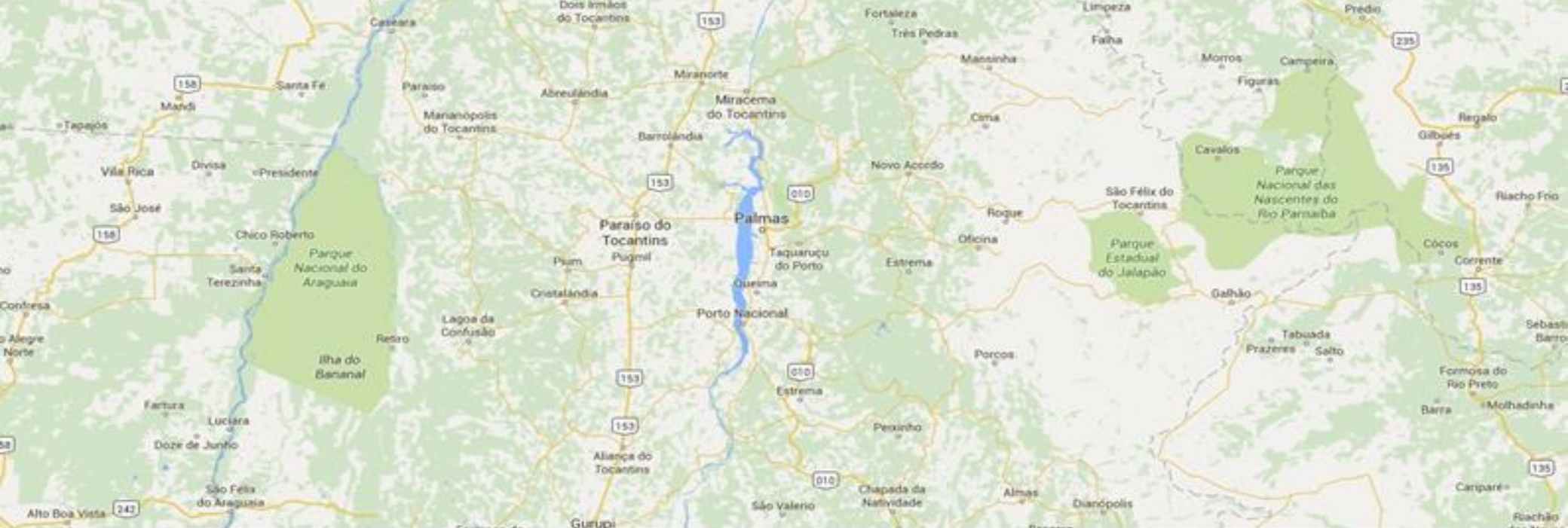




O potencial do Tocantins para o aproveitamento da energia solar através das tecnologias de *energia solar térmica concentrada*

Workshop Final
Palmas- TO, 31 de Julho de 2018



**GOVERNO DO
ESTADO DO
TOCANTINS**

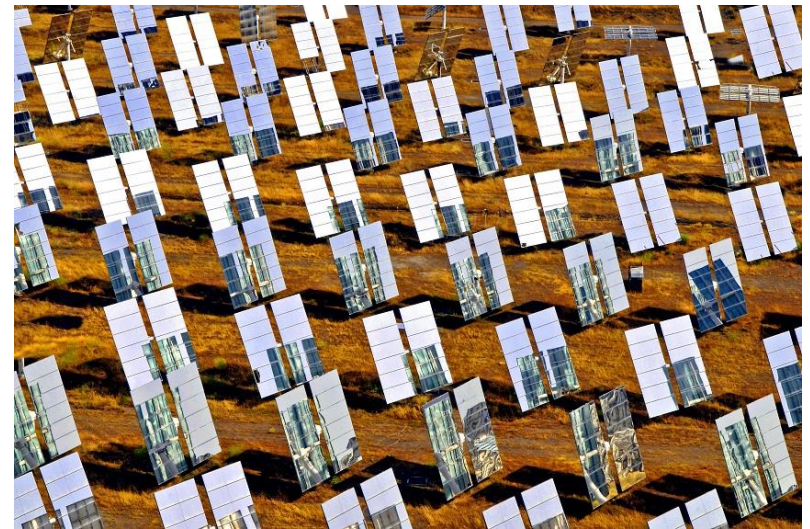
**SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS**

Final Workshop, Palmas (TO), 31 July 2018



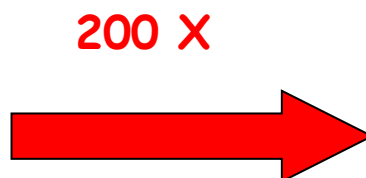
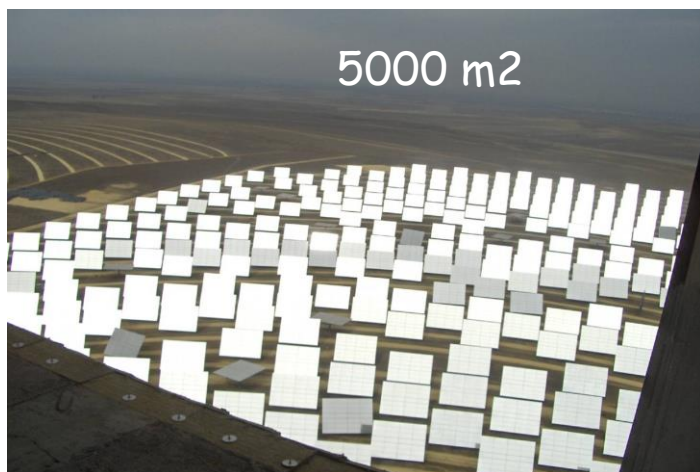
Sumário

-  Breve Introdução ao CSP
-  Implantação Comercial “Status”
-  Pontos Fortes e Fracos
-  Avaliando o Potencial do Tocantins
-  Conclusões



O que quer dizer “Concentração” ?

- Radiação Solar Direta é a fração da energia solar que atinge uma superfície apontada para o Sol.
- Atinge a Terra em grande quantidade, mas com densidade muito baixa, $I < 1,000 \text{ W/m}^2$.
- É necessário concentrá-lo coletando uma grande quantidade de energia com uma grande superfície espelhada e depois refletindo-a em uma superfície muito menor. Desta forma, podemos atingir densidades de energia na ordem de MW/m^2 .
- Isso pode ser feito com espelhos parabólicos ou esféricos.

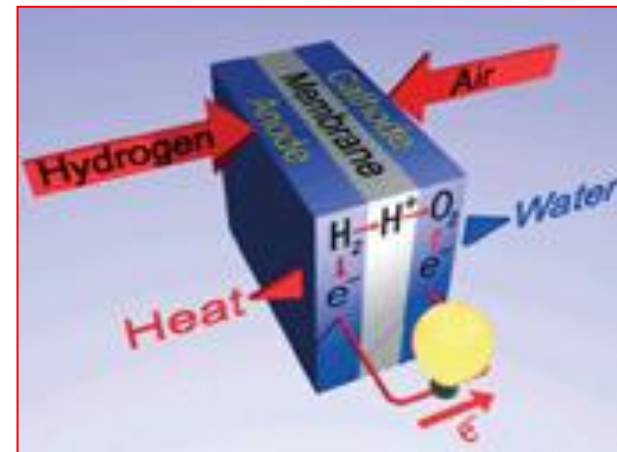


Aplicações de Tecnologias de Concentração Solar Térmica

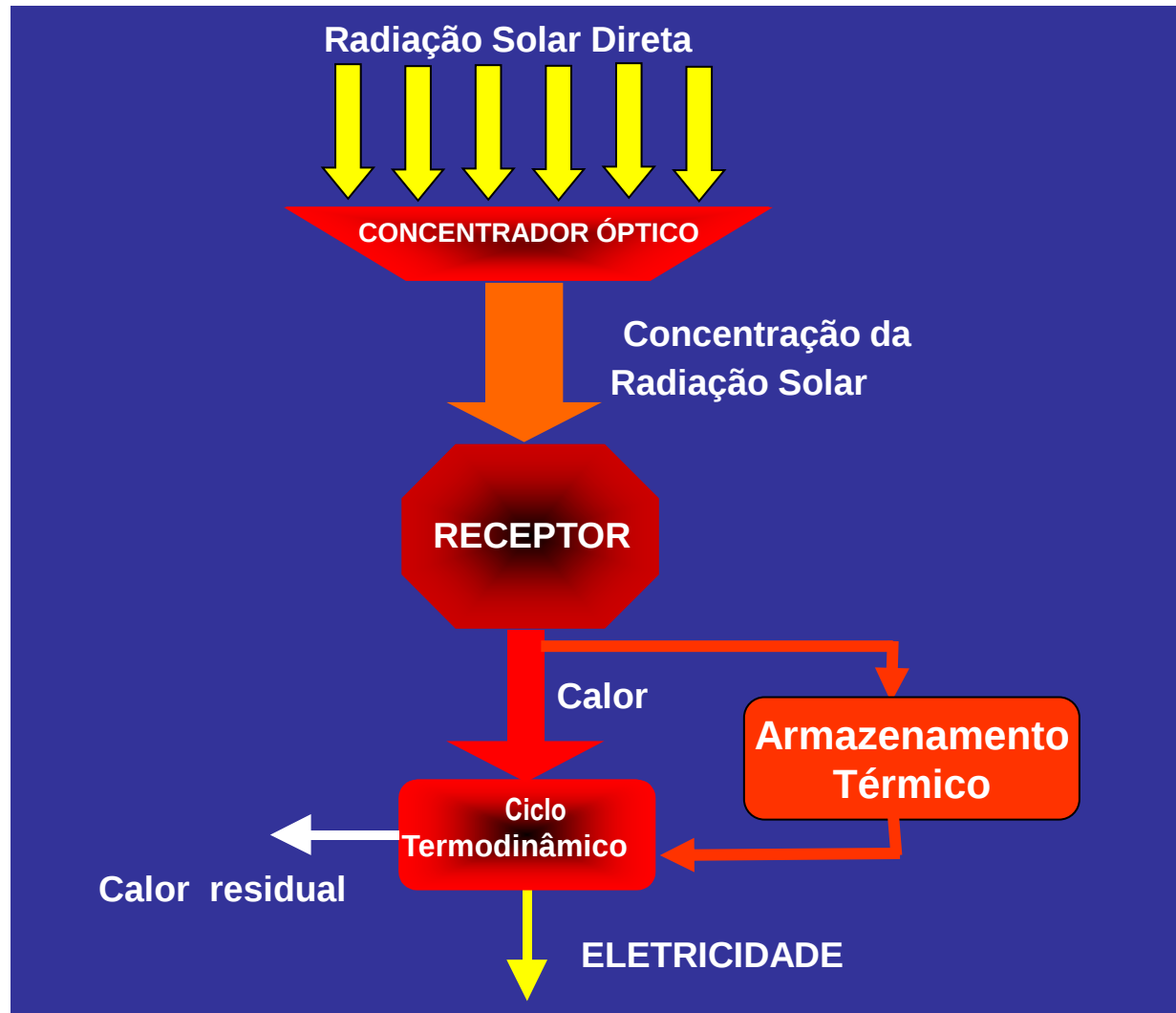
Generação de Eletricidade: é a aplicação comercial mais importante no presente. Estes sistemas solares são chamados de centrais térmicas solares.

Calor para Processos Industrial: a energia térmica é usada para alimentar processos industriais que exigem calor dentro da faixa 125°C - 2000°C

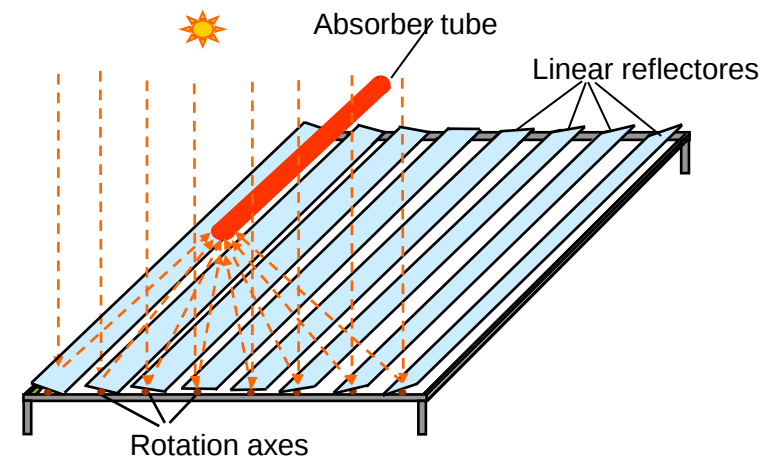
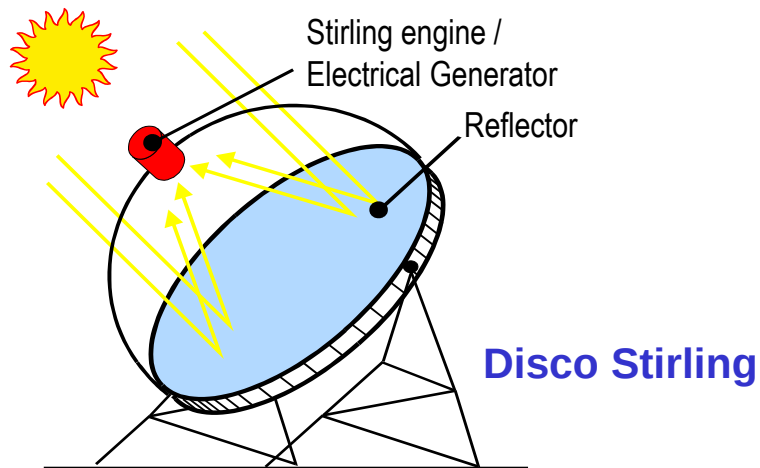
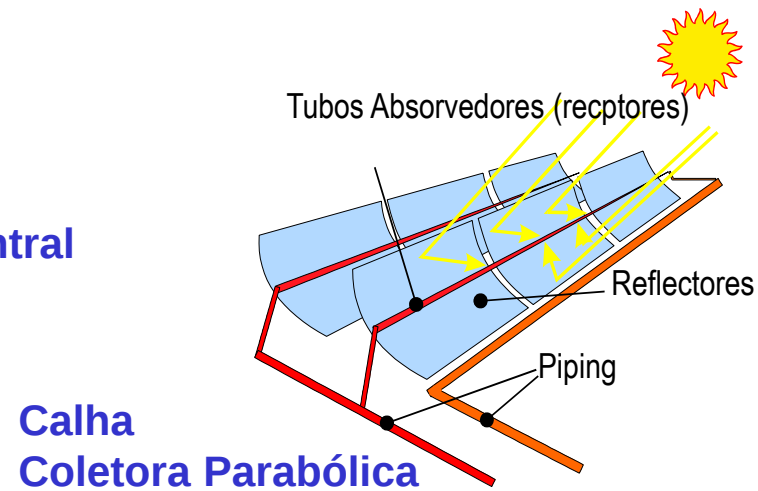
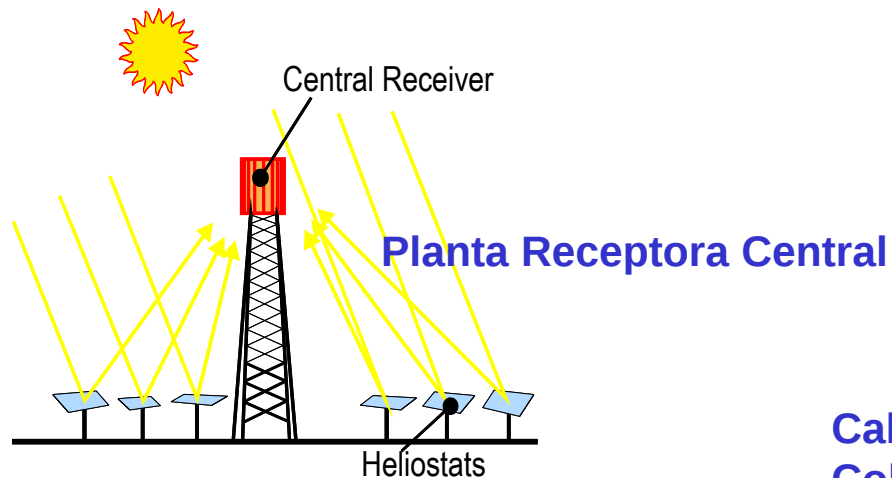
Por exemplo: produção termoquímica de hidrogênio → célula de combustível de carros elétricos



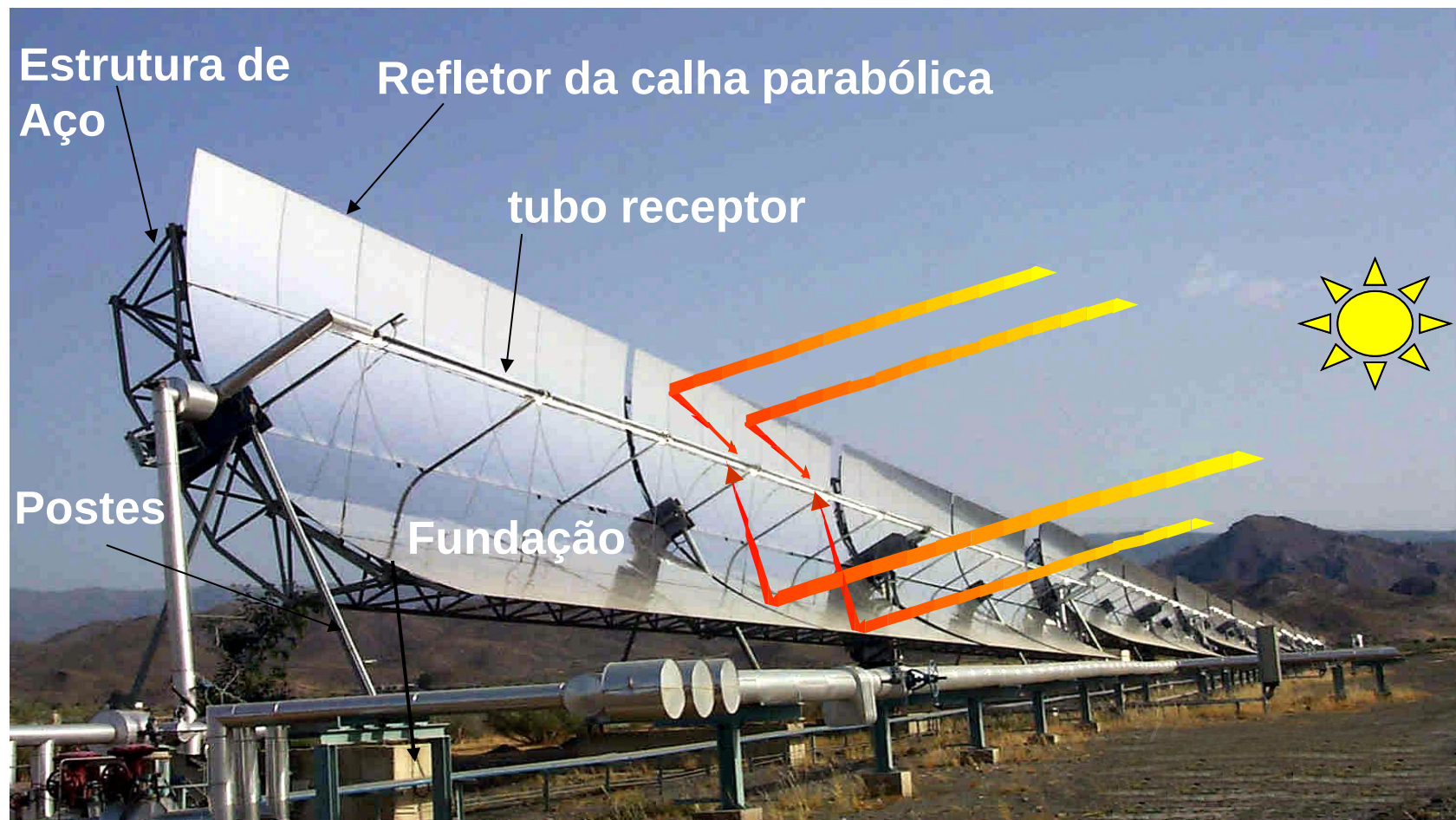
Como funciona uma planta de CSP?



Tecnologias Disponíveis



Um Coletor de Calha Parabólica

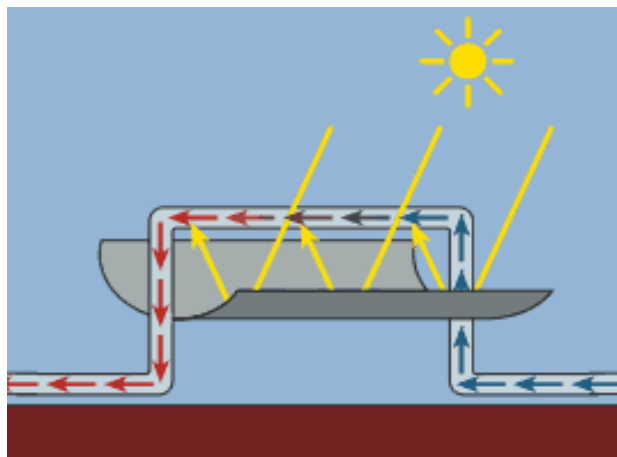


CSP Planta com Calha Coletora Parabólica

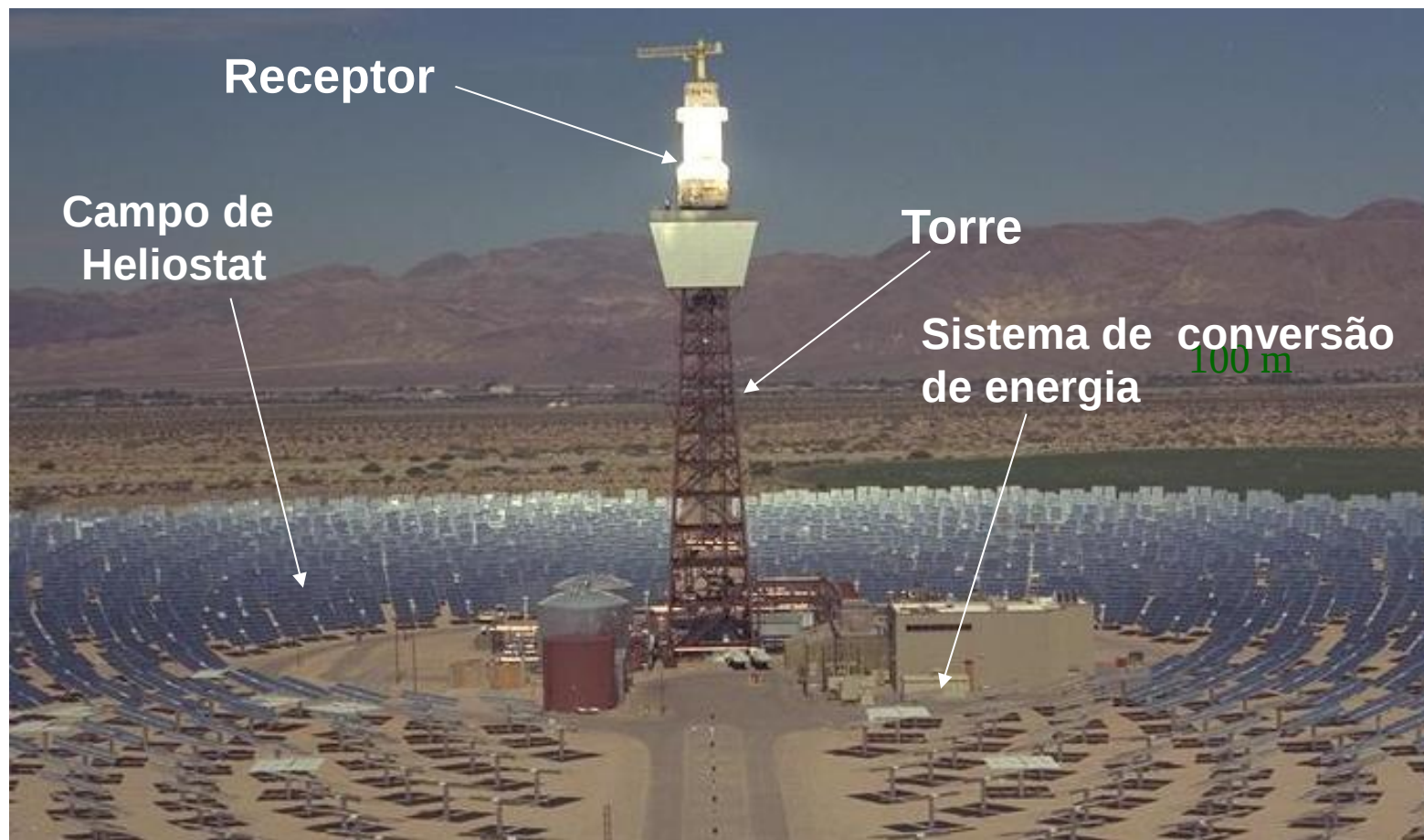


Campo Solar

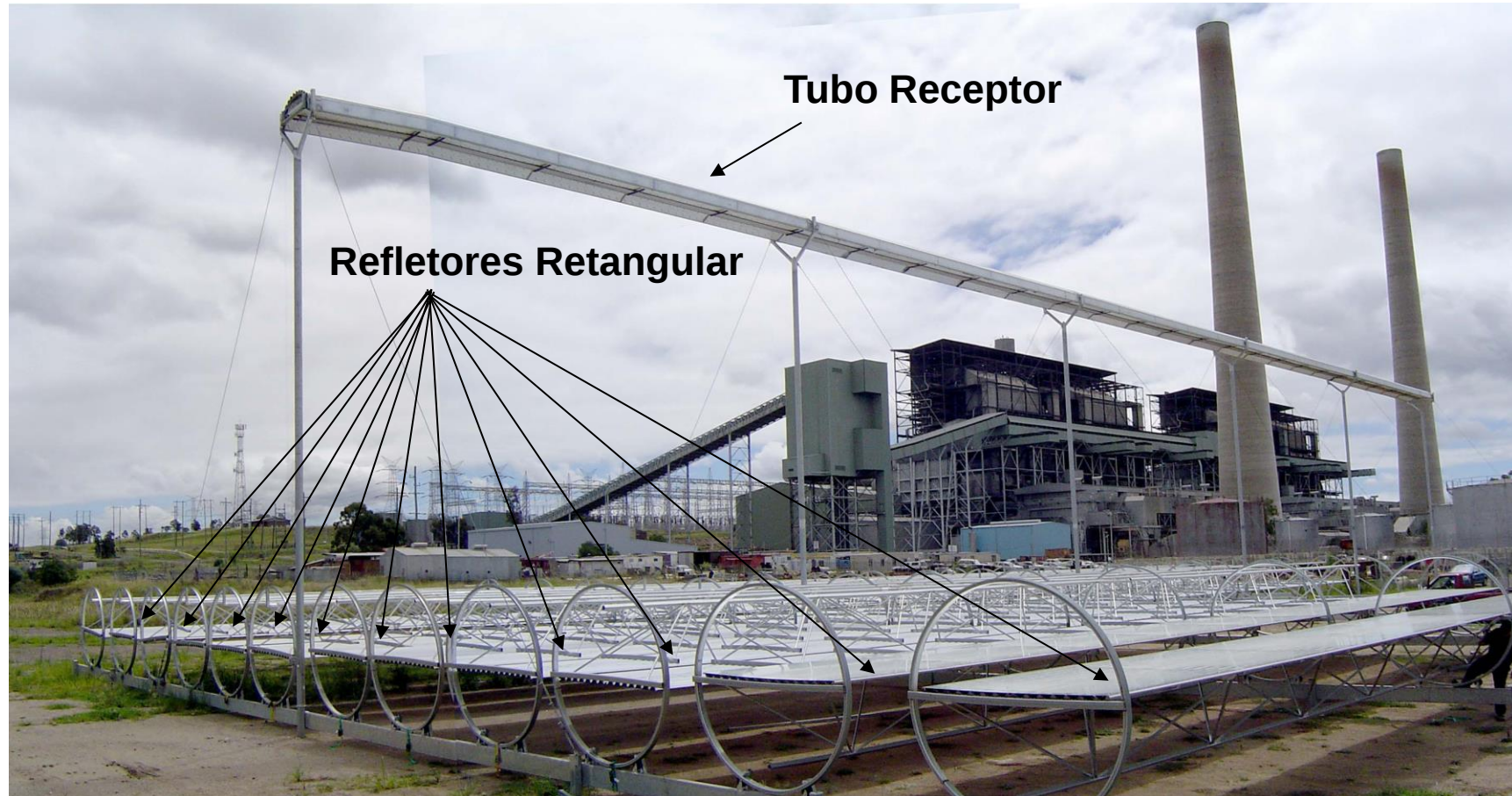
Sistema de Conversão de Energia



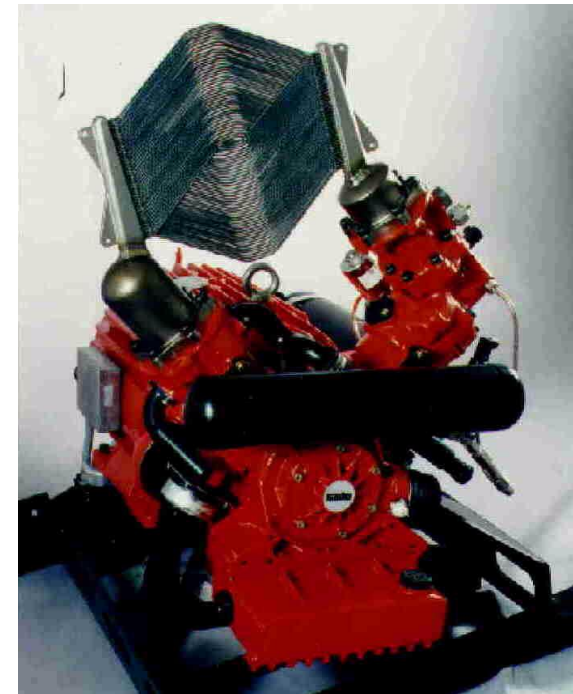
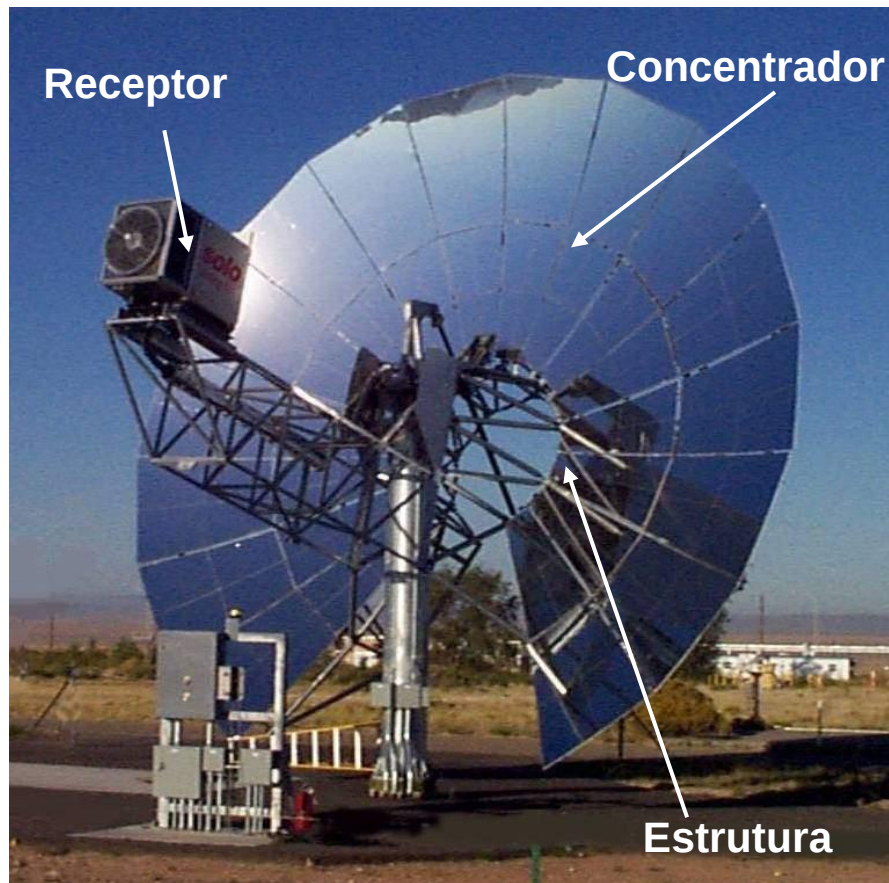
Plantas CSP com Receptor Central



Planta de CSP com Coletor Linear Fresnel



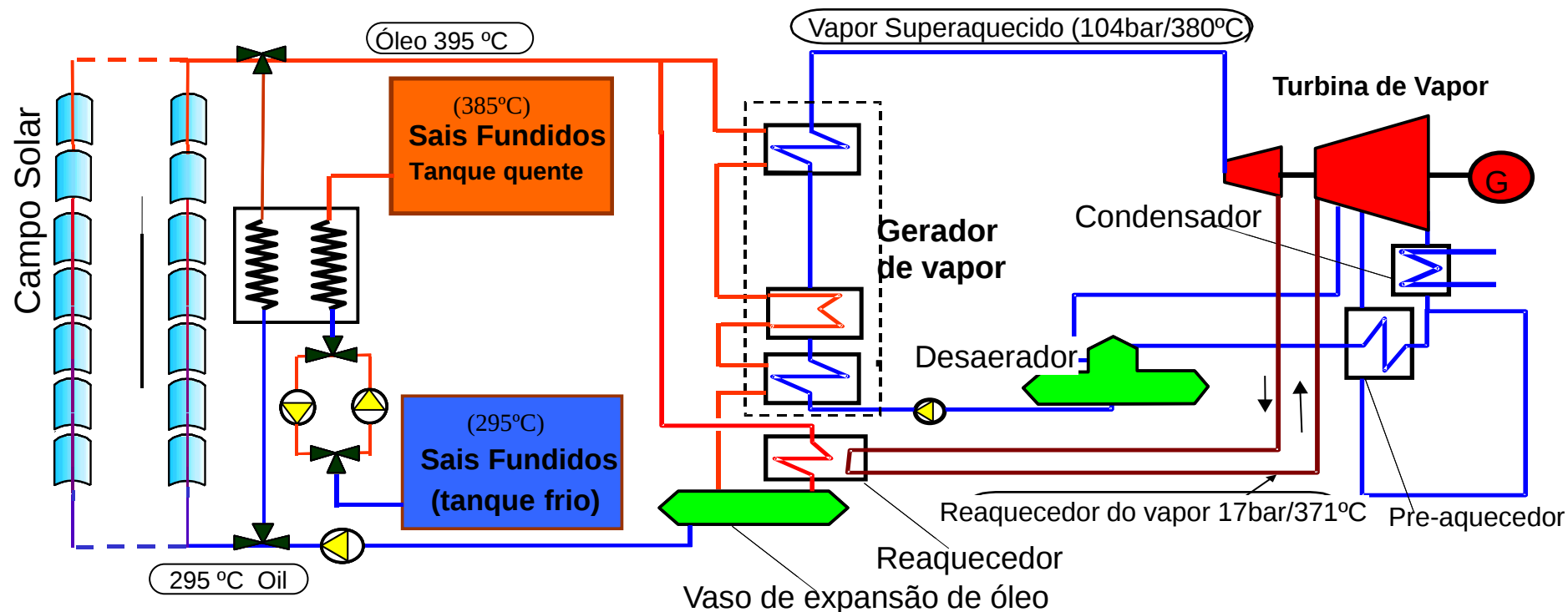
Plantas CSP com Unidade de Disco-Stirling



Estado da arte: Calha Parabólica

A tecnologia HTF usando **óleo como fluido de transferência** de calor do campo solar é totalmente comprovada, enquanto os sistemas de sal fundido estão se tornando a opção preferida para armazenamento..

Passos seguintes: Geração Direta de Vapor ou usar sais derretidos como HTF.



Estado da arte: Calha Parabólica

- 67 plantas comerciais em operação diária com 95% da capacidade total de CSP em todo o mundo.
- A maioria delas com 50 MW mais 7,5 h de armazenamento térmico.



ANDASOL-I plant (Granada, Spain)



IBERSOL plant (Ciudad Real, Spain)



SEGS-III and IV plants (California, USA)



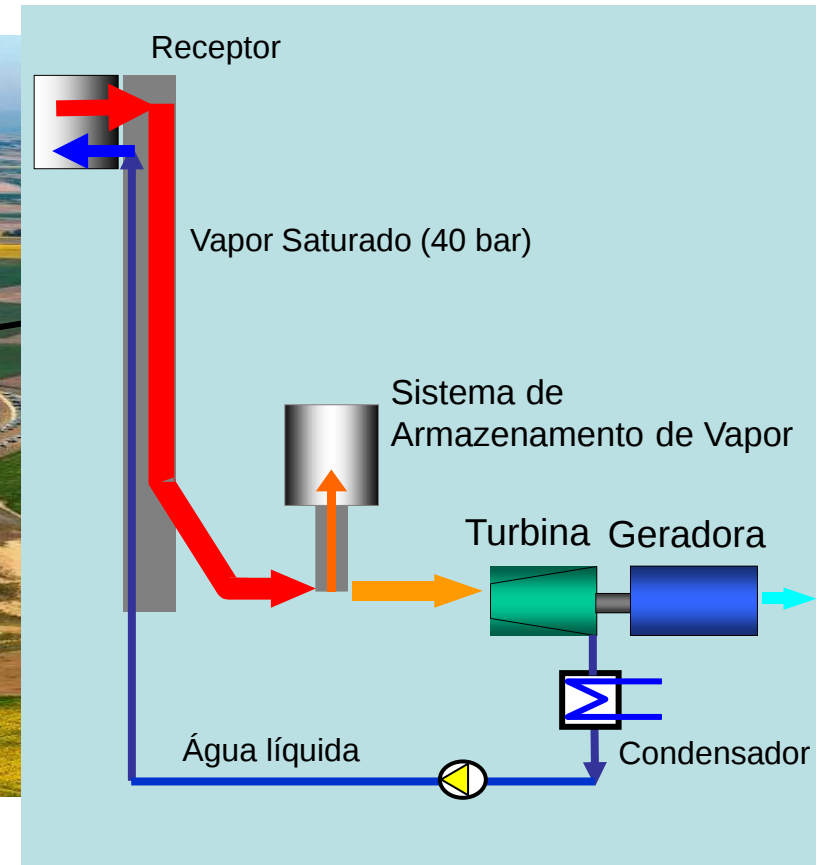
Nevada Solar One plant (Nevada, USA)

Estado da Arte: Torre Solar

A pioneira: duas plantas comerciais da ABENGOA em operação com a Torre Solar de 30 MWe (the PS-10 and PS-20 plants) em Sevilha, Espanha.



Visão Aérea das plantas PS-10 e PS-20



Estado da Arte: Torre Solar

Duas plantas pilotos de 5 MWe (a planta de Sierra Sun Tower construída pela e-Solar nos Estados Unidos e a Planta de SEDC construída pela BrightSource em Israel).
Estão produzindo vapor superaquecido em 60 bar/ 440°C e 150 bar/555°C respectivamente, usando projetos inovadores de heliostat.

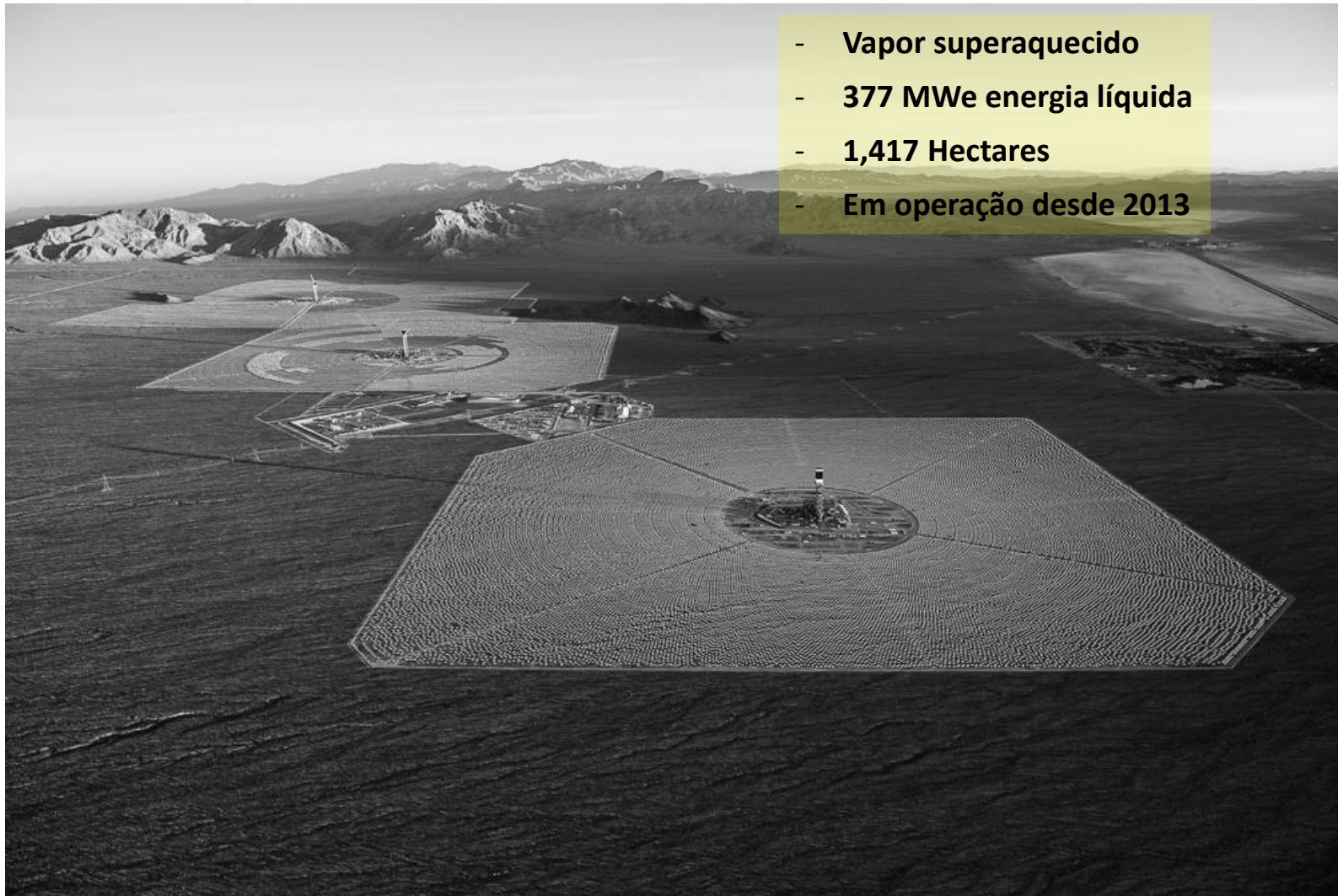


Planta Piloto Projetada e Construída pela e-solar (USA)



Vista de 1-m² de espelhos "heliostats" modelo da e-Solar

Projeto Solar BrightSource's Ivanpah



- Vapor superaquecido
- 377 MWe energia líquida
- 1,417 Hectares
- Em operação desde 2013

...e sais fundidos.....



Tower using molten salts
GEMASOLAR
17 MWe
October 2011
15h thermal storage !!
Spain



Tower using molten salts
CRESCENT DUNES (Solar Reserve)
February 2016
110 MWe, 10 h thermal storage
(Nevada, USA)

As Torres de Energia são os próximos passos!

Project	Country	MWe	Storage capacity	Energy cost (LCOE)	Status	Completion date
Crescent Dunes	U.S.	110	10 hours	\$169/MWh	Operation	Q4 2015
Noor III	Morocco	150	7.5 hours	\$163/MWh	Construction	Q4 2017
Redstone	South Africa	100	12 hours	\$125/MWh (PPA to be signed)	Development	Q3 2018
Crete CSP Plant	Greece	50	5 hours	\$310/MWh	Development	2019
DEWA CSP Project Phase I	U.A.E.	200	12 hours	\$80/MWh (targeted)	Planning	Q2 2021
Copiapo	Chile	240	14 hours	\$63/MWh (bid)	Planning	TBA

Source: CSP Today Global Tracker

Estado da Arte: Discos Stirling

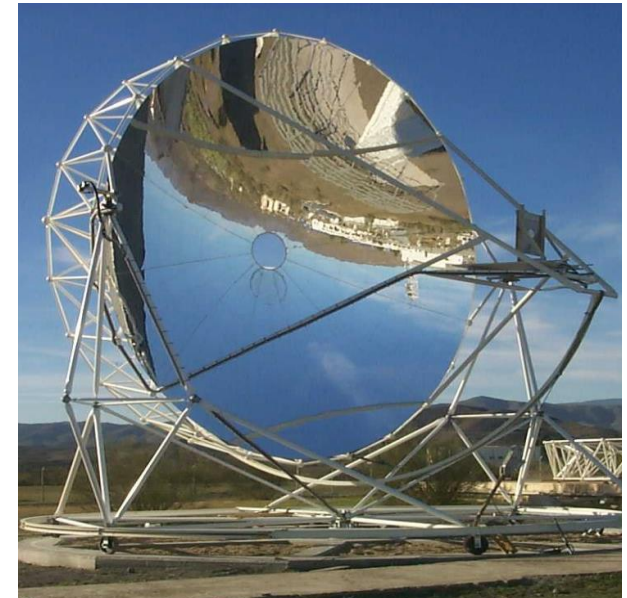
- Três modelos comerciais são disponibilizados (o de 3-kWe e de 25-kWe *modelos Americanos*, e o de 10 kWe modelo Europeu).
- Apenas duas plantas comerciais, ambas com 1,5 MW: uma da SES e outra da INFINIA.



Modelo 3kWe da INFINIA



Modelo 25kWe da SES
(SunCatcher)



Modelo 10kWe Enviroidish

Estado da Arte: Discos Parabólicos



Maricopa Solar (Peoria, AZ) by SES & Tessera Solar



**GOVERNO DO
ESTADO DO
TOCANTINS**

**SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS**

Final Workshop, Palmas (TO), 31 July 2018



Estado da arte: Linear Fresnel

- A principal barreira desta tecnologia é a baixa eficiência anual devido aos fatores geométricos. Vários protótipos são usados para melhorar a tecnologia e reduzir o custo de investimento para torna-se mais competitivo com os coletores parabólicos.
- Primeiras experiências: Duas pequenas plantas comerciais estão em rotina de operação : uma planta de 5-MWe da AREVA no USA e outra de 30-MWe da NOVATEC na Espanha (Puerto Errado-II)



5-MWe LFC plant in Kimberlina, USA



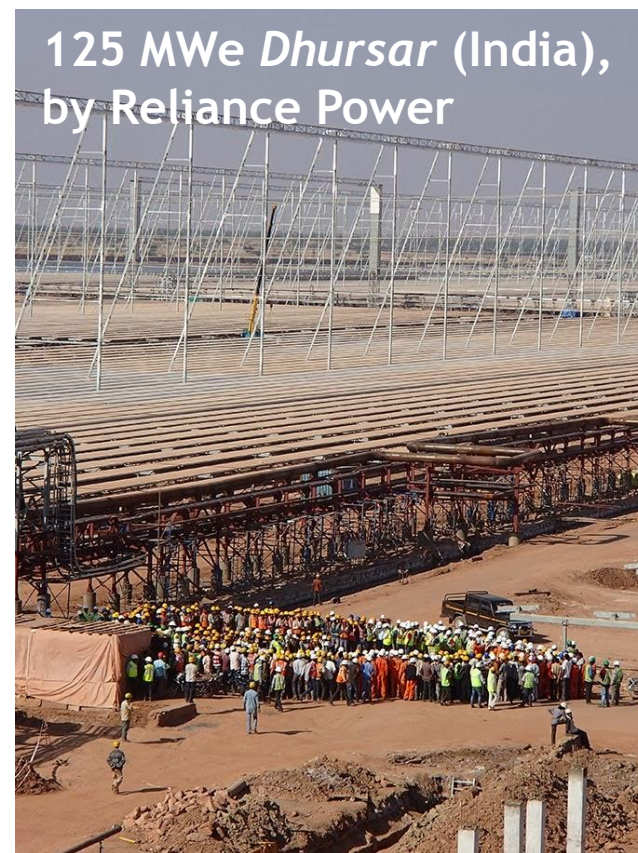
44-MW Kogan Creek Solar Boost in Queensland, Australia

Estado da Arte: Linear Fresnel

- Até agora, novos empreendimentos e plantas na China e na Índia, totalizando 425 MW



**30 MWe *Puerto Errado-2*
(Murcia), by Novatec**



Estado da Arte: Linear Fresnel (II)



- Módulos de 30 kWth
- Aplicações até 320°C

- Uso para calor em processo industrial, centrais de ar condicionado, etc....
- Modelo FLT de SOLTIGUA. Se pode instalar em telhados prediais...

Desenvolvimento comercial: a estrada até agora

- Embora haja atividade comercial desde os anos 80, isso aconteceu em "ondas", seguindo subsídios governamentais específicos.
- As plantas dos EUA no Deserto de Mojave (Califórnia):
- SEGS I-IX, promovido pela LUZ para um total de 354 MW (1981-1991).
- As plantas espanholas nos primeiros anos deste século:
- 2343 MW de vários promotores, geralmente 50 MW unidades (2007-2013).



Países com atividades excepcionais atuais

CSP está decolando nesses países, confiando em diferentes estratégias governamentais: FIT, parques solares, etc ..., geralmente sob algum tipo de "iniciativa nacional" com um período de tempo e uma meta de energia a ser instalada.

- Marrocos
- Estados Unidos
- África do Sul
- Chile
- China
- Emirados Árabes Unidos
- Índia

Source: SOLARGIS by Geomodel Solar



**GOVERNO DO
ESTADO DO
TOCANTINS**

SECRETARIA DO
**MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS**

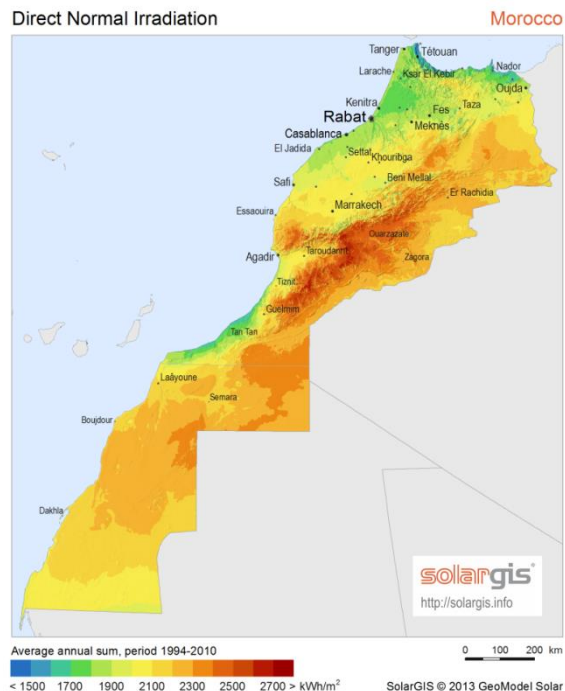
Final Workshop, Palmas (TO), 31 July 2018

25



Os Campeões: Marrocos

- O Marrocos foi altamente ativo durante 2015 e levou a usina Noor I de 160 MW on-line. Noor I faz parte de um complexo CSP Noor-Ouarzazate de 500 MW (Noor II 200 e Noor III 150 MW), que deverá estar totalmente operacional em 2018..



Os Campeões: África do Sul

- A África do Sul levou sua primeira capacidade comercial de CSP on-line em 2015 com a instalação de 100 MW KaXu Solar One e a instalação de 50 MW Bokpoort. Mais 50 MW foram adicionados no início de 2016, quando a instalação Khi Solar One entrou em operação, elevando a capacidade total da África do Sul para 200 MW. Outros quatro projetos estão em construção para um total de 400 MW.
- A força motriz é o REIPPP governamental



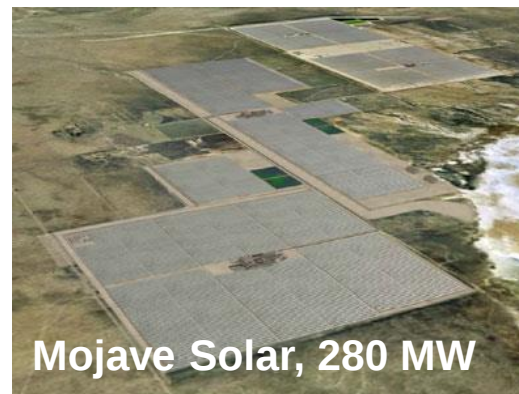
Khi Solar One, 50 MW



Kaxu Solar One, 100 MW

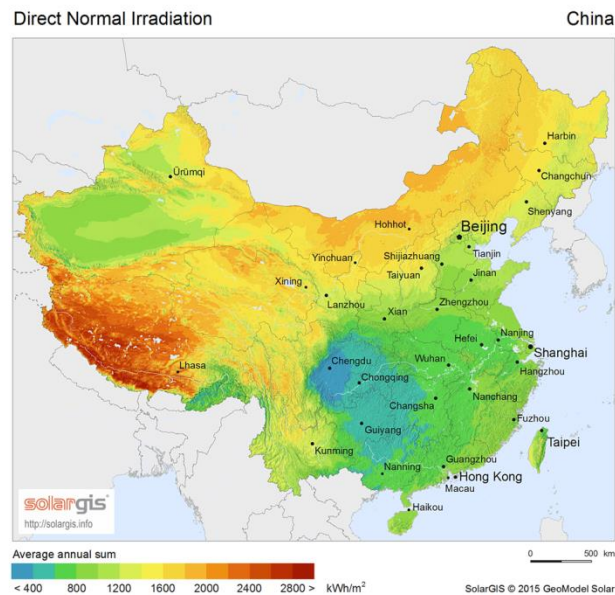
Os Campeões: Estados Unidos (USA)

- *Os Estados Unidos acrescentaram a instalação de 110 MW da **Crescent Dunes** para encerrar o ano com mais de 1,7 GW em operação. Isso se seguiu a um ano recorde no país em 2014, durante o qual quase 0,8 GW foram colocados em linha.*
- *A partir do início de 2016, nenhuma nova capacidade de CSP estava em construção nos Estados Unidos.*
- *Permitindo desafios, um aumento do setor de energia solar fotovoltaica e baixos preços do gás natural resultaram em atrasos indefinidos em vários grandes projetos de CSP.*



Os Campeões: China

- O país (NEA) lançou um esquema FIT (15 centavos de euro / kWh) para 1 GW de "Projetos Piloto" este ano. O valor final é de 20 projetos aceitos, totalizando 1,35 GW, e devem ser concluídos em 2018.
- Uma meta de 5 GW para 2020 foi definida pela NEA.
- A China desenvolveu um local de testes em Badaling, pertencente à Academia Chinesa de Ciências.



Países e seus caminhos

- Alguns países estão promovendo o CSP de diferentes maneiras e com diferentes metas e prazos:
 - **Argentina:** Publicado em primeira chamada para subsidiar 1 GW de projetos de ER em 2016.
 - **India:** *Jawaharlal Nehru National Solar Mission* (year 2010), setting an ambitious target of 20,000 MW installed power by 2022. Creation of ‘*Solar Parks*’. Mostly PV.
 - **Chile:** Torre de Energia em construção (110 MW) **Cerro Dominador** .
 - **Israel:** Planta de Torre de Energia(121 MW). Building **Ashalim**
 - **Algeria:** A meta de 2 GW em CSP até 2030 foi anunciada em 2015. Um FIT está sendo projetado.
 - **UAE:** Local de Testes do Instituto Masdar. Parque Solar Al-Maktoum (1 GW). Primeira torre de energia de 200 MW em tubulação. SHAMS-1 (100 MW) em operação desde o ano de 2013.

É tudo sobre calor, no final do dia...

- Recuperação aprimorada de óleo (EOR): O vapor é injetado no reservatório para extrair o óleo.
- **Glasspoint** desenvolveu uma tecnologia CSP (Enclosed Trough) confiável para ambientes desérticos, contando com "estufas".
- Projetos na Califórnia e Omã (1 GW thermal).



É tudo sobre calor, no final do dia...(II)

- O principal produto da CSP é o "calor" que é usado para fazer funcionar uma turbina a vapor / gás para fornecer uma commodity como a eletricidade para a rede.
- No entanto, o calor pode ser usado diretamente em muitas aplicações.

-Sundrop Farms in Port Augusta (Australia) está usando energia solar térmica para dessalinização de água nesta paisagem seca, e assim produzir tomates.

-Tecnologia de Torre Solar pela Aalborg CSP.



É tudo sobre calor, no final do dia...(III)

- O sistema CSP fornece:
 - ✓ Energia térmica para dessalinização de água
 - ✓ Energia térmica para aquecer as estufas em algumas noites de verão
 - ✓ Eletricidade

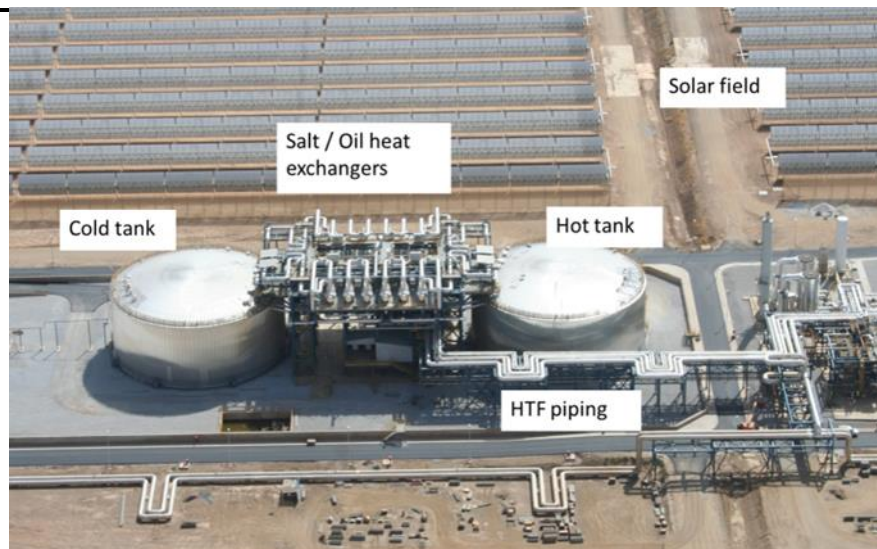


O lado “bom” do CSP

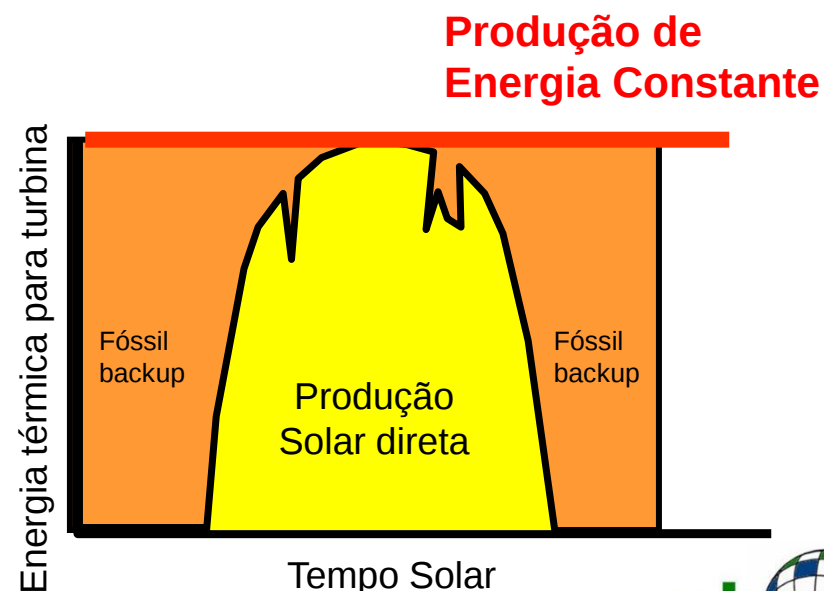
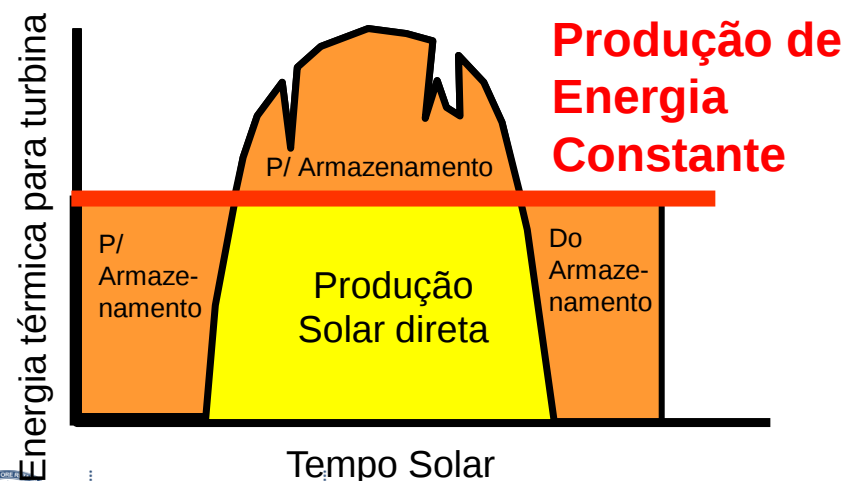
- Alto potencial para fornecimento local e criação de empregos.
- A energia térmica pode ser armazenada, então a eletricidade é “despachável”. Ele pode permitir que a rede receba contribuições de outras fontes de ER.
- Pode ser integrado com uma usina de combustível fóssil convencional (ISCC)
- É no início da “curva de aprendizado”, **um enorme potencial para melhorar e reduzir custos.**



O lado “bom” do CSP: Armazenamento da Energia Térmica



- Custo de Investimento: 30 \$US/kWh (NREL, 2013)
- Fase da mudanças de Materiais (PCMs) são os “próximos avanços”
- Duas formas de produzir energia constante:



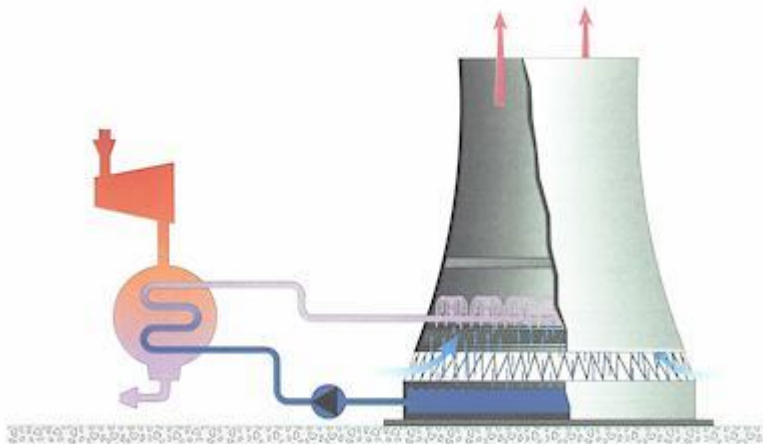
O lado “bom” do CSP: Uso de uma caldeira “backup”

- Para manter/aumentar a temperatura do óleo:
 - Modo Anti-cogelante
 - Suporte durante a passagem de nuvens
 - Rápido funcionamento da planta pelo período da manhã
 - Produção completa “modo gás”

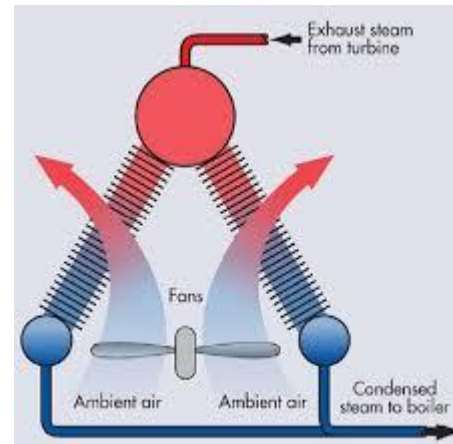


O lado “ruim” do CSP

- Sensível a poeira
- As tecnologias atuais precisam de muita água para resfriamento, tão quanto as plantas similares de combustíveis fósseis (3-5 L/kWh)
- Usa apenas a DNI, a GHI não é usada.
- LCOE maior do que PV ou Vento, até agora.



Resfriamento úmido

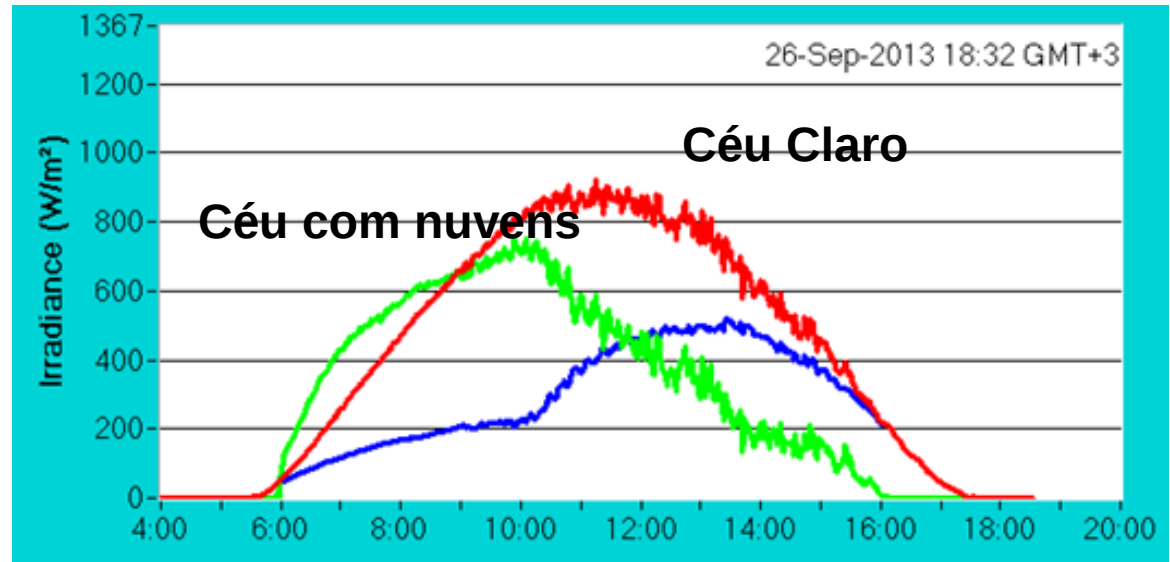
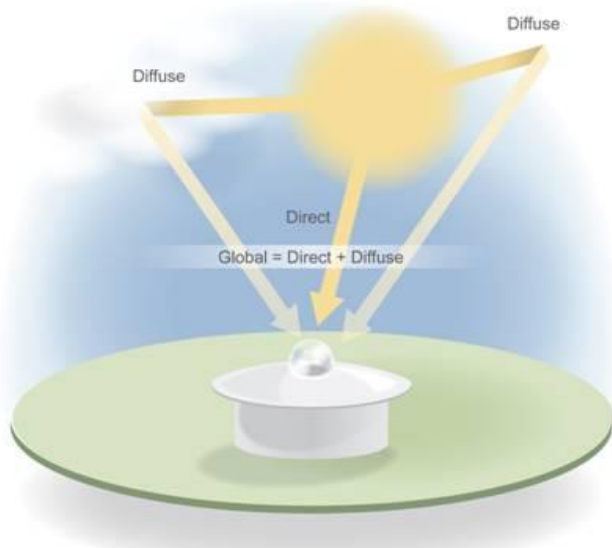


Resfriamento à seco



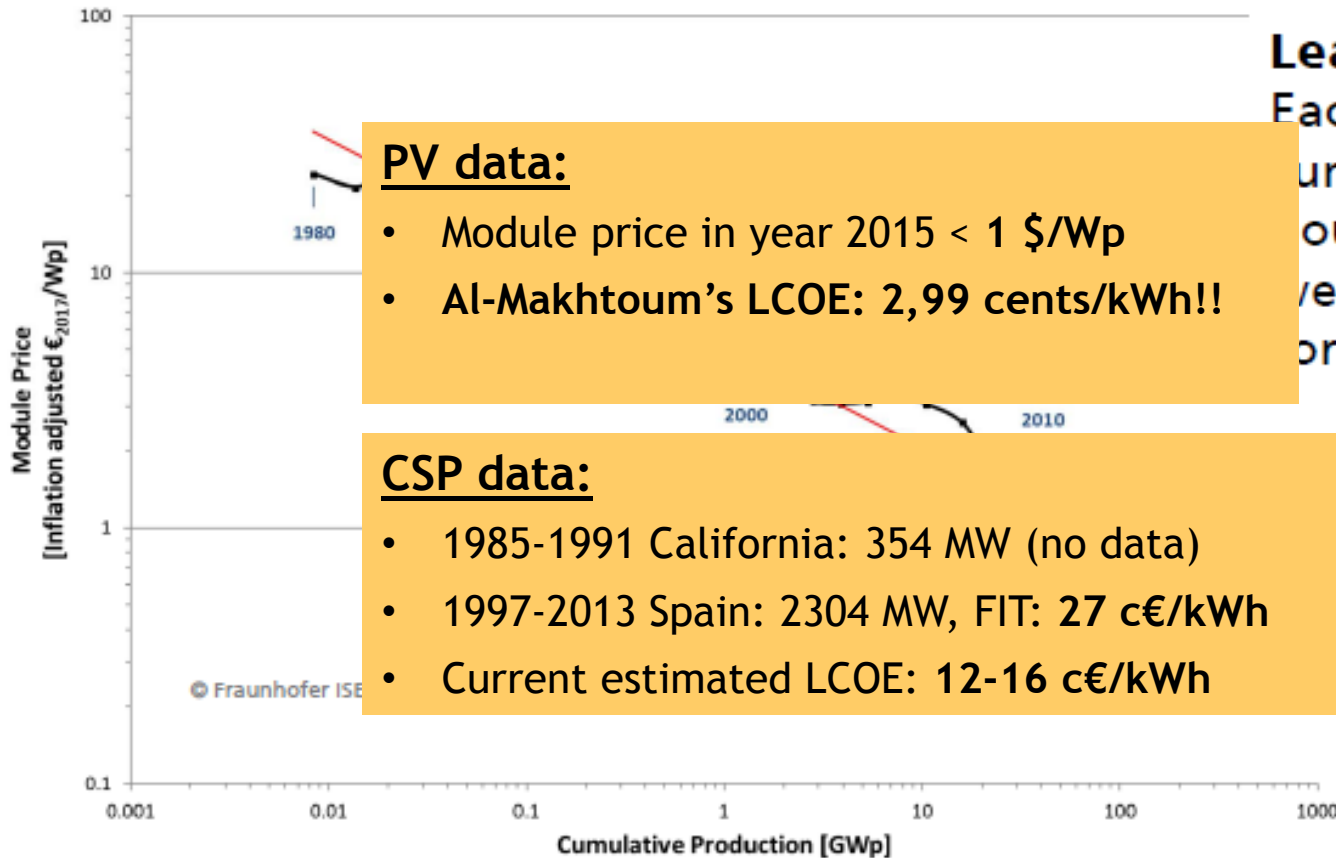
**Alto consumo
“Energias
Perdidas”**

O lado “ruim” do CSP: DNI vs GHI



A única solução é usar locais com uma DNI acima 2.000 kWh/m²/ano (7.200 MJ/m²/ano)

Um exemplo encorajador: Evolução do mercado de PV nos últimos anos



Learning Rate:

Each time the cumulative production doubled, the price went down by 24 % for the last 37 years.

Source: Photovoltaics Report 2017, Fraunhofer-ISE

Source: Cost vs Value Approach 2016, ESTELA



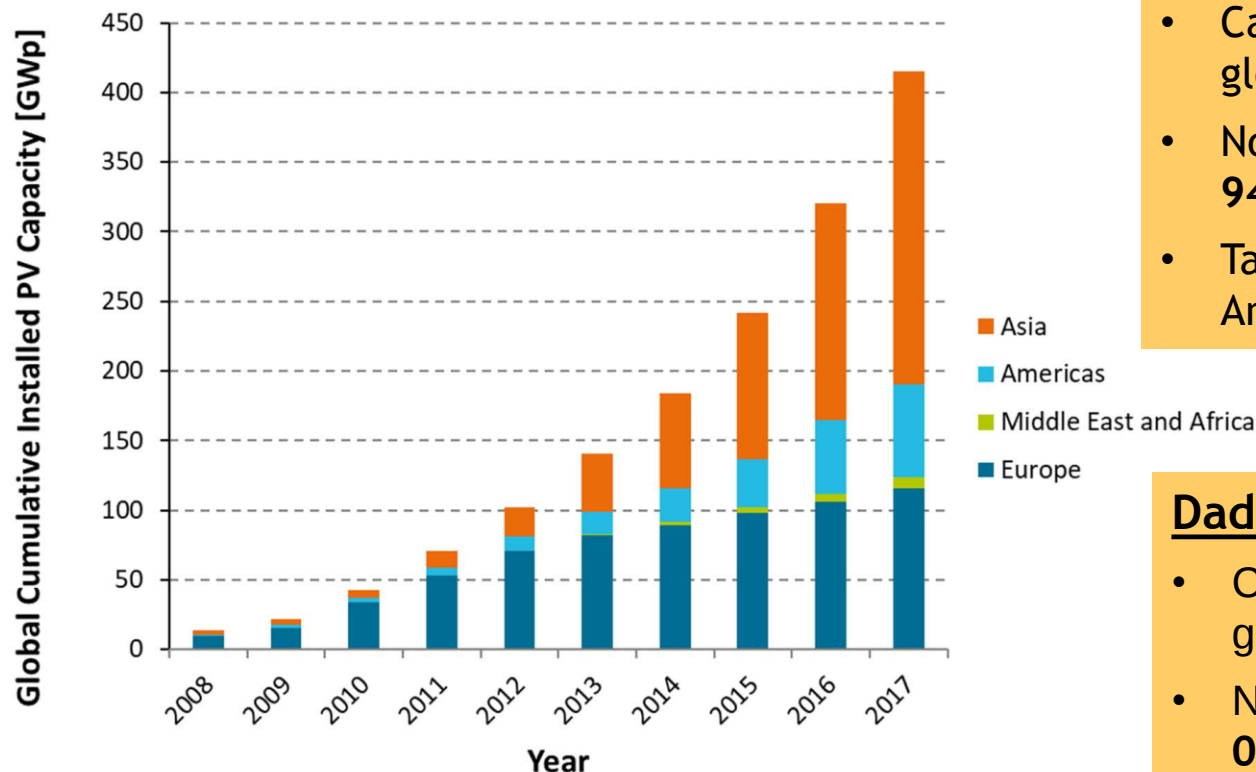
**GOVERNO DO
ESTADO DO
TOCANTINS**

SECRETARIA DO
**MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS**

Final Workshop, Palmas (TO), 31 July 2018⁹



Um exemplo encorajador: Evolução do mercado de PV nos últimos anos (II)



Dados de PV :

- Capacidade instalada acumulativa global: **415 GWp**
- Nova capacidade no ano de 2017: **94.6 GWp**
- Taxa de crescimento composta Anual 2010-2017: **24%**

Dados de CSP:

- Capacidade instalada acumulativa global: **4,9 GW**
- Nova capacidade no ano de 2017: **0,1 GW**

Source: Photovoltaics Report 2017, Fraunhofer-ISE

Source: Renewables 2018 Report, REN 21



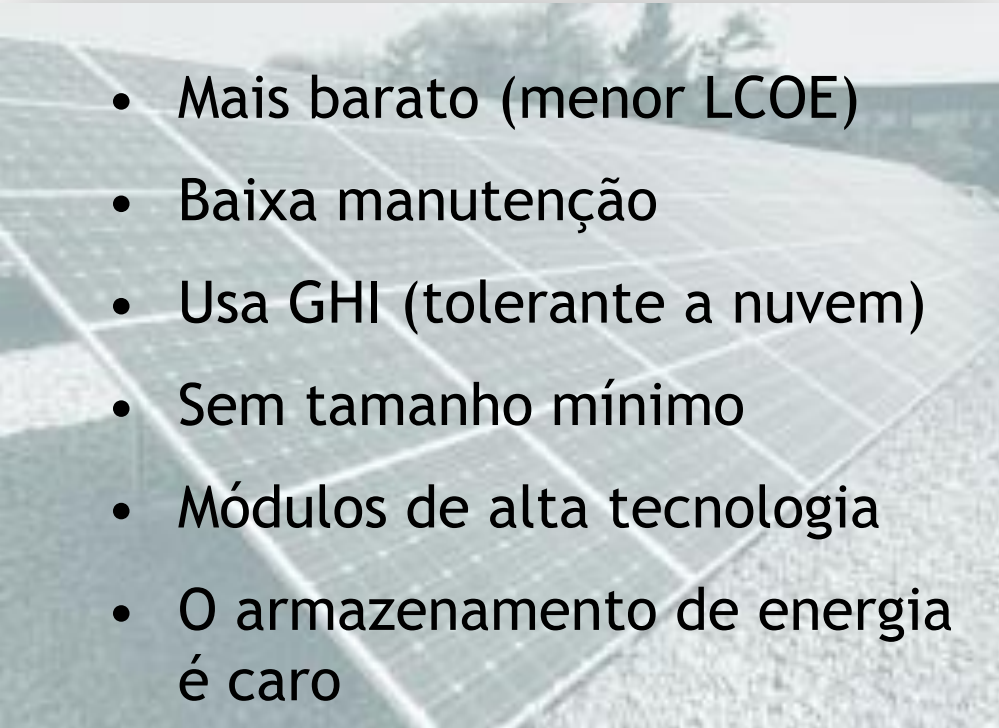
**GOVERNO DO
ESTADO DO
TOCANTINS**

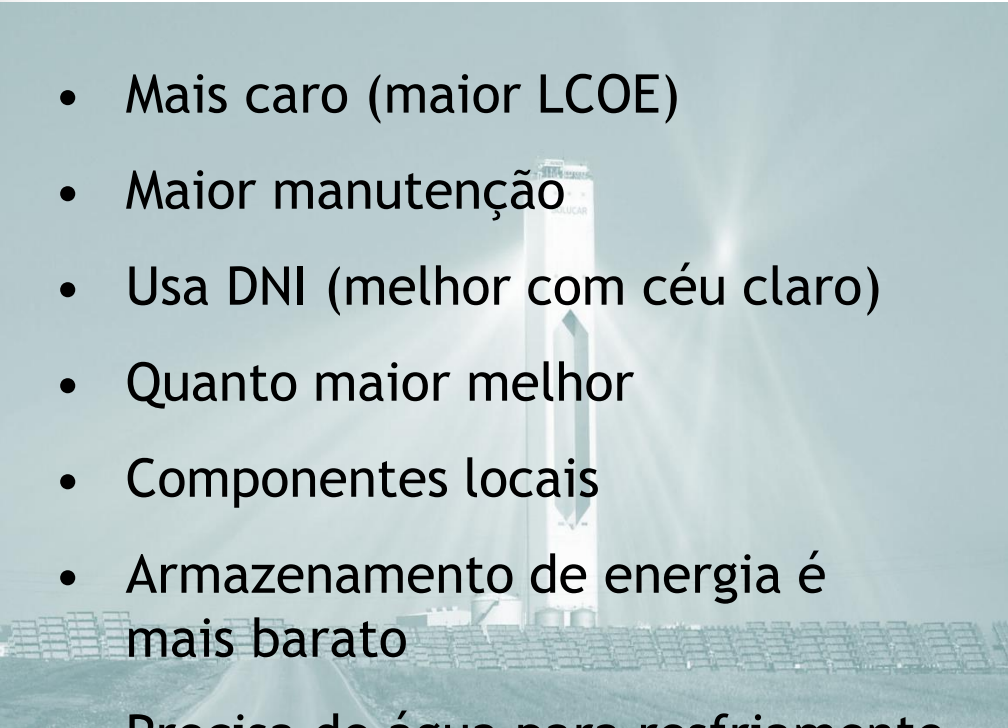
SECRETARIA DO
**MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS**

Final Workshop, Palmas (TO), 31 July 2018⁰

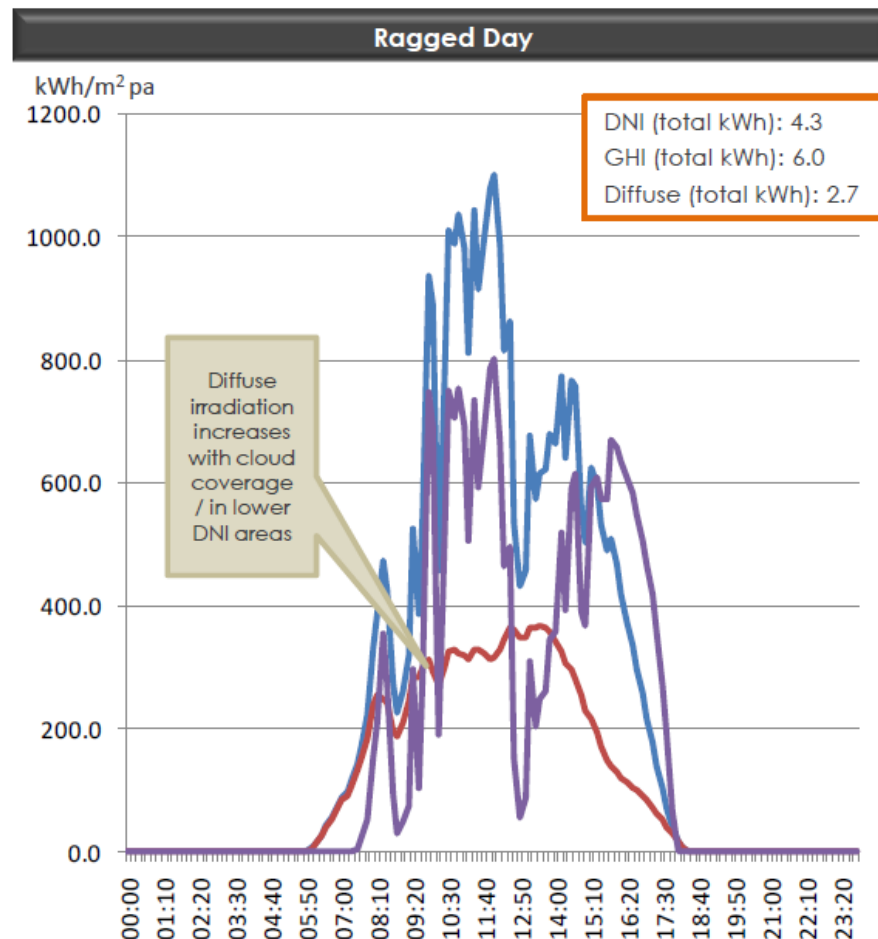
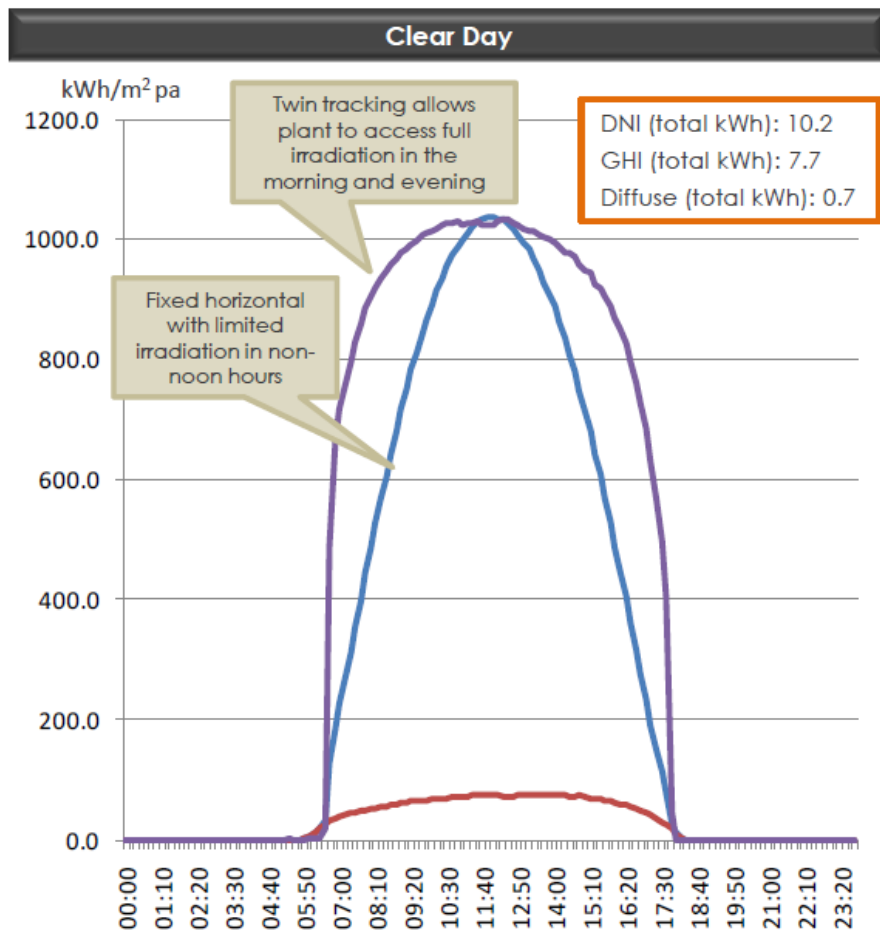


PV vs CSP

- 
- Mais barato (menor LCOE)
 - Baixa manutenção
 - Usa GHI (tolerante a nuvem)
 - Sem tamanho mínimo
 - Módulos de alta tecnologia
 - O armazenamento de energia é caro

- 
- Mais caro (maior LCOE)
 - Maior manutenção
 - Usa DNI (melhor com céu claro)
 - Quanto maior melhor
 - Componentes locais
 - Armazenamento de energia é mais barato
 - Precisa de água para resfriamento
 - Combina Calor e Electricidade
 - Híbrido com gás natural/biomassa

Solar Resource Basics

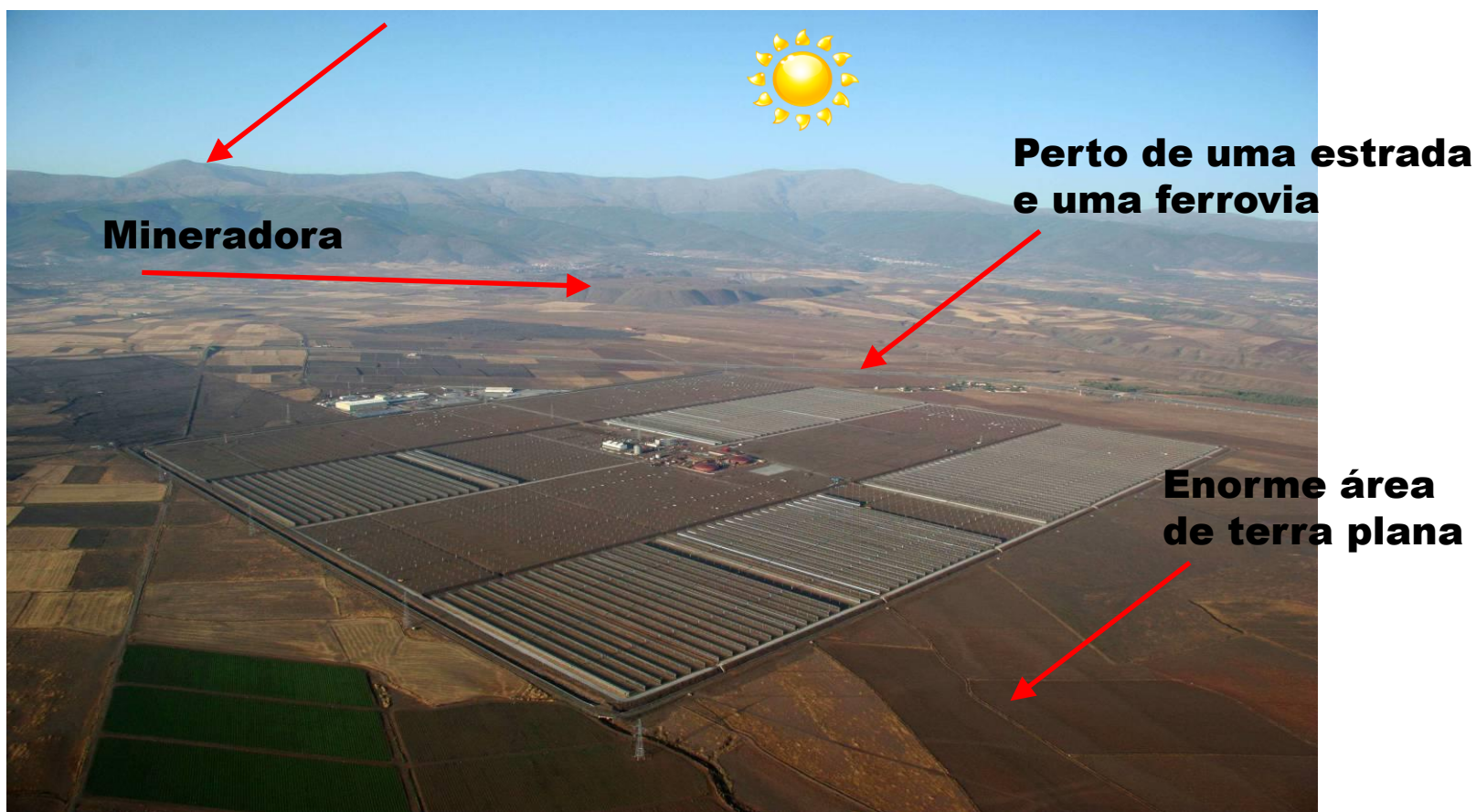


Source: Silvia Martinez Romero; World Bank

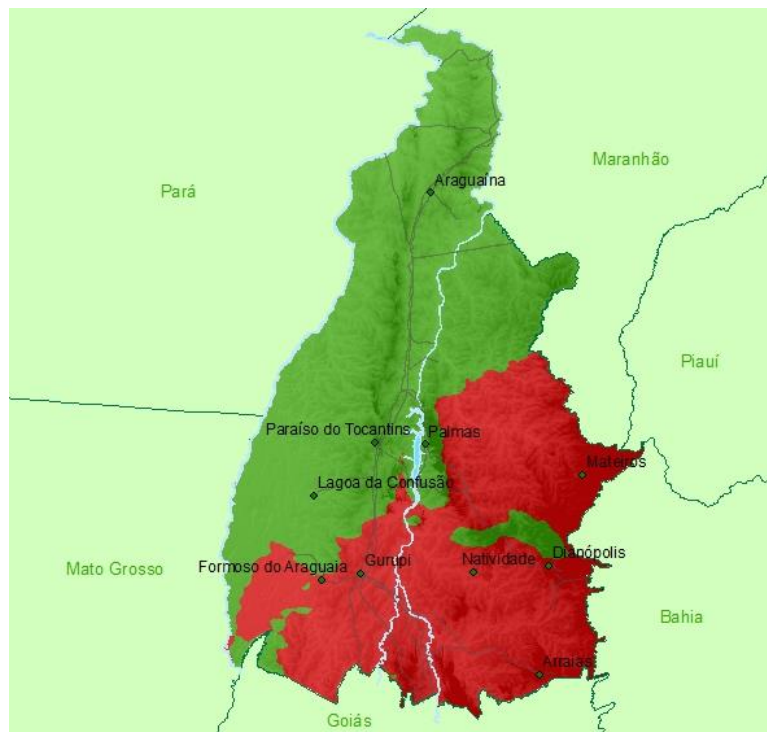
Um exemplo de boa localização: ANDASOL (Granada, Spain)

Montanhas nevadas = água subterrânea

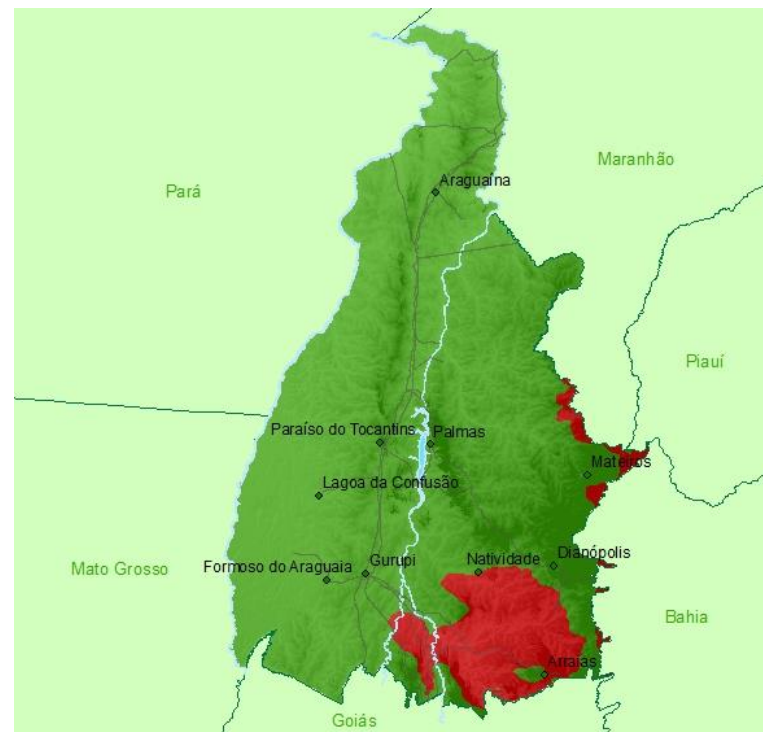
DNI 2.200 kWh/m²a = Lugar ensolarado



Potencial da Irradiância Solar Direta Normal

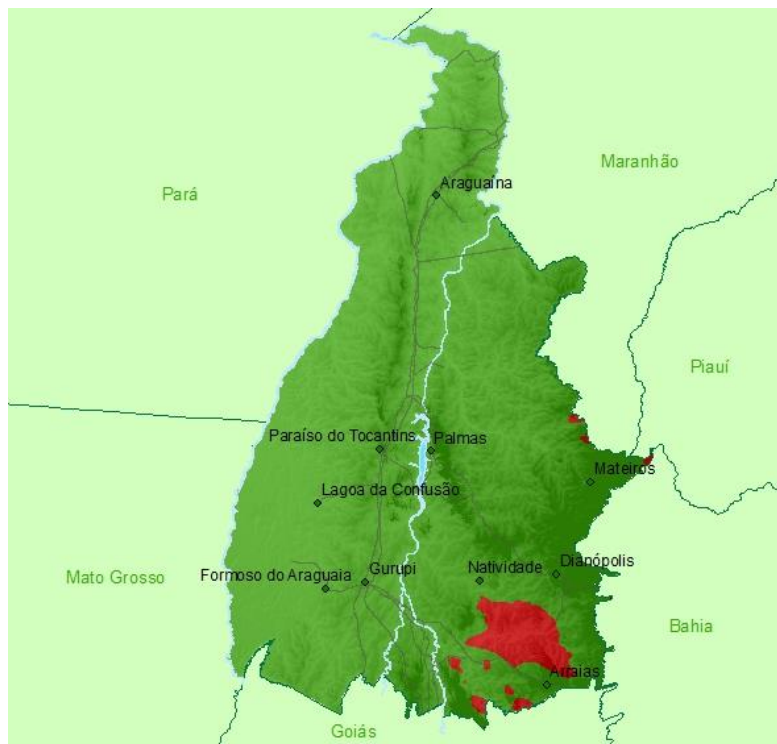


DNI >	6.600 MJ/m ² /ano
	1.833 kWh/m ² /ano
	5,0 kWh/m ² /dia
Área	130.000 km ² (aprox.)
Potencial	6.500 Gwe

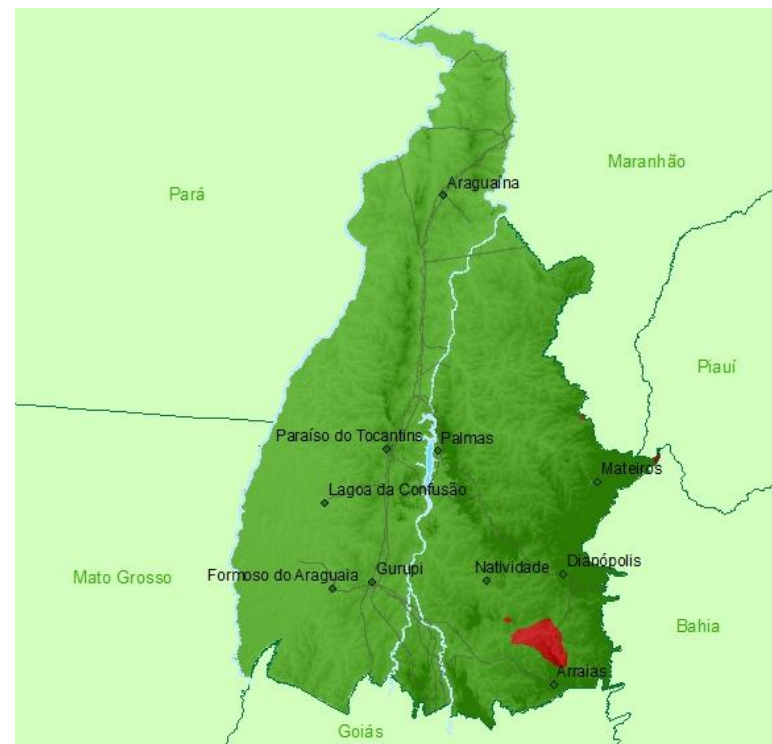


DNI >	7.000 MJ/m ² /ano
	1.944 kWh/m ² /ano
	5,3 kWh/m ² /dia
Área	31.169 km ²
Potencial	1.558 Gwe

Potencial da Irradiância Solar Direta Normal (II)

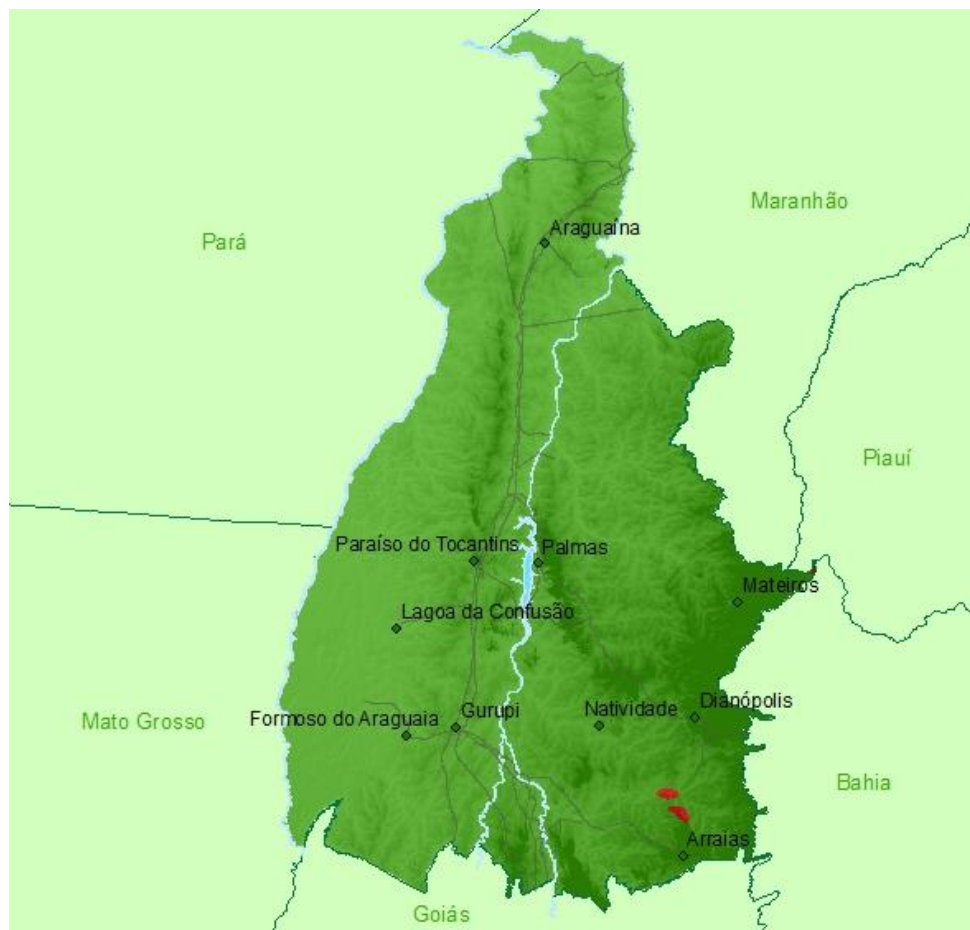


DNI >	7.200 MJ/m ² /ano
	2.000 kWh/m ² /ano
	5,5 kWh/m ² /dia
Área	9.616 km ²
Potencial	481 Gwe



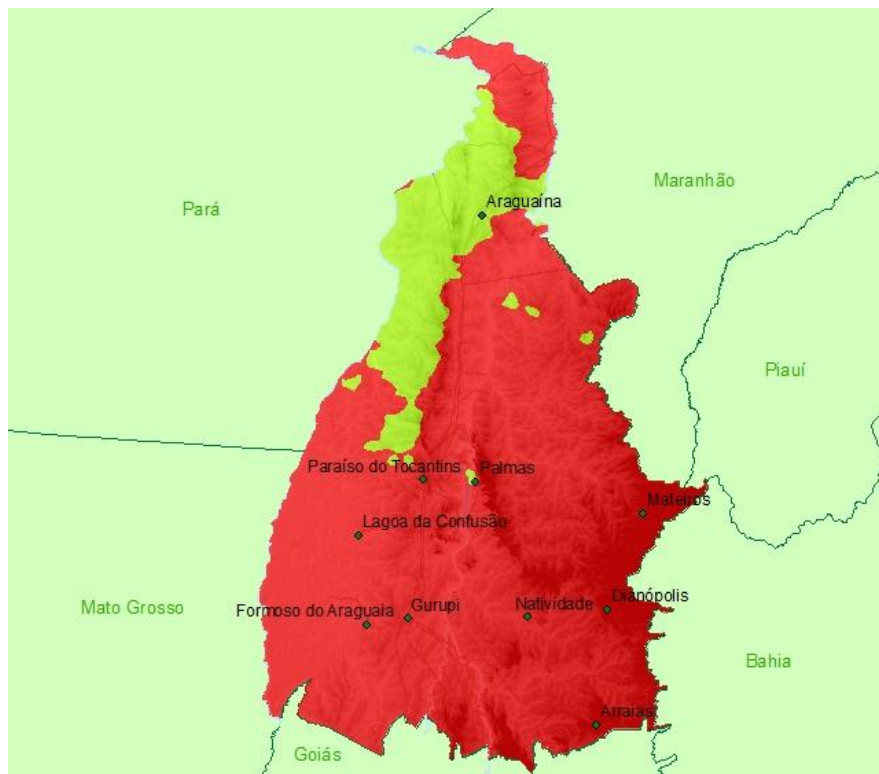
DNI >	7.300 MJ/m ² /ano
	2.028 kWh/m ² /ano
	5,6 kWh/m ² /dia
Área	2.619 km ²
Potencial	131 Gwe

Potencial da Irradiância Solar Direta Normal (III)

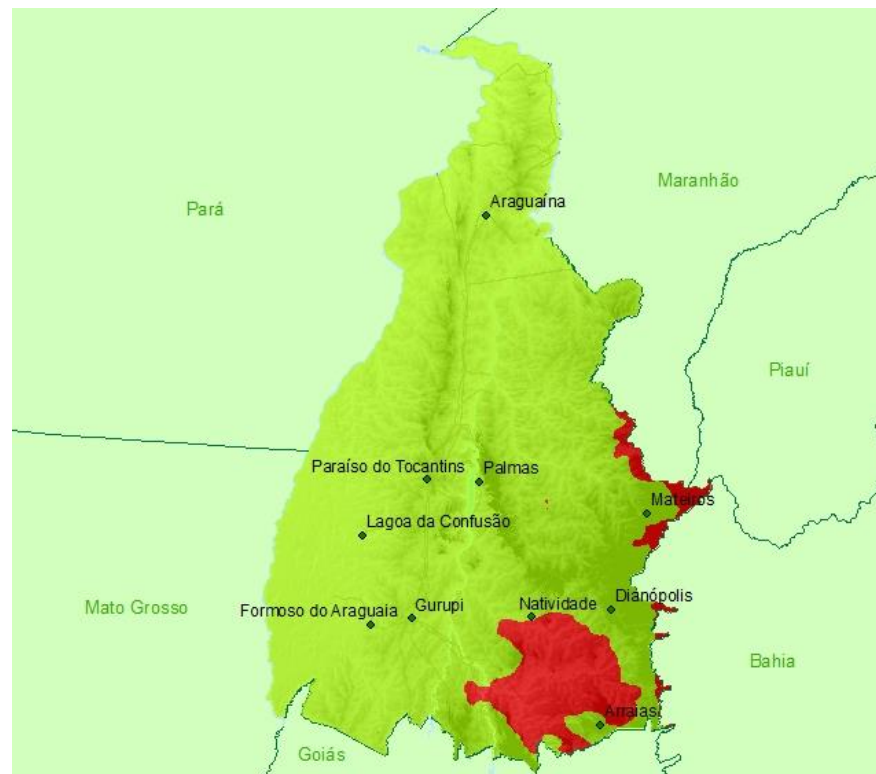


DNI >	7.400 MJ/m ² /ano
	2.056 kWh/m ² /ano
	5,6 kWh/m ² /dia
Área	440 Km ²
Potencial	22 Gwe

Potencial da Irradiância Solar Global Horizontal

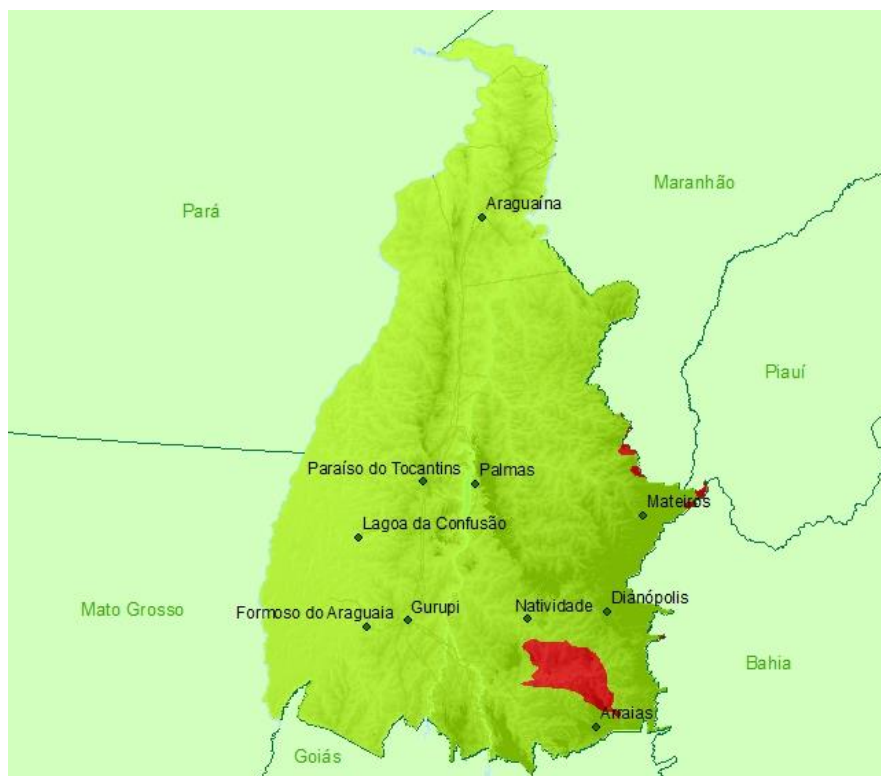


GHI >	6.600 MJ/m ² /ano
	1.833 kWh/m ² /ano
	5,0 kWh/m ² /dia
Área	240.000 km ² (approx.)
Potencial	12.000 Gwe

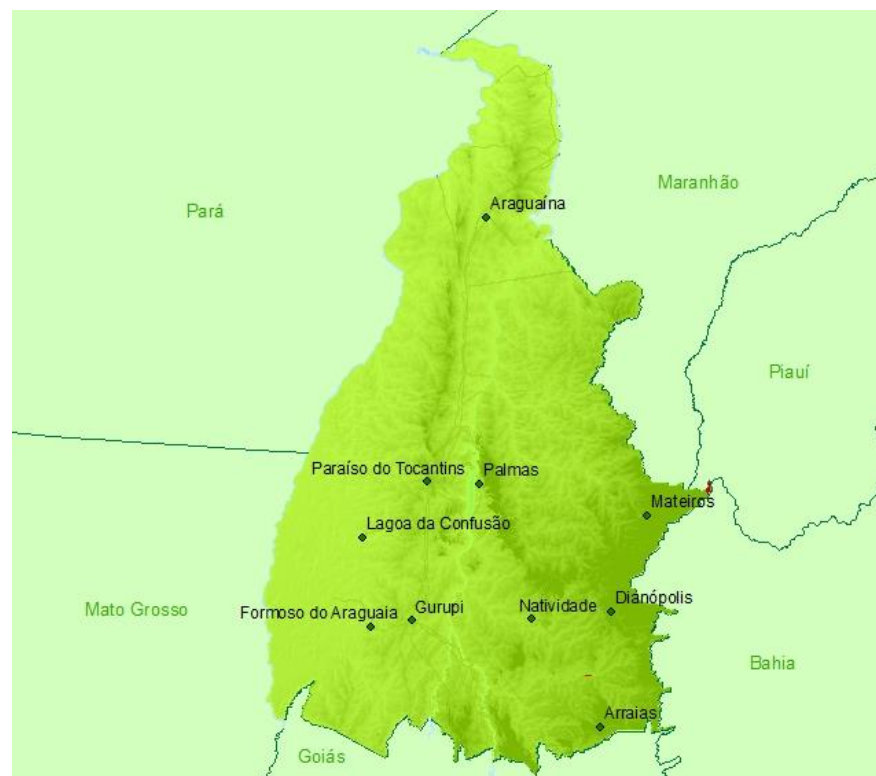


GHI >	7.000 MJ/m ² /ano
	1.944 kWh/m ² /ano
	5,3 kWh/m ² /dia
Área	25.095 km ²
Potencial	1.255 Gwe

Potencial da Irradiância Solar Global Horizontal (II)



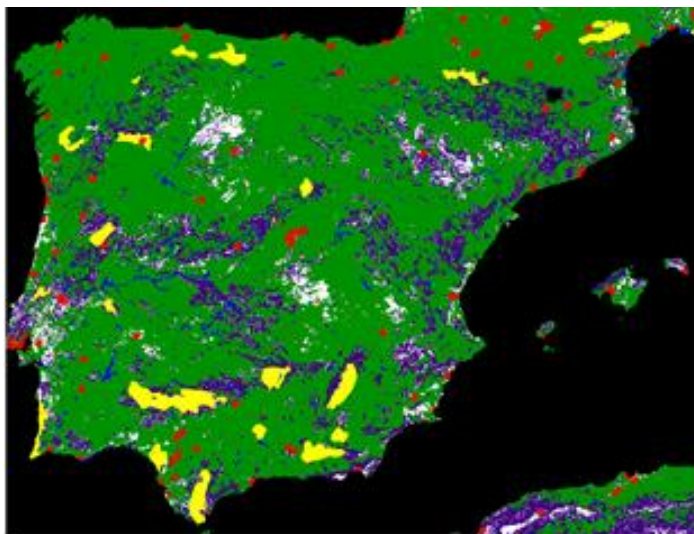
GHI	7.100 MJ/m ² /ano
	1.972 kWh/m ² /ano
	5,4 kWh/m ² /dia
Área	6.560 km ²
Potencial	328 Gwe



GHI >	7.200 MJ/m ² /ano
	2.000 kWh/m ² /ano
	5,5 kWh/m ² /dia
Área	77 km ²
Potencial	4 Gwe

Próximos passos: Estudos de Viabilidade

- Para realizar um “Estudo de Viabilidade”, deve levar em conta todos os outros fatores.



1. Começar com mapa de recurso solar (Rad. Direta) estimado a partir de Satélite
2. Eliminar lugares com valores menores do que 1.825 kWh/m²/ano (o 5 KWh/m²/dia)
3. Excluir zonas protegidas de meio ambiente, zonas urbanas e de água
4. Eliminar zonas com inclinações de 1-3%
5. Eliminar zonas com áreas menores de 5 km².
6. Aplicar critérios de 2º nível (custo dos terrenos, proximidade com água, redes elétricas, de distribuição de combustível, estradas,..)

Próximos passos : Estudo de Viabilidade (II)

- Outros fatores para considerar:
 - Impacto Ambiental
 - Água disponível
 - Tipo de solo
 - Uso da terra: militar, tradicional, mineração, agricultura...
 - Impacto Sócio-econômico
 - Geração de Empregos / Disponibilidade de trabalhadores qualificados
 - Reassentamento de habitantes



Próximos passos (II)

- Desenvolvimento de “Rodovias”
- Capacitação: treinamento de pessoal
- Estabeleça uma estação meteorológica completa no local ou na área em potencial.
- Configurar uma “Área de Testes”



CONCLUSÕES

- O Tocantins tem um recurso solar razoavelmente bom para adotar energia solar dentro do seu mix energético, localizado principalmente, nas regiões Sudeste.
- Mais etapas são necessárias para implantar (qualquer) tecnologia solar: mapeamento de estradas, estudos de viabilidade e capacitação.
- Grandes áreas parecem ser adequadas para a implantação de CSP, embora isso dependa dos resultados dos estudos de viabilidade adicionais e específicos.
- Embora a atual LCOE (alta), a tecnologia CSP tem características de “despachabilidade” e o potencial de favorecer as economias locais.



**GOVERNO DO
ESTADO DO
TOCANTINS**

**SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS**

Final Workshop, Palmas (TO), 31 July 2018



Thanks for your attention!
Muito obrigado!!



**GOVERNO DO
ESTADO DO
TOCANTINS**

**SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS**

Final Workshop, Palmas (TO), 31 July 2018

