

DIMENSIONANDO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Sumário

1. Eficiência	1
2. Tipos de Módulos.....	2
2.1. Silício (Si).....	2
2.1.1. Módulo Fotovoltaico de Silício Monocristalino.....	2
2.1.2. Módulo Fotovoltaico de Silício Policristalino.....	3
2.2. Módulos Solares de Filme Fino.....	3
2.2.1. Módulo Solar De Silício Amorfo (A-Si).....	4
2.2.2. Módulo Solar De Telureto De Cádmio (CdTe).....	4
2.2.3. Módulos Solares de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (Cis/Cigs).....	4
2.2.4. Células Fotovoltaicas Orgânicas (Opv)	4
2.3. Módulo Solar Híbrido - Hjt	5
3. Preços	5
3.1. Simulando módulo Monocristalino.....	6
3.2. Simulando o módulo Policristalino	7
3.3. Comparação	8
4. Determinando o Inversor	8
4.1. Fronius Symo BR 12.0-3 208/204	9
4.2. Fronius Symo 12.5-3-M.....	10
5. Simulação final.....	11
5.1. 20 módulos em série:.....	12
5.2. 2 agrupamentos (de 20 em série) em paralelo:	13
6. Área e investimento	15
6.1. Tempo de retorno.....	15
Referências.....	15

1. Eficiência

Porcentagem de energia do sol que atinge a superfície do módulo fotovoltaico e é transformada em energia elétrica para consumo.

STC (Standard Testing Conditions):

- Temperatura da Célula = 25°C
- Irradiação solar = 1000 W/m²
- Massa de Ar = 1,5

Coeficiente de temperatura ideal de um módulo fotovoltaico: 0,35% a 0,47%

2. Tipos de Módulos

2.1. Silício (Si)

- Quase 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo
- Processos utilizados para melhorar a pureza do silício são caros (45% do custo de um módulo solar convencional de tecnologia de silício cristalino é o silício bruto purificado e tratado).

2.1.1. Módulo Fotovoltaico de Silício Monocristalino

Tecnologia monocristalina: mais antiga, das mais caras, e com eficiência mais alta.

- Eficiência média do módulo monocristalino: 14% – 21%
- Tamanho padrão das células fotovoltaicas: 10x10cm; 12,5x12,5cm; 15x15.



Vantagens	Desvantagens
Eficiência mais alta (14% - 21%)	Mais caros.
Menos espaço	Quantidade significativa do silício não é aproveitada e precisa ser reciclado.
Vida útil maior que 30 anos	
Tendem a funcionar melhor do que policristalinos em pouca luz.	

A eficiência das células individualmente é maior que a do módulo (encapsulamento filtra a luz que atinge a célula).

2.1.2. Módulo Fotovoltaico de Silício Policristalino

- Eficiência média: 13% – 16.5%
- Técnica: Fundição de polisilício, aquecimento em forma.
- Semelhantes aos monocristalinos no desempenho e na degradação
- Normalmente, menos eficientes



Vantagens	Desvantagens
Menor quantidade de silício residual	Eficiência típica: 13% – 16,5%
Tendem a ser mais baratos	Normalmente necessita área maior
Vida útil maior que 30 anos	

2.2. Módulos Solares de Filme Fino

(Módulo Solar de Película Fina – Thin-film - TFSC)

(Células fotovoltaicas de película fina – TFPV)

Tipos:

- Silício amorfo (a-Si)
- Telureto de cádmio (CdTe)
- Cobre, índio e gálio seleneto (CIS / CIGS)
- Células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV)



Eficiências médias entre 7% – 13%, alguns chegando a 16%

Aproximadamente 20% do mercado mundial.

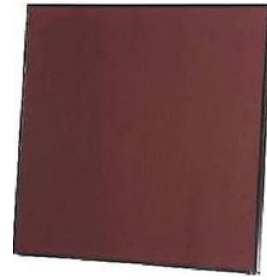
Vantagens	Desvantagens
Produção em massa simples (baratos)	Exigem grande espaço
Aparência homogênea esteticamente bonita	Menos eficiência por m ² Custo com instalação aumenta
Pode ser feito flexível	Tendem a degradar mais rapidamente (garantia mais curta)
Altas temperaturas e sombreamento tem menos impacto sobre o desempenho	

2.2.1. Módulo Solar De Silício Amorfo (A-Si)

Usados em pequena escala (baixa produção de energia elétrica).

Taxa média de eficiência: 6% a 9%).

Apenas 1% do silício utilizado em células solares de silício cristalino é necessário nas células solares de silício amorfo.



2.2.2. Módulo Solar De Telureto De Cádmio (CdTe)

Eficiência na faixa de 9% – 11%.

As instalações com os painéis de CdTe PV são tipicamente grandes campos solares (grandes usinas de energia solar).



2.2.3. Módulos Solares de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (Cis/Cigs)

Contêm menos quantidades do cádmio (material tóxico)

A produção de módulos CIGS flexíveis foi iniciado na Alemanha em 2011.

Eficiência na faixa de 10% – 12% e já existem alguns vendidos no Brasil passando dos 13%.

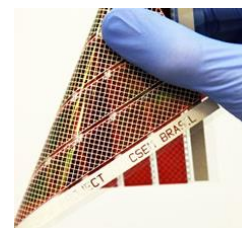


2.2.4. Células Fotovoltaicas Orgânicas (Opv)

Produção de eletricidade a partir da luz solar pelo efeito fotovoltaico.

As eficiências variam.

Tecnologia flexível, de baixo custo, feita utilizando processos de impressão, máquinas simples e materiais abundantes.



2.3. Módulo Solar Híbrido - Hjt

Nova tecnologia no mercado: Heterojunção (eficiência dos módulos é de 20%).

Produz mais energia por metro quadrado e funciona muito bem com temperaturas mais altas (não está disponível no mercado).

- Eficiência aproximada: 23%



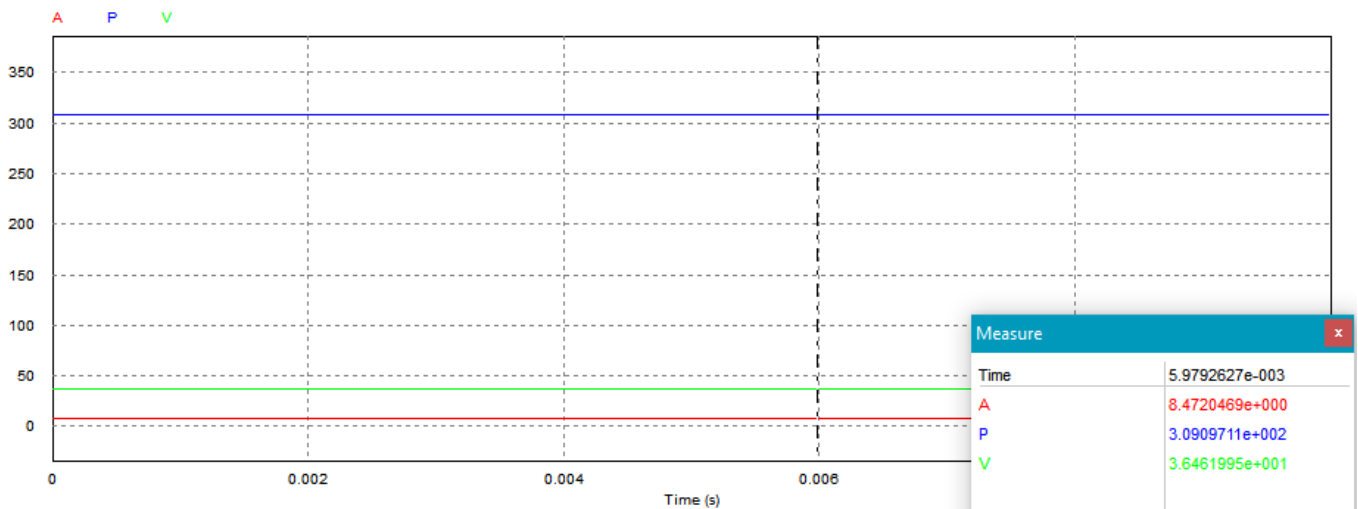
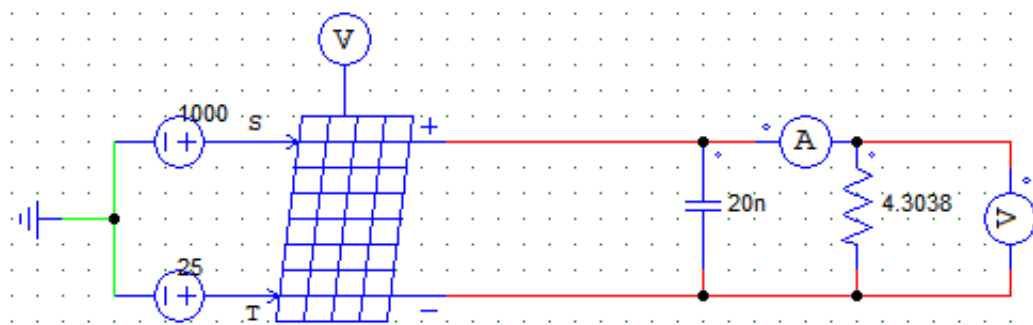
3. Preços

O preço do módulo solar no mundo todo é negociado em dólares (US\$) por Watt. 65% do custo do painel solar é a célula fotovoltaica.

Silício – 72 células	
Monocristalino	Policristalino
SunEdison - F330EZD 325W	Canadian Centrium Energy Cs6u
R\$ 2.000,00	R\$ 836,42
$P_{\max} = 325W$	$P_{\max} = 325W$
$V_{\text{nom}} = 37,4 \text{ V}$	$V_{\text{mp}} = 37 \text{ V}$
$I_{\text{nom}} = 8,69 \text{ A}$	$I_{\text{mp}} = 8,78 \text{ A}$
$V_{\text{oc}} = 46 \text{ V}$	$V_{\text{oc}} = 45,5 \text{ V}$
$I_{\text{sc}} = 9,14 \text{ A}$	$I_{\text{sc}} = 9,34 \text{ A}$
Eficiência: 16,7%	Eficiência: 16,72%
Temp. Operacional: $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$	Temp. Operacional: $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$
$V_{\text{maxima}} = 1000 \text{ V}$	$V_{\text{maxima}} = 1000V$
Limite de corrente reversa: 9,1 A Classificação máx. de fusíveis: 15 A Tolerância de Potência: 0 ~ +5	Desempenho do módulo Tipo 1 (UI 1703) ou contra incêndio Classe C (Iec 61730)
	Classificação máx. de fusíveis: 15 A Classificação da aplicação: Classe A Tolerância de potência: 0 ~ + 5 W
Coeficientes de Temperatura: P_{\max} : $-0,45\% / ^{\circ}\text{C}$ V_{oc} : $-0,34\% / ^{\circ}\text{C}$ I_{sc} : $0,05\% / ^{\circ}\text{C}$	Coeficientes de Temperatura: P_{\max} : $-0,41\% / ^{\circ}\text{C}$ V_{oc} : $-0,31\% / ^{\circ}\text{C}$ I_{sc} : $0,053\% / ^{\circ}\text{C}$

Temperatura nominal da célula: $46 \pm 2^{\circ}\text{C}$	Temperatura nominal da célula: $45 \pm 2^{\circ}\text{C}$
Dimensões (mm): 1,976 x 990 x 50 Peso (kg): 22 Tipo de célula: Solaicx CCz Monocristalina Frame Material: Anodized Aluminum Vidro (mm): 3.2 Tempered ARC glass	Tipo de célula: Policristalino, 6' Tampa dianteira em Vidro temperado de 3,2 mm Material da estrutura: Liga de alumínio adonisado Caixa de derivação: IP67 com 3 diodos Cabo: 4 mm 2 (lec) ou 4 mm 2 e 12 Awg Conectores T4 (lec/UI)
Minhacasasolar	Americanas
Datasheet	Datasheet

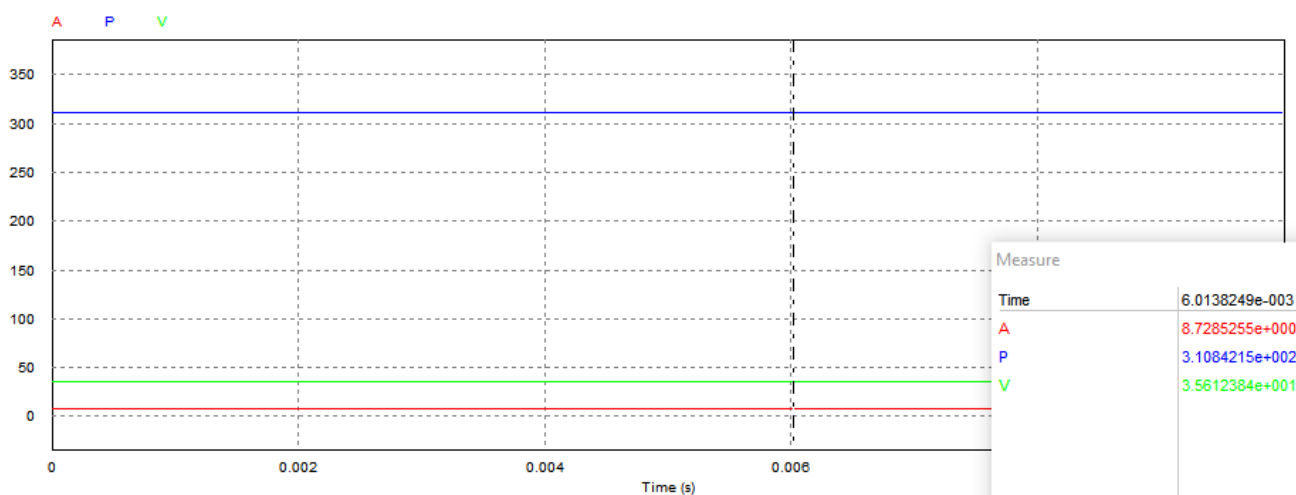
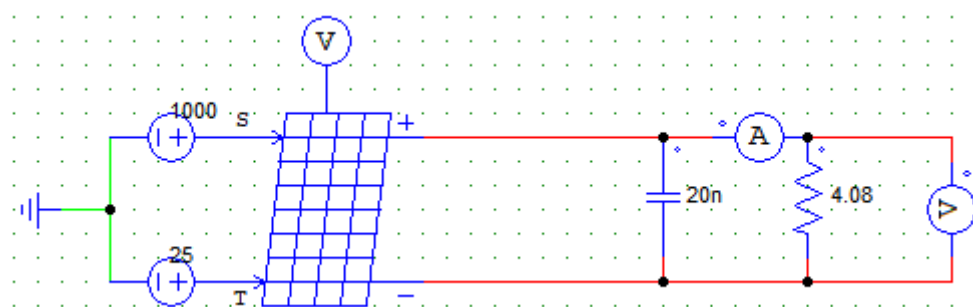
3.1. Simulando módulo Monocristalino



Tempo:	Corrente:	Potência:	Tensão:
6ms	8,4720469 A	309,09711 W	36,461995 V

Temperatura:	Potência:	Tensão:
0°C	339,12189 W	37,922303 V
80°C	241,48661 W	31,249133 V

3.2. Simulando o módulo Policristalino



Tempo:	Corrente:	Potência:	Tensão:
6ms	8,7285255 A	310,84215 W	35,612384 V

Temperatura:	Potência:	Tensão:
0°C	341,64423 W	36,894156 V
80°C	241,38541 W	30,515892 V

3.3. Comparação

	Monocristalino	Policristalino
P _{MAX}	309,09711 W	310,84215 W
V _{MAX}	36,461995 V	35,612384 V
I _{MAX}	8,4720469 A	8,7285255 A

Determina-se o uso do módulo **Policristalino**: Canadian Centrium Energy Cs6u 325W

4. Determinando o Inversor

Sem considerar o inversor, utilizando-se o Excel, obtém-se os seguintes valores para suprimento de 10kW:

Dados do módulo:	I _{pmax} [A]	V _{pmax} [V]	P _{max} [W]	V _{min}
	1,459	35,612	310,842	30,516
X1 Agrupamento de módulos em série				
X2 Agrupamento de módulos em paralelo				
Variáveis:	X1	X2		
	20	10		
F.Objetiva (Potência):	10.394,610	Tensão de saída do sistema: 712,2477		
Número de módulos:	200	Corrente de saída do sistema: 14,5941		
Máximizar: (I _{curto} *X2)*(V _{max} *X1)*eficiencia(modulo e inversor)				

Restrições	Variável		Equação		
I _{curto} *X2 ≤ I _{max}	1,459	10	14,59	≤	0,00
V _{max} *X1 ≤ MPP _{max}	35,612	20	712,25	≤	0,00
V _{max} *X1 ≥ MPP _{min}	35,612	20	712,25	≥	0,00
V _{min} *X1 ≥ MPP _{min}	30,516	20	610,32	≥	0,00
(I _{curto} *X2)*(V _{max} *X1)		Pot	10.394,61	≥	10.000,00
(I _{curto} *X2)*(V _{max} *X1)		Pot	10.394,61	≤	0,00

Onde: $V_{PMAX} = V * (\text{eficiência do inversor} = 100\%)$

Busca-se então um inversor que se enquadre nos parâmetros desejados.

Fronius Symo BR 12.0-3 208/204	Fronius Symo 12.5-3-M
R\$ 19.959,51	R\$ 15.943,70
Americanas	Americanas

4.1. Fronius Symo BR 12.0-3 208/204

DADOS DE ENTRADA

Potência PV recomendada (kWp)	9.5 - 15.5
Máx. corrente de entrada (Idc)	25.0 A / 16.5 A
Máx. corrente de entrada (MPPT1)	41.5 A
Máx. corrente do conjunto curto circuito (1.5*Idcmax) MPPT 1	37.5 A / 24.8 A
Faixa de tensão da operação	200 - 600 V
Máx. tensão de entrada	600 V
Tensão nominal de entrada 208/240	350 V / 370 V
MPP- Alcance de voltagem	300 - 500 V
Número de MPPT	2

DADOS DE SAÍDA

Máx. potência de saída	11.995 VA
Máx. corrente de saída 208	33.3 A
Máx. corrente de saída 240	28.9 A
Máx. eficiência	97.0 %

[Datasheet](#)

Utilizando este inversor na planilha:

Dados do inversor:	Imax-curto [A]	Faixa de tensão MPP [V]	Vmax [V]	Pmax [Wp]	Vmin [V]	Pmin [Wp]
	25	300 500	600	15.500,00	200	9.500,00

Dados do módulo:	Ipmax [A]	Vpmax [V]	Pmax [W]	Vmin
	8,729	34,544	310,842	30,516

X1 Agrupamento de módulos em **série**

X2 Agrupamento de módulos em **paralelo**

Variáveis:	X1	X2
	14	3

F.Objetiva (Potência):	12.663,768	Tensão de saída do sistema: 483,6162
Número de módulos:	42	Corrente de saída do sistema: 26,1856

Máximizar: (Icurto*X2)*(Vmax*X1)*eficiencia(modulo e inversor)

Restrições	Variável	Equação
Icurto*X2 <= Imax	8,729 3	26,19 <= 25,00
Vmax*X1 <= MPPmax	34,544 14	483,62 <= 500,00
Vmax*X1 >= MPPmin	34,544 14	483,62 >= 300,00
Vmin*X1 >= MPPmin	30,516 14	427,22 >= 300,00
(Ipmax*X2)*(Vpmax*X1)	Pot	12.663,77 >= 10.000,00
(Ipmax*X2)*(Vpmax*X1)	Pot	12.663,77 <= 15.500,00

Pode-se colocar 2 strings em um MPPT (corrente de 17,46 A) e uma em outro (corrente de 8,73 A)

14 módulos em **série**

Total de módulos usados: **42**

3 agrupamentos em **paralelo**

Potência ideal de saída: **12,663 kW**

4.2. Fronius Symo 12.5-3-M

DADOS DE ENTRADA

Max. corrente de entrada (Idc max1 / Idc max2)	27.0 A / 16.5 A
Max. conjunto corrente curto-circuito(MPP1 / MPP2)	40.5 A / 24.8 A
Min. tensão de entrada (Udc min)	200 V
Feed-in tensão de entrada (Udc start)	200 V
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	600 V
Max. tensão de entrada (Udc max)	1000 V
Faixa de tensão MPP (Umpp min - Umpp max)	320 - 800 V
Numeros de rastreadores MPP	2
Número de conexões CC	3 + 3

DADOS DE SAÍDA

Tensão nominal de saída (Pac,r)	12.500 W
Max. potência de saída	12.500 VA
Max. corrente de saída (Iac max)	19,9 A
Max. eficiência	98.0 %

[Datasheet](#)

Utilizando este inversor na planilha:

Dados do inversor:	Imax-curto [A]	Faixa de tensão MPP [V]	Vmax [V]	Pmax [Wp]	Vmin [V]
	27	320 800	1000	12.500,00	200

Dados do módulo:	Ipmax [A]	Vpmax [V]	Pmax [W]	Vmin
	8,729	34,900	310,842	30,516

X1 Agrupamento de módulos em **série**

X2 Agrupamento de módulos em **paralelo**

Variáveis:	X1	X2
	20	2

F.Objetiva (Potência): 12.185,069

Tensão de saída do sistema: 698,0027

Número de módulos: 40

Corrente de saída do sistema: 17,4571

Máximizaz: (Icurto*X2)*(Vmax*X1)*eficiencia(modulo e inversor)

Restrições	Variável	Equação
Icurto*X2 <= Imax	8,729 2	17,46 <= 27,00
Vmax*X1 <= MPPmax	34,900 20	698,00 <= 800,00
Vmax*X1 >= MPPmin	34,900 20	698,00 >= 320,00
Vmin*X1 >= MPPmin	30,516 20	610,32 >= 320,00
(Ipmax*X2)*(Vpmax*X1)	Pot	12.185,07 >= 10.000,00
(Ipmax*X2)*(Vpmax*X1)	Pot	12.185,07 <= 12.500,00

20 módulos em **série**

Total de módulos usados: **40**

2 agrupamentos em **paralelo**

Potência (ideal) de saída: **12,185 kW**

Comparando inversores

Inversor	Fronius Symo BR 12.0-3 208/204	Fronius Symo 12.5-3-M
Total de módulos	42	40
Potência	12,663 kW	12,185 kW
Preço	R\$ 19.959,51	R\$ 15.943,70

A potência que se deseja suprir é 10kW, portanto o inversor **Fronius Symo 12.5-3-M** é a melhor opção.

5. Simulação final

Módulo e inversor selecionados:

Módulo Policristalino Canadian Centrium Energy Cs6u	Fronius Symo 12.5-3-M
R\$ 836,42	R\$ 15.943,70
$P_{max} = 325W$	DADOS DE ENTRADA
$V_{mp} = 37 V$	Max. corrente entrada: 27.0 A / 16.5 A
$I_{mp} = 8,78 A$	Max. conjunto corrente curto: 40.5 A / 24.8 A
$V_{oc} = 45,5 V$	Min. tensão de entrada: 200 V
$I_{sc} = 9,34 A$	Feed-in tensão de entrada (U_{dc} start): 200 V
Eficiência: 16,72%	Tensão nominal de entrada ($U_{dc,r}$): 600 V
Temp. Operacional: -40°C ~ +85°C	Max. tensão de entrada: 1000 V
$V_{maxima} = 1000V$	Faixa de tensão MPP: 320 - 800 V
Coeficientes de Temperatura: P_{max} : -0,41% / °C V_{oc} : -0,31% / °C I_{sc} : 0,053% / °C	Número de MPP: 2
	Nº de conexões CC: 3 + 3
	DADOS DE SAÍDA
	Tensão nominal de saída: 12.500 W
	Max. potência de saída: 12.500 VA
	Max. corrente de saída (I_{ac} max): 19,9 A
Temperatura nominal da célula: 45 ± 2°C	Max. Eficiência: 98.0 %
Americanas	Americanas

Configuração:

20 módulos em **série**

Total de módulos usados: **40**

2 agrupamentos em **paralelo**

Potência (ideal) de saída: **12,185 kW**

5.1. 20 módulos em série:

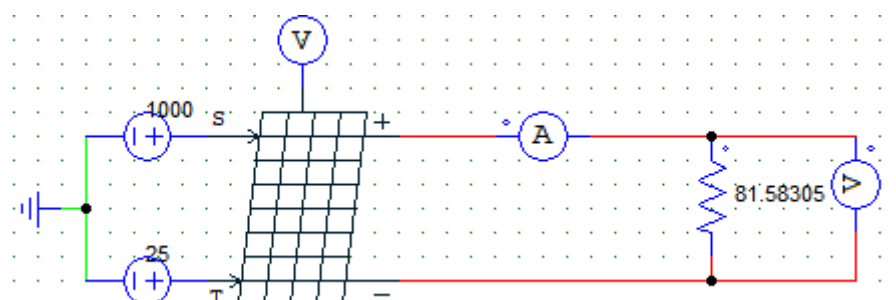
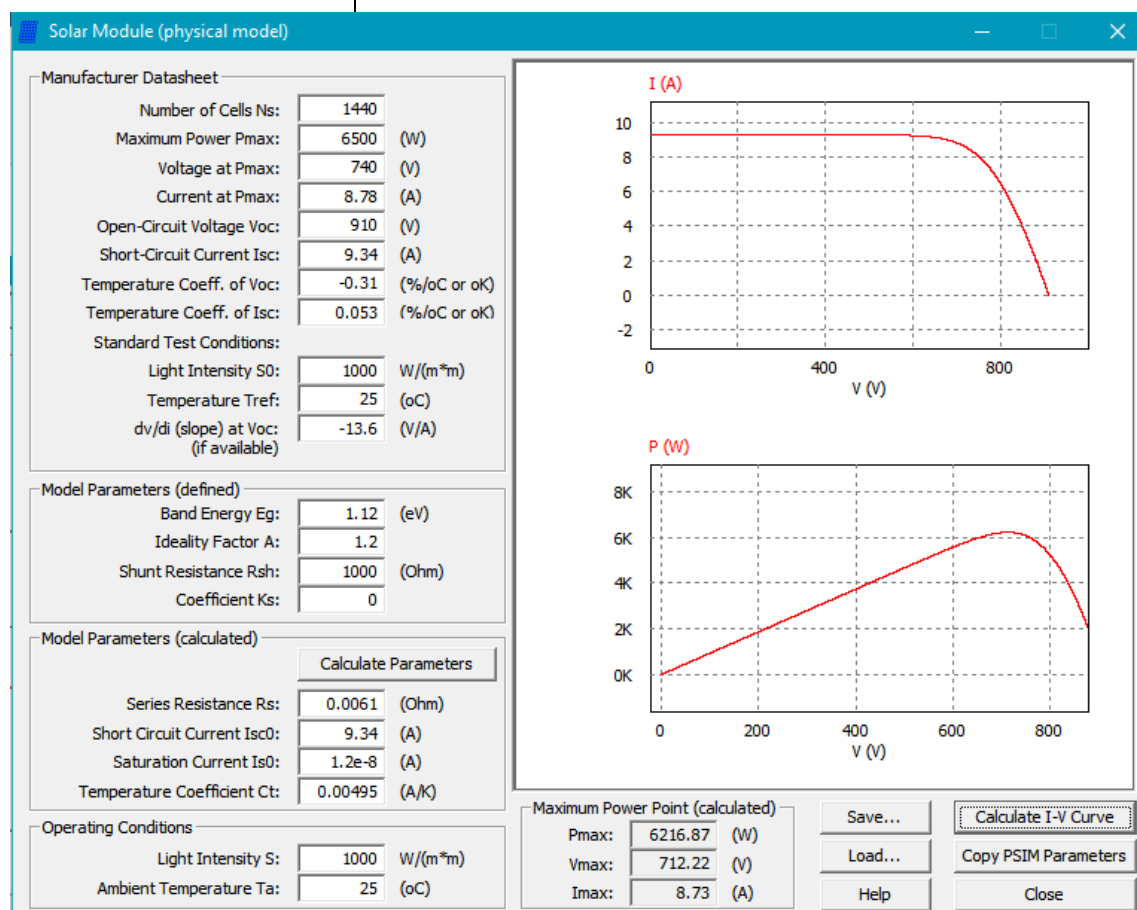
20*Número de células | 1440

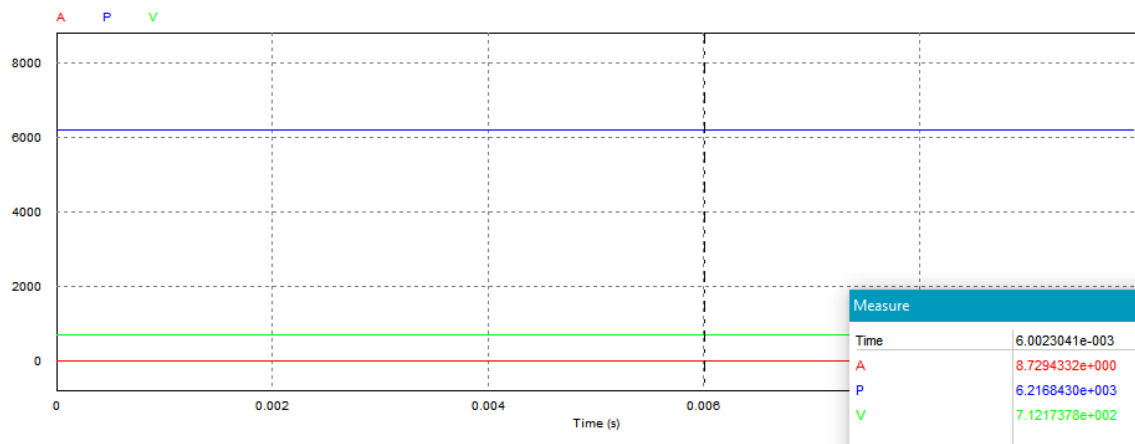
20*Máxima Potência | 6500

20*V_{POTÊNCIA MÁXIMA} | 740

20*V_{oc} | 910

20*dv/di (slope) V_{oc} | -13,6





Tempo:	Corrente:	Potência:	Tensão:
6ms	8,7294332 A	6216,8430 W	712,17378 V

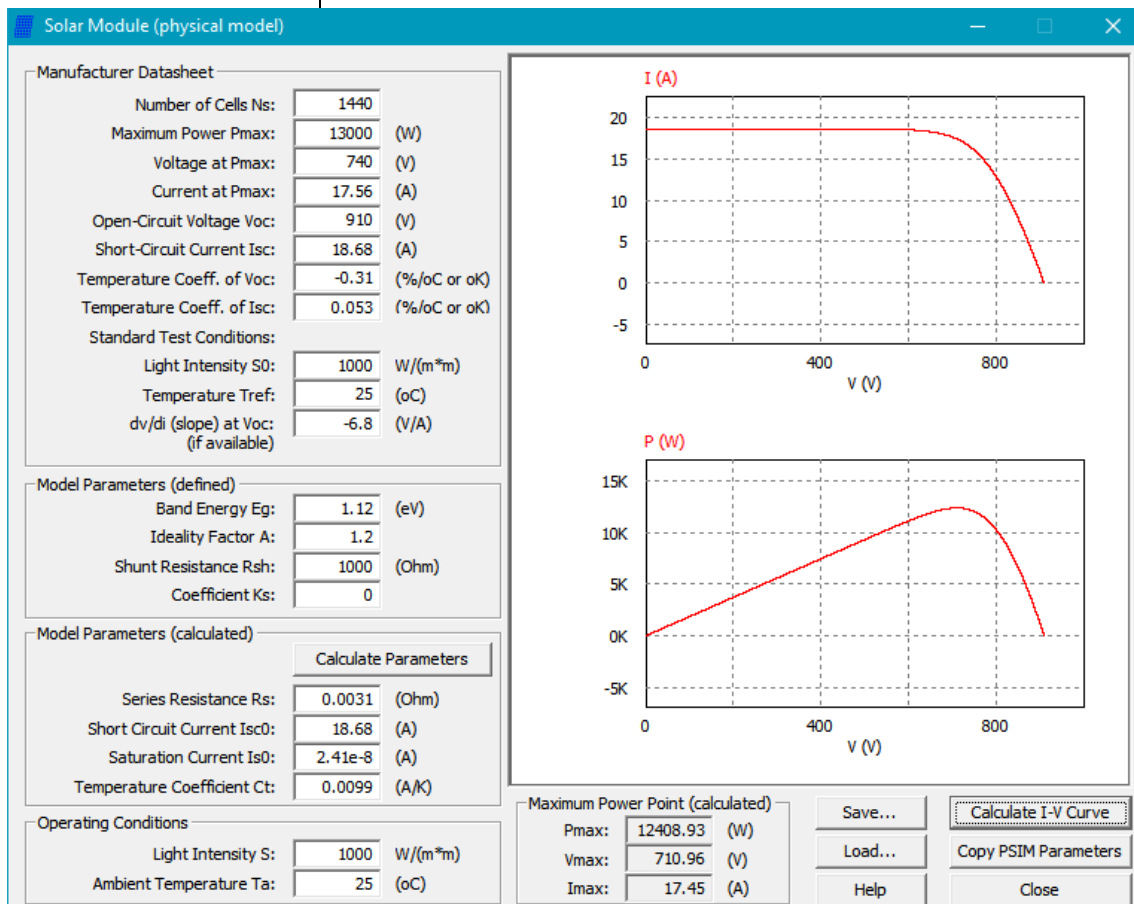
5.2. 2 agrupamentos (de 20 em série) em paralelo:

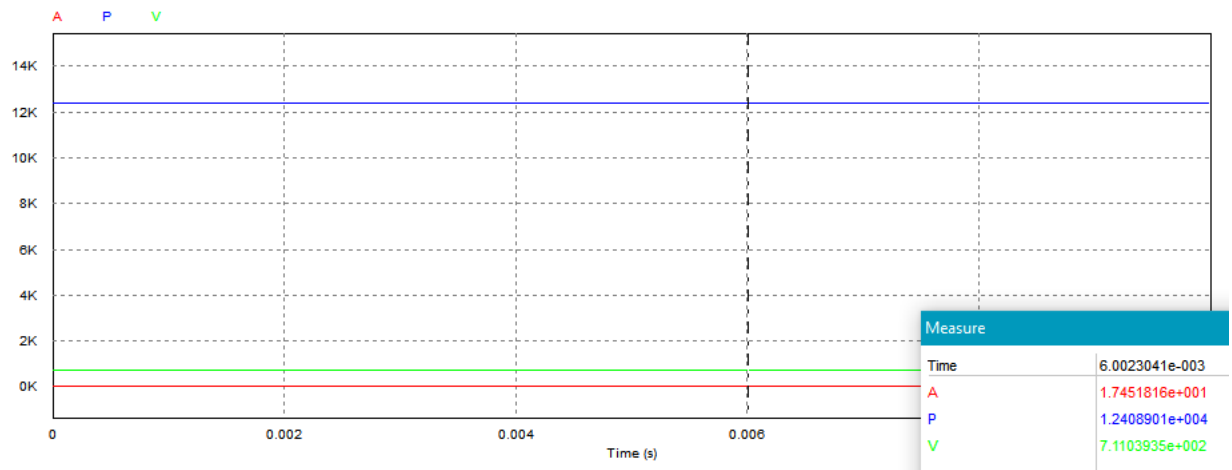
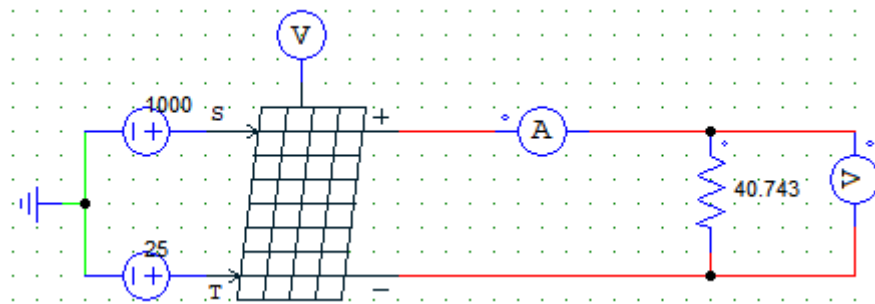
2*Máxima Potência | 13000

2*IPOTÊNCIA MÁXIMA | 17,56

2*Isc | 18,68

dv/di (slope) Voc / 2 | -6,8





Tempo:	Corrente:	Potência:	Tensão:
6ms	17,451816 A	12.408,901 W	711,03935 V

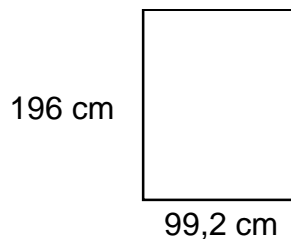
Considerando a eficiência de 98% do inversor:

$$P_{\text{FINAL}} = 12.408,901 \times 98\%$$

$$P_{\text{FINAL}} = 12.160,723$$

Potência idealizada: 12,185 kW

6. Área e investimento



Dimensões de um módulo:

Comprimento	Largura	Altura
196 cm	99,2 cm	4 cm

Dimensão do sistema (20 módulos em série, 2 cadeias em paralelo):

Altura	Largura	Área
2 x 196 cm \approx 3,92 m	20 x 99,2 cm \approx 19,84 m	\approx 80 m ²

Preço de um módulo: R\$ 836,42

40 módulos: R\$ 33.456,80

Preço do inversor: R\$ 15.943,70

Investimento total: R\$ 49.400,50

6.1. Tempo de retorno

Taxa da CEMIG sobre o kWh: R\$ 0,77

10 kW * 7h (10h a 17h) * 30 (mês) * 12 (ano) \therefore 25200 kWh \rightarrow R\$ 19404,00

Prazo para retorno: 49.400,50 / 19404,00 = 2,54

Aproximadamente 2 anos e um semestre.

Referências

<<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>

<<https://www.portalsolar.com.br/placa-solar-preco.html>>