



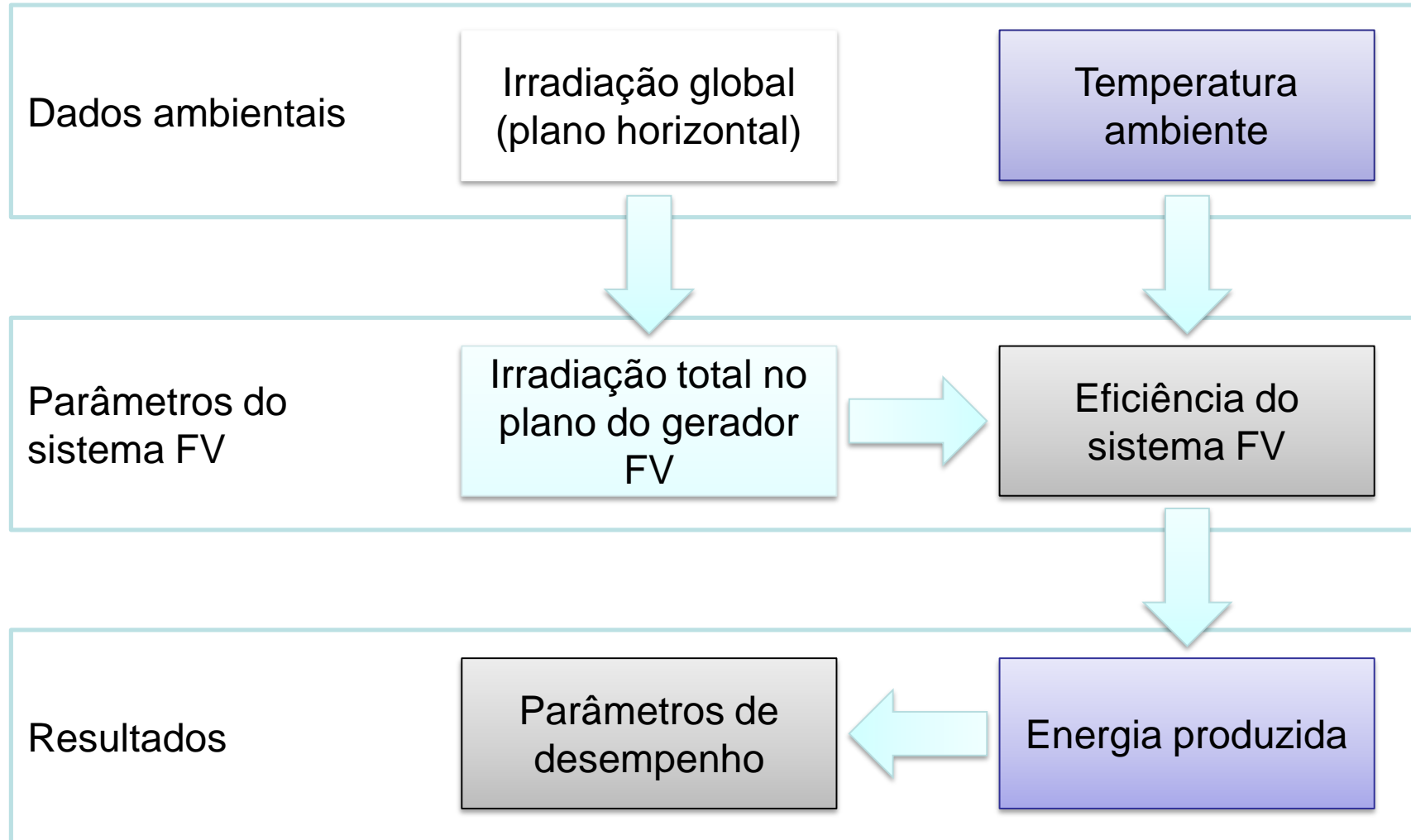
LABORATÓRIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

IEE0004 - APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

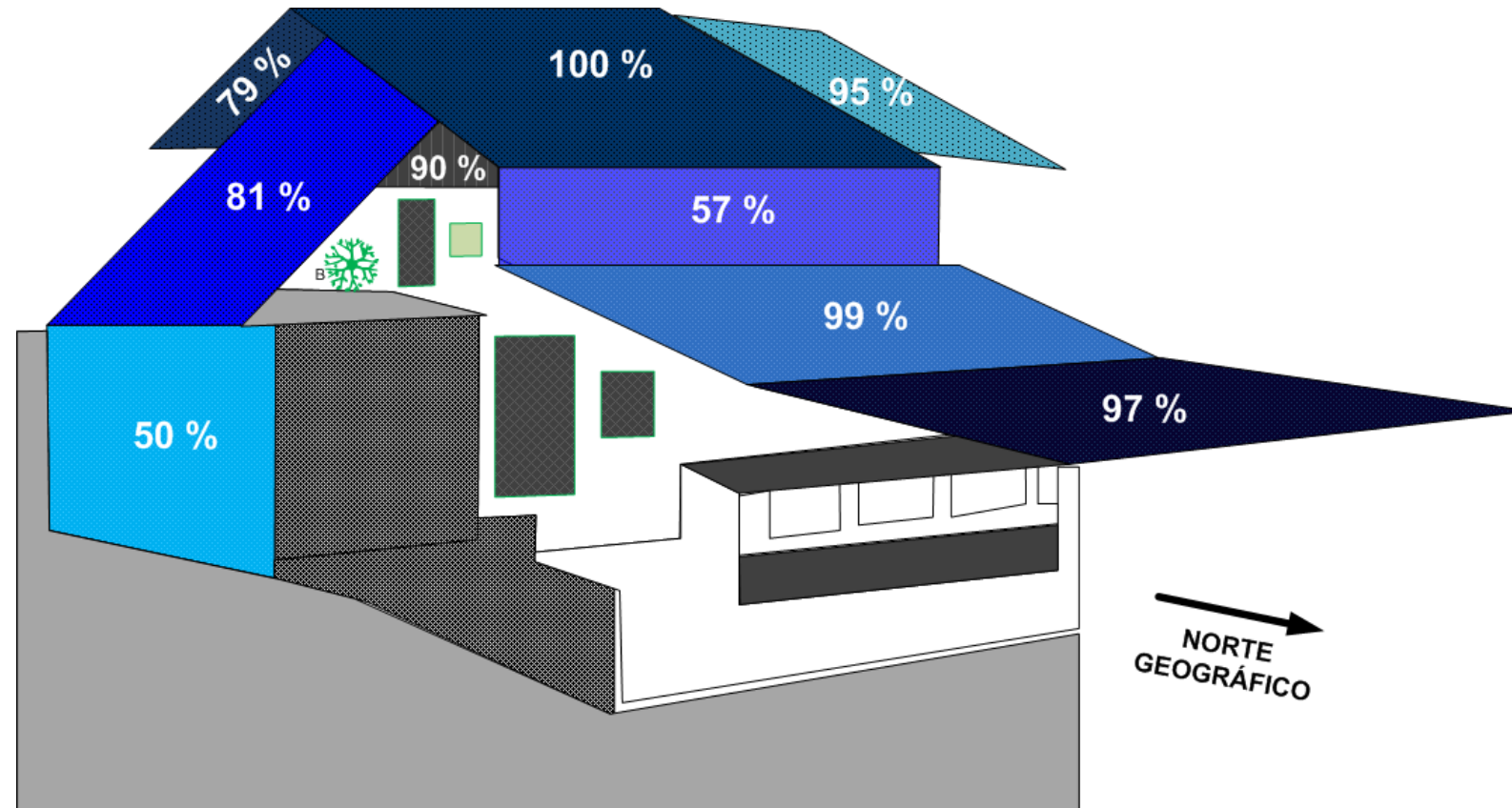
Aula 11 – Estimação da energia produzida por um SFCR

Roberto Zilles
zilles@iee.usp.br

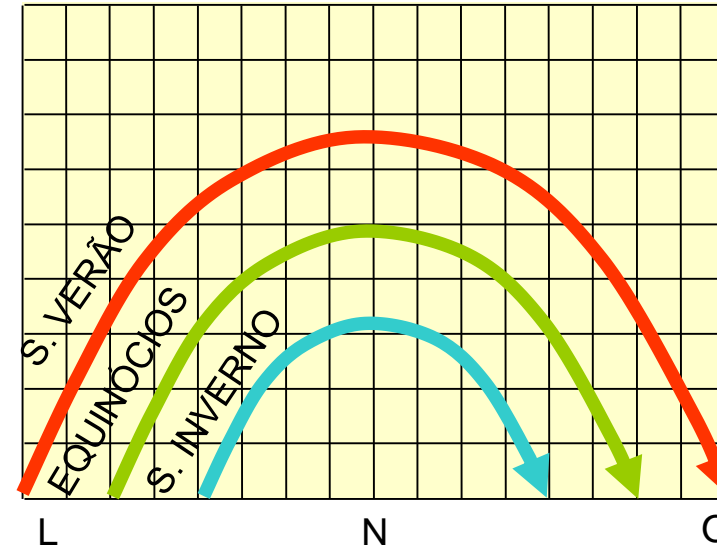
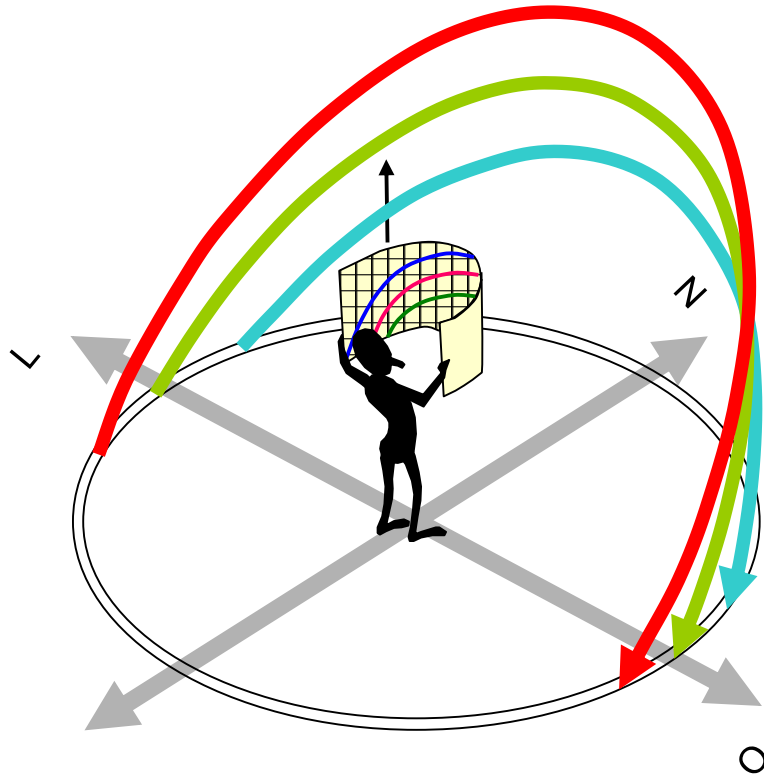
Previsão da Produção de Energia



? Percentagem de captação sobre o máximo possível em função da situação do gerador fotovoltaico integrado em alguma parte da edificação (inclinação e orientação) ?

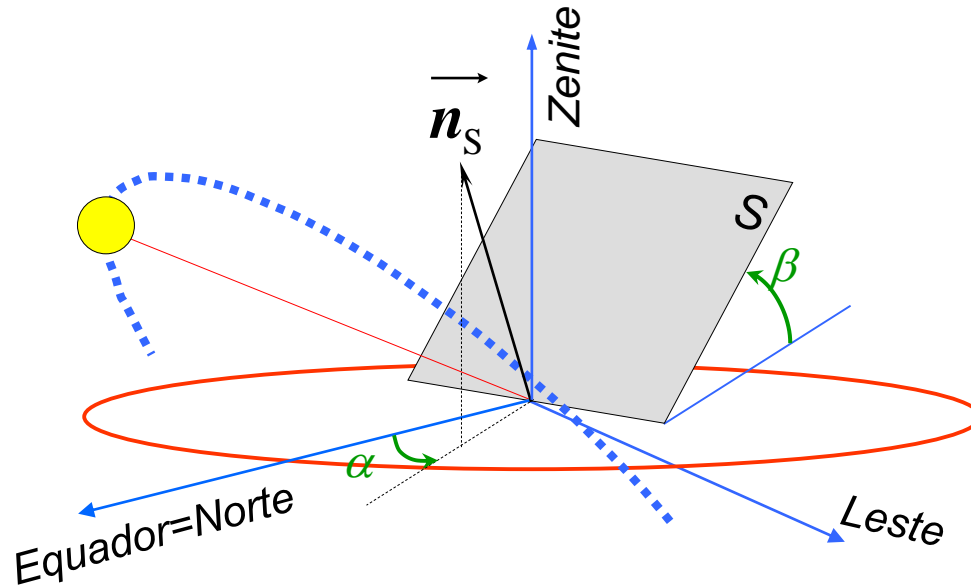


- Solstício de verão (Dezembro)
- Equinócios de Primavera e Outono (Setembro/Março)
- Solstício de inverno (Junho)



Superfícies potencialmente utilizáveis

Posicionamento de um gerador fotovoltaico



α = azimute da superfície de captação S

β = inclinação da superfície

n_s = normal a superfície

SUPERFICIE ÓTIMA (Máxima captação anual, superfície fixa):

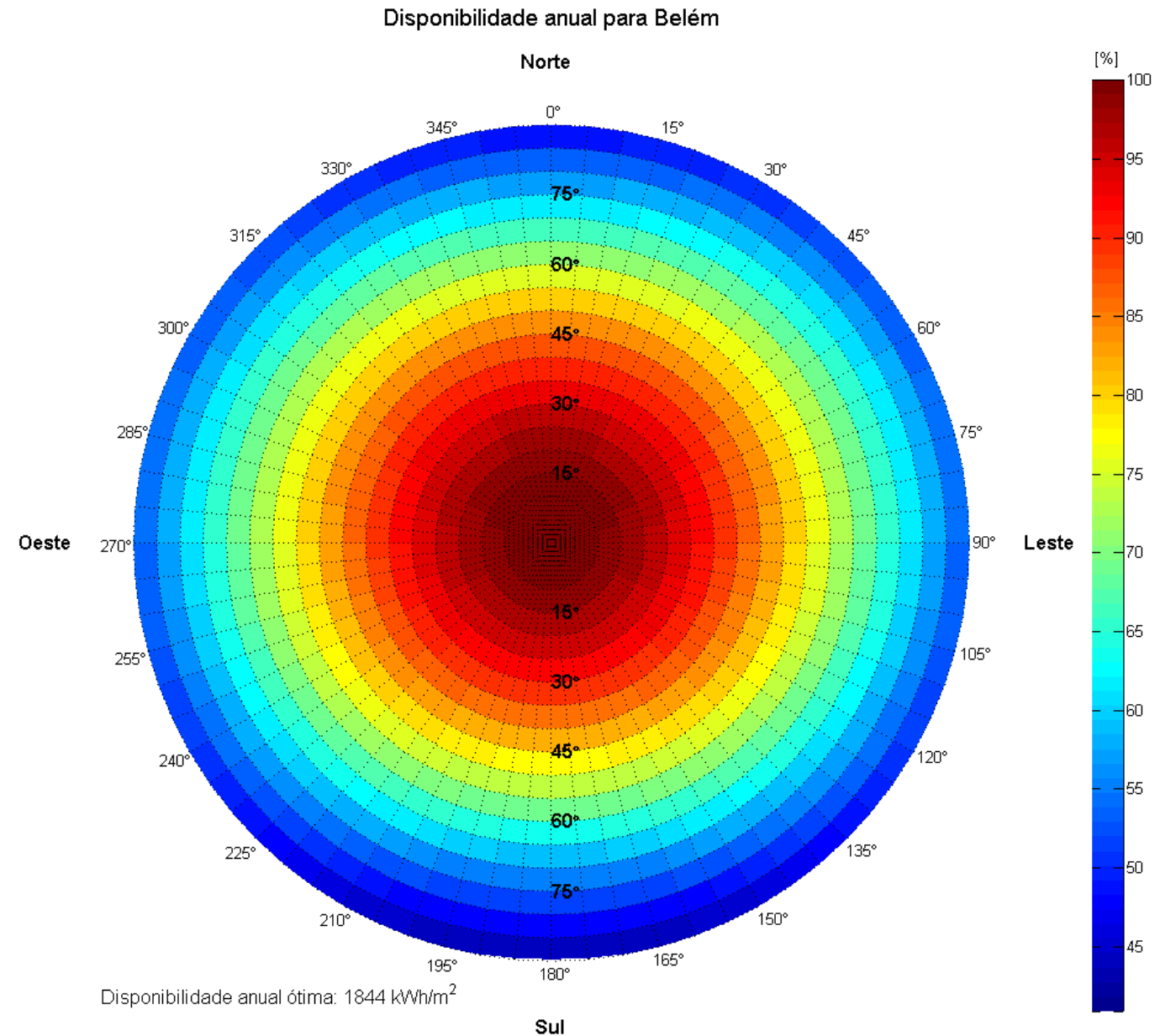
$$\alpha_{\text{opt}} = 0^\circ \text{ (orientação norte)}$$

$$\beta_{\text{opt}} = \phi(^{\circ})$$

ϕ : Latitude

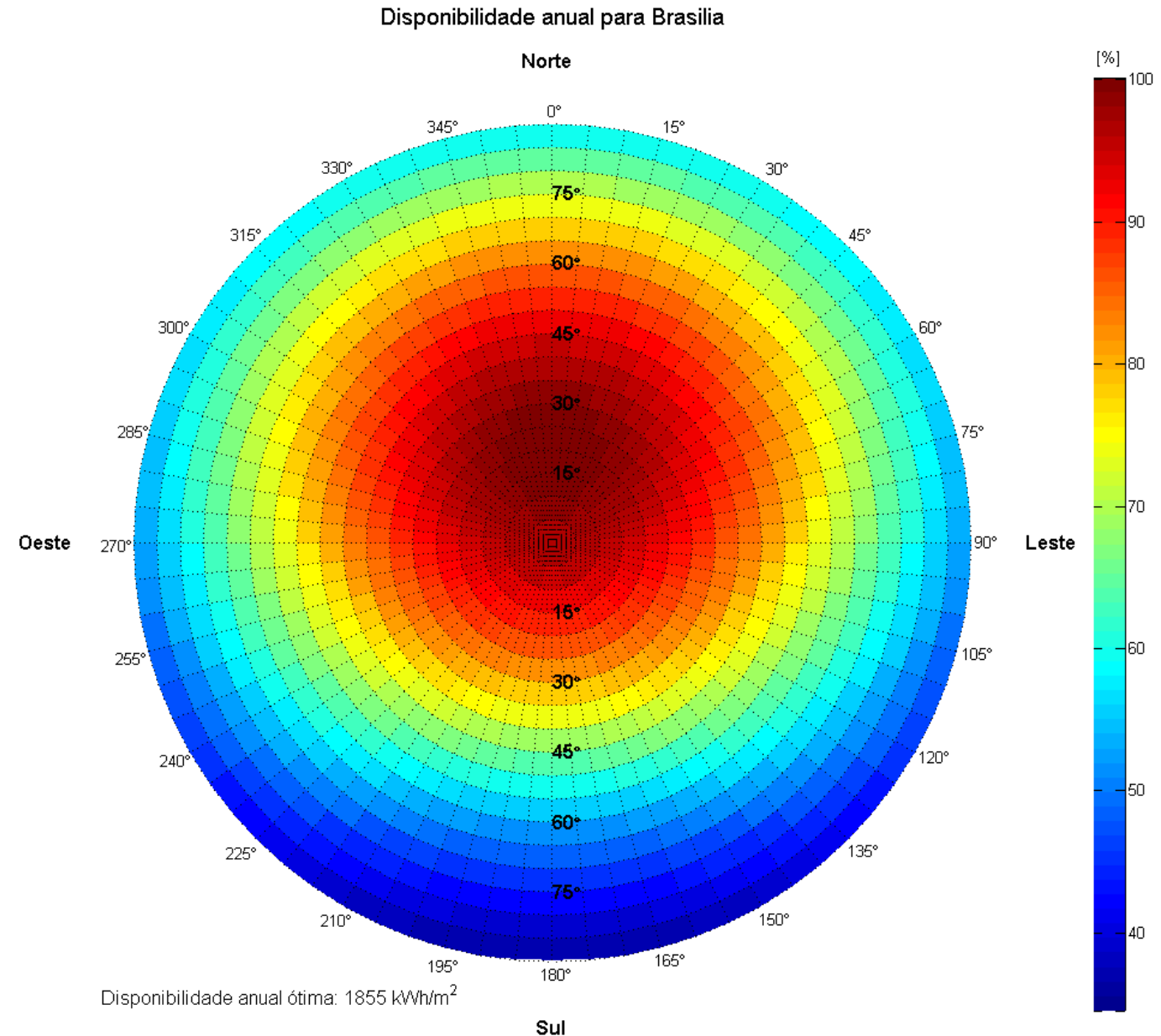
São Paulo: $\beta_{\text{opt}} = 23^\circ$

Orientação do Gerador FV



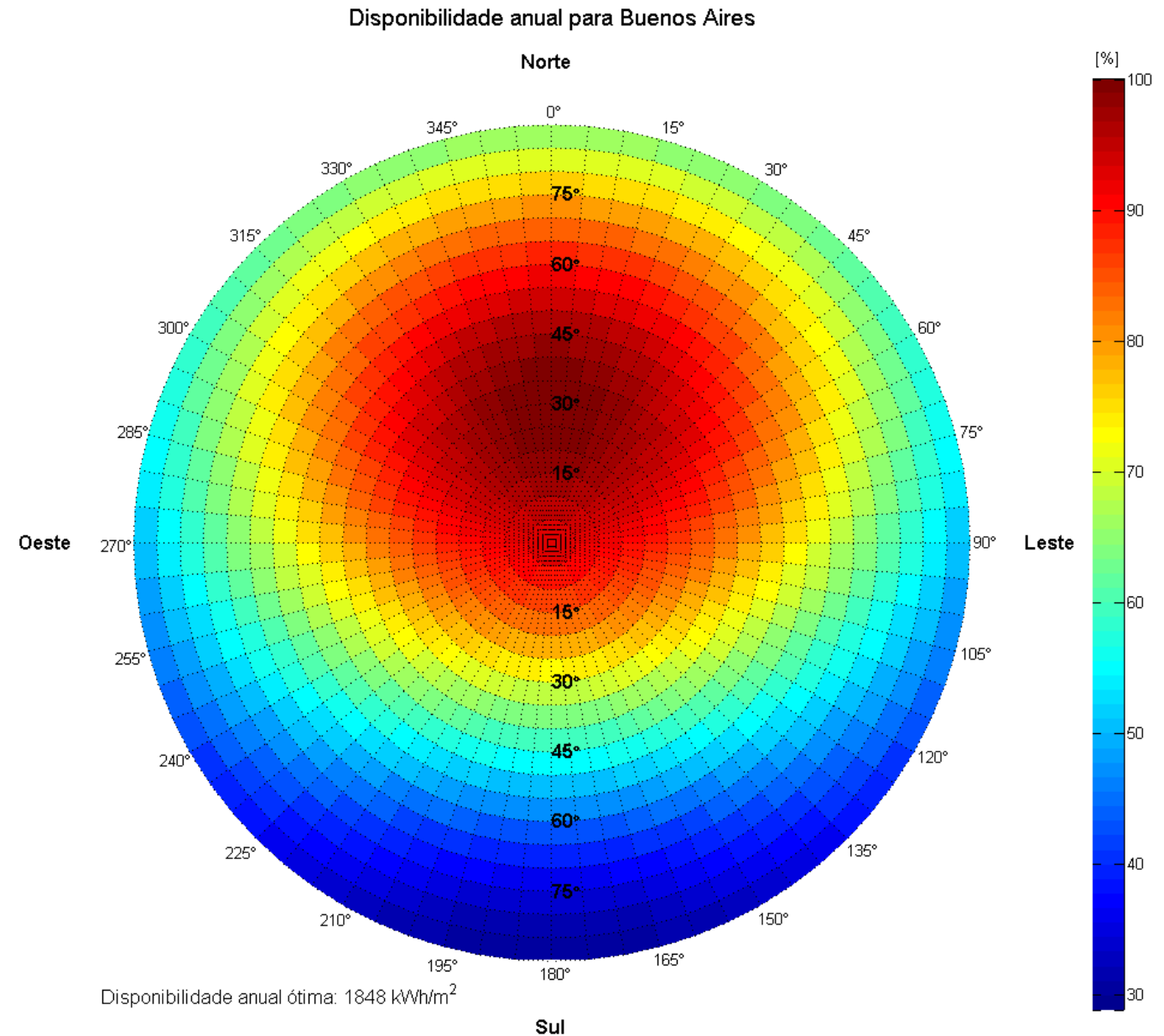
- Módulos fixos
- Disponibilidade anual ótima:
 - ✓ Inclinação = latitude
 - ✓ Azimute = NORTE

Orientação do Gerador FV



- Módulos fixos
- Disponibilidade anual ótima:
 - ✓ Inclinação = latitude
 - ✓ Azimute = NORTE

Orientação do Gerador FV



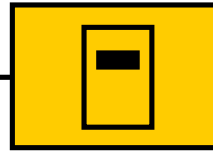
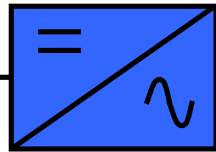
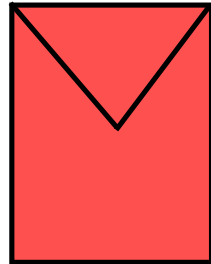
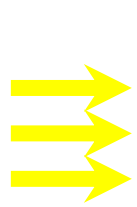
- Módulos fixos
- Disponibilidade anual ótima:
 - ✓ Inclinação = latitude
 - ✓ Azimute = NORTE

PRODUÇÃO ESPERÁVEL EM SFCR

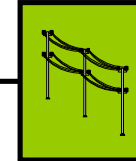
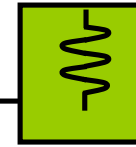
P_{nomG} ; Posicionamento (α, β)

Perda por sombreamento FS

$G_{anual}(\alpha, \beta)$



E_{FV}



$$E_{FV} = P_{NomG} \frac{G_{anual}}{G_{STC}} PR$$

Produtividade de referência

nº horas de sol “pico” equivalentes,
incluídas perdas por sombras

$$Y_R [h] = \frac{G_{anual}(\alpha, \beta) [kWh/m^2]}{G_{STC} [kW/m^2]}$$

Taxa de desempenho (*Performance Ratio* - relativo a um sistema ideal, sem perdas)

Inclui perdas por temperatura, sujeira, conversão CC/CA, eficiência do MPPT

$$PR = \frac{E_{FV} G_{STC}}{P_{NomG} G_{anual}}$$

$$E_{FV} = P_{nomG} \cdot Y_R \cdot PR$$

Perdas

$$PR = \frac{E_{FV} G_{STC}}{P_{Nom} G_{anual}}$$

Taxa de desempenho (*Performance Ratio* - relativo a um sistema ideal, sem perdas)

Inclui perdas por temperatura, sujeira, conversão CC/CA, eficiência do MPPT

Gerador FV:

- Temperatura
- Descasamento espectral
- Posicionamento não ideal
- Degradação
- Sombreamento
- Acúmulo de partículas sobre o gerador FV
- Descasamento de parâmetros

Inversor:

- Eficiência do inversor
- Limitação de potência
- Flutuação da irradiância

Instalação elétrica e rede elétrica:

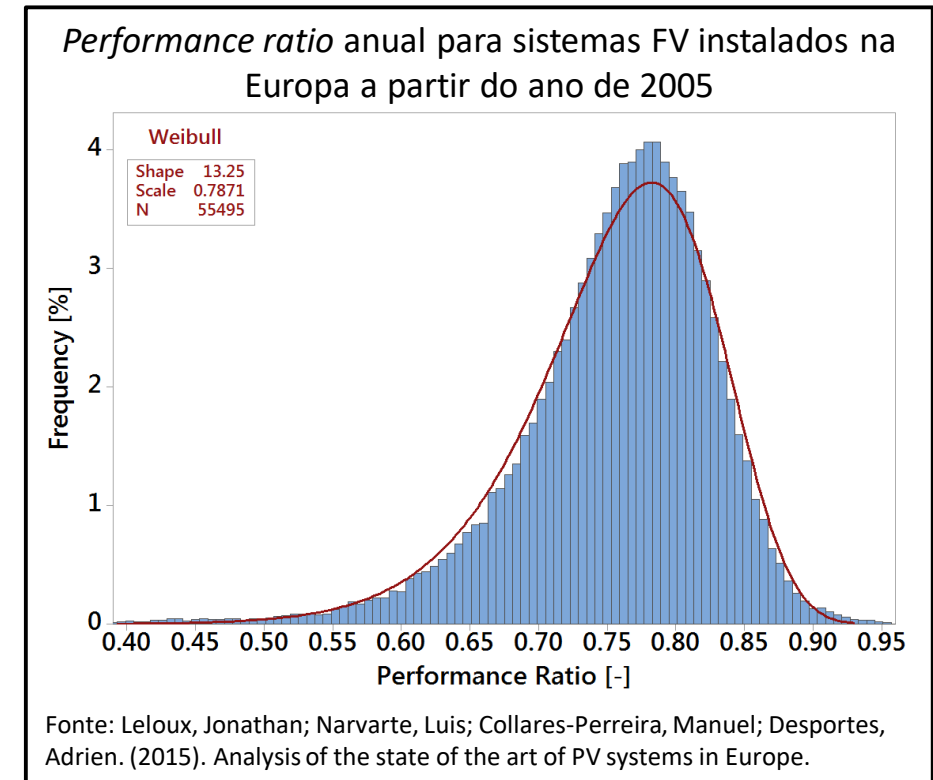
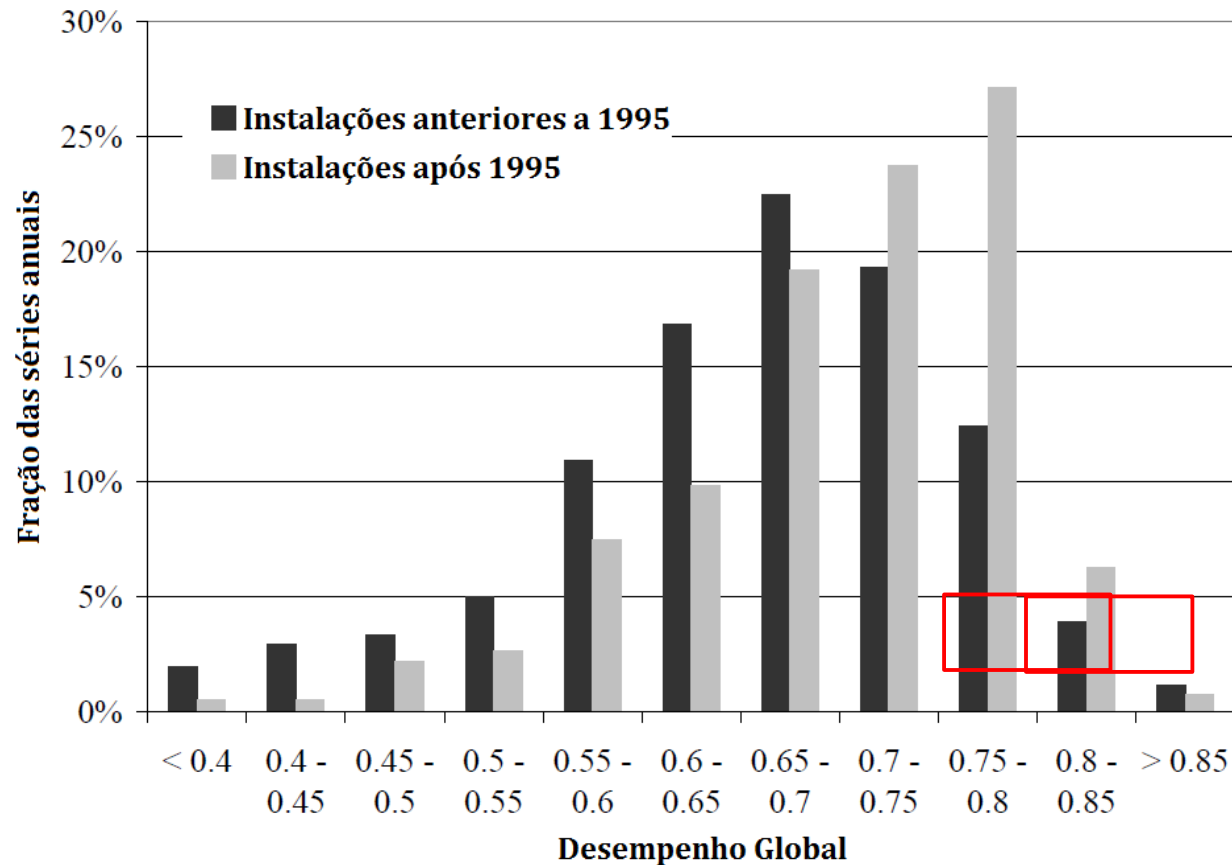
- Impedância da instalação elétrica
- Condição da rede elétrica
- Disponibilidade

$$PR = \frac{E_{FV} G_{STC}}{P_{Nom} G_{anual}}$$

Taxa de desempenho (*Performance Ratio* - relativo a um sistema ideal, sem perdas)

Inclui perdas por temperatura, sujeira, conversão CC/CA, eficiência do MPPT

Instalações reais: $PR \approx [0,70 - 0,80]$



EXEMPLO: SFCR em São PauloPosicionamento: $\alpha=0^\circ$, $\beta=23^\circ$

$$350 \text{ kWh/mês} \xrightarrow{\times 12} 4200 \text{ kWh/ano} \xrightarrow{- 50 \text{ kWh} \times 12} 3.600 \text{ kWh/ano}$$

Custo de disponibilidade:

- Monofásico: 30 kWh
- **Bifásico: 50 kWh**
- Trifásico: 100 kWh

→ Produtividade de referência:

$$Y_R \text{ [h]} = \frac{G_{\text{anual}}(\alpha, \beta) \text{ [kWh/m}^2\text{]}}{G_{\text{STC}} \text{ [kW/m}^2\text{]}}$$

$$Y_R = \frac{1705 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 1705 \text{ h}$$

http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html

→ Taxa de desempenho: $PR = 0,75$

$$E_{FV} = P_{\text{nomG}} \cdot Y_R \cdot PR$$

$$P_{\text{nomG}} = \frac{E_{FV}}{Y_R \times PR} = \frac{3600 \text{ kWh}}{1705 \text{ h} \times 0,75} = 2,81 \text{ kW}$$

COMO FAÇO PARA TER ELETRICIDADE SOLAR NA MINHA CASA

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

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



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

IEE0004 - APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

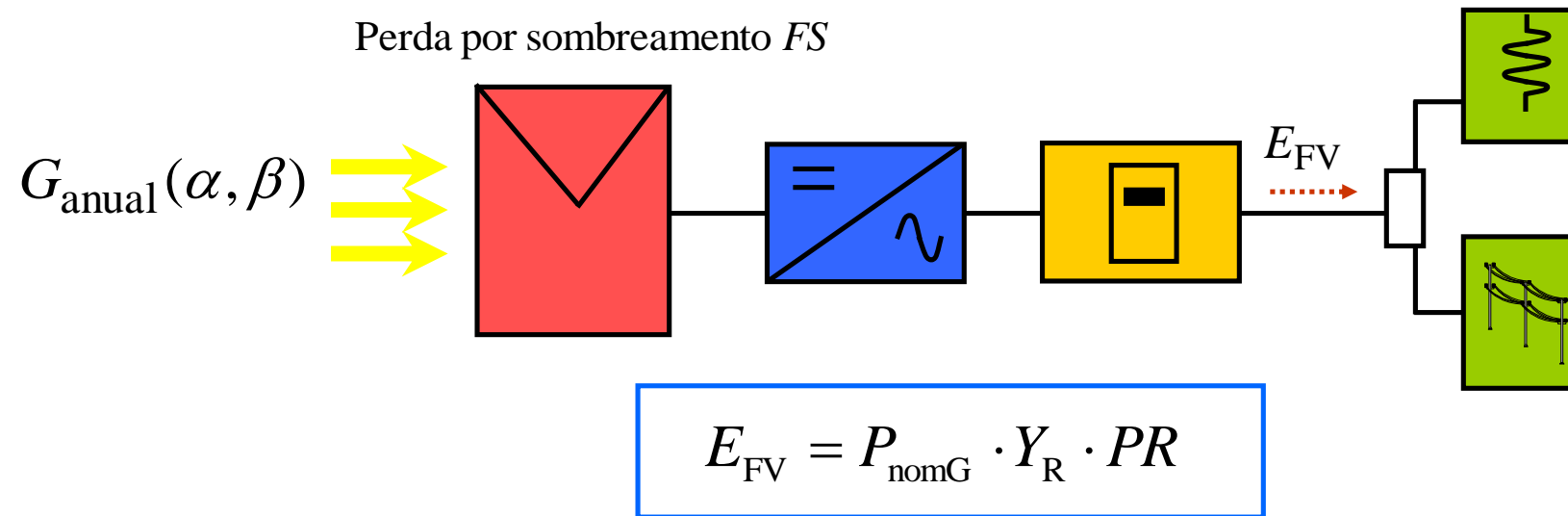
Aula 13 – Estimação da energia produzida por um SFCR
(continuação)

Roberto Zilles
zilles@iee.usp.br

PRODUÇÃO ESPERÁVEL EM SFCR

P_{nomG} ; Posicionamento (α, β)

Perda por sombreamento FS



$$Y_{\text{R}} [\text{h}] = \frac{G_{\text{anual}}(\alpha, \beta) [\text{kWh/m}^2]}{I_{\text{STC}} [\text{kW/m}^2]}$$

Produtividade de referência

nº horas de sol “pico” equivalentes, incluídas perdas por sombras

PR **Rendimento característico** (relativo a um sistema ideal, sem perdas)

Inclui perdas por temperatura, sujeira, conversão CC/CA, eficiência do MPPT

Instalações reais: $PR \approx [0,70 - 0,75]$

Dimensionar um sistema para produzir a energia consumida em um residência localizada na cidade de Cotia, São Paulo, cujo consumo mensal é apresentado na tabela abaixo. Considerar que a residência é atendida com uma rede bifásica.

CONSUMO EM kWh												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
430	380	420	360	340	320	360	430	380	470	470	515	4.875

$$E_{FV} = P_{nomG} \cdot Y_R \cdot PR$$

$$4.275 \text{ kWh} = P_{nomG} \times 1.728 \text{ h} \times 0,75$$

$$P_{nomG} = \frac{4.275 \text{ kWh}}{1.728 \text{ h} \times 0,75} = 3,30 \text{ kW}$$

- 50 kWh x12

4.275 kWh

http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html

$$Y_R = 4,734 \text{ kWh/m}^2 \times 365 / 1.000 \text{ W/m}^2$$

$$Y_R = 1.728 \text{ kWh/m}^2.\text{ano} / 1.000 \text{ W/m}^2$$

$$Y_R = 1.728 \text{ h}$$

JKM270PP-60
255-270 Watt

POLY CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0/+3%
ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001
certified factory
IEC61215, IEC61730 certified products.

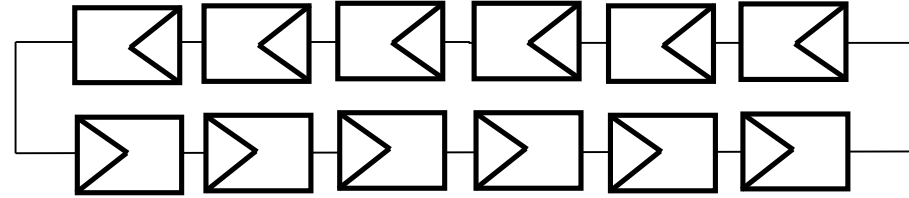


SPECIFICATIONS

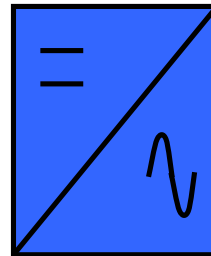
Module Type	JKM255PP		JKM260PP		JKM265PP		JKM270PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	255Wp	190Wp	260Wp	194Wp	265Wp	198Wp	270Wp	202Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.8V	28.1V	31.1V	28.3V	31.4V	28.7V	31.7V	29.0V
Maximum Power Current (Imp)	8.28A	6.75A	8.37A	6.84A	8.44A	6.91A	8.52A	6.97A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.0V	35.0V	38.1V	35.1V	38.6V	35.3V	38.8V	35.6V
Short-circuit Current (Isc)	8.92A	7.22A	8.98A	7.26A	9.03A	7.31A	9.09A	7.35A
Module Efficiency STC (%)	15.58%		15.89%		16.19%		16.50%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C							
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)							
Maximum series fuse rating	15A							
Power tolerance	0~+3%							
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C							
Temperature coefficients of Voc	-0.30%/°C							
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C							
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C							

JKM270PP		
	STC	NOCT
P _m	270Wp	202Wp
V _m	31.7V	29.0V
I _m	8.52A	6.97A
V _{oc}	38.8V	35.6V
I _{sc}	9.09A	7.35A
	16.50%	

12 módulos em série



$$\begin{aligned}
 &+ \\
 P_m &= 3,24 \text{ kW} \\
 V_m &= 380,4 \text{ V} \\
 I_m &= 8,52 \text{ A} \\
 &- \\
 V_{oc} &= 465,6 \text{ V} \\
 I_{sc} &= 9,09 \text{ A}
 \end{aligned}$$



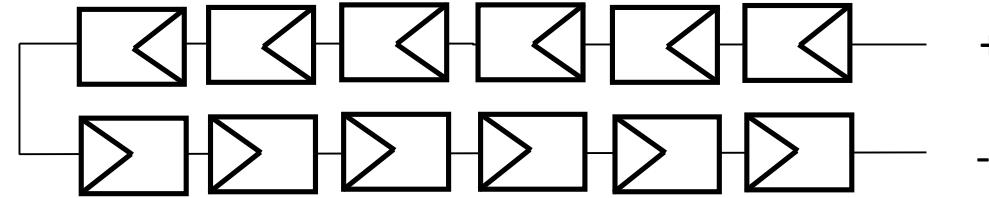
JKM270PP

STC NOCT

P _m	270Wp	202Wp
V _m	31.7V	29.0V
I _m	8.52A	6.97A
V _{oc}	38.8V	35.6V
I _{sc}	9.09A	7.35A

16.50%

12 módulos em série



$$\begin{aligned}
 P_m &= 3,24 \text{ kW} \\
 V_m &= 380,4 \text{ V} \\
 I_m &= 8,52 \text{ A} \\
 V_{oc} &= 465,6 \text{ V} \\
 I_{sc} &= 9,09 \text{ A}
 \end{aligned}$$

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
$FDI = \frac{P_{ca}(inversor)}{P_m(gerador\ FV)}$	$FDI = \frac{3000\ W}{3.240\ W} = 0,925$		
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%

Eagle Mono 72**330-350 Watt**

MONO CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS 18001
certified factory
IEC61215, IEC61730 certified products.

(5BB)

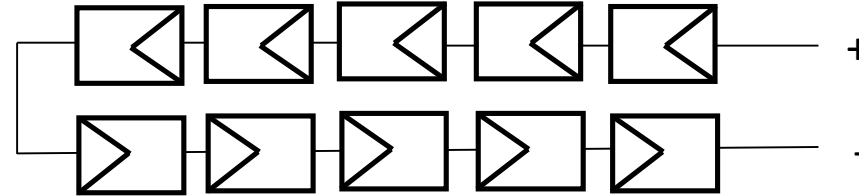


SPECIFICATIONS

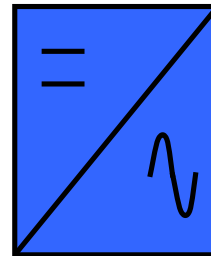
Module Type	JKM330M-72-V		JKM335M-72-V		JKM340M-72-V		JKM345M-72-V		JKM350M-72-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	330Wp	246Wp	335Wp	250Wp	340Wp	254Wp	345Wp	258Wp	350Wp	262Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	38.2V	36.4V	38.4V	36.6V	38.7V	36.8V	38.9V	37.0V	39.1V	37.2V
Maximum Power Current (Imp)	8.64A	6.75A	8.72A	6.82A	8.79A	6.89A	8.87A	6.98A	8.94A	7.05A
Open-circuit Voltage (Voc)	46.7V	44.8V	46.9V	45.2V	47.1V	45.5V	47.3V	45.8V	47.5V	46.0V
Short-circuit Current (Isc)	9.11A	7.24A	9.18A	7.29A	9.24A	7.33A	9.31A	7.38A	9.38A	7.46A
Module Efficiency STC (%)	17.01%		17.26%		17.52%		17.78%		18.04%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	15A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.05%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

10 módulos em série

	JKM330M-72-V	
	STC	NOCT
P _m	330Wp	246Wp
V _m	38.2V	36.4V
I _m	8.64A	6.75A
V _{oc}	46.7V	44.8V
I _{sc}	9.11A	7.24A



$P_m = 3,30 \text{ kW}$
 $V_m = 382 \text{ V}$
 $I_m = 8,64 \text{ A}$
 $V_{oc} = 467 \text{ V}$
 $I_{sc} = 9,11 \text{ A}$



JKM330M-72-V

Pm

Vm

Im

Voc

Isc

STC NOCT

330Wp 246Wp

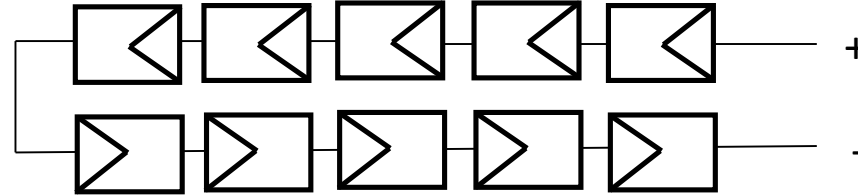
38.2V 36.4V

8.64A 6.75A

46.7V 44.8V

9.11A 7.24A

10 módulos em série



Pm = 3,30 kW

Vm = 382 V

Im = 8,64 A

Voc = 467 V

Isc = 9,11 A

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
$FDI = \frac{P_{ca}(inversor)}{P_m(gerador\ FV)}$	$FDI = \frac{3000\ W}{3.330\ W} = 0,91$		
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%

- Principais características dos programas pesquisados e suas respectivas páginas na internet.

Nome	Foco do programa	Idioma	Livre ou Pago	Intervalo de Tempo	Componentes da Base de Dados	Endereço na internet
DASTPVPS	SBFV	I	Pago	A, M, D	M, I, C	www.ibom.de
HOMER	SFI, SFCR, SFH	I	Pago	A, M, D, H	B, E, G	www.homerenergy.com
HYBRID2	SFI, SFH	I	Livre	S/I	S/I	http://www.umass.edu/windenergy/research.topics.tols.software.hybrid2.form.php
Insel	ST, SFV	I, A, E	Pago	A, M, D, S, H	M, G, B, I, CC, C, D	www.inseldi.com
PV-DesignPro	SFI, SFCR, SFH	I, E	Pago	A, M, D, H	M, E, G, B, I, C	http://www.mauisolarsoftware.com
PV*SOL	SFI, SFCR, SFH	I, A, E, F	Pago	A, M, D, S, H	M, G, B, I, CC, C	www.valentin.de
PVSyst	SFI, SFCR, SFH	I	Pago	A, M, D, H	M, G, EA, B, I, CC, C	www.pvsyst.com
RETScreen	SFI, SFCR, SFH	I, F	Livre	A	G	http://www.etscreen.net/
SolarPro	SFI	I, J	Pago	A, M, D, H	M, G	www.lapsys.co.jp/english/index.html
SolEm	SFCR	A	Pago	A, M, D, H	M, G, I	www.solem.de
PV F-CHART	SFI	I	Pago	H	G	http://www.fchart.com/
PVSize	SFI	P	Livre	A, M, D, S, H	M, G, T, B, I, CC, C	http://www.solar.ufgs.br

Legenda:

S/I- Sem informação.

Idioma: I: Inglês, A: Alemão, E: Espanhol, F: Francês, J: Japonês, P: Português.

Intervalo de tempo: A: ano, M: mês, S: semana, D: dia, H: hora.

Foco do programa: SFI: sistema fotovoltaico isolado, SFCR: sistema fotovoltaico conectado à rede, SFH: sistema híbrido, SBFV: sistemas de bombeamento fotovoltaico, ST: sistemas térmicos em geral, SFV: sistemas fotovoltaicos em geral.

Base de dados de componentes: M: módulos fotovoltaicos, G: irradiância e temperatura, B: bateria, I: inversor FV, CC: controlador de carga, C: consumo, E: gerador eólico, D: gerador diesel, CS: coletores solares, BM: biomassa, A: gerador hidráulico, EA: energia auxiliar.

HOMER

A versão 2.0 do *Hybrid Optimization Model for Electric Renewable* (Homer) desenvolvido nos EUA, no *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), laboratório do US DoE (*Department of Energy*), foi apresentada no ano 2000. Pode simular sistemas conectados à rede, isolados ou híbridos, combinando diferentes tipos de geração: eólica, biogás, microturbinas, células a combustível, etc. Também determina o rejeito de calor gerado pelo sistema, visando atender a cargas térmicas. O Homer é muito utilizado por projetistas no Brasil para simulações de sistemas isolados pois apresenta uma interface amigável com o usuário.

PVSyst

O PVSyst foi desenvolvido inicialmente pela Universidade de Genebra (Suíça) e é comercializado atualmente pela companhia PVSyst SA. Permite ao usuário trabalhar em diferentes níveis de complexidade, desde um estágio inicial de representação até um detalhado sistema de simulação. Apresenta também uma ferramenta adicional, tridimensional, que leva em conta as limitações no horizonte e aqueles objetos que possam projetar sombras.