



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

IEE0004 – APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Aula 10 – Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Aula 10 – Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

- ✓ **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede**
- ✓ **Particularidades dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede**
- ✓ **Acondicionamento de potência em sistemas fotovoltaicos conectados à rede**

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Centrais solares



4 MW em Jaén, Espanha



42 MW em Moura, Portugal



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).



1 MWp Arena Pernambuco, NeoEnergia



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



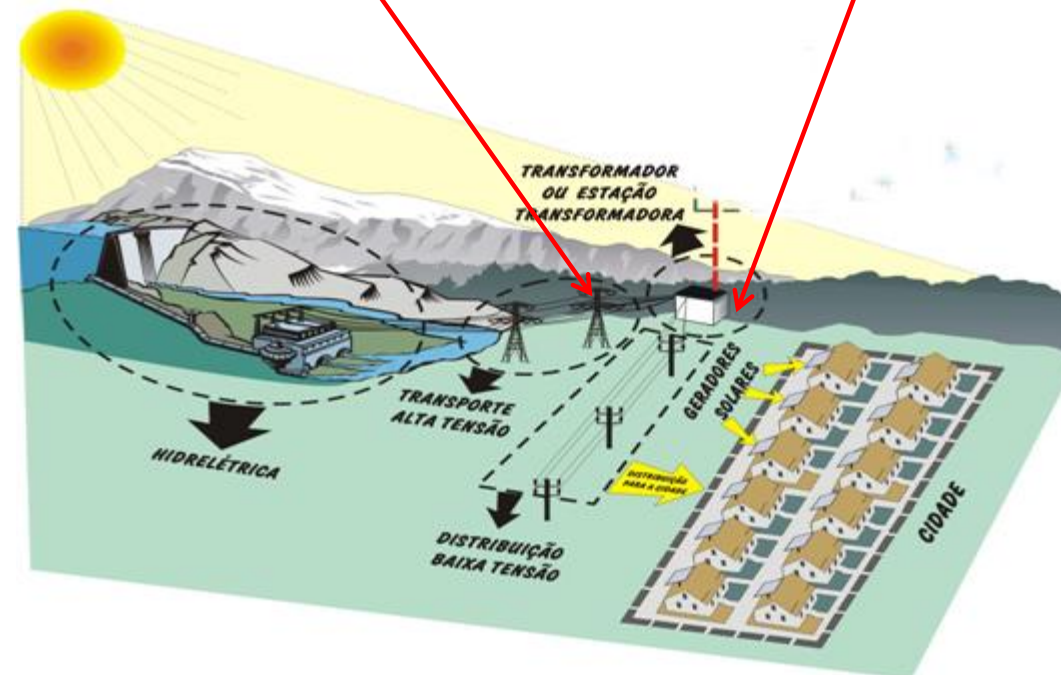
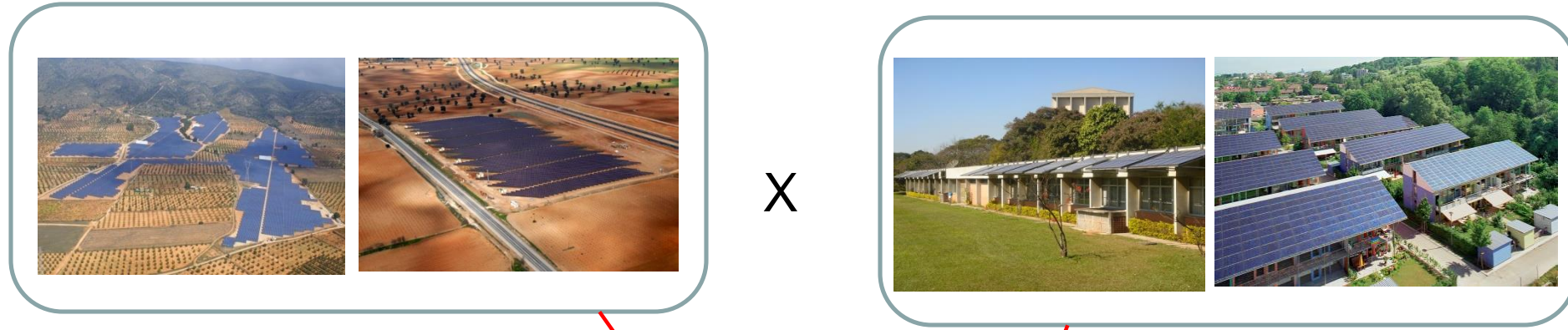
Usina de 3 MW, TRACTBEL , Tubarão, Santa Catarina (UFSC, 2014)



540 kWp, IEE-USP

Aplicações da Energia Solar Fotovoltaica

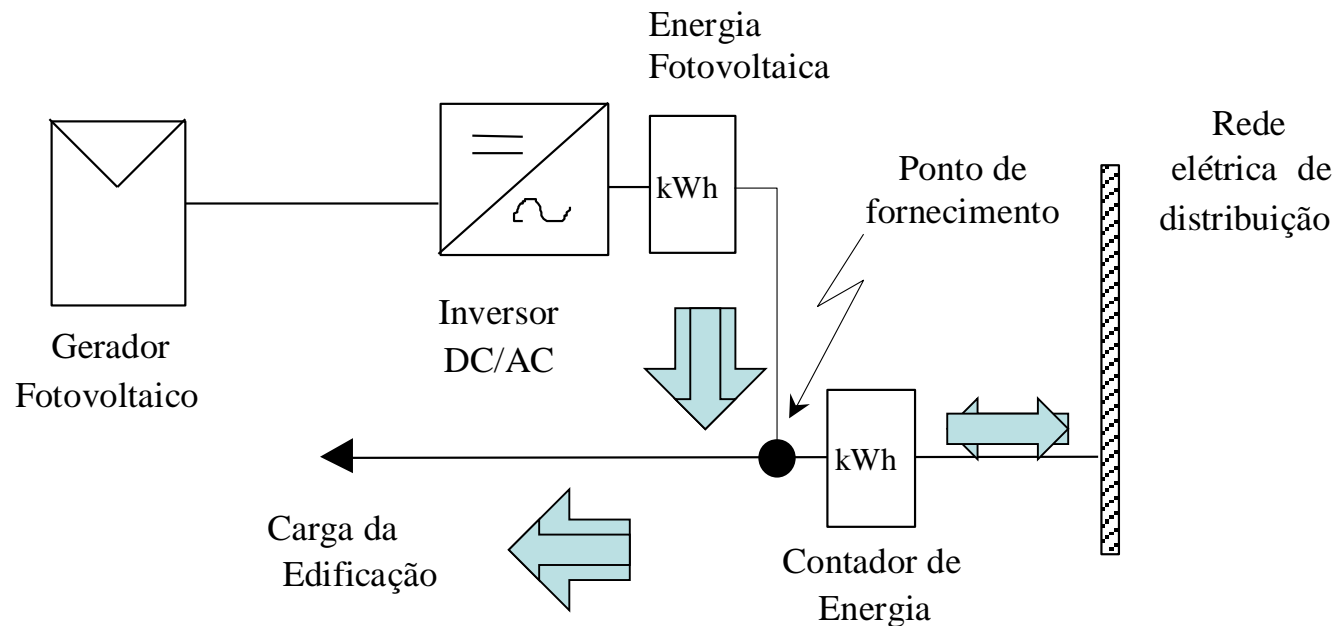
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE



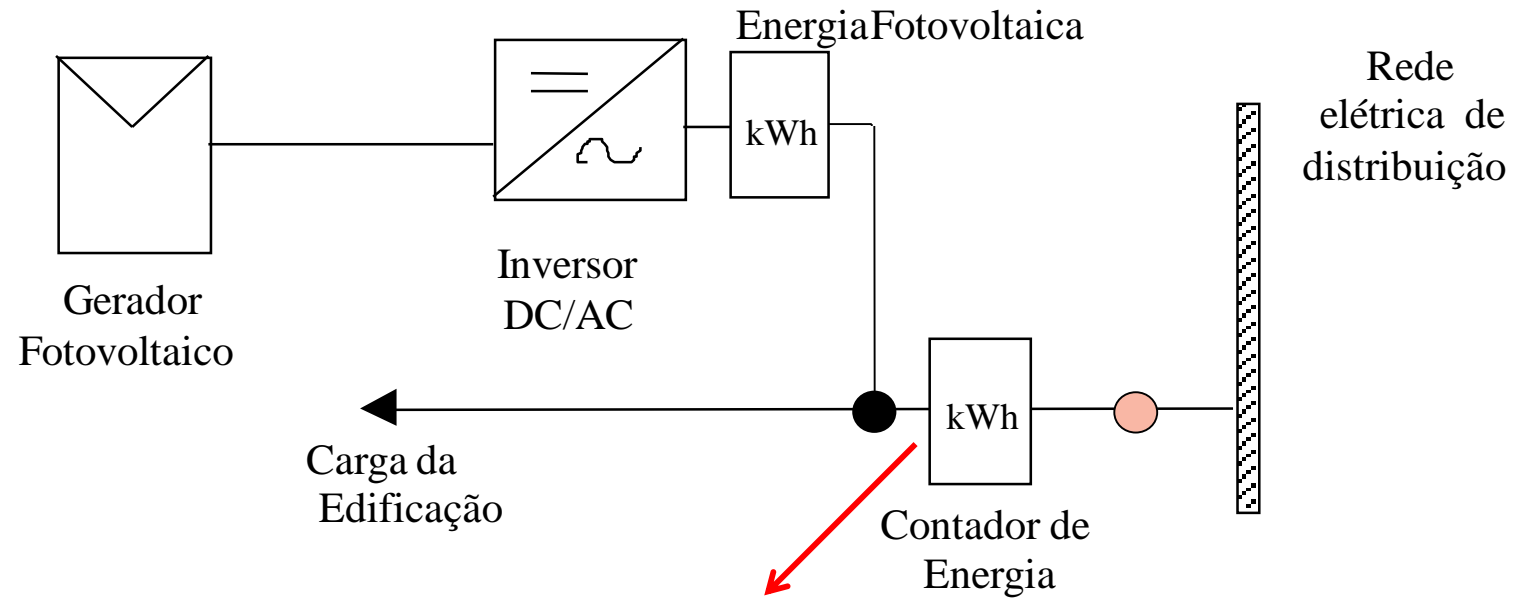
Aplicações da Energia Solar Fotovoltaica

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.

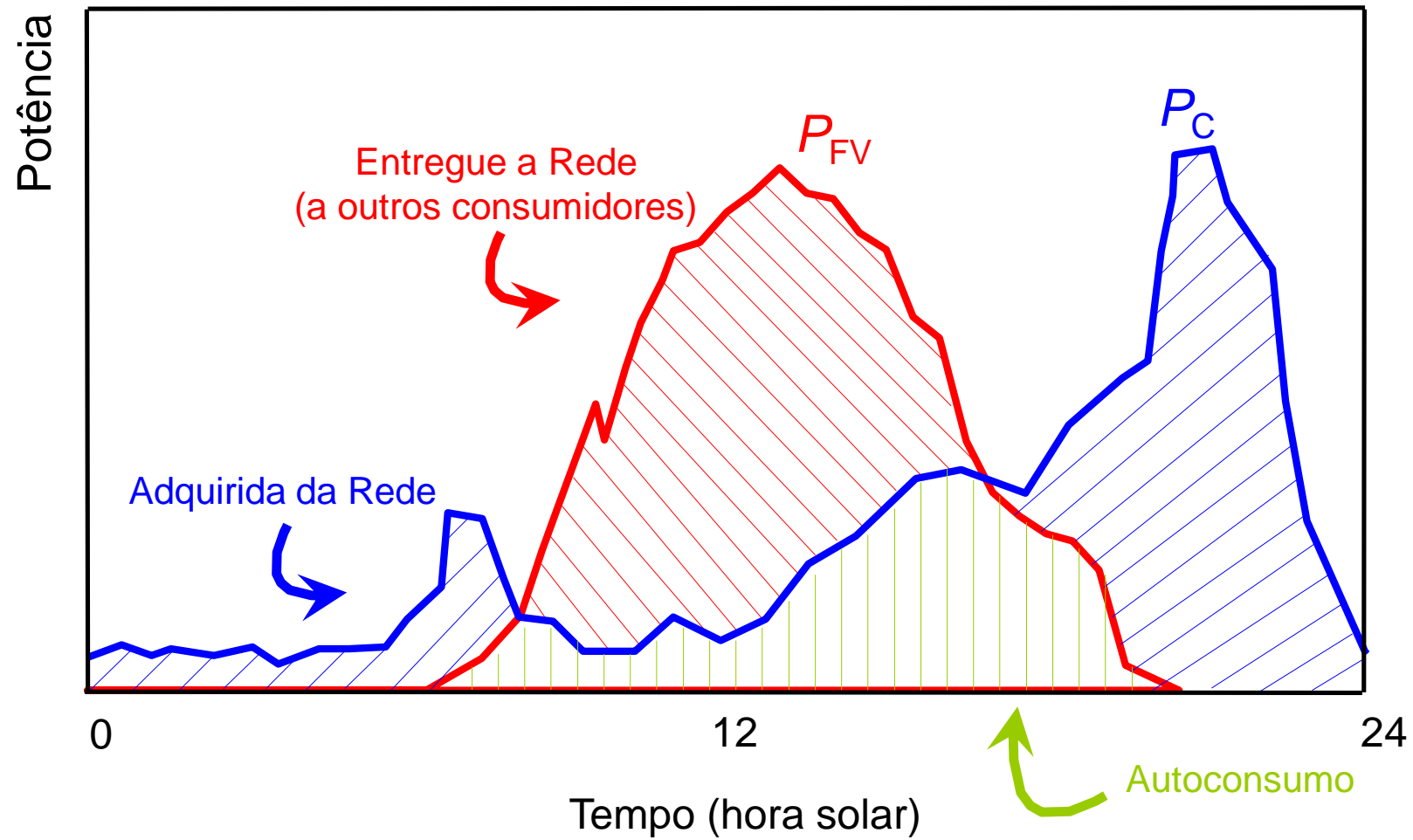


INTERAÇÃO COM A REDE ELÉTRICA



Aplicações da Energia Solar Fotovoltaica

Sistema de compensação de energia



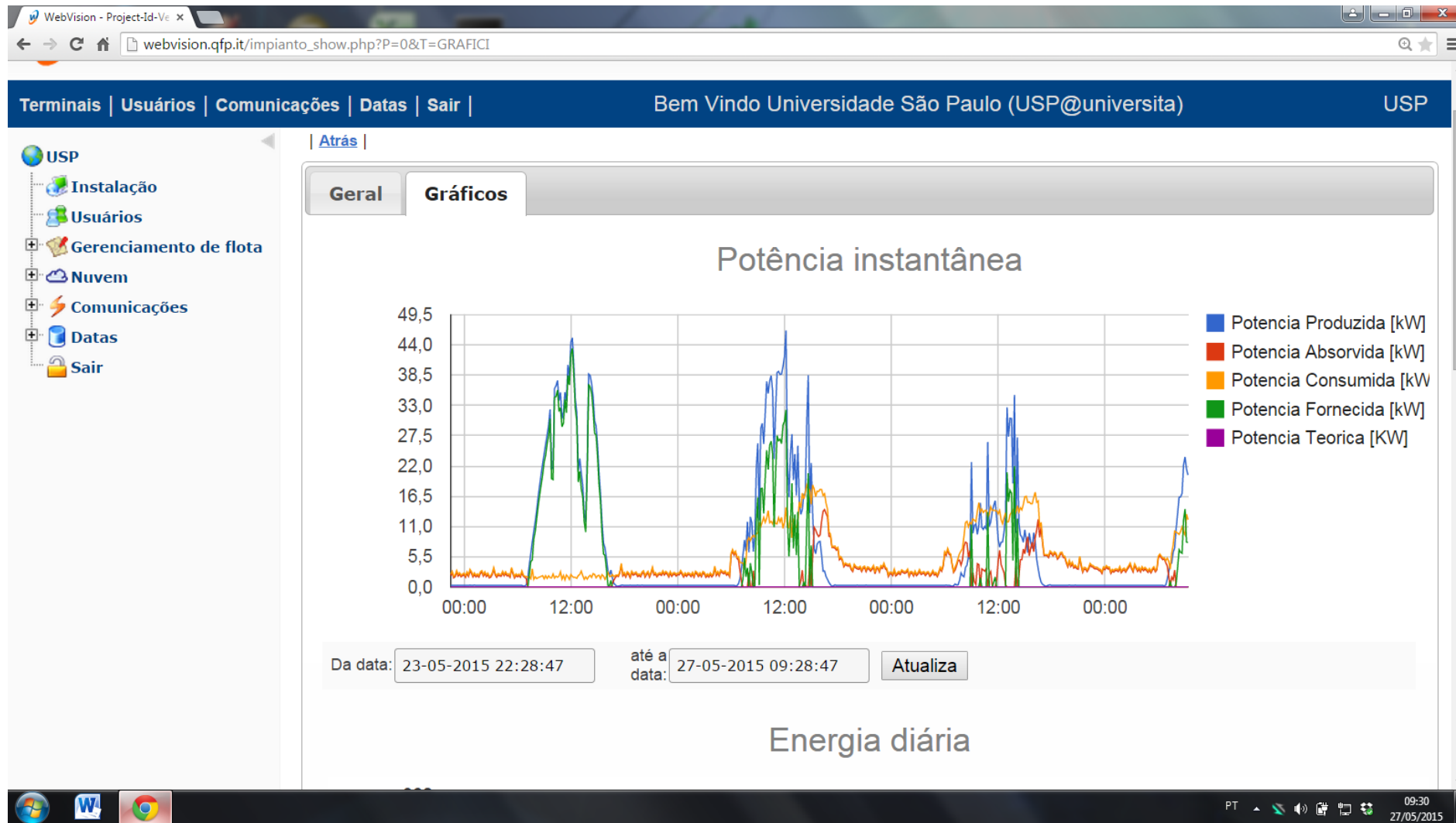
O PRÉDIO DA ADMINISTRAÇÃO DO IEE-USP



12 kWp

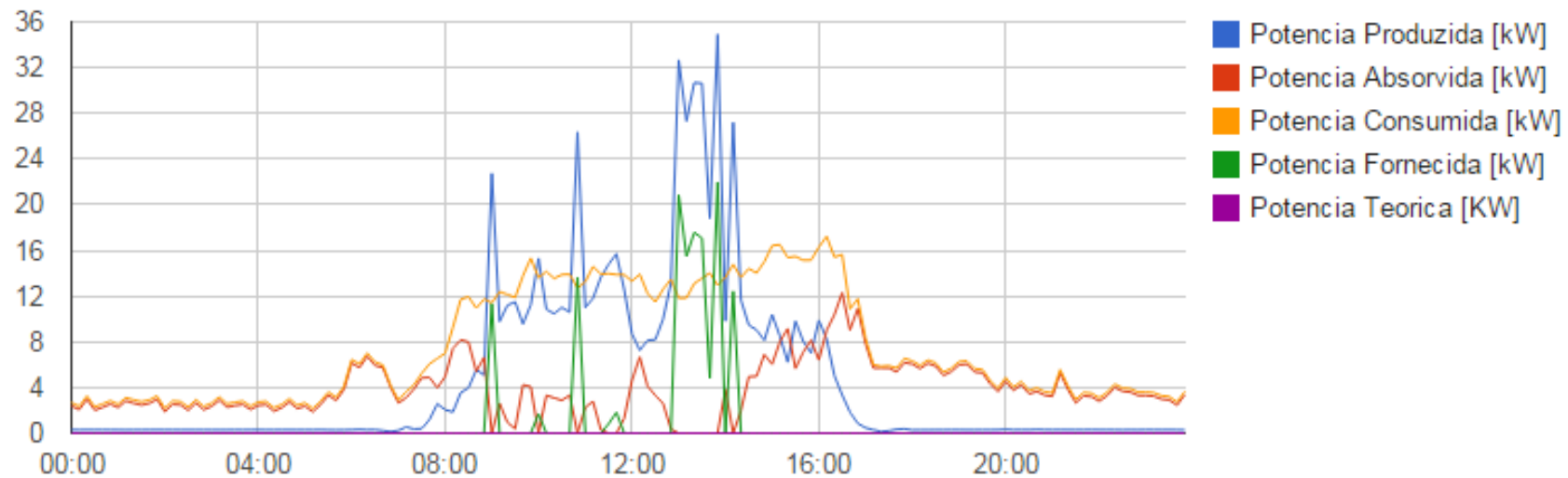


78 kWp



Potência- Dia útil

Potência instantânea



Da data: 26-05-2015 00:00:00

até a
data: 26-05-2015 23:59:59

Atualiza



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.

Particularidades

- Compensação somente na mesma área de concessão
- Prazo de 5 anos para utilização dos créditos de energia
- Compensação em postos horários diferentes considera a tarifa de energia
- Limitação da potência instalada à potência disponibilizada
- Não se aplica aos consumidores livres ou especiais
- Cobrança mínima: Custo de disponibilidade para consumidores do grupo B ou demanda contratada para consumidores do grupo A
- Adequação do sistema de medição – medidor de energia bidirecional
- Observação do Módulo 3 – Acesso ao sistema de distribuição do PRODIST

RN 482/2012 (modificada pelas RN 517/2012 e RN 687/2015)

Conceitos importantes

Microgeração: $P \leq 75 \text{ kW}$

Minigeração: $75 \text{ kW} < P \leq 5 \text{ MW (FV)}$

Empreendimento com múltiplas UC's: Condomínios

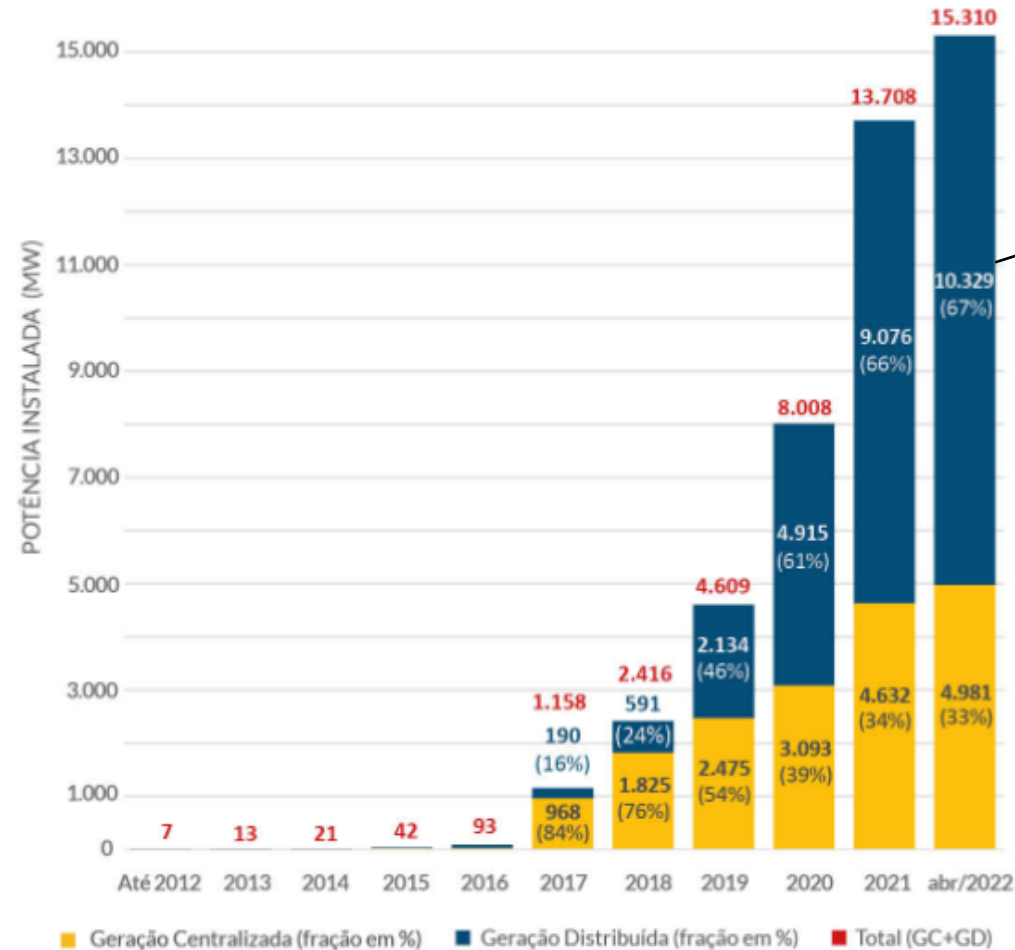
Geração compartilhada: Consórcio ou cooperativa de consumidores

Geração remota: Geração em outra UC de mesma titularidade

Geração distribuída com sistemas fotovoltaicos

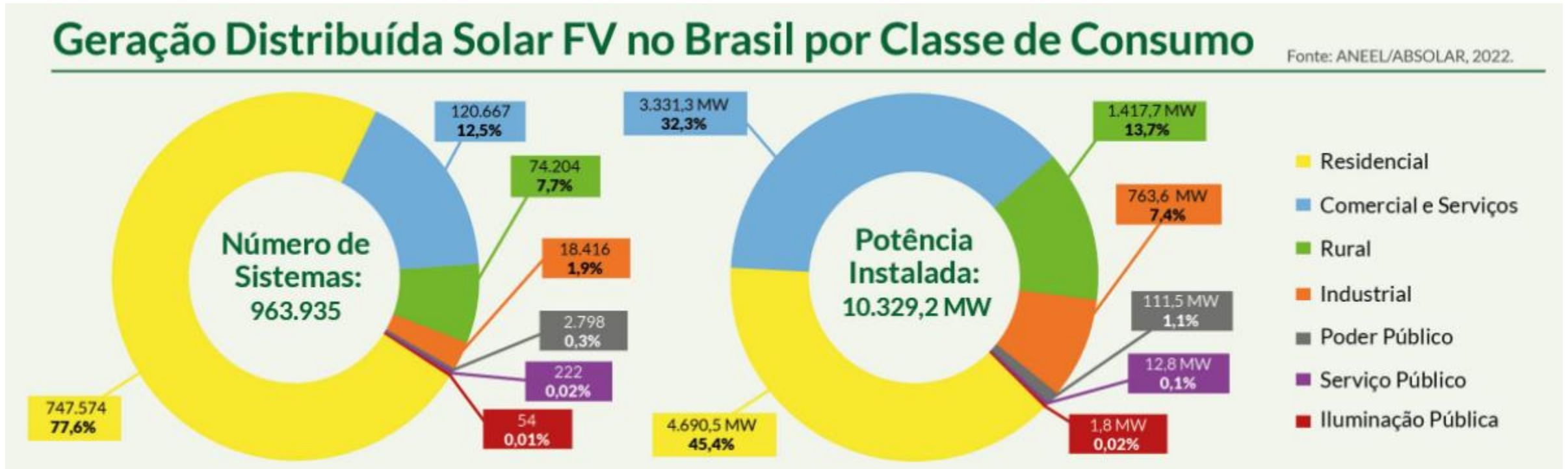
Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022.



Total = 10,3 GW (até 02/05/2022)

Geração distribuída com sistemas fotovoltaicos

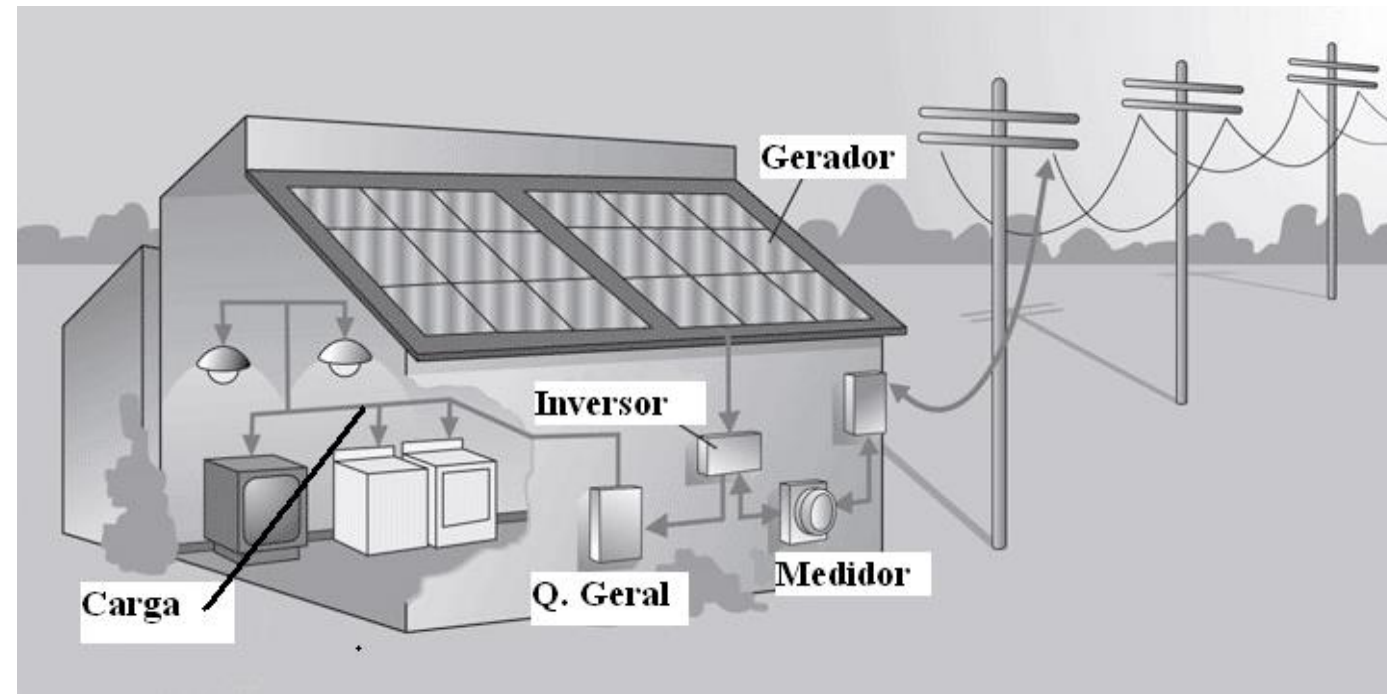


Fonte: Infográfico ABSOLAR, 43, Maio de 2022

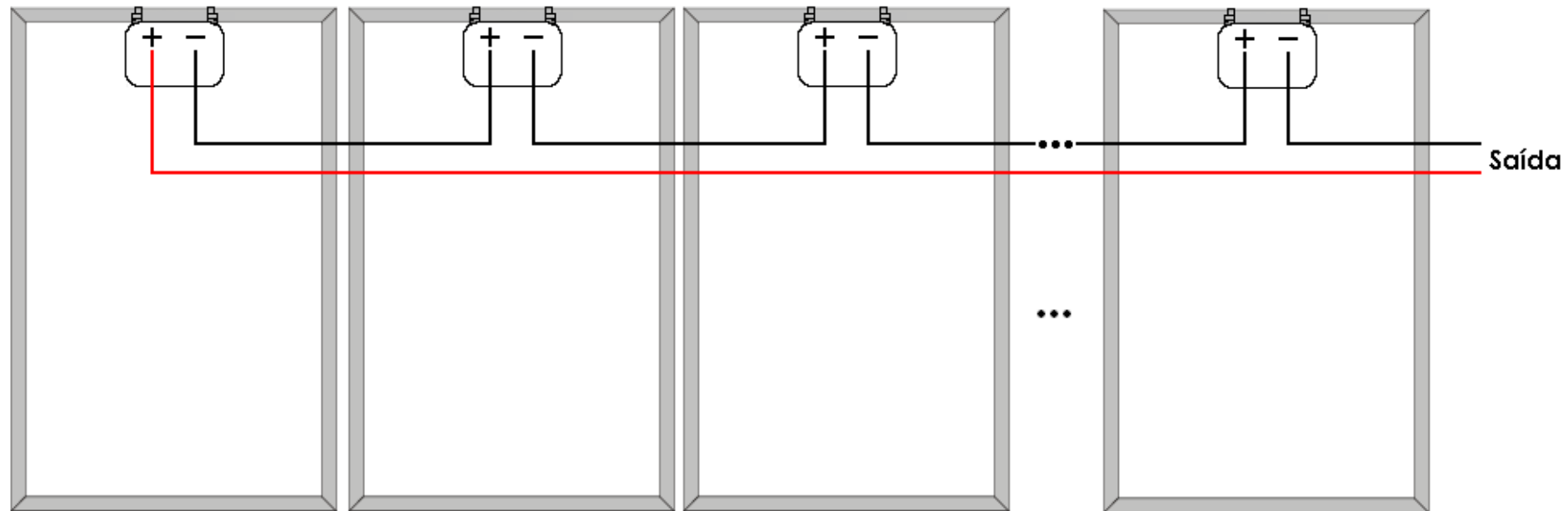
<http://www.americadosol.org/guiaFV/>

Condicionamento de potência para sistemas fotovoltaicos conectados à rede

SFCR em edificações



SFCR em uma edificação.
Fonte: MBK Solar Solutions

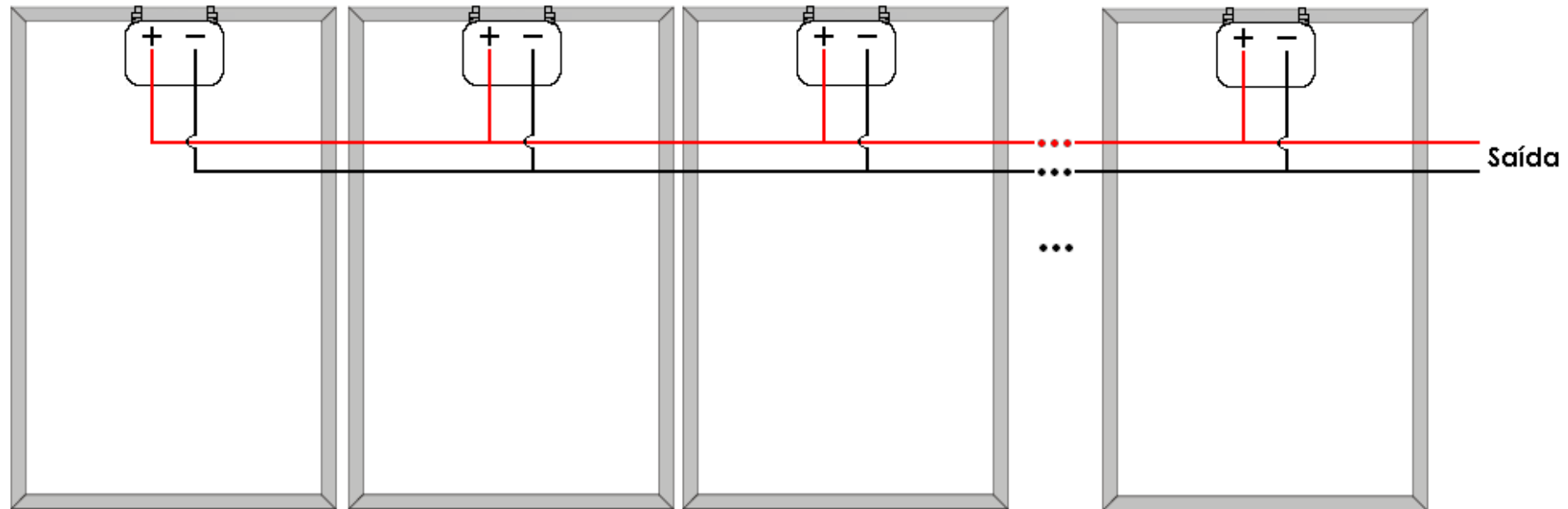
Gerador Fotovoltaico**Associação Série**

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

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

Gerador Fotovoltaico

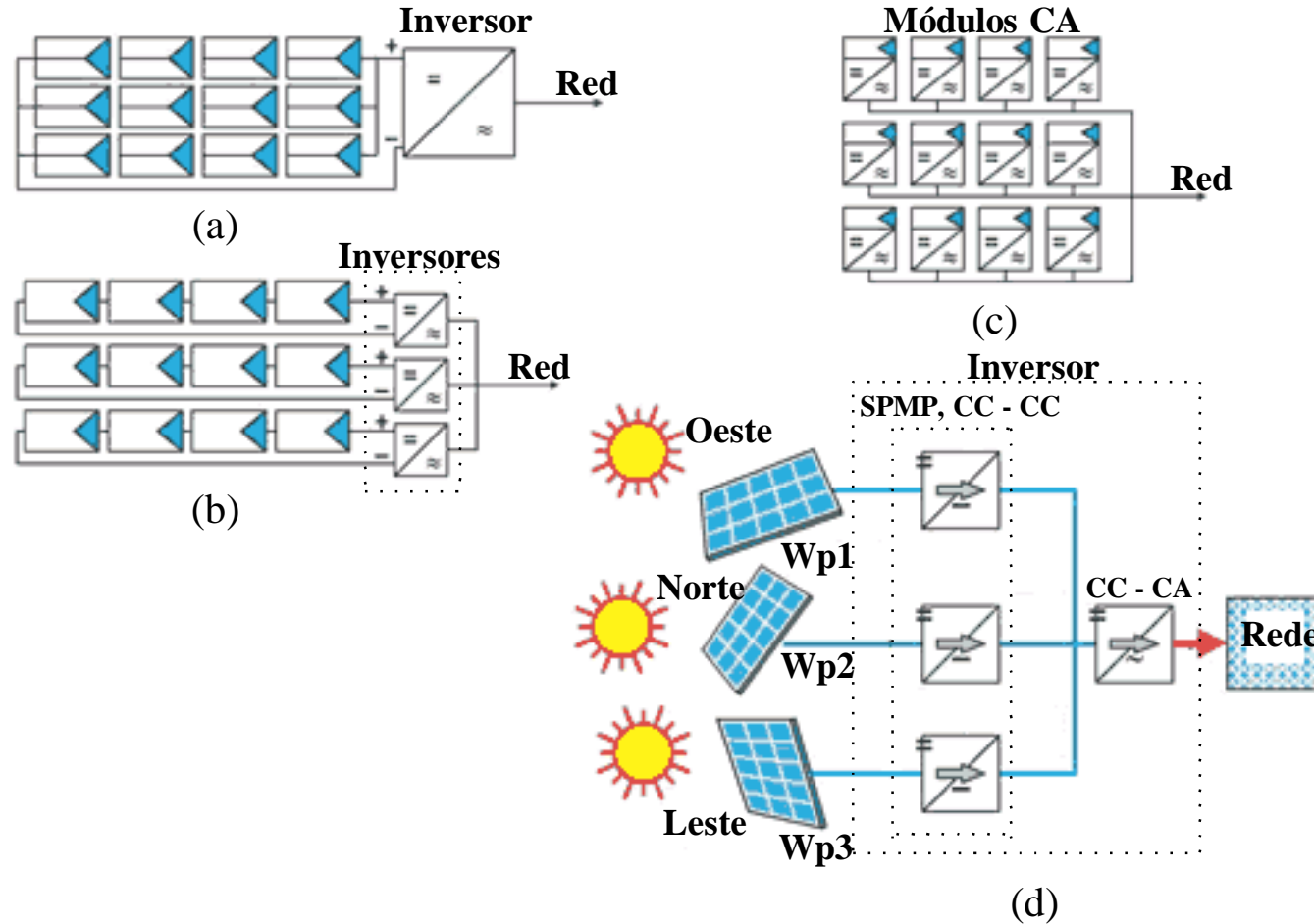
Associação Paralela



$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

- Configurações - (geradores fotovoltaicos e conversores CC/CA)

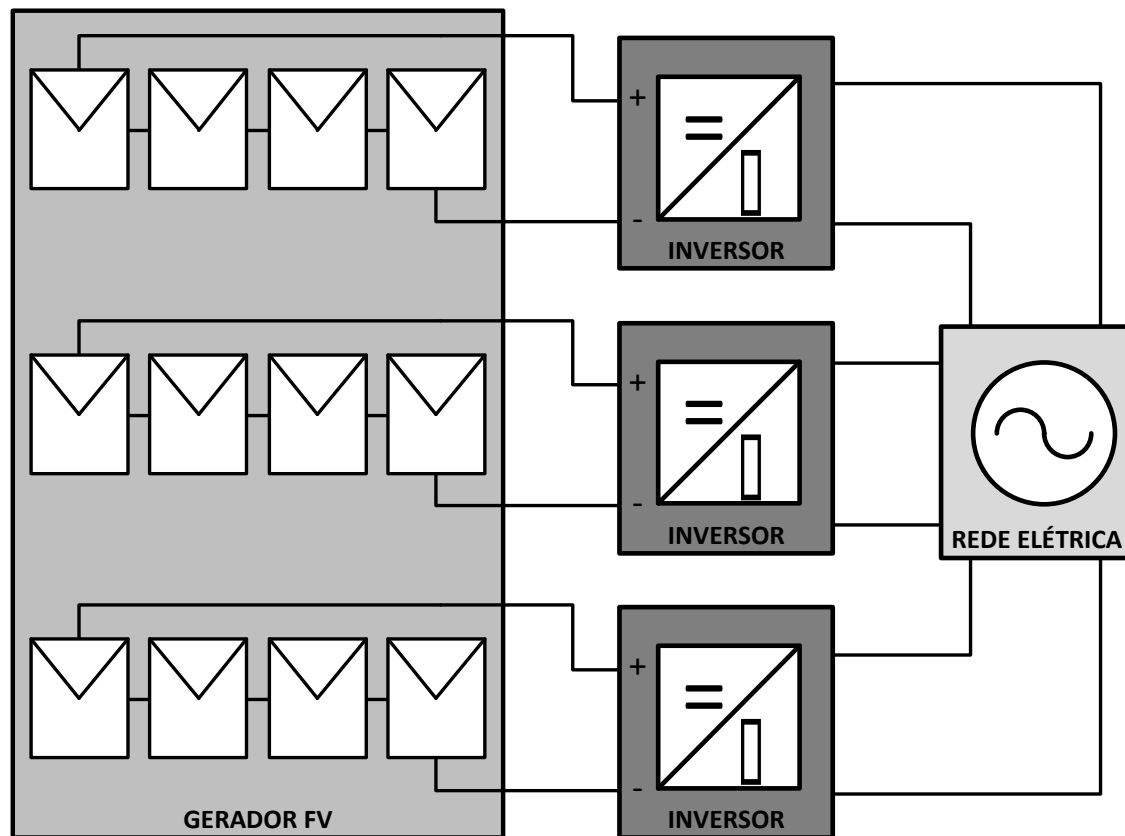


- (a) Sistemas com uma única combinação gerador-inversor centralizada;
- (b) Sistemas com varias combinações gerador-inversor descentralizadas
- (c) Módulos CA;
- (d) Sistemas com varias combinações de geradores e um único inversor centralizado

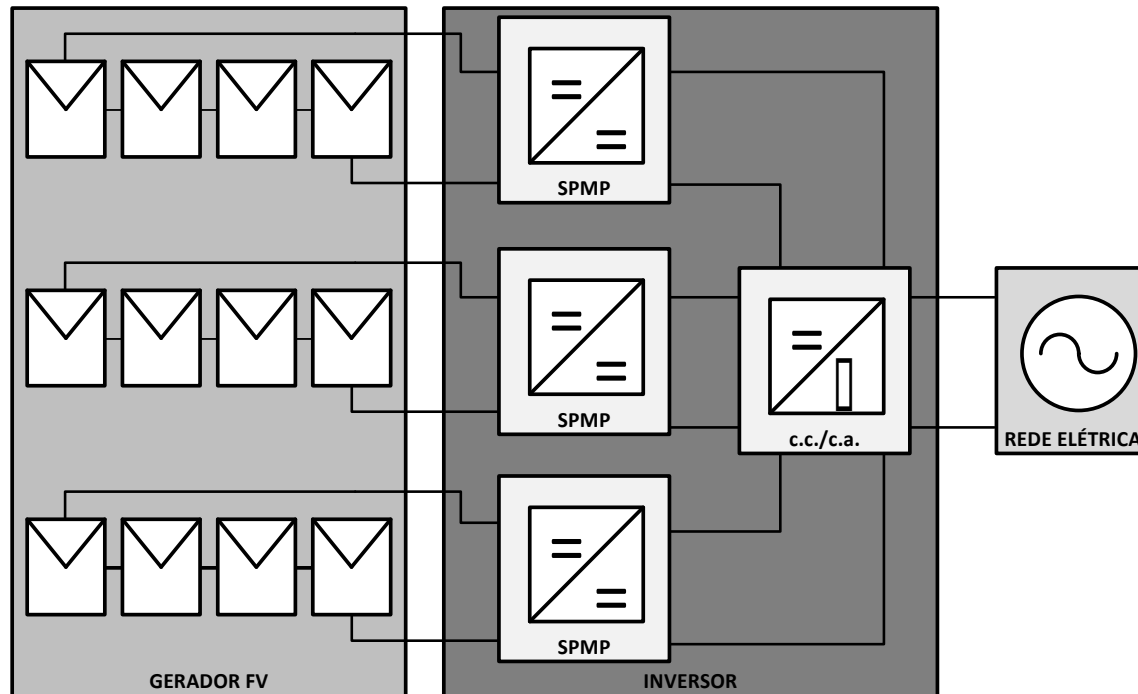
INVERSORES

- **INVERSORES E CONFIGURAÇÕES DE SISTEMAS FV:**
 - ➔ **COM TRANSFORMADOR**
 - ➔ **SEM TRANSFORMADOR**
 - ➔ **STRING**
 - ➔ **MULTISTRING**
 - ➔ **CENTRAL**
 - ➔ **MICRO INVERSOR**

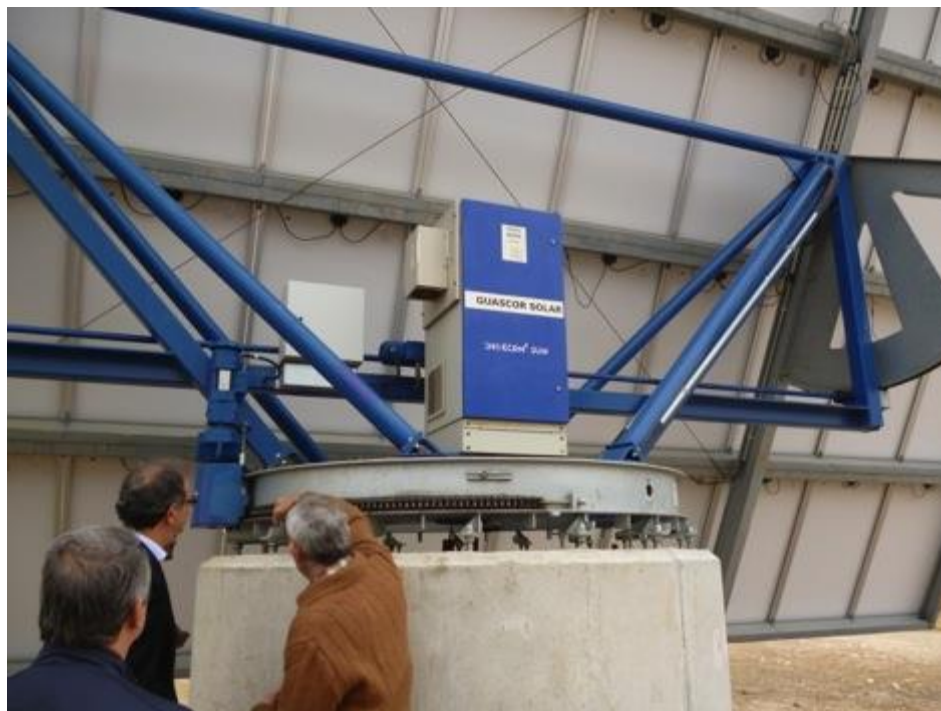
➤ INVERSORES STRING



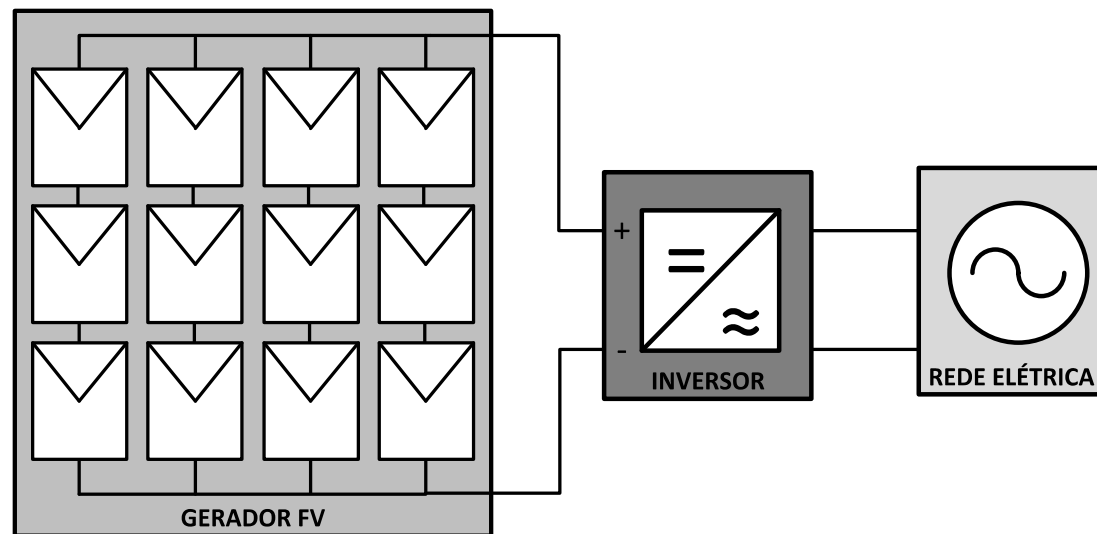
➤ INVERSORES MULTISTRING



➤ INVERSORES STRING/MULTISTRING



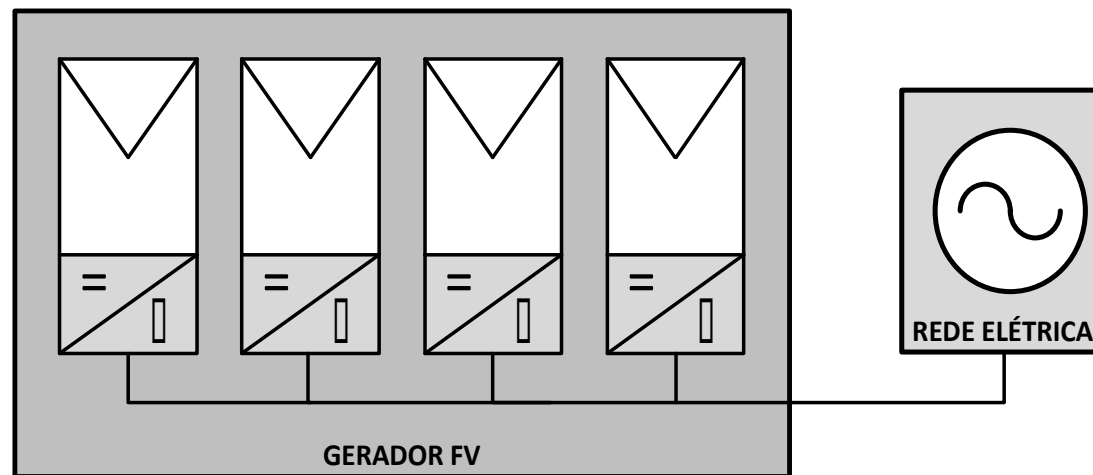
➤ INVERSORES CENTRAL



INVERSORES



➤ MICRO-INVERSOR



➤ MICRO-INVERSOR



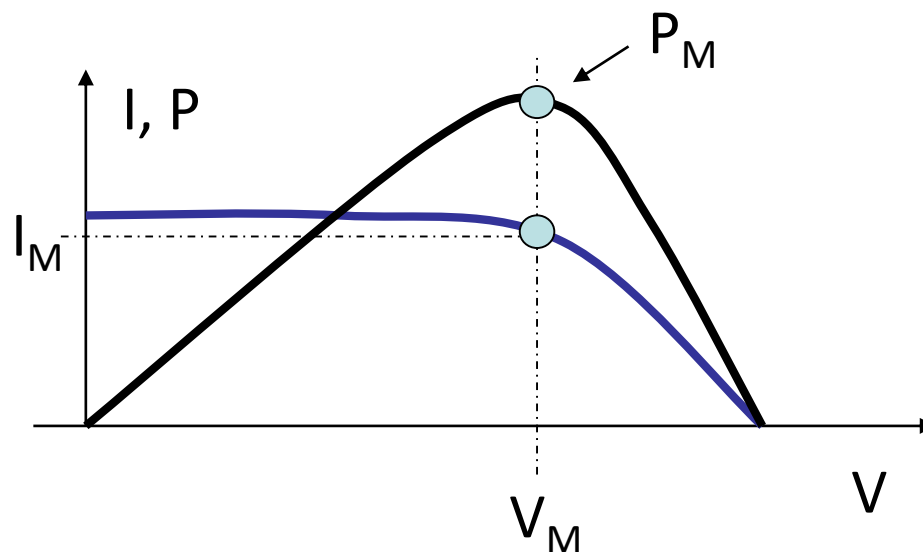
INVERSORES CONECTADOS A REDE: Parâmetros de funcionamento

Arranque e parada

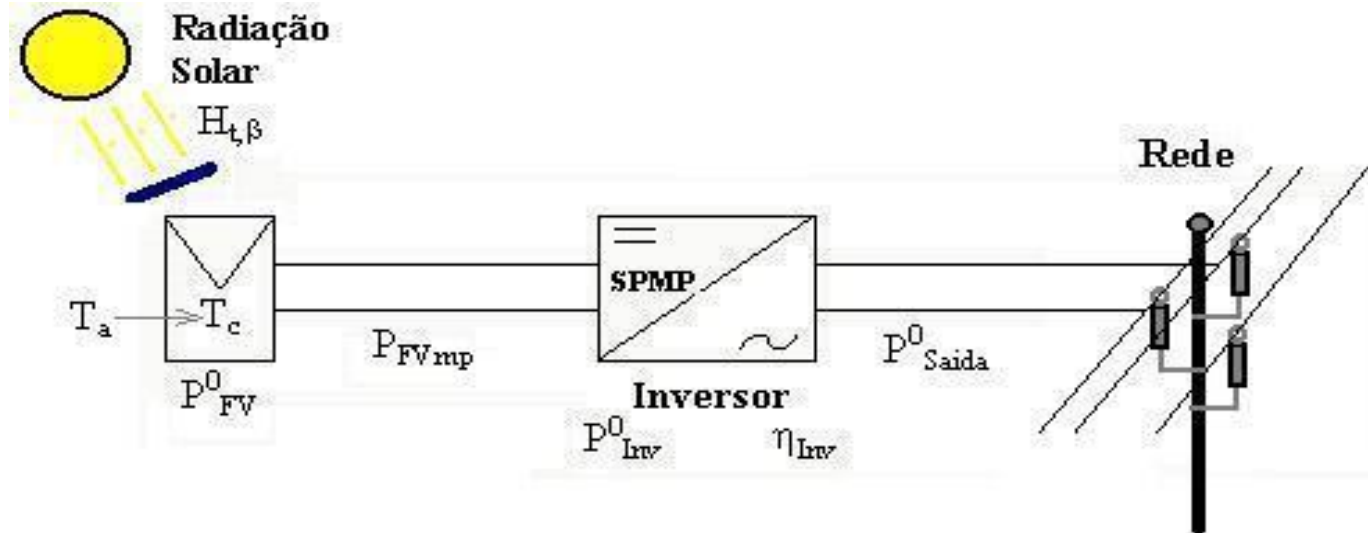
- O inversor deve entrar em operação automaticamente pela manhã quando o gerador FV disponha de potência suficiente para isto, e desconectar-se no fim do dia.

Seguimento do ponto de máxima potência

- O inversor deve assegurar que o gerador FV trabalhe sempre em seu ponto de máxima potência.



Potência nominal do inversor



- Em princípio, a potência nominal do inversor, P_{Inv}^0 , deveria ser maior ou igual que a potência nominal do gerador, P_{FV}^0
- Entretanto em instalações reais se instala, em geral, um inversor menor:

$$P_{Inv}^0 < P_{FV}^0$$

- Justificativa: se reduz o preço do sistema (inversor menor) sem afetar significativamente a produtividade do sistema.

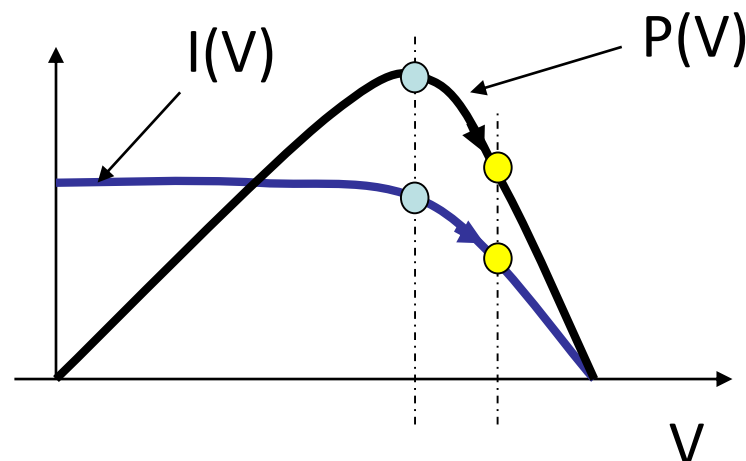
- A relação, $\frac{P_{Inv}^0}{P_{FV}^0}$, depende de:

Lugar da instalação

Inclinação e orientação do gerador FV.

Curva de rendimento do inversor.

- Se em algum momento a potência FV disponível supera a P_{NOM} (operação do inversor em sobrecarga) é conveniente que o inversor não pare e siga injetando potência à rede (em geral o faz deslocando o ponto de trabalho do gerador FV):



$$FDI = \frac{P_{Inv}^0}{P_{FV}^0} \quad (\text{fator de dimensionamento do inversor})$$

Sistemas com varias combinações gerador-inversor descentralizadas
16 kWp + 6 inversores CC/CA de 2,5 kW (15 kW)



$$FDI = \frac{P_{Inv}^0}{P_{FV}^0} = 0,93$$

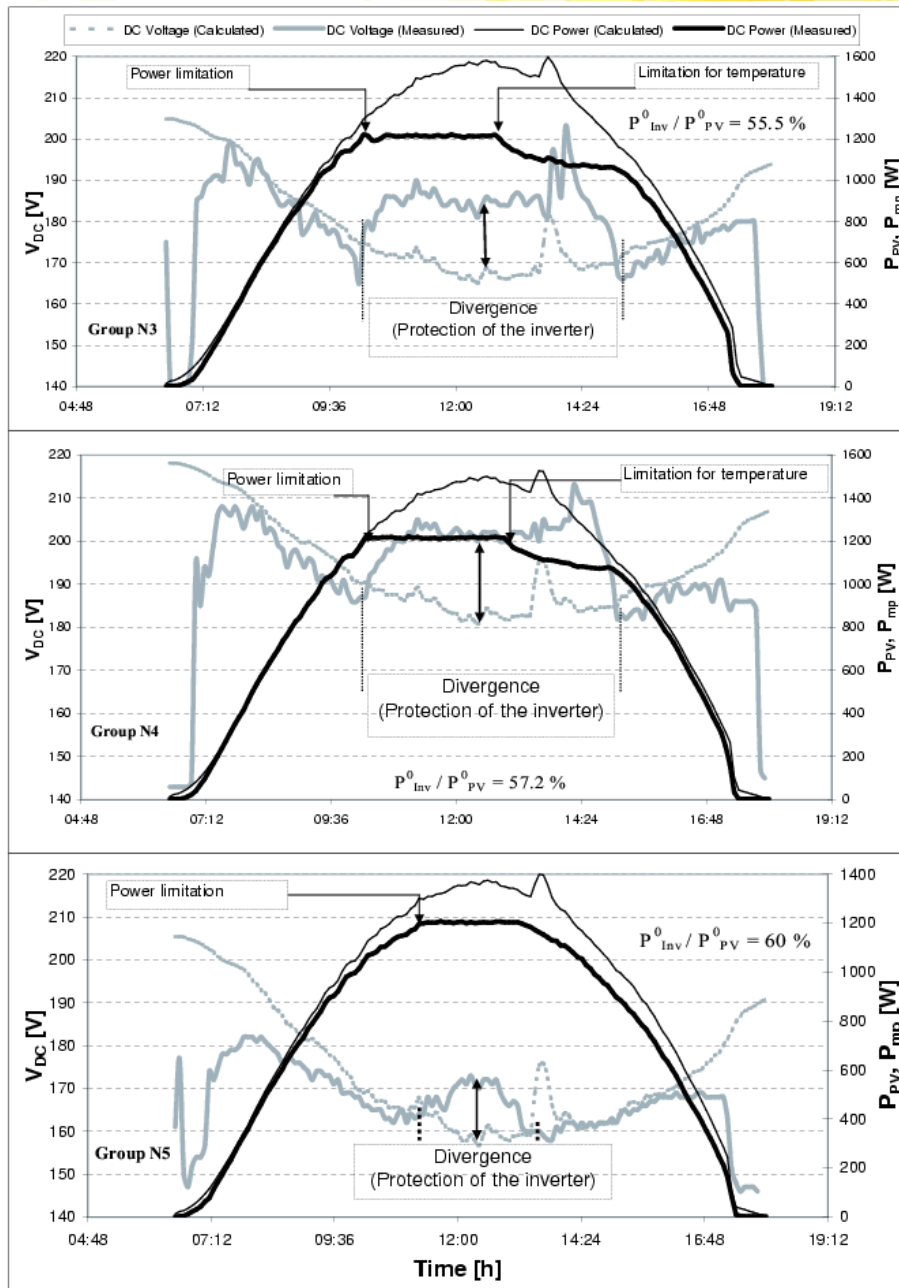
Instalação do Centro Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL-ELETROBRAS, Rio de Janeiro

12 kWp, INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, IEE-USP

12 kWp + 8 inversores CC/CA de 1,1 kW (8,8 kW)



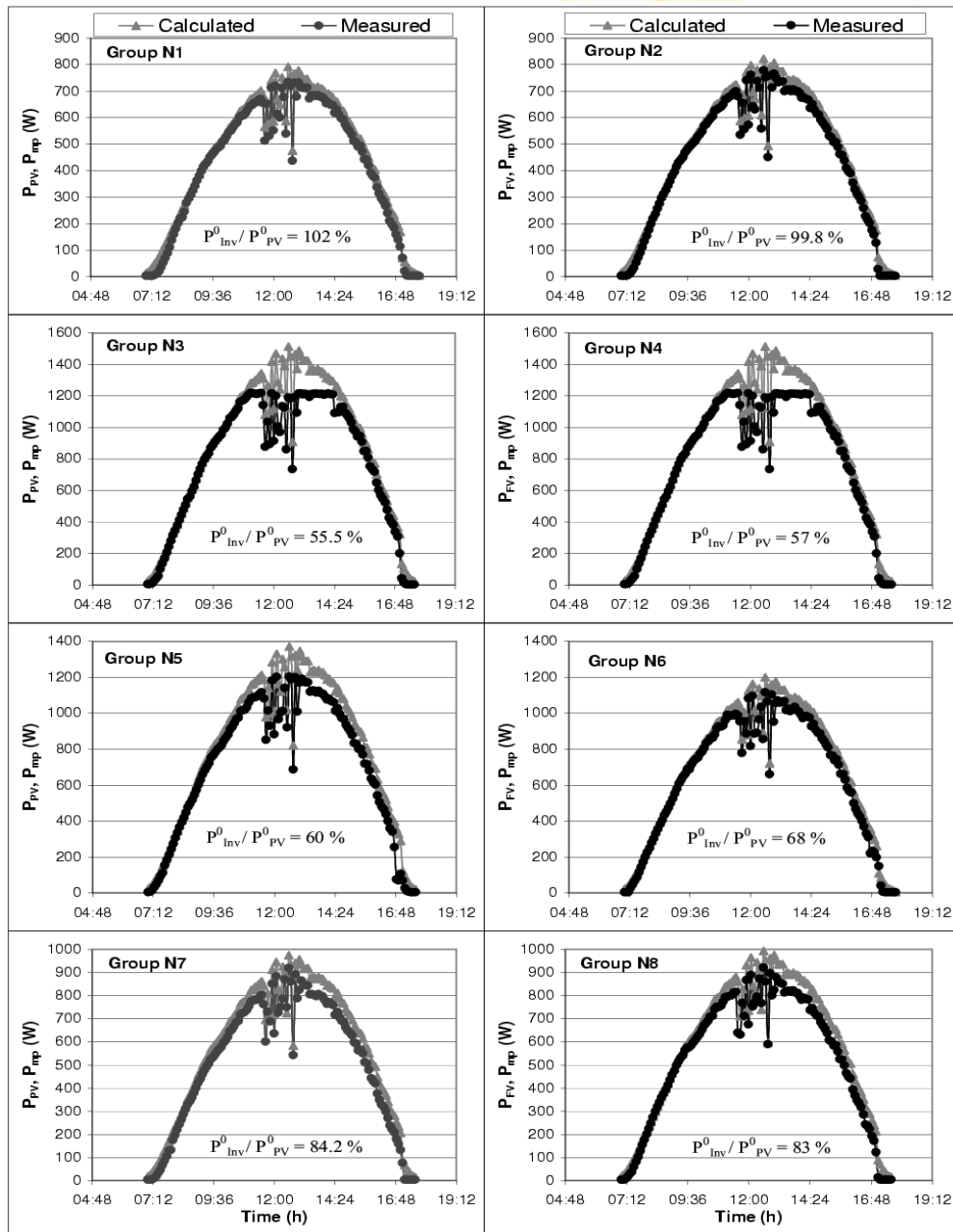
$$FDI = \frac{P_{Inv}^0}{P_{FV}^0} = 0,73$$



$$FDI = 0,55$$

$$FDI = 0,57$$

$$FDI = 0,60$$

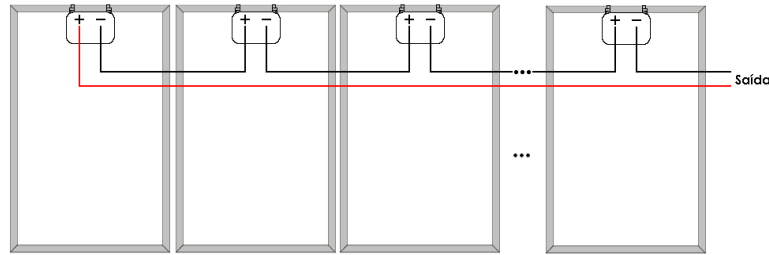


$$FDI = 1,02 \quad e \quad FDI = 0,99$$

$$FDI = 0,55 \quad e \quad FDI = 0,57$$

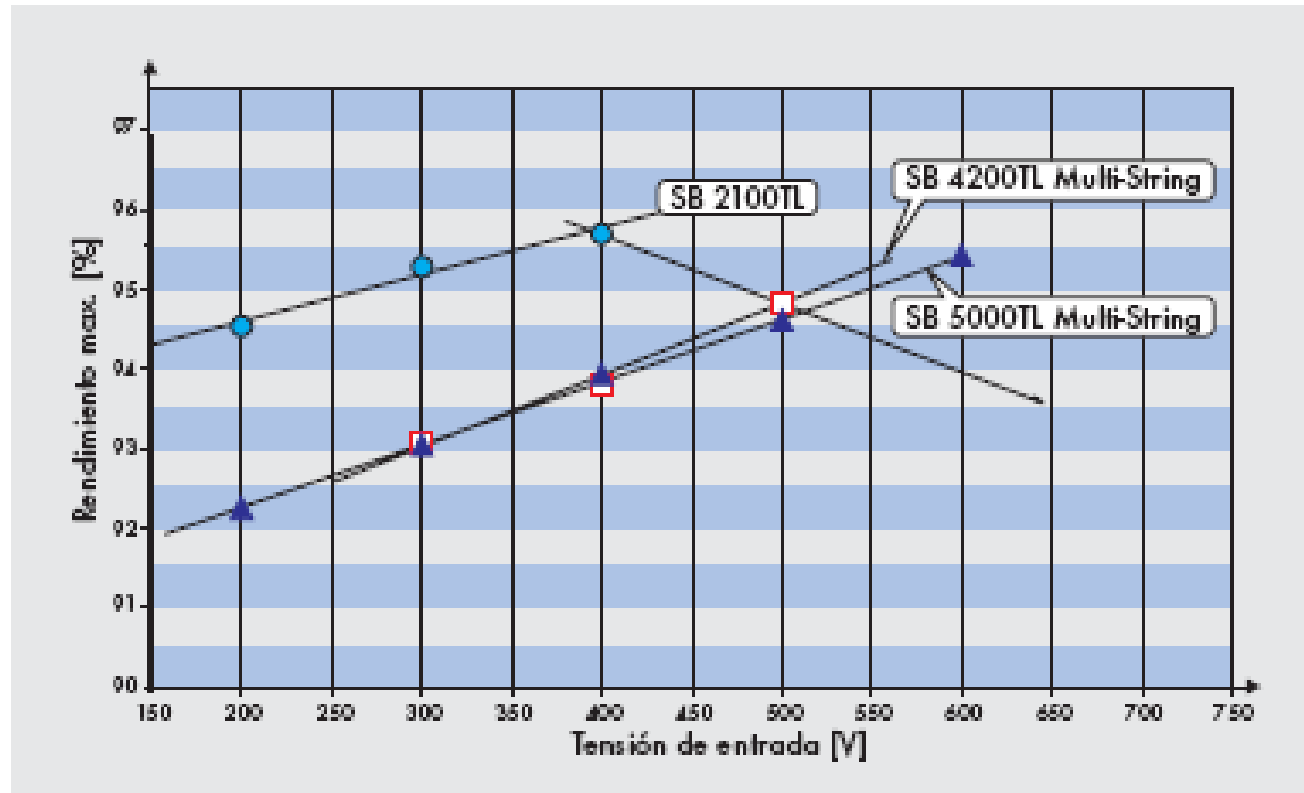
$$FDI = 0,60 \quad e \quad FDI = 0,68$$

$$FDI = 0,84 \quad e \quad FDI = 0,83$$



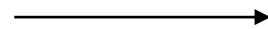
$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$



Modelo	PHB1500-NS	PHB3000-NS	PHB5000D-NS
Dados da Entrada CC			
Max. Potência Fotovoltaica[W]	1950	3900	6500
Max. Tensão CC [V]	450	500	580
Faixa de Operação SPMP (MPPT) [V]	80~400	80~450	125~550
Tensão CC de Partida [V]	80	80	120
Corrente CC Máxima [A]	10	15	11/11
N° Strings / MPPT	1/1	1/1	2/2
Conector CC	MC4 / Phoenix / Amphenol		
Consumo em Standby [W]	5		
Dados da Saída CA			
Potência CA Nominal [W]	1500	3000	5000
Max. Potência CA [W]	1500	3000	5000
Max. Corrente CA [A]	7.5	13.5	22.8
Saída Nominal CA	60Hz; 220Vca		
Faixa de Operação CA	57.5~62Hz; 176~242Vca		
THD	<5%		
Fator de Potência	Unitário		0.95 indutivo...0.95 capacitivo
Conexão CA	Monofásica / Bifásica		
Eficiência			
Max. Eficiência	97.0%	97.5%	97.8%
Eficiência SPMP (MPPT)	>99.9%	>99.9%	>99.9%

Ler seção 5.5



5.5 – Sistemas conectados à rede

5.5.1 – Micro e minigeração fotovoltaica

5.5.1.1 – *Medição bidirecional de registros independentes*

5.5.1.2 – *Medições simultâneas*

5.5.2 – Sistemas fotovoltaicos integrados a edificações

5.5.3 – Usinas fotovoltaicas (UFVs)

