

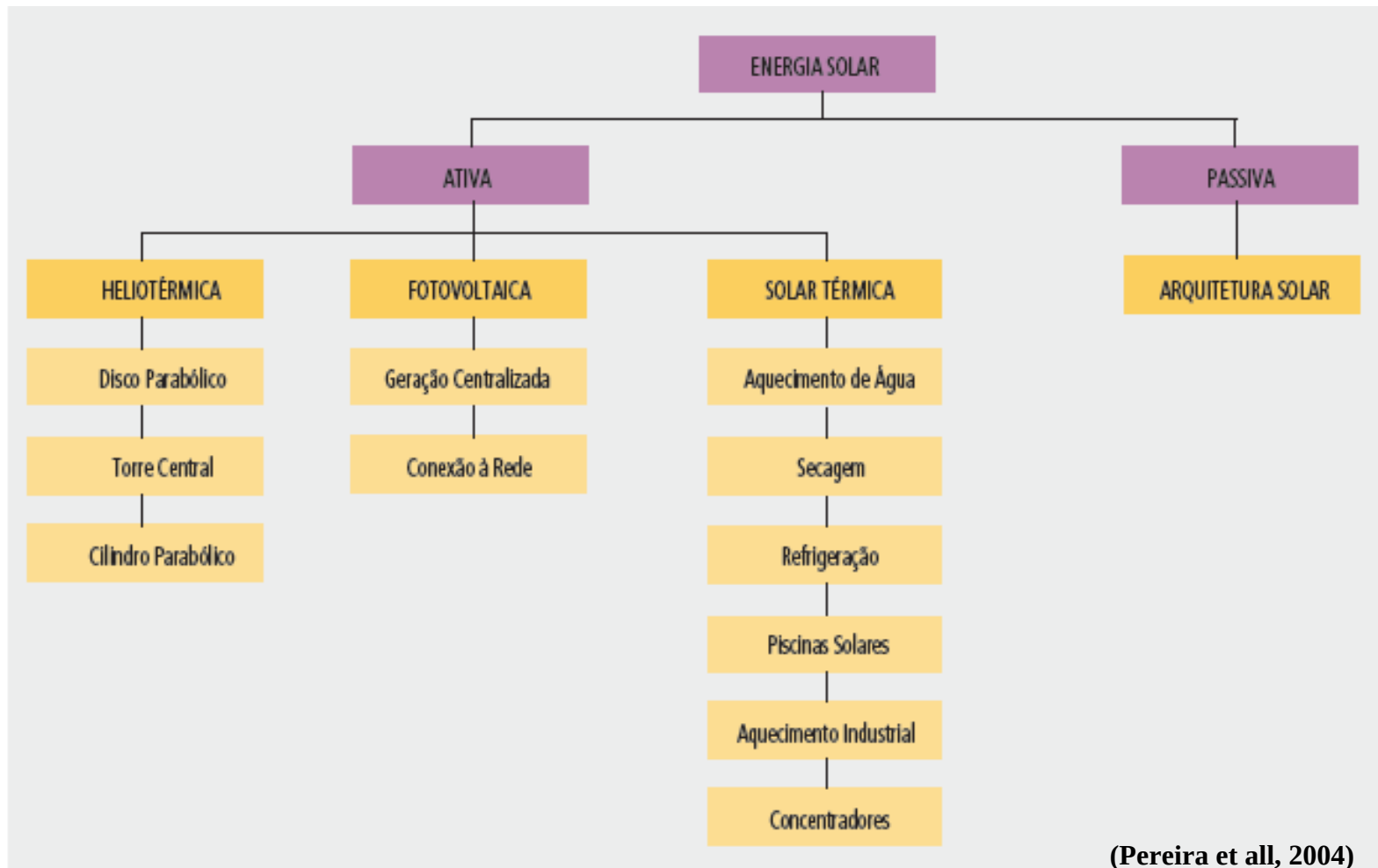
Aspectos Tecnológicos das Fontes de Energia Renováveis (Energia Solar)

*Aymoré de Castro Alvim Filho
Eng. Eletricista, Dr.
Especialista em Regulação, SRG/ANEEL*

*10/02/2009
Cartagena de Indias, Colombia*

Energia Solar

Aplicações para a Energia Solar

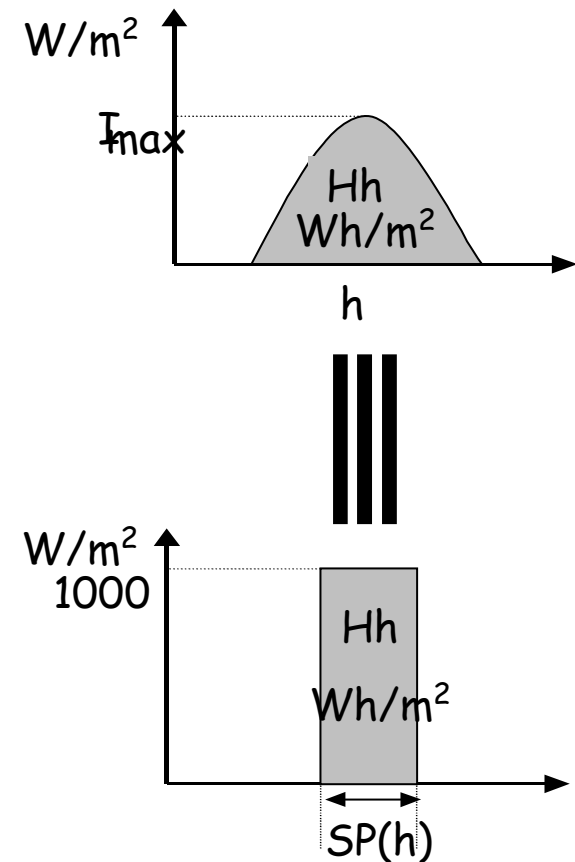


(Pereira et al, 2004)

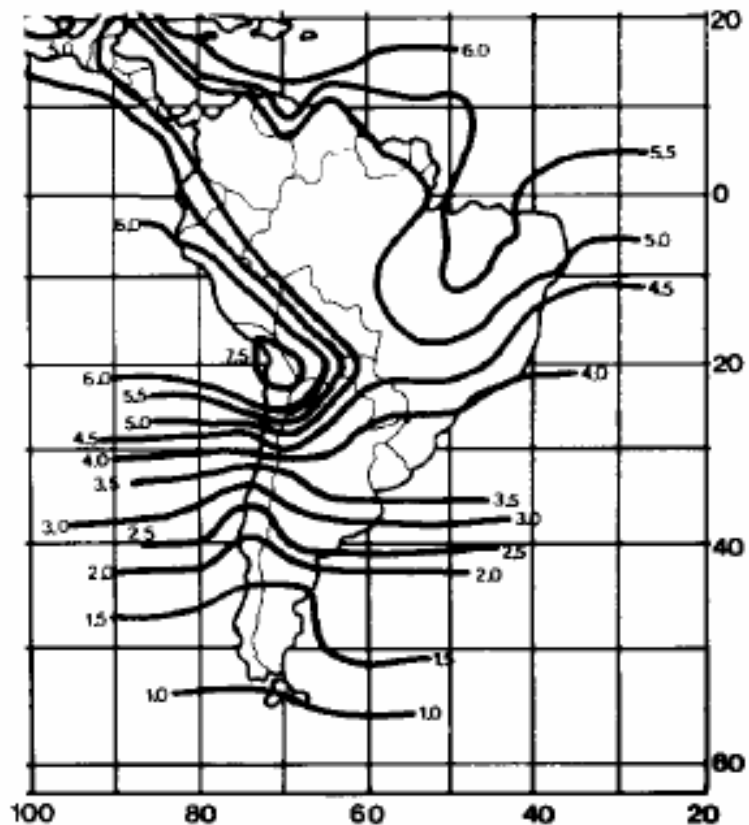
Energia Solar

Radiação Solar

Sol Pleno



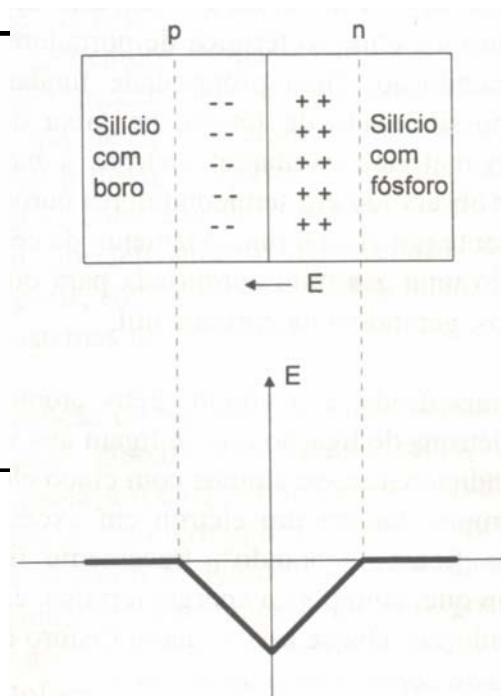
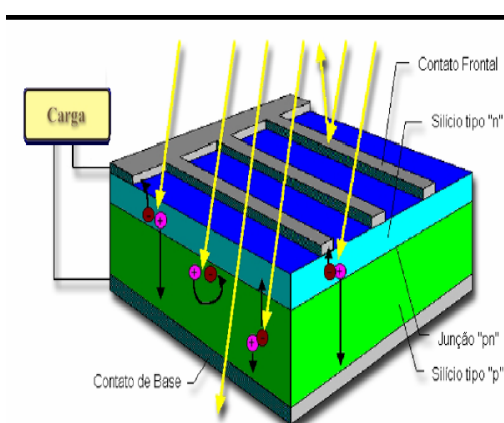
Disponibilidade no Brasil



(Cepel, 2000)

Conversão Fotovoltáica

Esquema básico



Fatores Limitadores da Conversão

- a) apenas uma parcela do espectro da radiação solar é capaz de excitar os elétrons de uma célula de silício;
- b) cada fóton só consegue excitar um único elétron, o que redundará em um excesso de energia, que é convertida em calor;
- c) mesmo os elétrons excitados podem não vir a ser capturados, não contribuindo, portanto, para a corrente elétrica.

Conversão Fotovoltáica

Principais Tecnologias

Tecnologia	Custo (US\$/kWp)	Eficiência Comercial / Laboratório (%)
Silício cristalino (mono-Si)	1.180,00 – 2.980,00	12 – 15 / 24
Silício policristalino (poli-Si)	860,00 – 2.560,00	11 – 14 / 20
Silício amorfo (a-Si, em filmes finos)	840,00 – 3.290	6 – 9 / 14

Participação no Mercado

(EPE, 2008; CRESESB 2006)

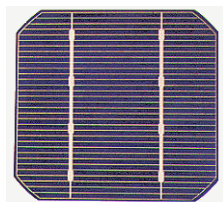
Tipos de célula	2000	2010	2020
Silício cristalino e multicristalino	>90%	80-90%	50%
Silício de filme fino	10%	10%	30%
CdTe e CIS de filme fino	<1%	5%	15%
Novos dispositivos	n.d.	1%	5%
Produção (GWp)	0,3	3	n.d.

Legenda: n.d.: não disponível.

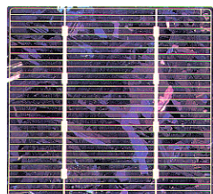
Fonte: JÄGER-WALDAU, 2004b apud DA SILVA, 2006. (apud EPE, 2008)

Conversão Fotovoltáica

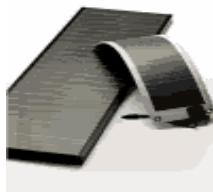
Principais Tecnologias



Mono-Si: Produzidas a partir de um wafer de cristal de silício de alta qualidade. É considerada a tecnologia mais eficiente e também a mais cara.



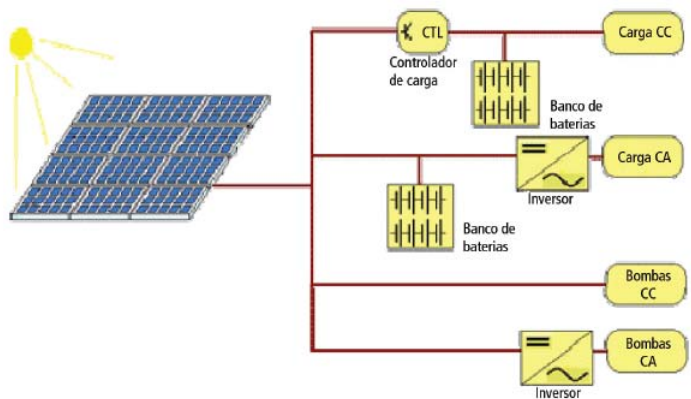
Poli-Si: Cortadas de um bloco de silício multi-cristalino de menor qualidade. São menos eficientes e mais baratas que as monocristalinas.



Filmes finos (thin-film): Produzidos por um processo distinto do utilizado nas células mono e poli-cristalinas. São feitos de um material semicondutor (geralmente a-Si) na forma de um filme em um substrato, como vidro, alumínio ou aço, que pode possuir diferentes formas e características, sendo geralmente utilizadas para fornecer energia a aparelhos eletrônicos portáteis. São menos eficientes, porém mais baratos que as células mono e policristalinas.

Sistema Fotovoltáico

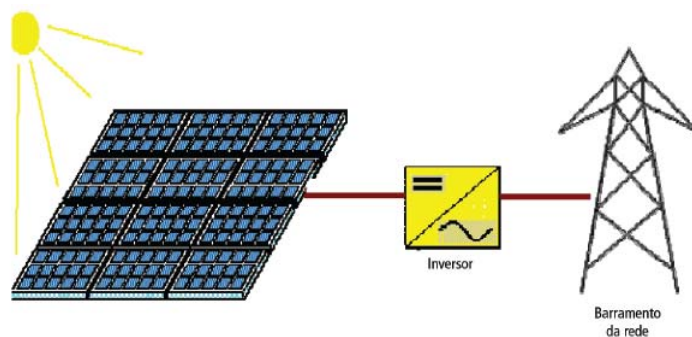
Sistemas de Conversão Fotovoltáico



Sistema isolado



Sistema isolado híbrido

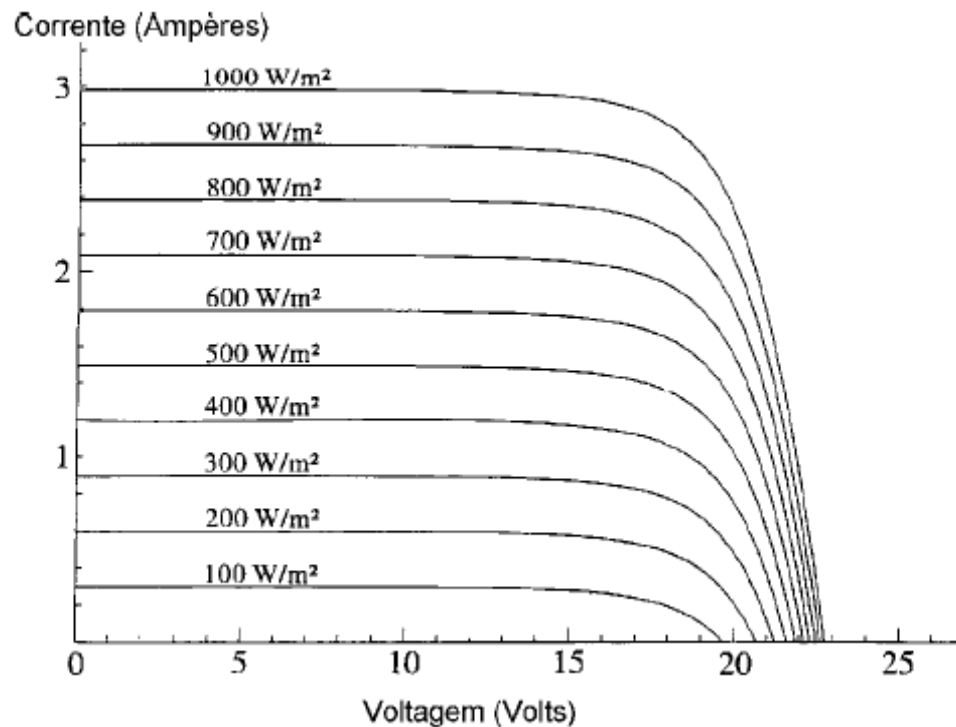


Sistema interligado à rede

Sistema Fotovoltáico



Características do Módulo: influência da radiação

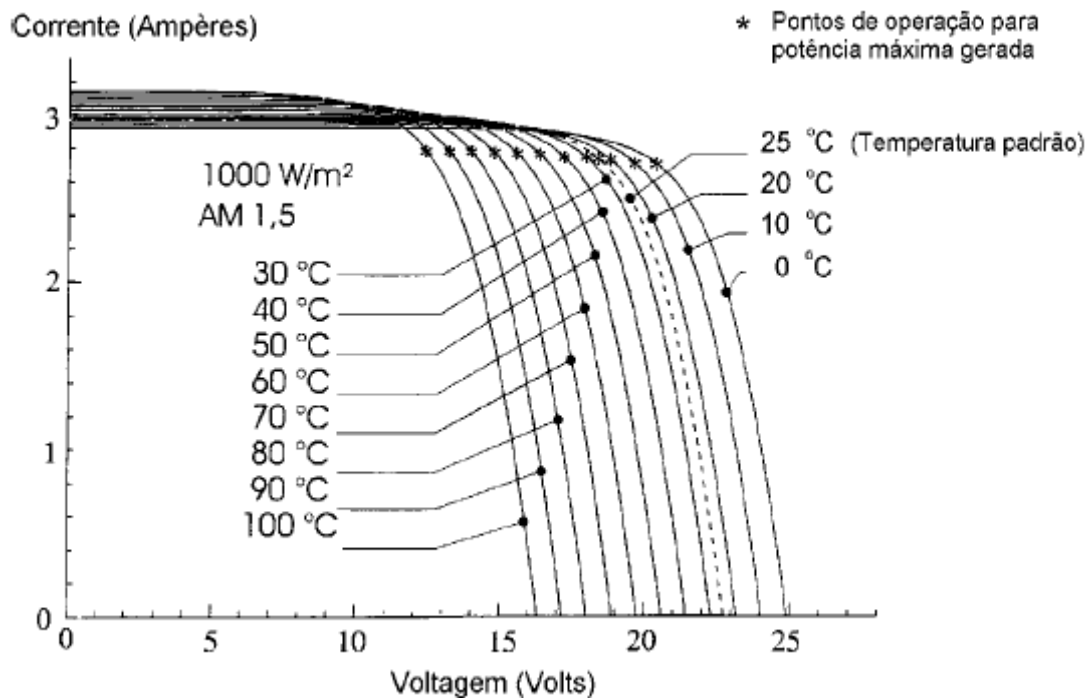


Curvas IxV para vários níveis de radiação solar

Sistema Fotovoltáico



Características do Módulo: influência da temperatura



Curvas simuladas IxV e para vários níveis de temperatura da célula

Sistema Fotovoltáico



Radiação Solar

Posicionamento dos módulos em relação ao caminho aparente do sol

⇒fixo;

⇒com seguimento parcial do Sol, movimento livre com relação a um eixo;

⇒ com seguimento total do Sol, movimento livre nos dois eixos.

Sistema Fotovoltáico

Radiação Solar

Dependência do recurso em relação ao tipo de posicionamento e à inclinação

tipo	Percentual
2e	100,0
1eL	97,1
1eH	94,2
Saz1e	97,3
L+15	78,3
L	79,9
L-15	77,7
Sazfix	82,9

2e: seguimento total do sol (2 eixos)

1eL: seguimento parcial, com inclinação igual à latitude

1eH: seguimento parcial, com inclinação nula

Saz1e: seguimento parcial, com variação sazonal da inclinação;

L+15: fixo com inclinação igual à latitude + 15°

L: fixo com inclinação igual à latitude

L-15: fixo com inclinação igual à latitude - 15°

Sazfix: fixo com variação sazonal da inclinação

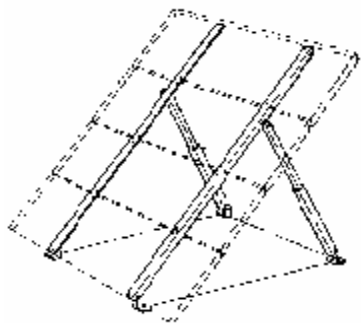
"A escolha do tipo de montagem dependerá de uma avaliação ponderada entre energia gerada e custo"

Sistema Fotovoltáico



SCES fixos

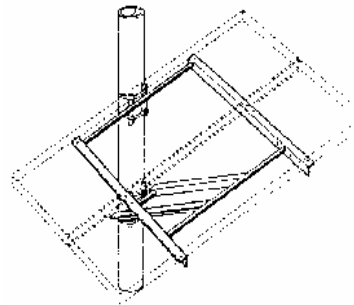
Estruturas para montagem dos painéis



Fixação solo/telhado

vantagens: preço

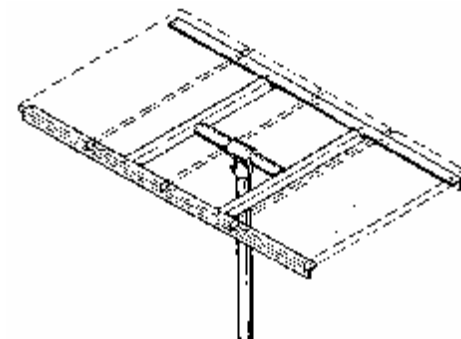
desvantagens: 1 pç de fix p/ cada pé, no solo, exposição a invasões e sombreamento, no telhado, dificuldade de acesso



Fixação lado de poste

vantagens: preço, fácil instalação

desvantagens: capacidade de suporte p/ até 4 módulos.



Fixação topo de poste

vantagens: fácil instalação, tem um único ponto para fixação, acesso fácil.

desvantagens: preço (20%+caro)

$$P\$_{est_fix} = \text{US\$ } 800,00/\text{kW}$$

Sistema Fotovoltáico

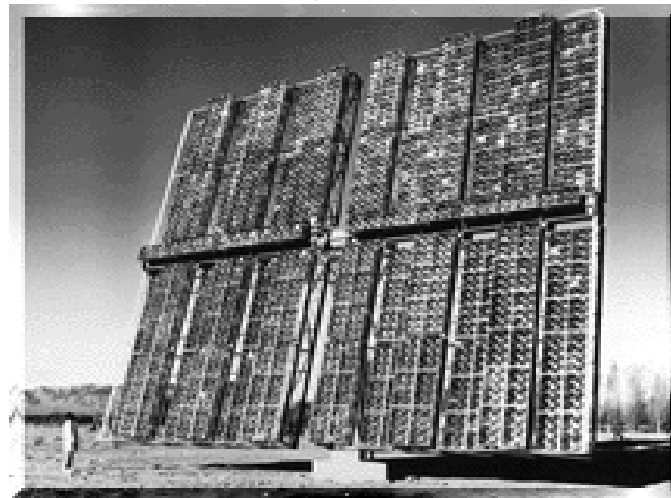
SCES c/ seguimento solar



passivo

Funcionamento: utilização de fluido. O fluido na parte + exposta ao sol aquece-se e migra para outra parte, inclinando a estrutura em direção do Sol. Menos preciso e não permite seg. em 2 eixos

Estruturas para montagem dos painéis



ativo

Funcionamento: sensor ótico fornece informações a um motor dc que aciona o(s) eixo(s) da montagem. É mais preciso.

$$P\$_{\text{est_seg}} = \text{US\$ } 1500,00/\text{kW} + \\ + \text{US\$ } 270,00 \text{ por estrutura c/ 2 eixos}$$

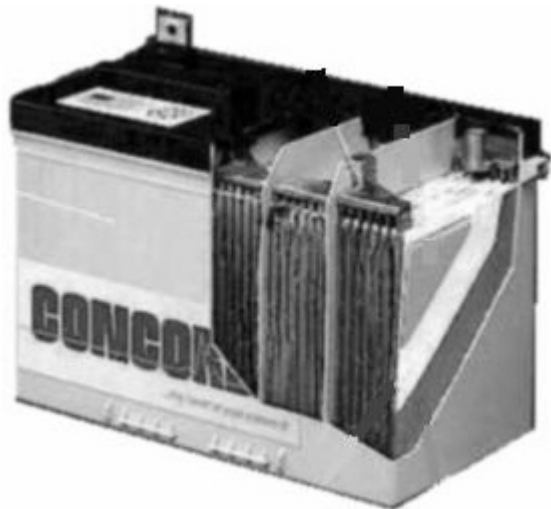
Sistema Fotovoltáico

Baterias p/ descarga profunda

↖ **inundadas:** as abertas(mais comuns) têm a vantagem de ser fornecidas a seco, evitando sulfatação e auto-descarga. Precisam de manutenção regular.

↖ **eletrólito a gel:** fechadas, não necessitam de manutenção. Devem ser carregadas mais lentamente, risco de perda de água elevada em climas quentes, diminuindo sua vida útil.

↖ **AGM:** Eletrólito confinado em finas placas de fibra de vidro saturadas com ácido sulfúrico (90%). Têm as vantagens das "gel", mas muito mais robustas.



Tipo	US\$/Wh
Inundadas	0,09
c/Gel	0,18
AGM	0,14

Sistema Heliotérmico

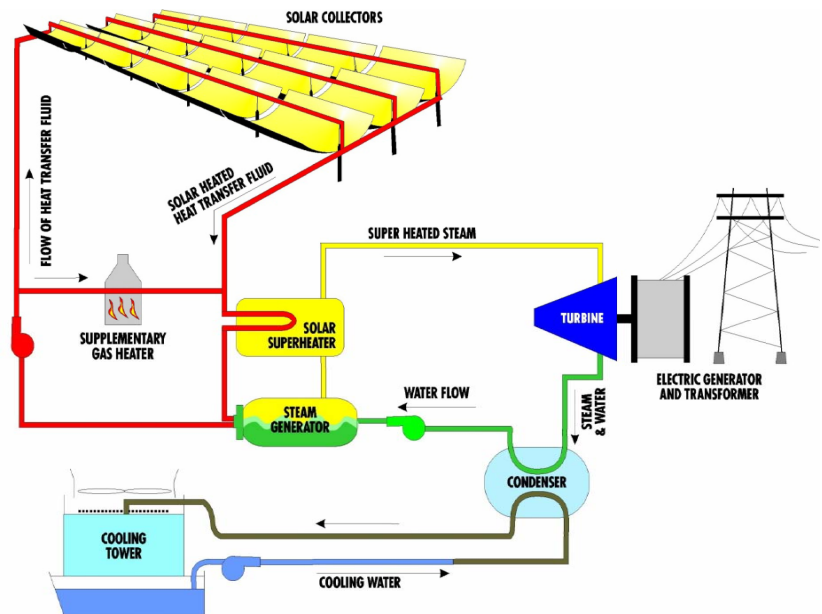
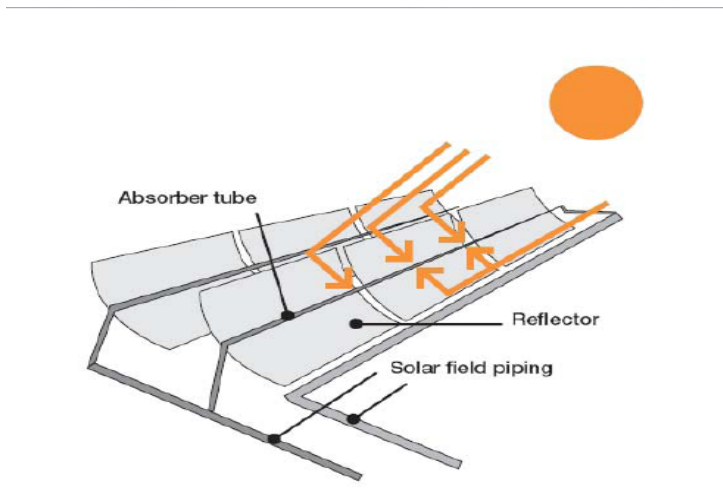


Sistemas de Conversão Heliotérmicos

- Um sistema heliotérmico produz energia elétrica a partir da conversão da energia solar em calor com temperatura elevada, empregando, para tanto, sistemas para concentração da radiação solar.
- Tecnologias básicas: cilindros parabólicos, discos parabólicos e torre central

Sistema Heliotérmico

Cilindro Parabólico



Os refletores concentram a radiação na tubulação, aquecendo o fluido térmico a altas temperaturas que alimentará o sistema termelétrico associado.

Sistema Heliotérmico



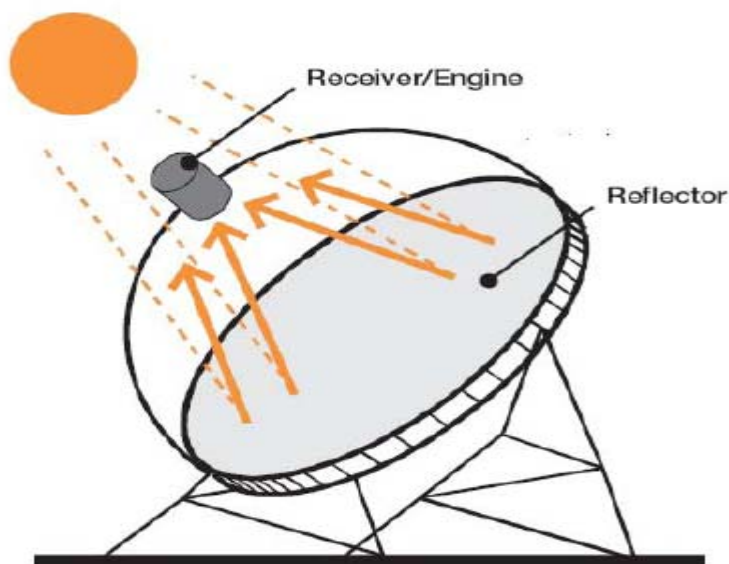
Cilindro Parabólico



Solar One
Eldorado Valley, Nevada, EUA
 $A = 357.200 \text{ m}^2$
 $P = 64 \text{ MW}$

Sistema Heliotérmico

Disco Parabólico

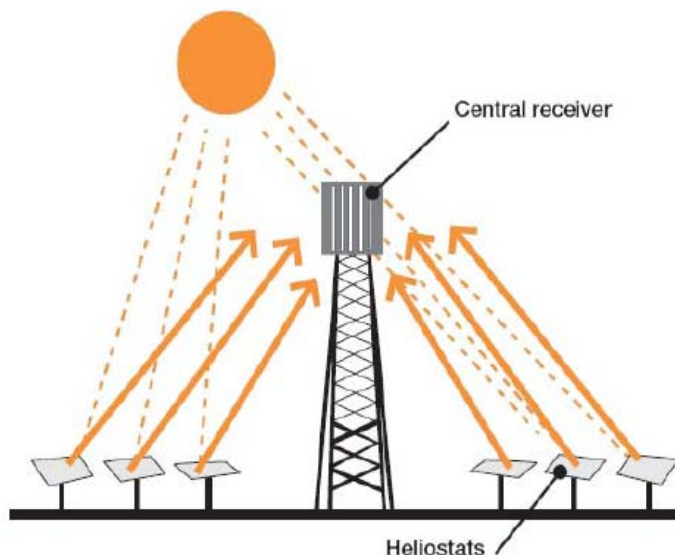


(CRESESB)

O disco concentra a radiação no elemento receptor que está integrado a um grupo turbo-gerador. Ou seja, a energia elétrica é produzida no local de coleta da radiação. O sistema à direita é de 10 kW

Sistema Heliotérmico

Torre Central



PS 10, 11MW, Sevilla, Espanha.

Os heliostatos refletem a radiação solar direcionando-a a um elemento receptor que se encontra acima de uma torre central, que transfere a energia térmica para um fluido térmico (p.ex. sódio líquido, sal fundido) que alimentará o sistema termelétrico associado.

Sistema Heliotérmico



Custos

Tecnologia	Tamanho típico	Aplicação	Maturidade da tecnologia	Viabilidade técnica	Custo investimento (US\$/kW)	Custo O&M (US\$/MWh)	Custo geração (US\$/MWh)
Torre Central	30 a 200 MW	Rede (base)	Pré-comercial	Alta	1.000 a 4.800	4 a 23	100 a 250
Cilindro	50 MW	Rede (base)	Comercial	Alta	2.600 a 5.000	4 a 23	130 a 250
Discos	20 a 50 kW	Rede (base) e isolado	Demonstrada	Média	800 a 5.100	15 a 23	100 a 250

Fonte: Moss e Lima, 2004. (apud EPE, 2008)



OBRIGADO!

Agência Nacional De Energia Elétrica - Aneel

Superintendência de Regulação dos Serviços de Geração - SRG

aymore@aneel.gov.br

55 61 2192-8853