



**Eletrobras**  
Cepel



# ELETRICIDADE SOLAR WORKSHOP SOBRE USINAS SOLAR TERMELÉTRICAS

## VISÃO DO CEPEL

**JUN 2010**

Apresentador: Leonardo Vieira

Área: Departamento de Tecnologias Especiais

**Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**

## Comentários do documento *CSP Technology Roadmap, 2010, IEA*

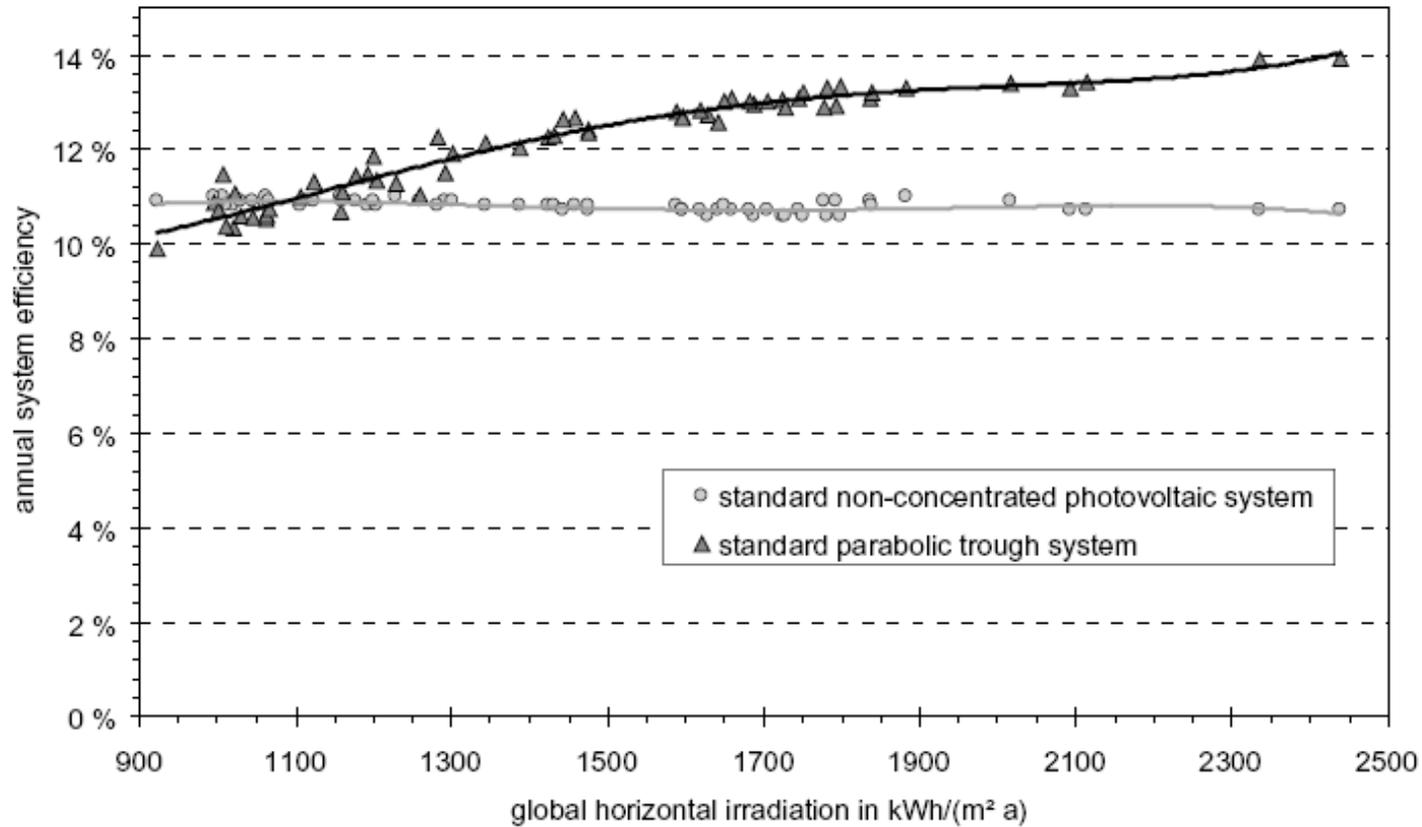
- A tecnologia CSP é uma alternativa de uma fonte de energia renovável em países e regiões com forte irradiação direta normal (sol forte e céu claro).
- Com suporte apropriado, a tecnologia CSP é capaz de fornecer até 2050, 11,3 % da energia elétrica global, sendo 9,6% proveniente diretamente do recurso solar e 1,7% de combustíveis de “back-up” (fóssil ou biomassa).
- Nos países com maior incidência solar a tecnologia CSP pode vir a se tornar competitiva para o suprimento de cargas de pico em 2020 e na base entre 2025 e 2030.
- Uma característica das plantas CSP é a possibilidade de integração com sistemas térmicos de armazenamento (fornecimento de uma energia firme e operação flexível). Facilita, ainda, o gerenciamento da energia proveniente de outras fontes renováveis (por exemplo, fotovoltaico e eólica)

## Comentários do documento *CSP Technology Roadmap, 2010, IEA*

- Em função de seu grande potencial para a energia solar, a região nordeste da África pode vir a se tornar um grande exportador de energia, particularmente para a Europa, compensando, assim o custo adicional de longas linhas de transmissão.
- CSP produz ainda quantidade significativa de energia a alta temperatura que pode ser aproveitada em processos industriais e dessalinização de água.
- Em locais áridos ou semi-áridos, usualmente mais adequados para CSP, pode-se empregar os sistemas de resfriamento do tipo híbrido ou seco.
- A maior limitação para a expansão de plantas CSP não é a disponibilidade de áreas, mas a grande distância destas áreas em relação ao consumidor final.

# A opção por CSP

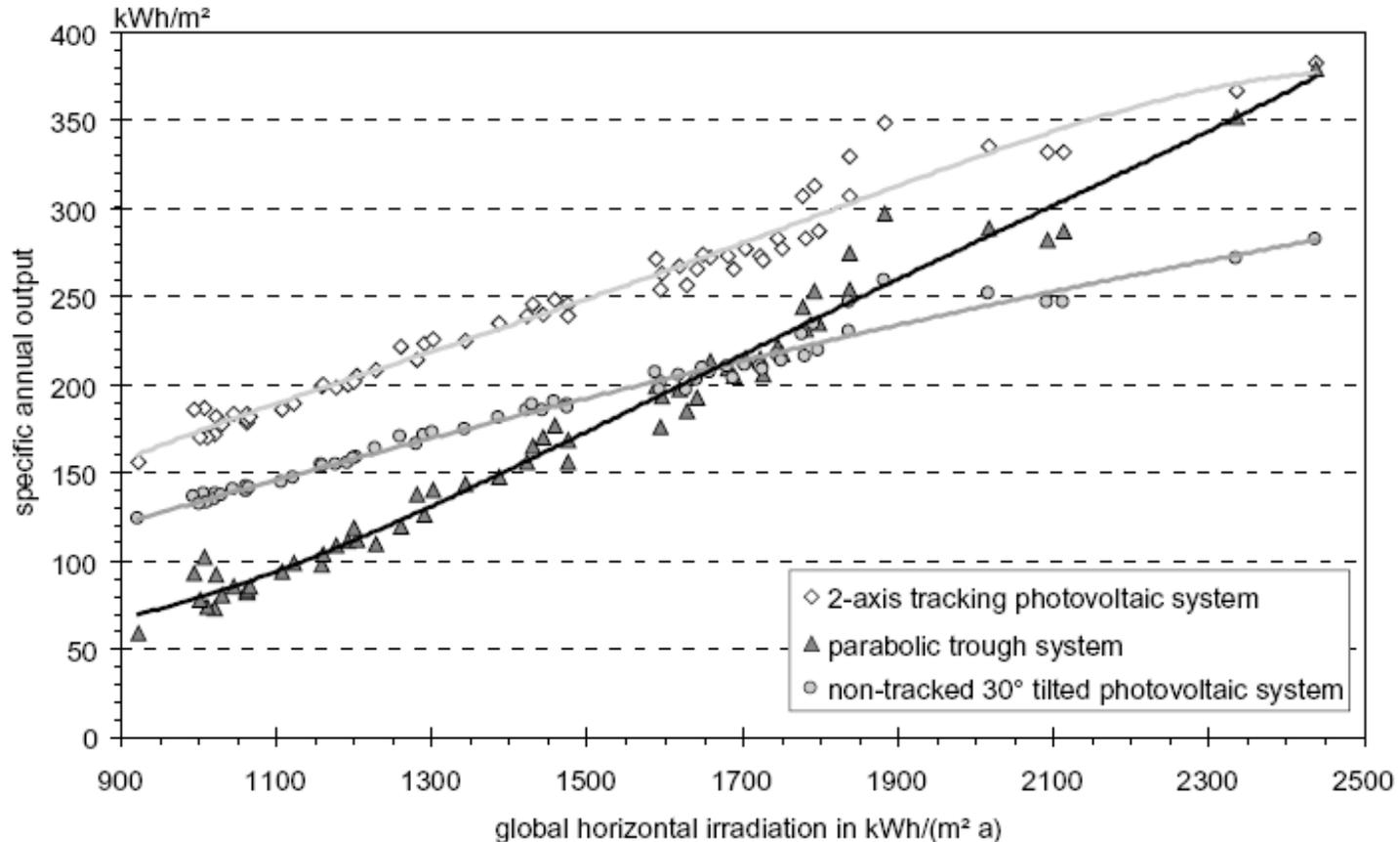
- CSP x PV



Technical and economical system comparison of photovoltaic and concentrating solar thermal power systems depending on annual global irradiation, Solar Energy, 77 (2004) 171–178, Volker Quaschnig

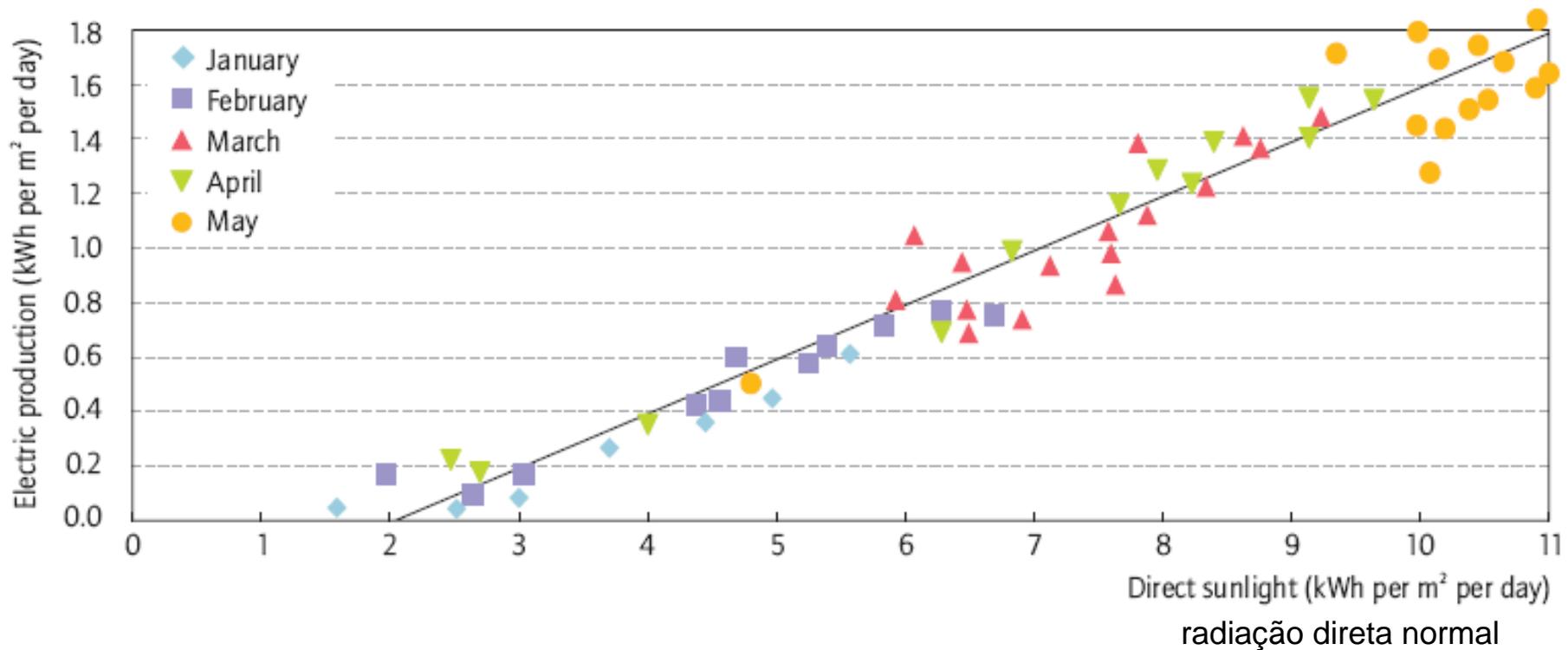
# A opção por CSP

## • CSP x PV



Technical and economical system comparison of photovoltaic and concentrating solar thermal power systems depending on annual global irradiation, Solar Energy, 77 (2004) 171–178, Volker Quaschnig

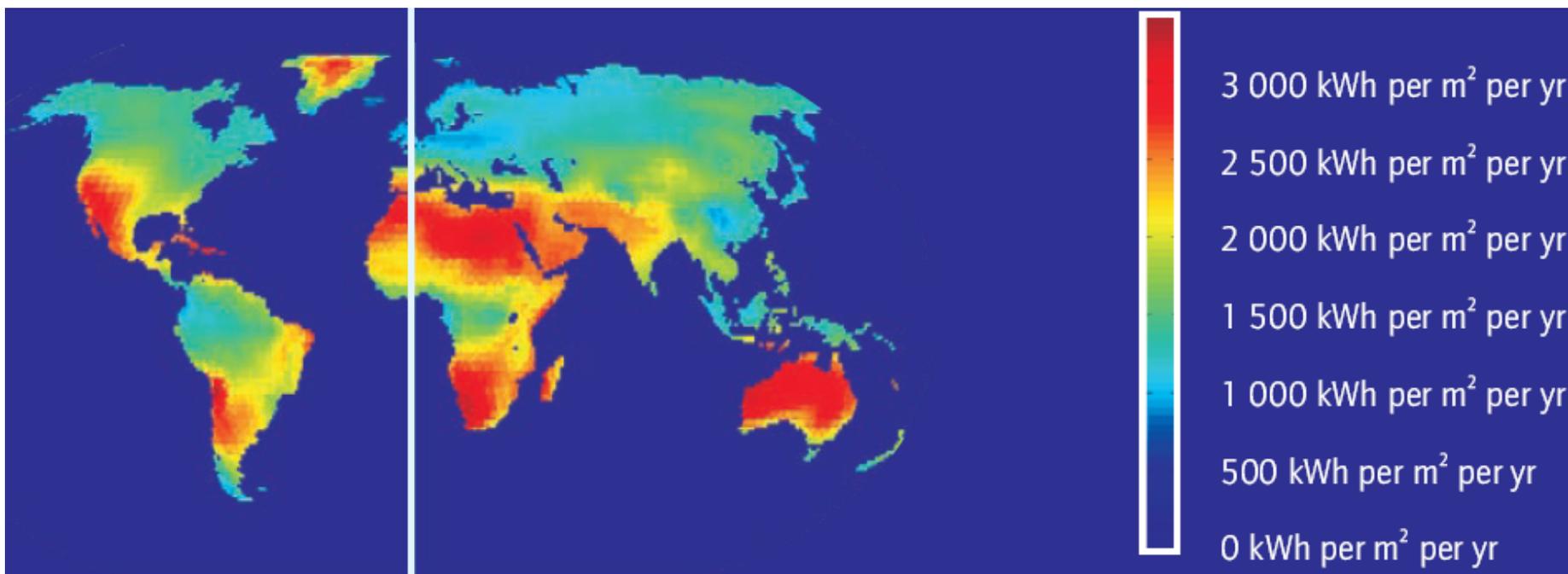
- Outros aspectos técnicos



**Energia gerada de CSP fortemente dependente da irradiação direta normal**

# O recurso solar no mundo

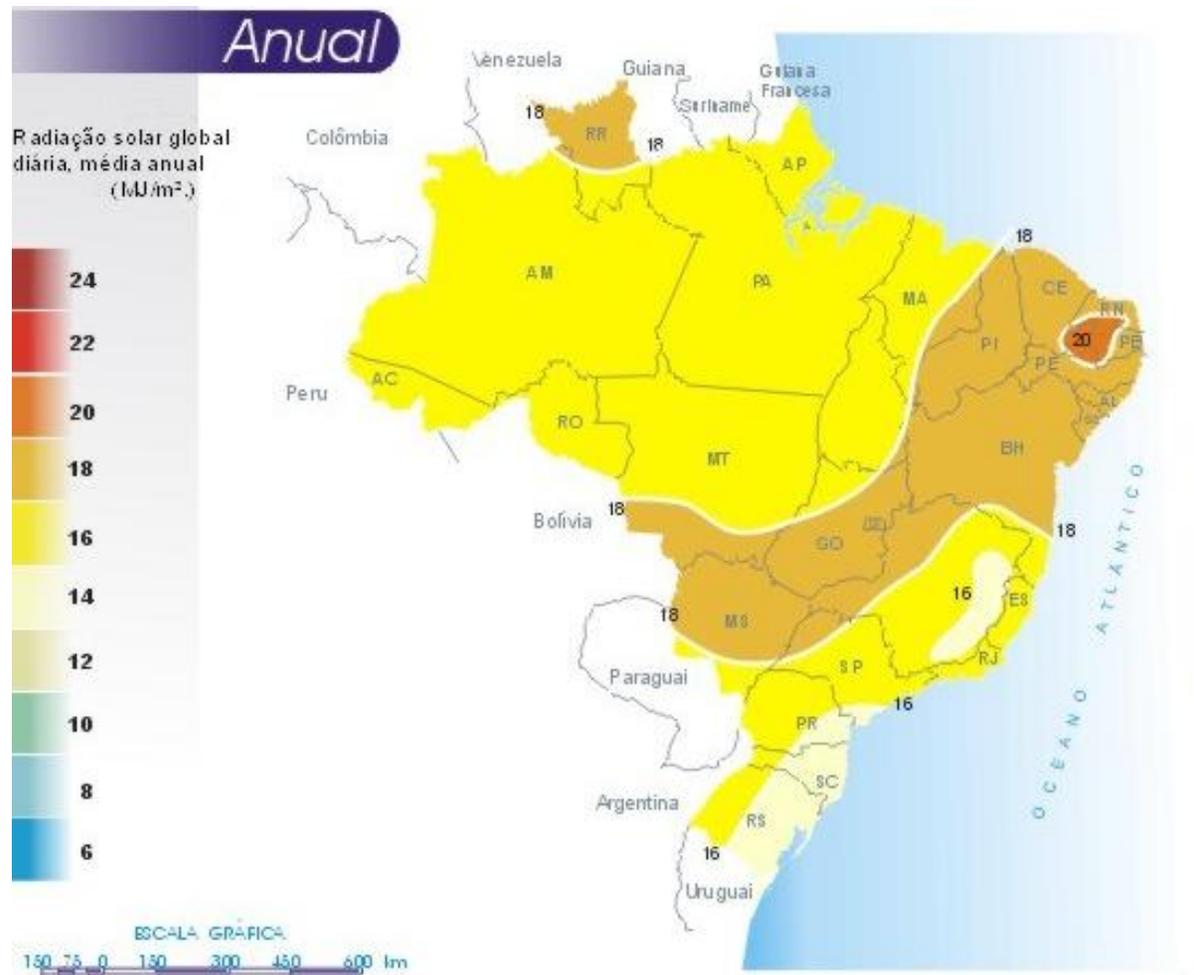
- **Radiação direta normal**



**Embora não seja igual a dos melhores lugares no mundo, o Brasil possui regiões com irradiação direta normal próxima a 2000 kWh/m<sup>2</sup> por ano**

# O recurso solar no Brasil

## mapas solarimétricos existentes



## Radiação global (MJ/m<sup>2</sup>.dia)

Interpolação utilizando dados medidos da radiação global em diversas estações meteorológicas do país.

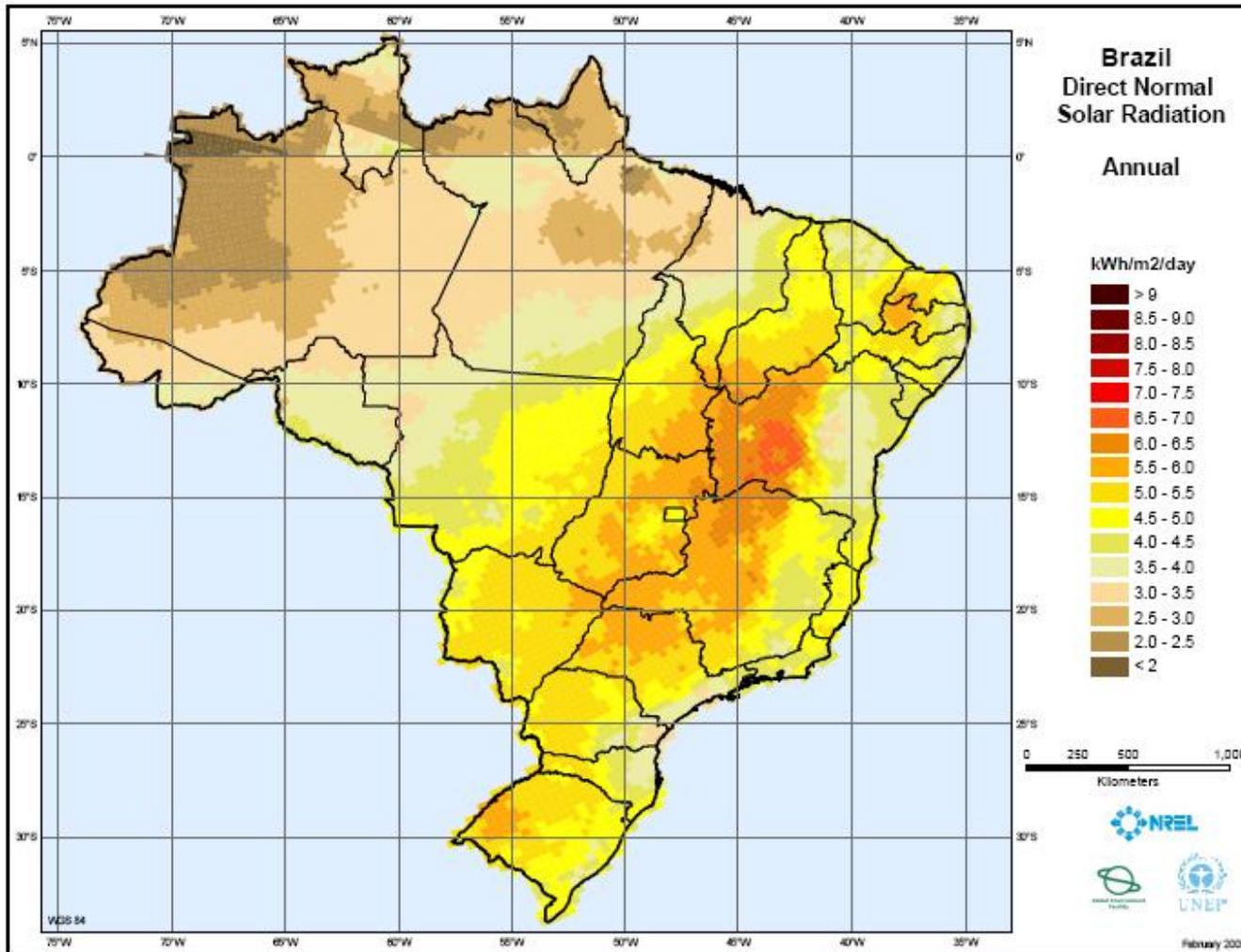
Instrumentos de medição: actinógrafos (maior parte) e piranômetros

Período de medição: 1960 a 1990

**Atlas Solarimétrico do Brasil – UFPE/CHESF – 2000**

# O recurso solar no Brasil

## mapas solarimétricos existentes



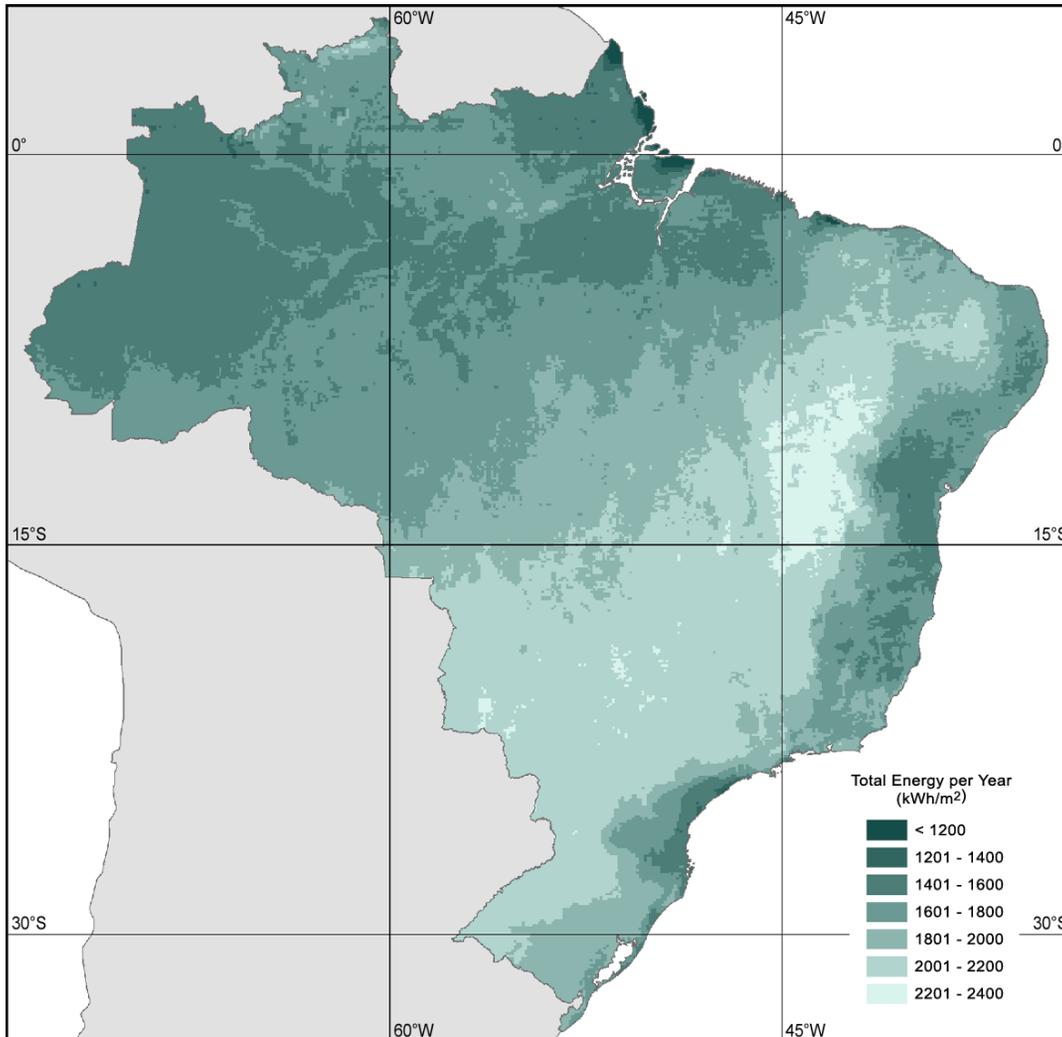
**Radiação  
direta normal  
(kWh/m<sup>2</sup>.dia)**

**Estimativa da radiação  
direta normal a partir  
de modelo físico com  
dados medidos de  
satélite.**

**Período de medição:  
1985 a 1991**

# O recurso solar no Brasil

## mapas solarimétricos existentes



## Radiação direta normal (kWh/m<sup>2</sup>.dia)

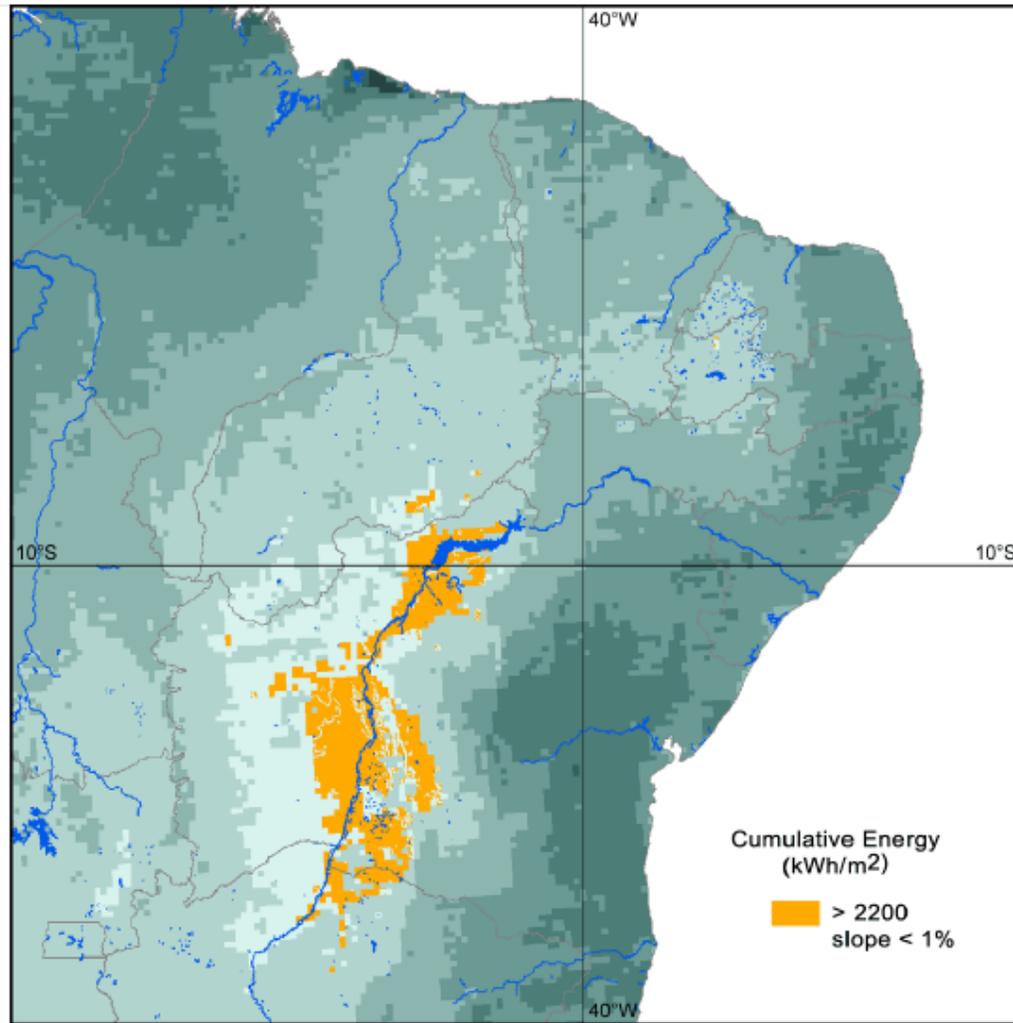
Estimativa da radiação direta normal a partir de modelo físico com dados medidos de satélite.

Período de medição: 1995 a 2002

**SWERA – INPE - 2008**

# O recurso solar no Brasil

## mapas solarimétricos existentes



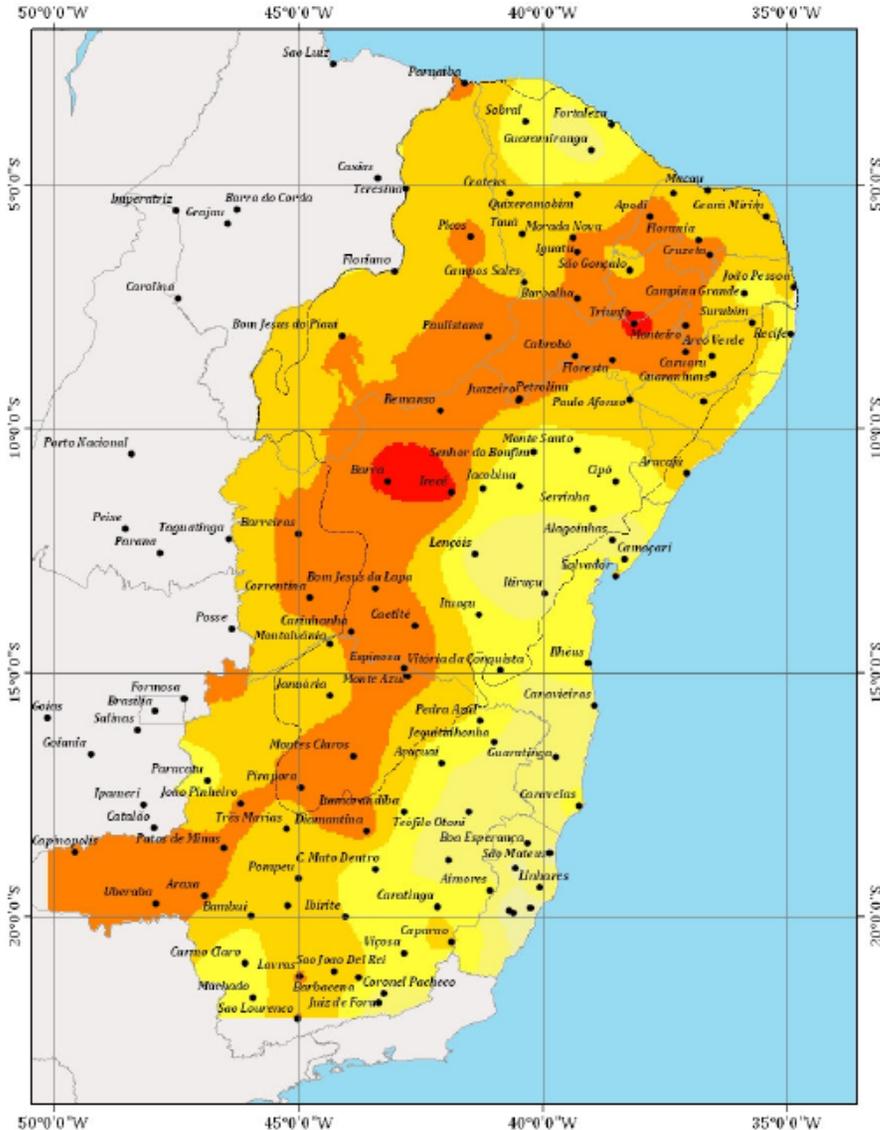
## Radiação direta normal (kWh/m<sup>2</sup>.dia)

Estimativa da radiação direta normal a partir de modelo físico com dados medidos de satélite.

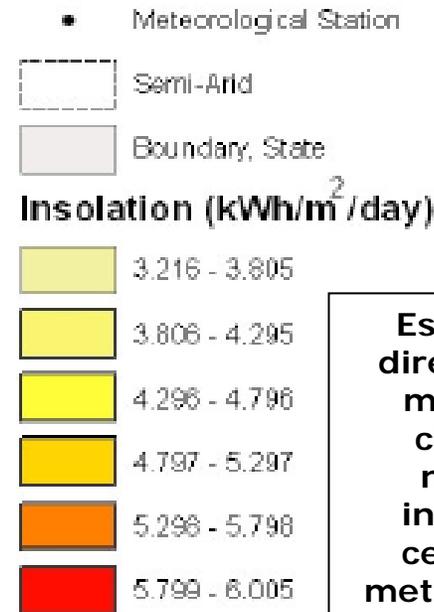
Período de medição: 1995 a 2002

# O recurso solar no Brasil

## mapas solarimétricos existentes



## Radiação direta normal (kWh/m<sup>2</sup>.dia)



**Estimativa da radiação direta normal, utilizando modelos matemáticos clássicos, a partir do número de horas de insolação medidos em cerca de 100 estações meteorológicas do INMET. Período de medição: 1960 a 1990**

**CEPEL, 2002**

# O recurso solar no Brasil

Avaliações realizadas no passado / Proj. Gerahelio 2002

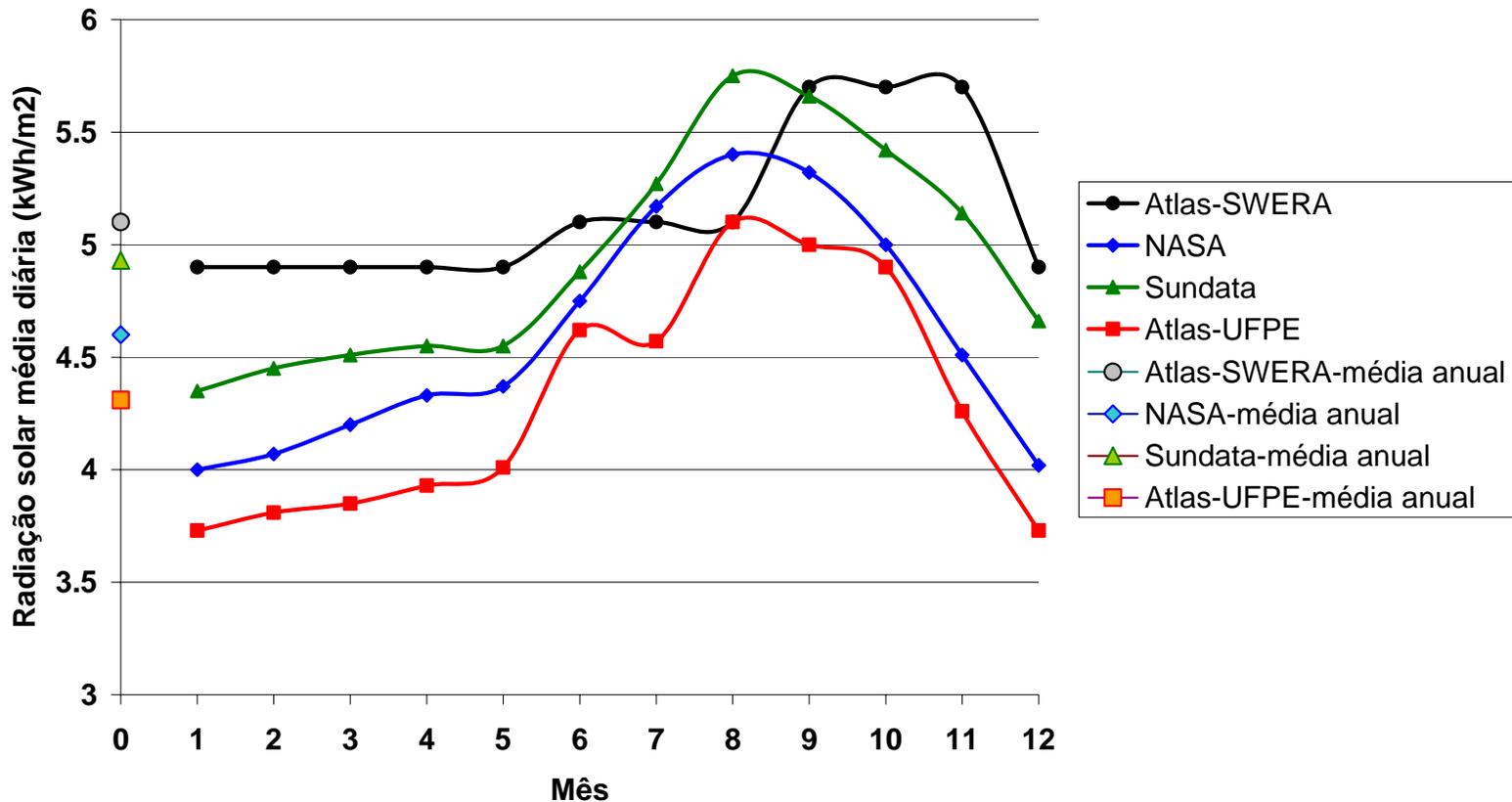
| <b>Localidade</b> | <b>Estimativa da Irradiação direta normal</b> |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|
|                   | <b>média anual</b><br>kWh/m <sup>2</sup> .dia | <b>máxima média mensal</b><br>kWh/m <sup>2</sup> .dia | <b>mínima média mensal</b><br>kWh/m <sup>2</sup> .dia | <b>Anual acumulada</b><br>kWh/m <sup>2</sup> .ano |
| Mojave (EUA)      | 7,7   | -   | -   | 2.800   |
| Almeria (Espanha) | 5,9   | -   | -   | 2.140   |
| Barra (BA)        | 5,9   | 7,7   | 4,2   | 2.139   |
| Petrolina (PE)    | 5,6   | 6,5   | 4,5   | 2.040   |
| Cabrobó (PE )     | 5,5   | 6,9   | 4,2   | 2.004   |

**O Brasil possui uma área com irradiação comparável às áreas onde atualmente estão sendo construídas usinas solares com concentradores**

# O recurso solar no Brasil

## comparação de modelos

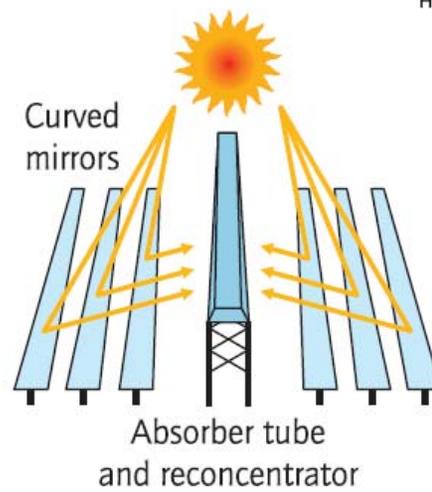
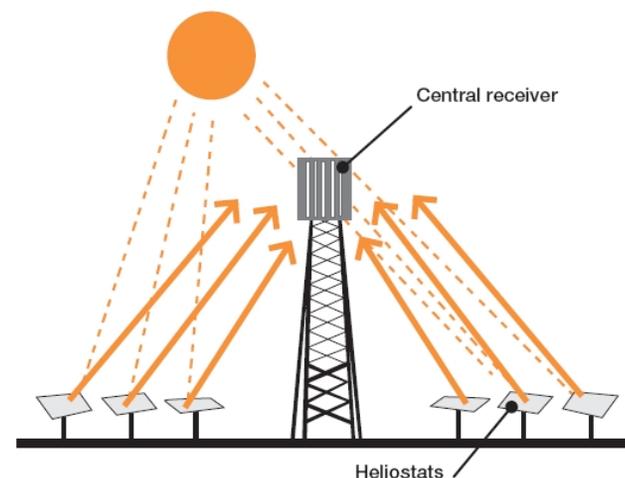
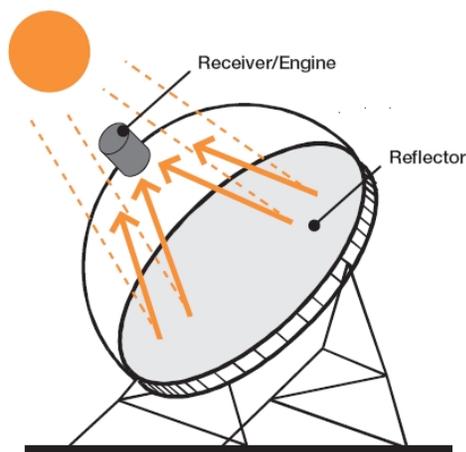
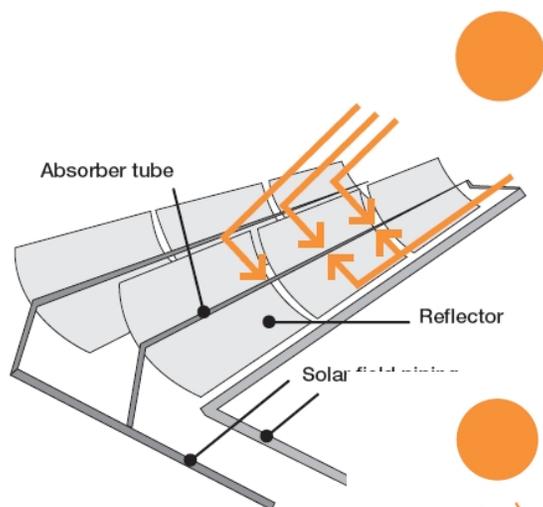
- Médias mensais e anual da radiação solar global média diária incidente sobre um coletor inclinado de 10° N (Manaus)



necessidade de medições locais de irradiação

# Tecnologias de CSP

- Principais tecnologias com concentradores
  - Cilindros parabólicos, torre central, discos parabólicos e refletores linear Fresnel



# Comparação entre as tecnologias de CSP

| <b>Tecnologia</b>   | <b>Efic. solar / elétrica estimada</b> | <b>Área</b> | <b>Água para resf. L/kWh</b> | <b>Armazen.</b>    | <b>Oper. híbrida</b>        | <b>Melhoria no futuro</b>  |
|---------------------|--|-------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Cilindro parabólico | 15%                                    | elevada     | 3000 ou seco                 | sim, porém sem DSG | possível                    | limitada                   |
| Refletor Fresnel    | 8 a 10%                                | média       | 3000 ou seco                 | sim, porém sem DSG | possível                    | significativa              |
| Torre central       | 20 a 35%, teórico                      | média       | 2000 ou seco                 | depende da config. | possível                    | bastante significativa     |
| Disco parabólico    | 25 a 30%                               | pequena     | 0                            | depende da config. | possível em casos limitados | mediante produção em massa |

CSP Technology Roadmap, 2010 IEA: Breyer & Knies, 2009, baseado em dados de DLR-ISIS (Lohmann, et al. 2006).

# Plantas solares térmicas em operação (Junho 2010) – Total = 736MW

| Capacity (MW) <sup>[4]</sup> | Technology type <sup>[4]</sup> | Name <sup>[4]</sup>             | Country <sup>[4]</sup>  | Location <sup>[4]</sup>           | Notes <sup>[4]</sup>   |
|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| 354                          | parabolic trough               | Solar Energy Generating Systems |  USA     | Mojave Desert California          | Collection of 9 units  |
| 64                           | parabolic trough               | Nevada Solar One                |  USA     | Boulder City, Nevada              |  |
| 100                          | parabolic trough               | Andasol solar power station     |  Spain   | Granada                           | Andasol 1 completed, 2008<br>Andasol 2 completed, 2009<br>[4][5] |
| 50                           | parabolic trough               | Puertollano Photovoltaic Park   |  Spain   | Puertollano, Ciudad Real          | Completed May 2009 <sup>[6]</sup>                                |
| 50                           | parabolic trough               | Alvarado I                      |  Spain   | Badajoz                           | Completed July 2009 <sup>[7][8][9]</sup>                         |
| 50                           | parabolic trough               | Extresol 1                      |  Spain | Torre de Miguel Sesmero (Badajoz) | Completed February 2010<br>[10][11][12]                          |
| 50                           | parabolic trough               | Solnova                         |  Spain | Seville                           | [13][14]   |
| 20                           | solar power tower              | PS20 solar power tower          |  Spain | Seville                           | Completed April 2009   |

# Plantas solares térmicas em operação (Junho 2010) – Total = 736MW

|     |                   |  |   |   |  |
|-----|-------------------|--|---|---|--|
| 17  | parabolic trough  | Yazd integrated solar combined cycle power station |  Iran      | Yazd  | World's first solar combined cycle power plant   |
| 11  | solar power tower | PS10 solar power tower                             |  Spain     | Seville   | World's first commercial solar tower   |
| 5   | fresnel reflector | Kimberlina Solar Thermal Energy Plant              |  USA       | Bakersfield, California   | Ausra demonstration plant <sup>[15]</sup>  |
| 5   | solar power tower | Sierra SunTower                                    |  USA       | Lancaster,  California | eSolar commercial power plant, North America's only operating solar tower, completed August 2009 <sup>[16][17][18]</sup>           |
| 2   | fresnel reflector | Liddell Power Station Solar Steam Generator        |  Australia | New South Wales   | electrical equivalent steam boost for coal station <sup>[19][20]</sup>   |
| 1.5 | dish stirling     | Maricopa Solar                                     |  USA     | Peoria, Arizona   | Stirling Energy Systems / Tessera Solar's first commercial-scale Dish Stirling power plant. Completed January 2010 <sup>[21]</sup> |
| 1.5 | solar power tower | Jülich Solar Tower                                 |  Germany | Jülich  | Completed December 2008 <sup>[22]</sup>  |

[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_solar\\_thermal\\_power\\_stations](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations)

# Plantas solares térmicas em operação (Junho 2010) Total = 736MW

|        |                   |                              |   |   |  |
|--------|-------------------|------------------------------|---|---|--|
| 1.5    | solar power tower | Jülich Solar Tower           |  Germany | Jülich  | Completed December 2008 <sup>[22]</sup>  |
| 1.4    | solar power tower | THEMIS Solar Power Tower     |  France  | Pyrénées-Orientales   | Hybrid solar/gas electric power, using solar energy to heat the air entering a gas turbine <sup>[23]</sup> |
| 1.4    | fresnel reflector | Puerto Errado 1              |  Spain   | Murcia  | Completed April 2009 <sup>[24]</sup>   |
| 1      | parabolic trough  | Saguaro Solar Power Station  |  USA     | Red Rock <br>Arizona | [25]   |
| 2      | parabolic trough  | Keahole Solar Power          |  USA     | Hawaii  | [26][27]   |
| 0.25   | CSP               | Shiraz solar power plant     |  Iran   | Shiraz  | Iran's first solar power plant   |
| 736.15 | -                 | Overall operational capacity | -   | -   | -  |

[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_solar\\_thermal\\_power\\_stations](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations)

# Plantas solares térmicas em construção (Junho 2010) Total = 2083MW

| Capacity (MW) <sup>[4]</sup> | Technology <sup>[4]</sup> | Name <sup>[4]</sup>       | Country <sup>[4]</sup>   | Location <sup>[4]</sup>           | Notes <sup>[4]</sup>                                   |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------|--|-----------------------------------|--|
| 100                          | parabolic trough          | Solnova 3, 4              |  Spain   | Seville                           | [13]   |
| 100                          | parabolic trough          | Extresol 2-3              |  Spain   | Torre de Miguel Sesmero (Badajoz) | with 7.5h heat storage <sup>[10][11]</sup>             |
| 100                          | parabolic trough          | Andasol 3–4               |  Spain   | Granada                           | with 7.5h heat storage <sup>[28]</sup><br>[10][29][30] |
| 100                          | parabolic trough          | Palma del Rio 1, 2        |  Spain   | Cordoba                           | [31][32][10]   |
| 100                          | parabolic trough          | Helioenergy 1, 2          |  Spain   | Ecija                             | with heat storage <sup>[10]</sup><br>[33][34]          |
| 100                          | parabolic trough          | Solaben 1, 2              |  Spain | Logrosan                          | [35]   |
| 100                          | parabolic trough          | Valle Solar Power Station |  Spain | Cadiz                             | with 7.5h heat storage <sup>[36]</sup>                 |

[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_solar\\_thermal\\_power\\_stations](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations)

# Plantas solares térmicas em construção (Junho 2010) Total = 2083MW

|     |                  |                   |  |                                   |                                   |
|-----|------------------|-------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 100 | parabolic trough | Aste 1A, 1B       |  Spain   | Alcázar de San Juan (Ciudad Real) | [10][37]                          |
| 100 | parabolic trough | Termosol 1+2      |  Spain   | Navalvillar de Pela (Badajoz)     | [10]                              |
| 100 | parabolic trough | Helios 1+2        |  Spain   | Ciudad Real                       | [10]                              |
| 50  | parabolic trough | Majadas de Tiétar |  Spain   | Cacares                           | [32]                              |
| 50  | parabolic trough | Lebrija-1         |  Spain   | Lebrija                           | [38]                              |
| 50  | parabolic trough | Manchasol-1       |  Spain   | Ciudad Real                       | with heat storage <sup>[39]</sup> |
| 50  | parabolic trough | La Florida        |  Spain   | Alvarado (Badajoz)                | [10]                              |
| 50  | parabolic trough | La Dehesa         |  Spain  | La Garrovilla (Badajoz)           | [10]                              |
| 50  | parabolic trough | Axtesol 2         |  Spain | Badajoz                           | [10][37]                          |
| 50  | parabolic trough | Arenales PS       |  Spain | Moron de la Frontera (Seville)    | [10][37]                          |

[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_solar\\_thermal\\_power\\_stations](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations)

# Plantas solares térmicas em construção (Junho 2010) Total = 2083MW

|    |                  |                     |   |                                |      |
|----|------------------|---------------------|---|--------------------------------|------|
| 50 | parabolic trough | Serrezuella Solar 2 |  Spain   | Talarrubias (Badajoz)          | [10] |
| 50 | parabolic trough | El Rebozo 2         |  Spain   | El Puebla del Rio (Seville)    | [10] |
| 50 | parabolic trough | Moron               |  Spain   | Moron de la Frontera (Sevilla) | [10] |
| 50 | parabolic trough | Olivenza 1          |  Spain   | Olivenza (Badajoz)             | [10] |
| 50 | parabolic trough | Medellin            |  Spain   | Medellin (Badajoz)             | [10] |
| 50 | parabolic trough | Valdetorres         |  Spain   | Valdetorres (Badajoz)          | [10] |
| 50 | parabolic trough | Badajoz 2           |  Spain   | Talavera la Real (Badajoz)     | [10] |
| 50 | parabolic trough | Santa Amalia        |  Spain  | Santa Amalia (Badajoz)         | [10] |
| 50 | parabolic trough | Torrefresneda       |  Spain | Torrefresneda (Badajoz)        | [10] |

[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_solar\\_thermal\\_power\\_stations](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations)

# Plantas solares térmicas em construção (Junho 2010) Total = 2083MW

|      |                  |   |   |                                |   |
|------|------------------|---|---|--------------------------------|---|
| 50   | parabolic trough | La Puebla 2   |  Spain    | La Puebla del Rio (Sevilla)    | [10]  |
| 25   | parabolic trough | Termosolar Borges   |  Spain    | Borges Blanques (Lerida)       | [10]  |
| 17   | power tower      | Gemasolar, former Solar Tres Power Tower                  |  Spain    | Fuentes de Andalucia (Seville) | with 15h heat storage <sup>[10]</sup>             |
| 1    | dish             | Renovalia   |  Spain    | Albacete                       | [10]  |
| 75   | ISCC             | Martin Next Generation Solar Energy Center                |  USA      | Florida                        | steam input into a combined cycle <sup>[40]</sup> |
| 20   | ISCC             | Kuraymat Plant  |  Egypt    | Kuraymat                       | [41]  |
| 25   | ISCC             | Hassi R'mel integrated solar combined cycle power station |  Algeria  | Hassi R'mel                    | [42]  |
| 20   | ISCC             | Beni Mathar Plant   |  Morocco | Beni Mathar                    | [43]  |
| 2083 | -                | Overall capacity under construction                       | -   | -                              | -   |

[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_solar\\_thermal\\_power\\_stations](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations)

# Plantas solares térmicas descomissionadas (Junho 2010)

- **Torre Central**

- ✓ SES 5 – USSR – 5 MW, torre central (1985-1989)
- ✓ Solar One – EUA - 10 MW, torre central, armazenamento com óleo (1982-1986), posteriormente convertida para Solar Two
- ✓ Solar Two – EUA – 10 MW, torre central, armazenamento com sal fundido (1995-1999); a tecnologia das usinas Solar One e Two será utilizada na usina Solar Tres – Espanha – 15 MW

**Maioria das usinas localizadas na Espanha e nos EUA**

**Maioria das usinas possui tecnologia de concentração com cilindros parabólicos e torre central, com predominância dos cilindros parabólicos**

- **Barreiras Tecnológicas**

- ✓ necessidade de aumentar a eficiência do campo solar (relação entre a energia absorvida no receptor e a energia incidente nos espelhos) , hoje próxima de 55%, e reduzir custos de fabricação
- ✓ necessidade de melhorar a eficiência dos receptores (perdas por radiação e convecção), hoje próxima de 75%

- **Barreiras de Mercado**

- **Todos os países:**

- ✓ investimento elevado; necessidade de algum tipo de incentivo para a venda de energia
- ✓ riscos técnicos e financeiros
- ✓ sistemas convencionais mais atrativos

- **No Brasil, acrescentar:**

- ✓ falta ou deficiência de instrumentos legais e regulatórios
- ✓ ausência de políticas tarifárias para incentivo aos investimentos
- ✓ desconhecimento do custo real de implantação de uma usina no país
- ✓ maior parte do fornecimento da energia no país já é proveniente de fontes renováveis

# Pesquisas em energia solar de média e alta temperatura no Brasil

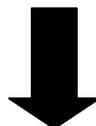
**Maioria das usinas possui tecnologia de concentração com cilindros parabólicos e torre central**

**+**

**Área privilegiada para aplicação das tecnologias heliotérmicas de geração elétrica**

**+**

**Atividades incipientes já realizadas nos centros de pesquisa, universidades e concessionárias**



**PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UMA USINA DE DEMONSTRAÇÃO COM AS TECNOLOGIAS DE TORRE CENTRAL E CILINDRO PARABÓLICO VISANDO À INTERNALIZAÇÃO DESTAS TECNOLOGIAS NO PAÍS**

# Introdução da energia solar no Brasil

## Benefícios e Vantagens

- geração de energia elétrica com baixo impacto ambiental
- considerado o aspecto ambiental, a energia solar consiste num bom instrumento para acompanhamento do crescimento da demanda, papel que hoje tem sido exercido pelas usinas acionadas por combustíveis fósseis
- aproveitamento econômico de um recurso energético disponível, contribuindo para a redução da importação de energia pela Região Nordeste do País
- complementaridade energética com o sistema hidrelétrico, pois a radiação solar é mais intensa no período de menor afluência hídrica dos rios
- diversificação da matriz energética nacional
- criação de uma base de pesquisa para desenvolvimento de sistemas, equipamentos e materiais para energia solar
- criação de empregos qualificados na indústria, nas empresas de engenharia, no setor elétrico e nos locais de implantação das usinas
- estímulo à implementação de  cursos de pós-graduação com foco em concentração da energia solar

# Proposta: Projeto de Demonstração de Central Heliotérmica no Semi-árido

- **Tecnologia**

- ✓ não há clareza quanto à tecnologia que será dominante a longo prazo
- ✓ proposta é utilizar as duas tecnologias mais promissoras (2 campos solares e uma unidade de potência):
  - cilindros parabólicos (estágio mais avançado de amadurecimento)
  - torre central (potencial teórico para atingir maiores eficiências dada a sua maior concentração)

- **Localização**

- ✓ a ser definida, na região do semi-árido, onde a irradiação solar direta normal é próxima a 2000 kWh/m<sup>2</sup>/ano
- ✓ há disponibilidade de água e infraestrutura adequada (acesso aero-rodoviário, proximidade da rede elétrica, apoio técnico e logístico)

# Proposta: Projeto de Demonstração de Central Heliotérmica no Semi-árido

- **Características técnicas básicas estimadas**

- ✓ Potência: 2,5 MWe
- ✓ Área estimada do campo solar:
  - Cilindros parabólicos: 7,5 ha
  - Torre central: 12,5 ha
  - Área total: 20 ha
- ✓ Ciclo térmico: ciclo Rankine
- ✓ Estimativa da eficiência (médias anuais)\*
  - Ciclo Rankine: de 22 a 25%
  - Conversão solar / elétrica:
    - Cilindros parabólicos: 7,4 a 8,5 %
    - Torre central: 8,5 a 9,7 %
  - Consumo de água estimado: 16.500 m<sup>3</sup>/ano (admitindo um fator de capacidade de 20%)

\* Relatório da Sargent & Lundy, “Assessment of Parabolic Trough and Power Tower Solar Technology Costs and Performance Forecasts” (maio 2003) corrigindo-se as eficiências do ciclo Rankine pelos valores mais condizentes com uma planta de 2,5MW.

# Proposta: Projeto de Demonstração de Central Heliotérmica no Semi-árido

- **Estimativa do investimento para planta de 2,5 MW**

- ✓ premissas extraídas do Relatório CEPEL DP 21120/08, do estudo da CHESF/Grupo FAE “Luz do Sol I – Usina de Demonstração” e Relatório Técnico Sargent & Lundy, 2003)
  - sistema cilindro parabólico incluindo o bloco de potência e sem armazenamento térmico : US\$ 22,95 Mi (Relatório Chesf/Grupo FAE)
  - campo heliostático para o sistema de torre central: US\$ 11,38 Mi (representa cerca de 45 a 50% do custo de instalação de um sistema com torre central estimado no Relatório CEPEL DP 21120/08 em 7000 EU/kW)
- ✓ Total: US\$ 33,43 Mi

- **Estimativa do custo da energia**

- regime de operação é bastante diferente do regime de uma planta comercial
- custo de geração de plantas comerciais estão em torno de 0,22 euros/kWh em 2007 (Abengoa)
- subsídio recebido do governo espanhol como incentivo à geração com tecnologia solar: 0,25 euros/kWh

## Atividades mais recentes

- **Convênio com MME**

- Apoiar (através da emissão de relatórios técnicos e organização de reuniões) a elaboração de Projeto Básico para Implantação de uma Planta Piloto de Geração Heliotérmica no Nordeste do Brasil.
- Período de desenvolvimento: 2 anos
- Atividades:
  - ✓ Identificação dos recursos solar (irradiação direta normal) e hídrico, das redes elétricas disponíveis e da infra-estrutura local de acesso
  - ✓ Levantamento dos impactos ambientais atribuídos às plantas baseadas em concentração solar
  - ✓ Levantamento do estado da arte da geração heliotérmica (plantas experimentais e comerciais em operação, estágio das tecnologias existentes e estimativas de custos atuais e projetados para o futuro)
  - ✓ Participação em reuniões com o MME, CHESF, ELETROBRÁS e outros parceiros potencialmente interessados visando a definição de diretrizes para elaboração de Projeto Básico para implantação de uma Planta Piloto de Geração Heliotérmica no Nordeste do Brasil

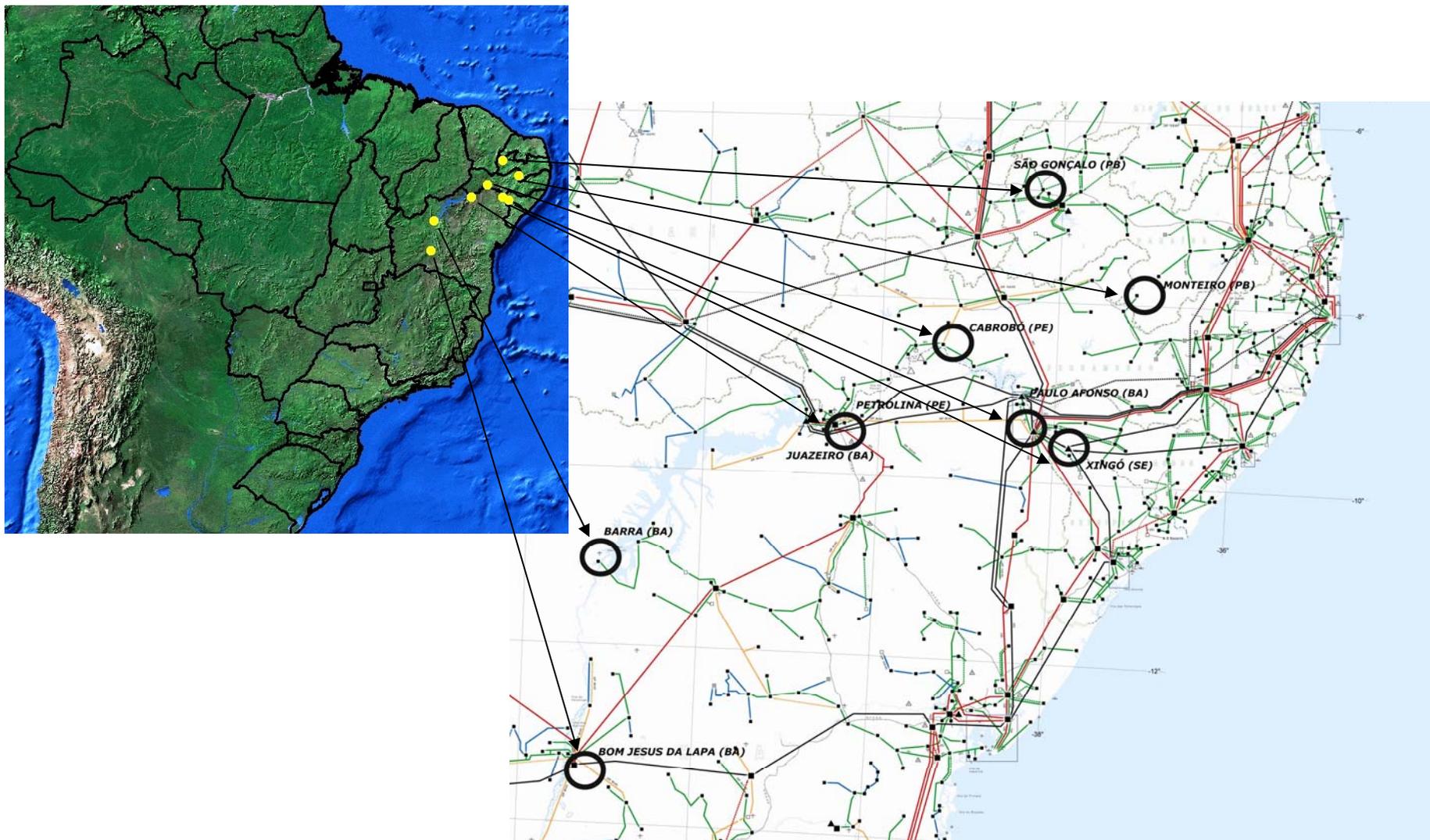
## Atividades mais recentes

- **Proposta para obtenção de recursos submetidos ao MCT**
  - Foi submetido ao MCT um termo de referência elaborado em conjunto com a CHESF solicitando recursos para implantação da planta piloto.
- **Obtenção de novos dados do número de horas de insolação do período de jan. 1999 a dez. 2009**
  - Fonte: INMET
  - Estados: da região do semi-árido e regiões limítrofes
    - ✓ Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Maranhão, Tocantins, Goiás, Minas Gerais e Espírito Santo

## Atividades mais recentes

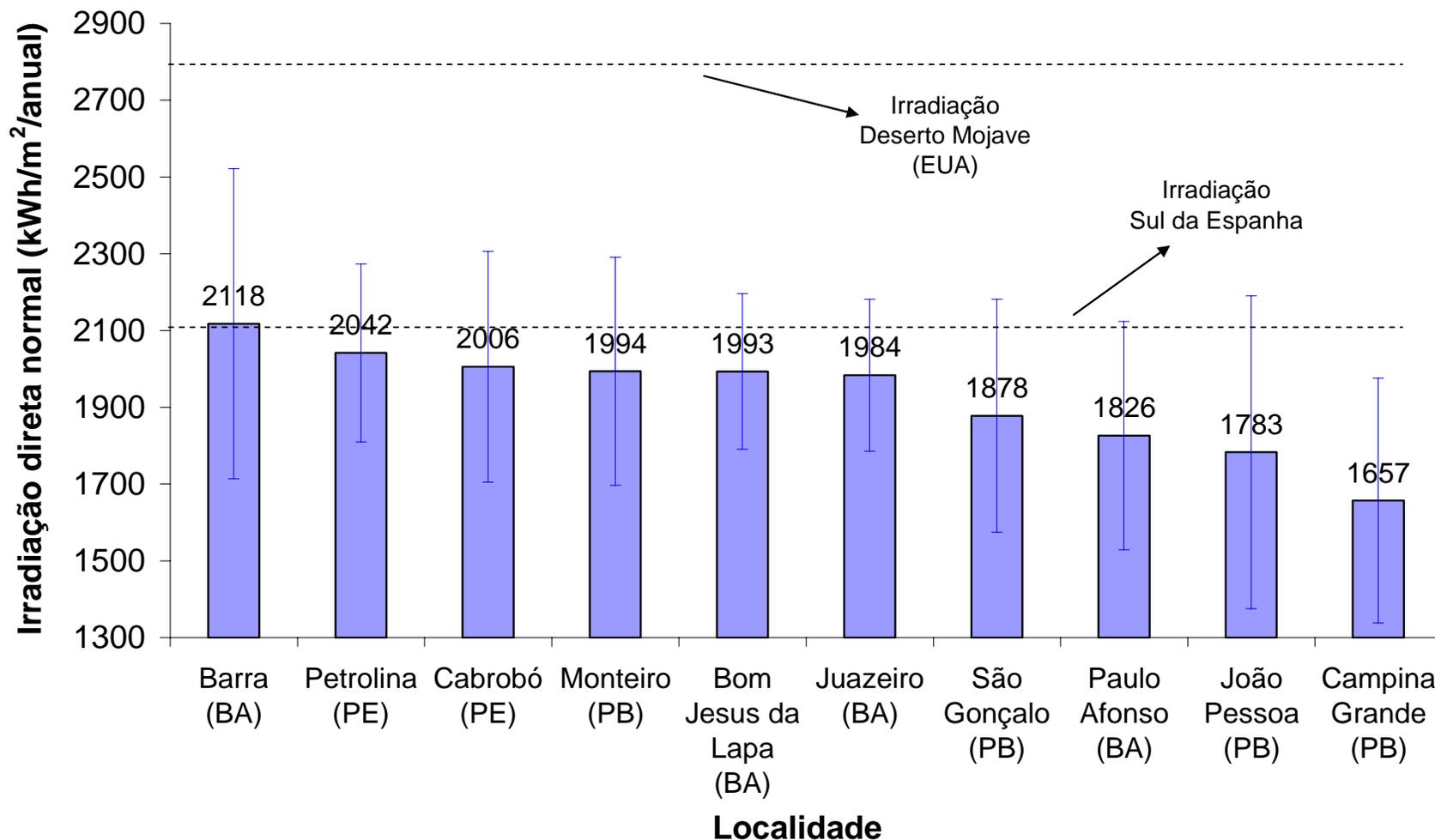
- **Avaliação de novas localidades no Estado da Paraíba e na região de Xingó**
  - ✓ Irradiação
  - ✓ Disponibilidade de água
  - ✓ Disponibilidade de infraestrutura
    - Rede elétrica
    - Acesso
- **Apoio ao MME para retorno do Brasil à condição de membro do SolarPaces**
  - ✓ O Brasil foi aceito por unanimidade a se tornar membro do SolarPaces na última reunião do Comitê Executivo (abril, 2010)
  - ✓ O CEPEL foi designado pelo MME para ser seu representante
- **Simulações com o uso do programa SAM (Solar Advisor Model)**
  - ✓ dimensionamento dos sistemas
  - ✓ detalhamento dos custos estimados da planta

- Localidades avaliadas



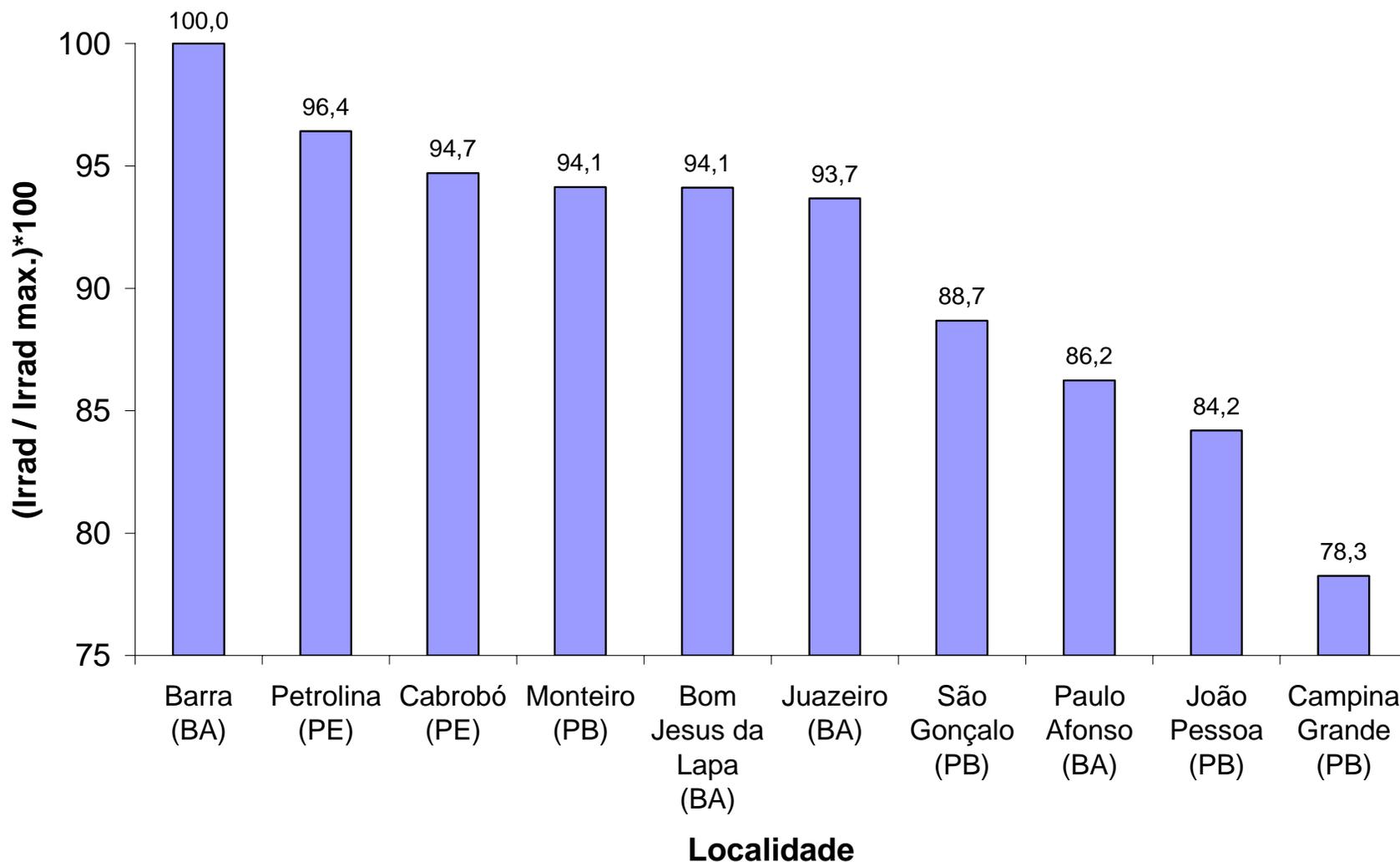
# Atividades mais recentes

- Avaliação da irradiação direta normal**



# Atividades mais recentes

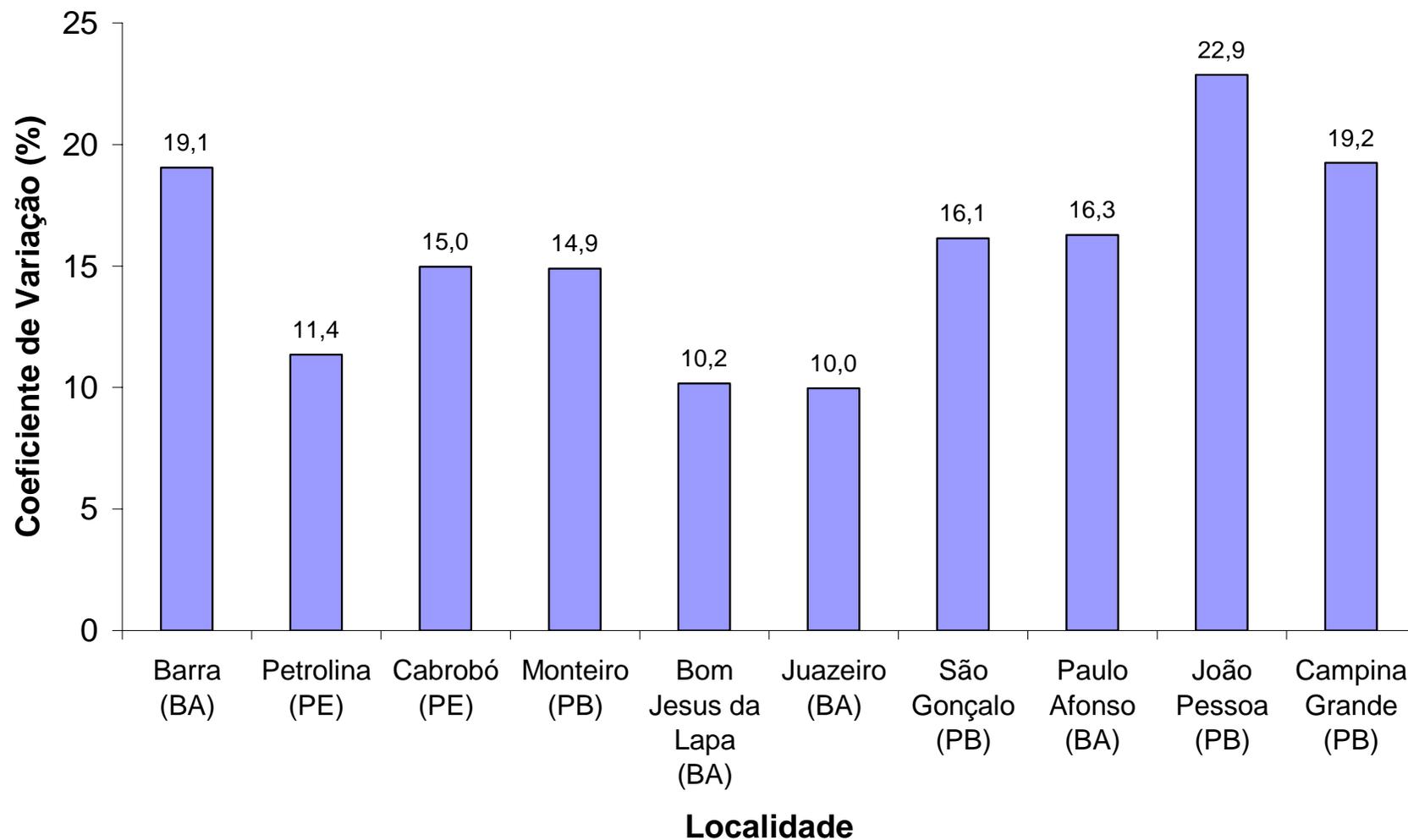
- Avaliação da irradiação direta normal**



# Atividades mais recentes

- **Avaliação da irradiação direta normal**

- **Coeficiente de variação = (desvio padrão/média) x 100 [%]**



- **Resumo da avaliação**

| <b>Localidade</b> | <b>Características</b>  |
|-------------------|---|
| Barra (BA)        | Irradiação normal direta anual= 2,14 MWh/m <sup>2</sup> .ano<br>Coeficiente de variação da média mensal = 19,1 %<br>Linhas de transmissão= 69 kV<br>Rio São Francisco– fluxo perene             |
| Petrolina (PE)    | Irradiação normal direta anual= 2,04 MWh/m <sup>2</sup> .ano<br>Coeficiente de variação da média mensal = 11,4 %<br>Linhas de transmissão= 69 kV and 138 kV<br>Rio São Francisco– fluxo perene  |
| Cabrobó (PE)      | Irradiação normal direta anual= 2,00 MWh/m <sup>2</sup> .ano<br>Coeficiente de variação da média mensal = 15,0 %<br>Linhas de transmissão= 69 kV<br>Rio São Francisco– fluxo perene             |
| Monteiro (PB)     | Irradiação normal direta anual= 1,99 MWh/m <sup>2</sup> .ano<br>Coeficiente de variação da média mensal = 14,9 %<br>Linhas de transmissão= 69 kV and 138 kV<br>Rio Paraíba – fluxo intermitente |

NOTA: todas as localidades possuem subestações e rodovias de acesso

| <b>Localidade</b>      | <b>Características</b>   |
|------------------------|--|
| Bom Jesus da Lapa (BA) | Irradiação normal direta anual= 1,99 MWh/m <sup>2</sup> .ano<br>Coeficiente de variação da média mensal = 10,2 %<br>Linhas de transmissão= 69 kV and 138 kV<br>Rio São Francisco– fluxo perene |
| Juazeiro (BA)          | Irradiação normal direta anual= 1,99 MWh/m <sup>2</sup> .ano<br>Coeficiente de variação da média mensal = 10,0 %<br>Linhas de transmissão= 69 kV and 138 kV<br>Rio São Francisco– fluxo perene |
| São Gonçalo (PB)       | Irradiação normal direta anual= 1,88 MWh/m <sup>2</sup> .ano<br>Coeficiente de variação da média mensal = 16,1 %<br>Linhas de transmissão= 69 kV<br>Rio Piranhas – fluxo perene                |
| Paulo Afonso (BA)      | Irradiação normal direta anual= 1,83 MWh/m <sup>2</sup> .ano<br>Coeficiente de variação da média mensal = 16,3 %<br>Linhas de transmissão= 69 kV<br>Rio São Francisco– fluxo perene            |

NOTA: todas as localidades possuem subestações e rodovias de acesso



# Eletrobras

## Cepel

Ana Paula Cardoso Guimarães  
pcardoso@cepel.br

Ary Vaz Pinto Júnior  
ary@cepel.br

Eduardo Torres Serra  
etserra@cepel.br

Leonardo dos S. R. Vieira  
lsrv@cepel.br