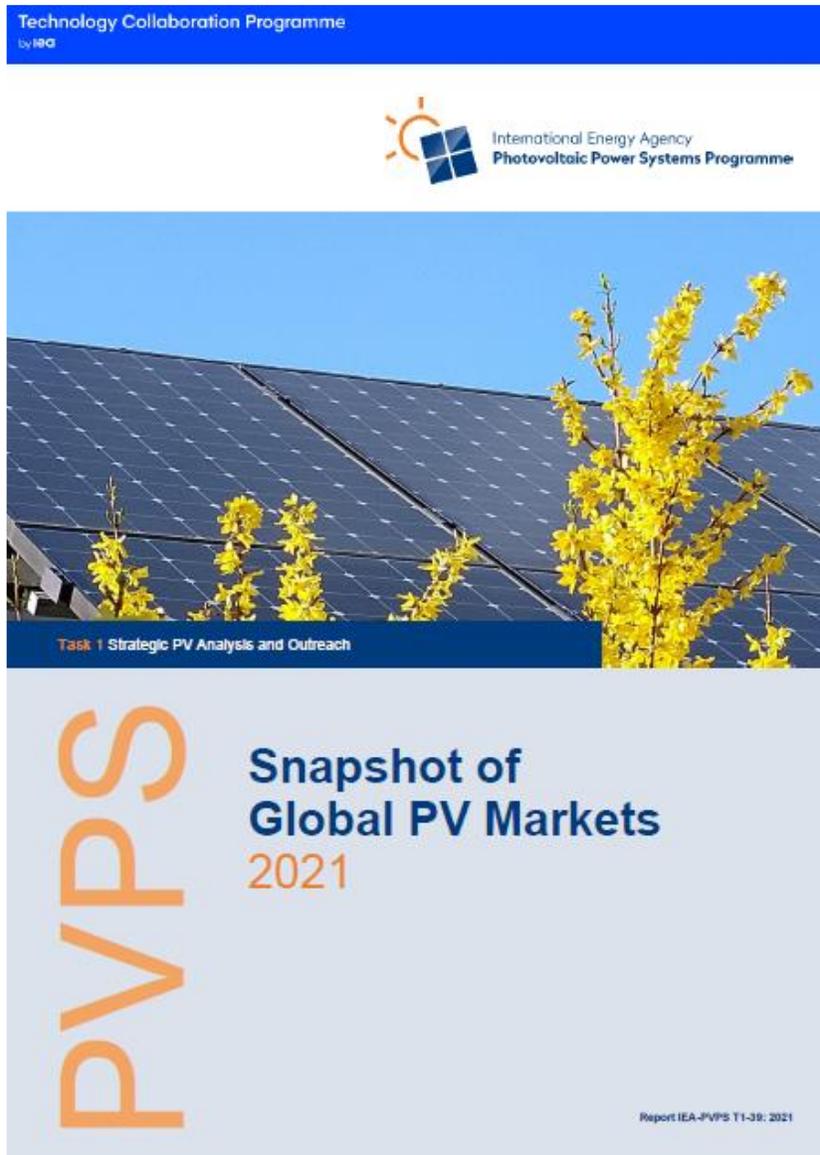


Powered by Bing
© Microsoft, OpenStreetMap

Greener

*PR = Performance Ratio

Fonte: GREENER - Estudo Estratégico Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico, 2º. Semestre 2021



https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA_PVPS_Snapshot_2021-V3.pdf

Technology Collaboration Programme
by IEA



Task 1 Strategic PV Analysis and Outreach

PVPS

Trends in Photovoltaic Applications 2021

Report IEA-PVPS T1-41:2021

https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-in-pv-applications-2021/

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

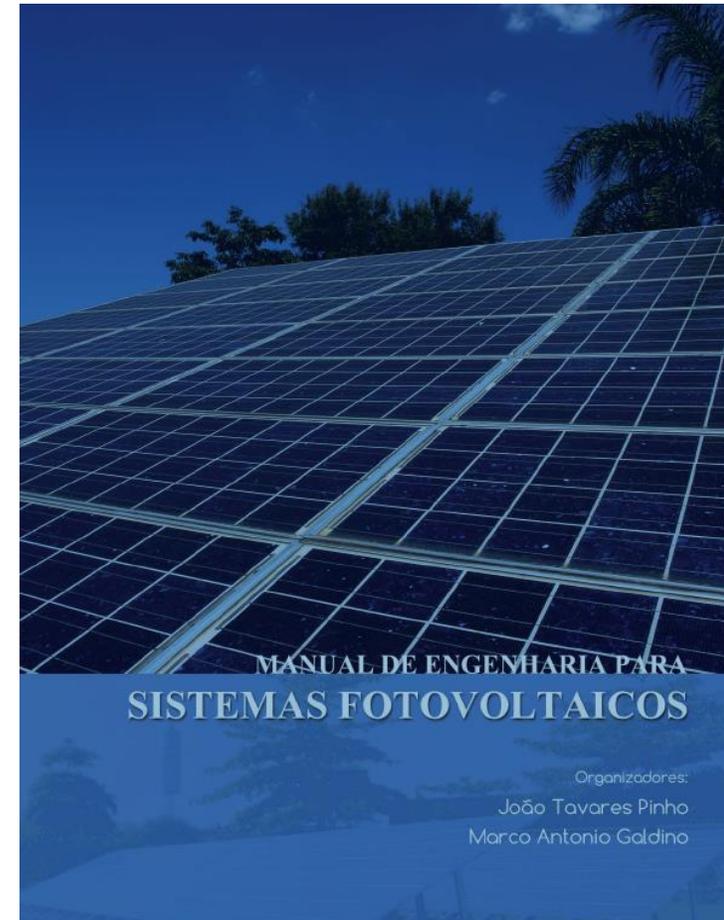
1.1 – Energia solar térmica

1.2 – Energia solar fotovoltaica

1.2.1 – História e situação atual da energia solar fotovoltaica no mundo

1.2.2 – Breve histórico da energia solar fotovoltaica no Brasil

1.3 – Referências



[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual de Engenharia FV 2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)