

Semana da Tecnologia e Design 2012
Instituto Politécnico de Portalegre



Aproveitamento de Energia Solar Térmica

Centrais Solares Termoelétricas

João Cardoso

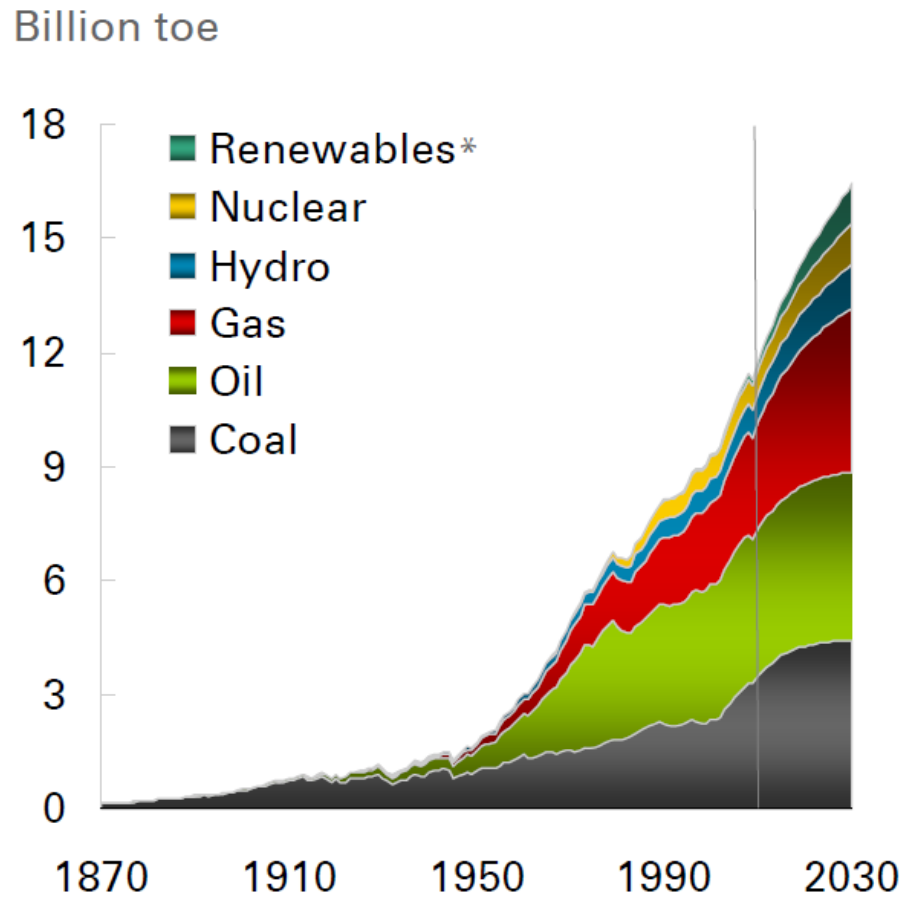
joao.cardoso@lneg.pt

Unidade de Energia Solar, Eólica e dos Oceanos



Um apetite voraz por energia...

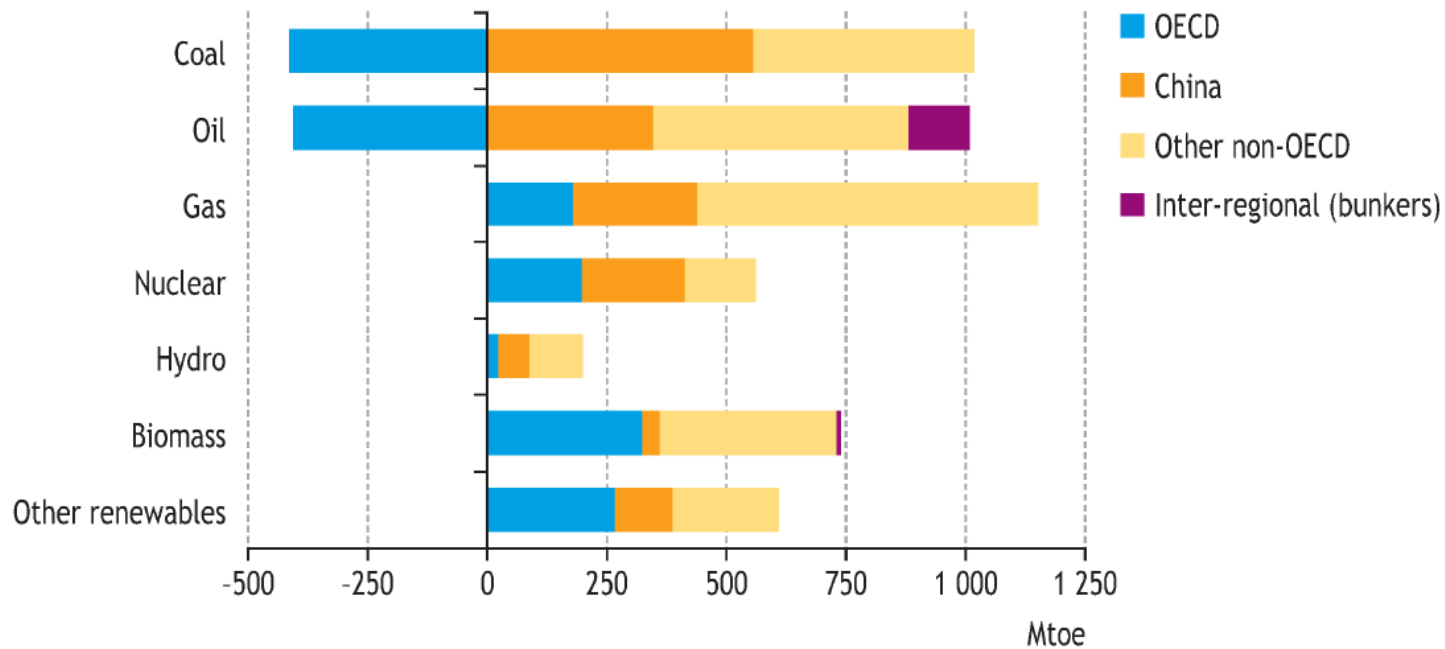
Consumo mundial de energia



Fonte: BP – Energy Outlook 2030

Que continuará a crescer...

Incremental primary energy demand by fuel & region
in the New Policies Scenario, 2008-2035



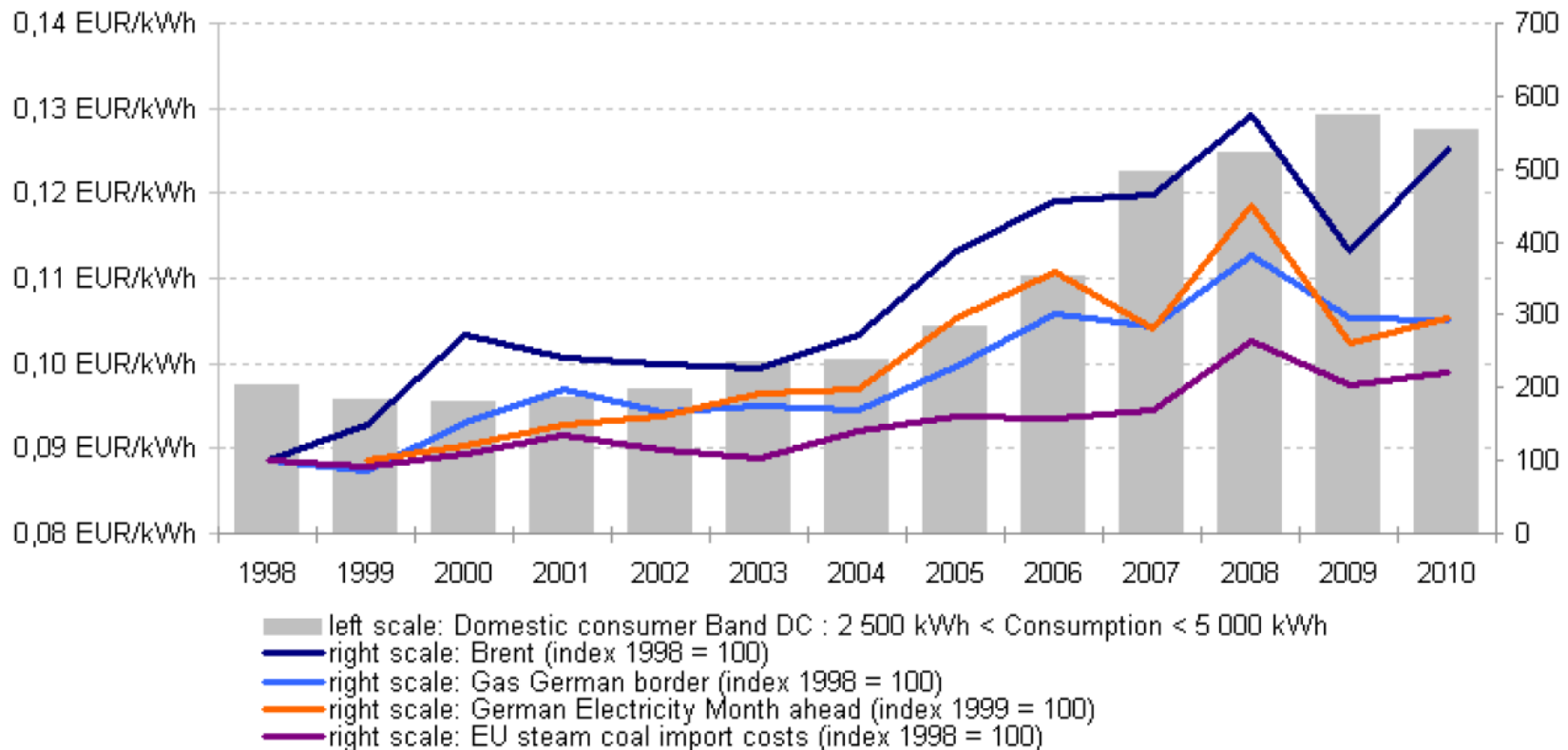
Fonte: IEA – World Energy Outlook 2010

A preços cada vez maiores

EU 15 retail electricity prices for **domestic** consumers [no taxes, **nominal EUR**]

vs

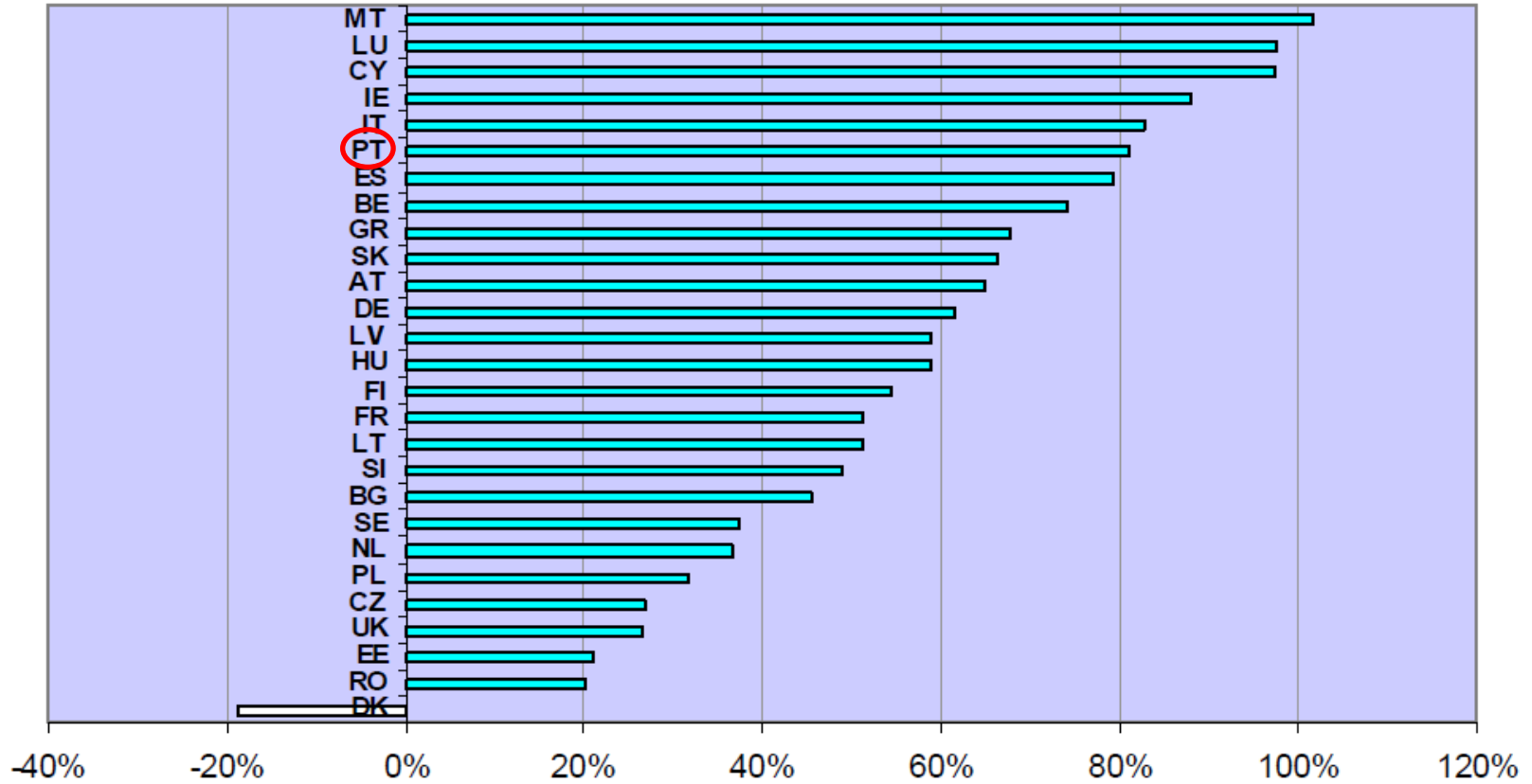
wholesale electricity, gas, coal and oil prices [index 1998 = 100, **nominal EUR**]



Fonte: IEA – World Energy Outlook 2010

E Portugal?

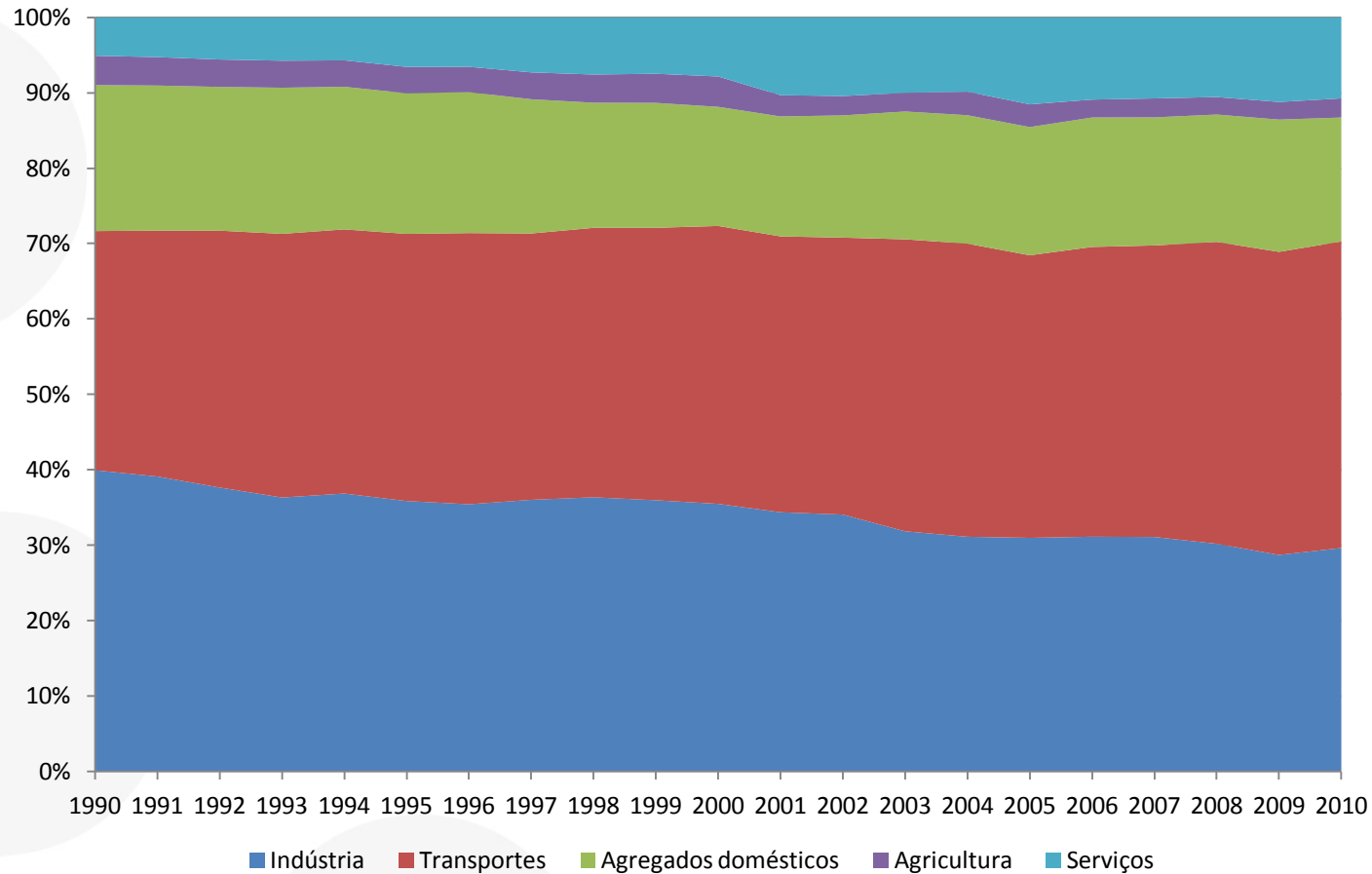
Energia importada em 2009



Fonte: EC – Market Observatory for Energy, dados de 2011

E Portugal?

Consumo de energia final por sector consumidor

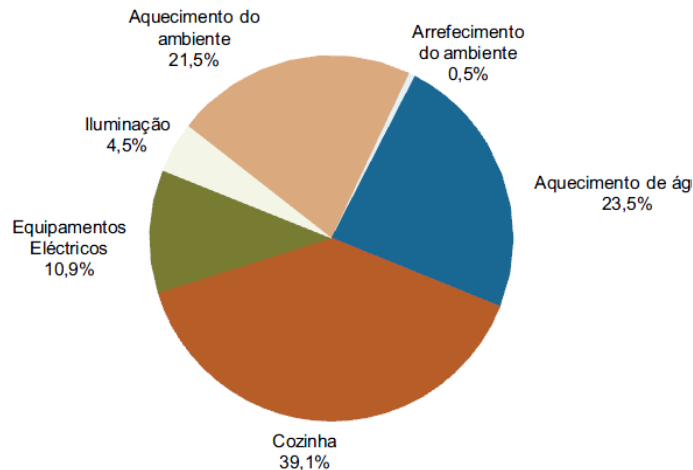


Fonte: PORDATA

E Portugal?

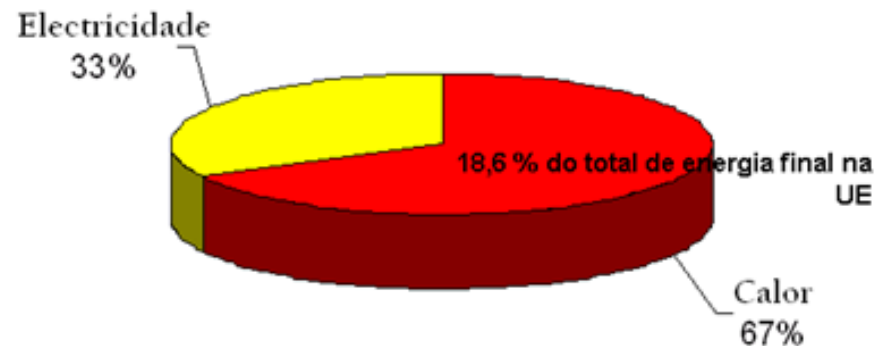
- Os sectores industrial, residencial e dos serviços são responsáveis por mais de 50% do consumo de energia nacional
- Uma grande fracção deste consumo energético dá-se sob a forma de calor

Consumo de energia final no sector residencial



Fonte: DGEG, 2010

Consumo de energia final na UE - Indústria repartição entre calor e electricidade



Fonte: GREEN PAPER – TOWARDS A EUROPEAN STRATEGY FOR THE SECURITY OF ENERGY SUPPLY, Brussels, 2001

Consumo de energia - Calor

➤ As aplicações de calor no sector doméstico e dos serviços são de média e baixa temperatura:

Ex.: Aquecimento de piscinas, águas quentes sanitárias, aquecimento ambiente

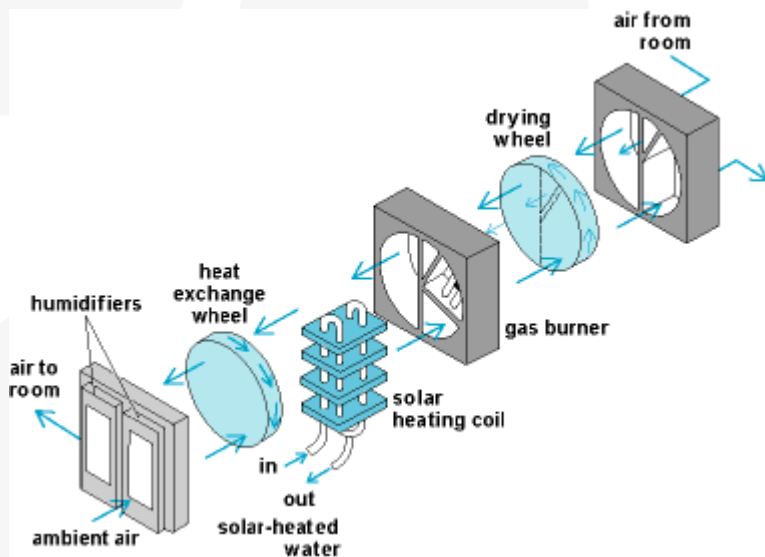


$T < 70^{\circ}\text{C}$

Consumo de energia - Calor

➤ As aplicações de calor no sector doméstico e dos serviços são de média e baixa temperatura:

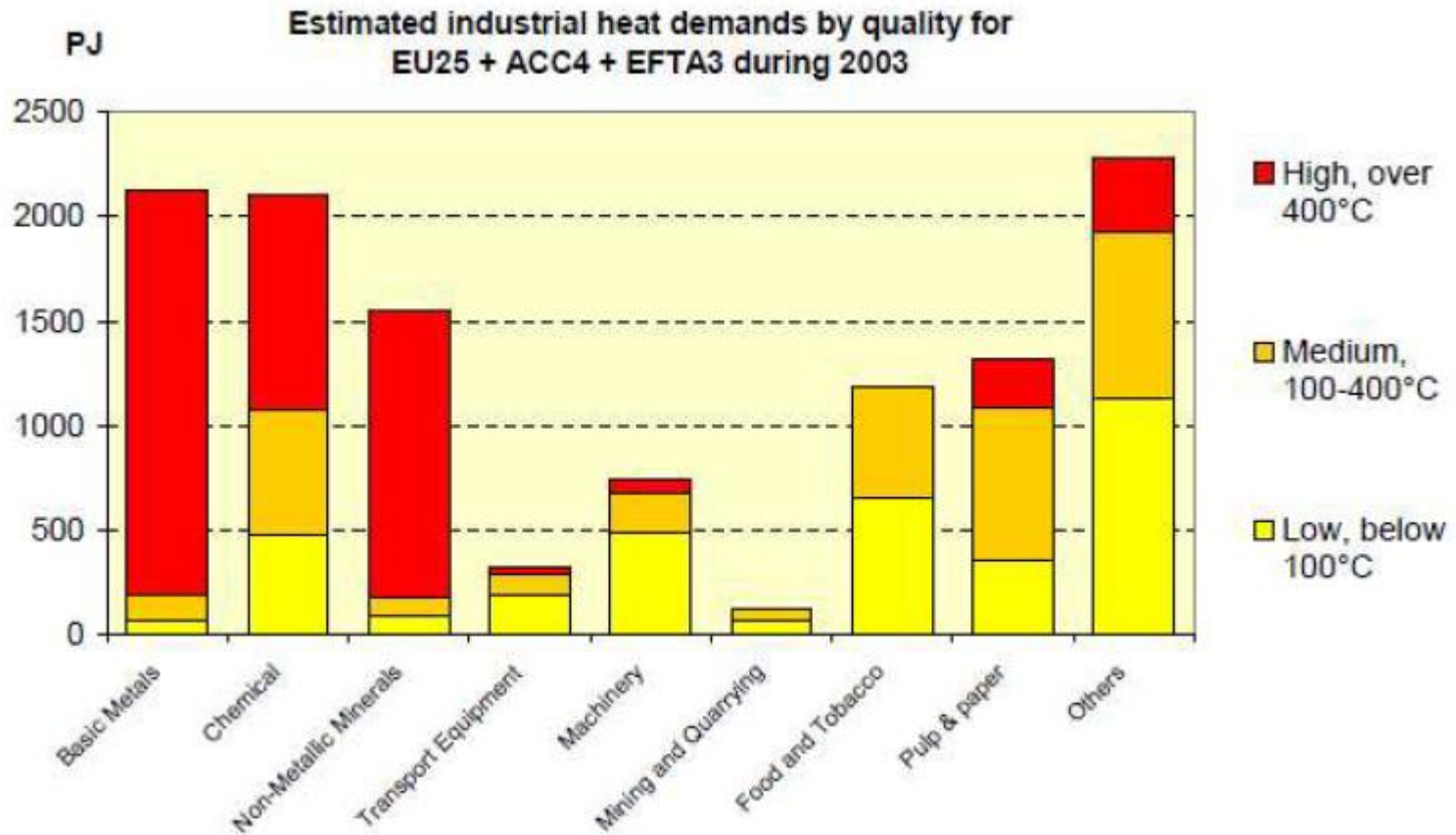
Ex.: Ar condicionado solar



$$50^{\circ}\text{C} < T < 160^{\circ}\text{C}$$

Consumo de energia - Calor

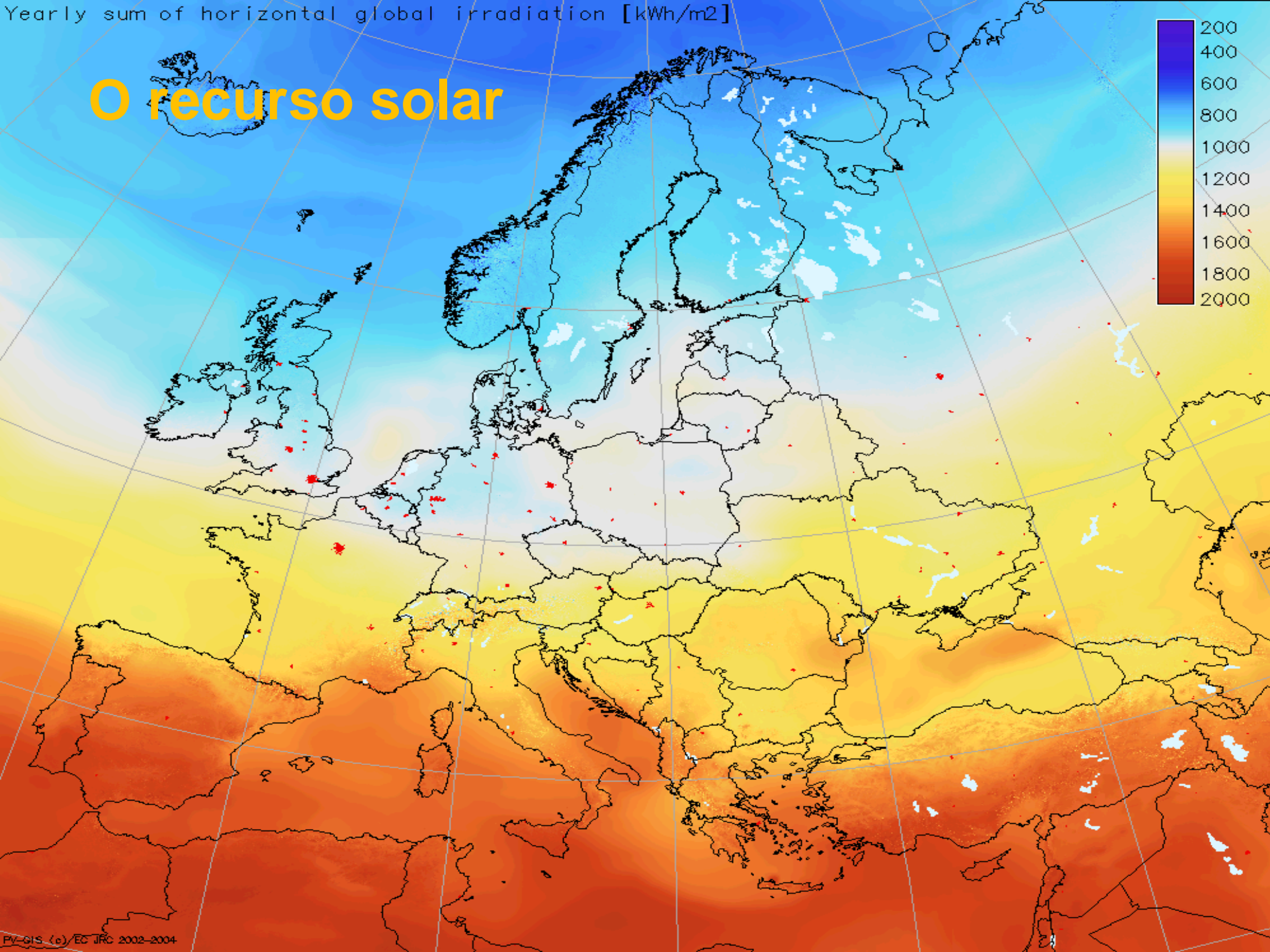
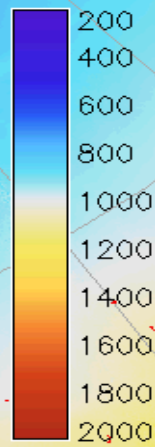
➤ As aplicações de calor no sector industrial possuem diversos níveis de temperatura:



Fonte: IEA-SHC Task 49

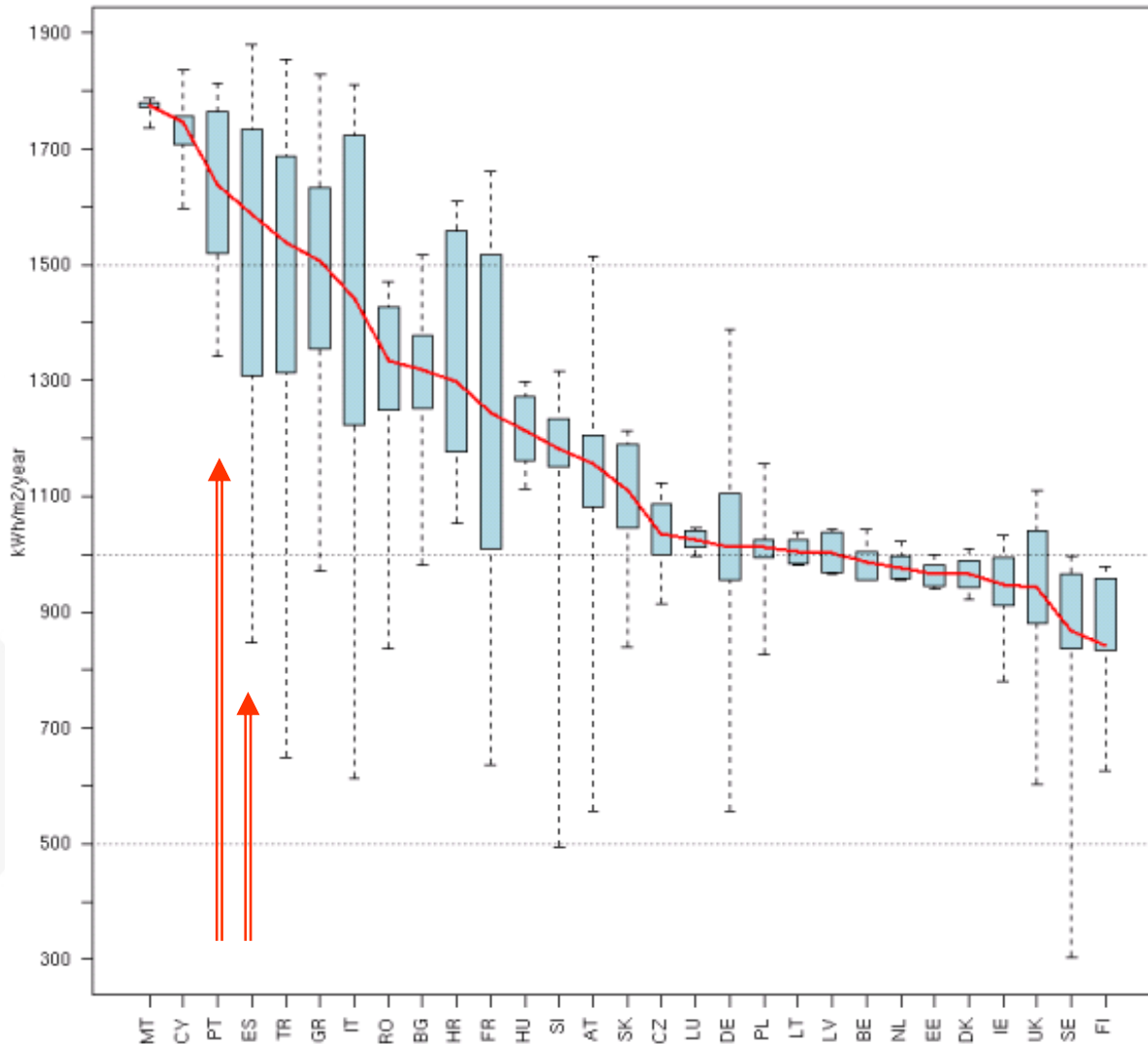
Yearly sum of horizontal global irradiation [kWh/m²]

0 recurso solar



O recurso solar

Soma anual da radiação global na horizontal [kWh/m²]

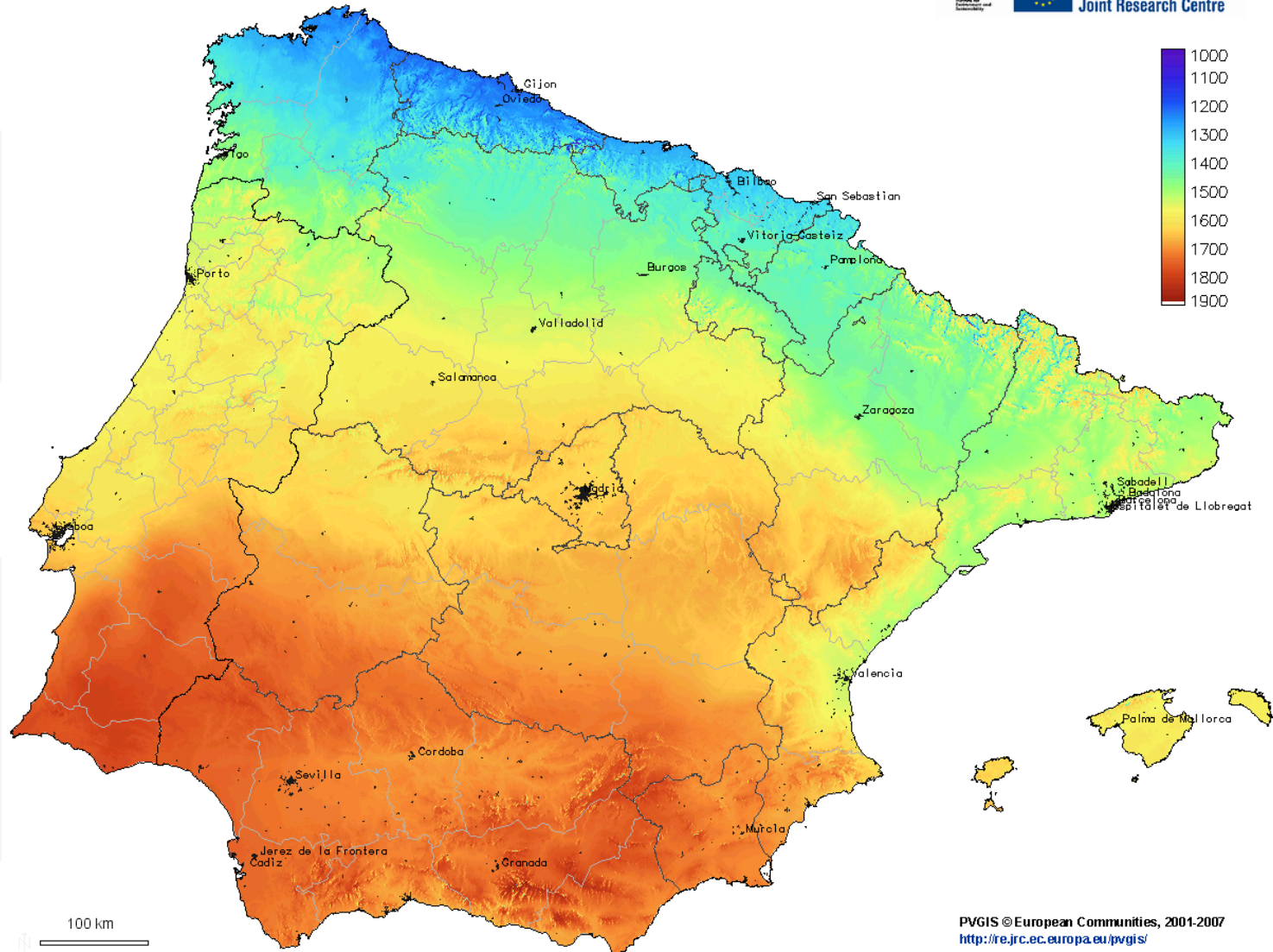


O recurso solar

Yearly sum of global irradiation on a horizontal surface - Spain and Portugal



EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORAT-GENERAL
Joint Research Centre

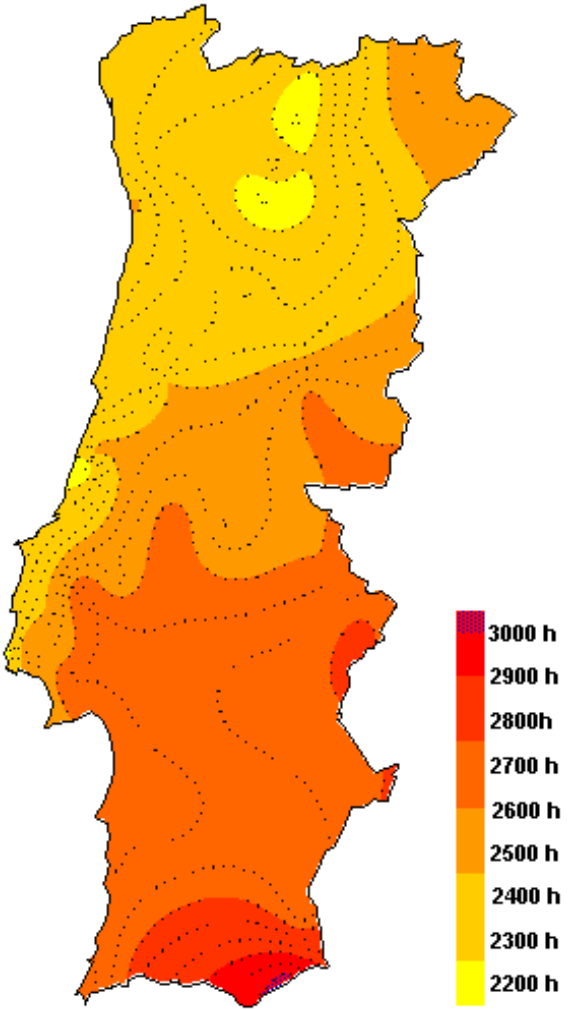


IPV-015 (v) EC, JRC, 2004

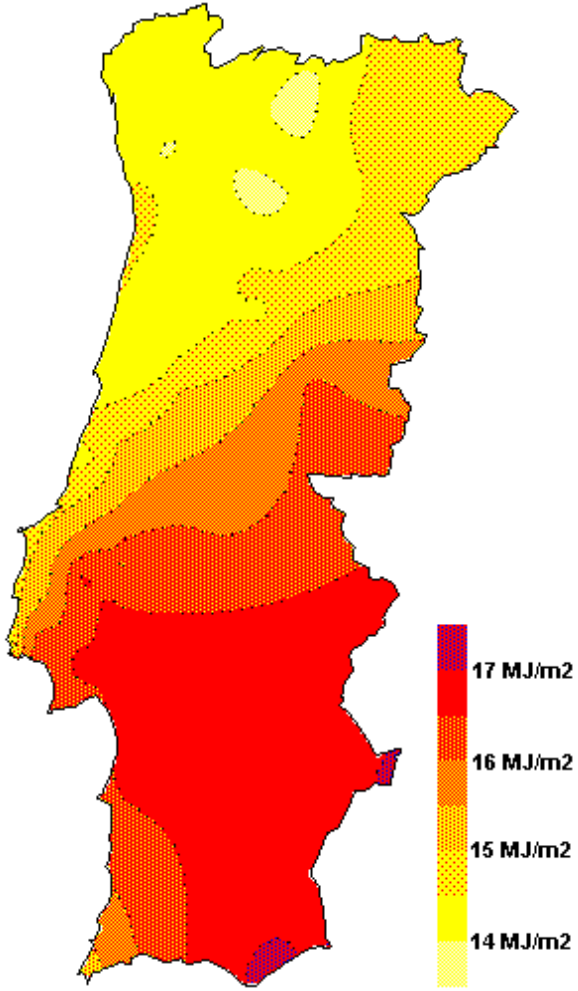
PVGIS © European Communities, 2001-2007
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>



O recurso solar

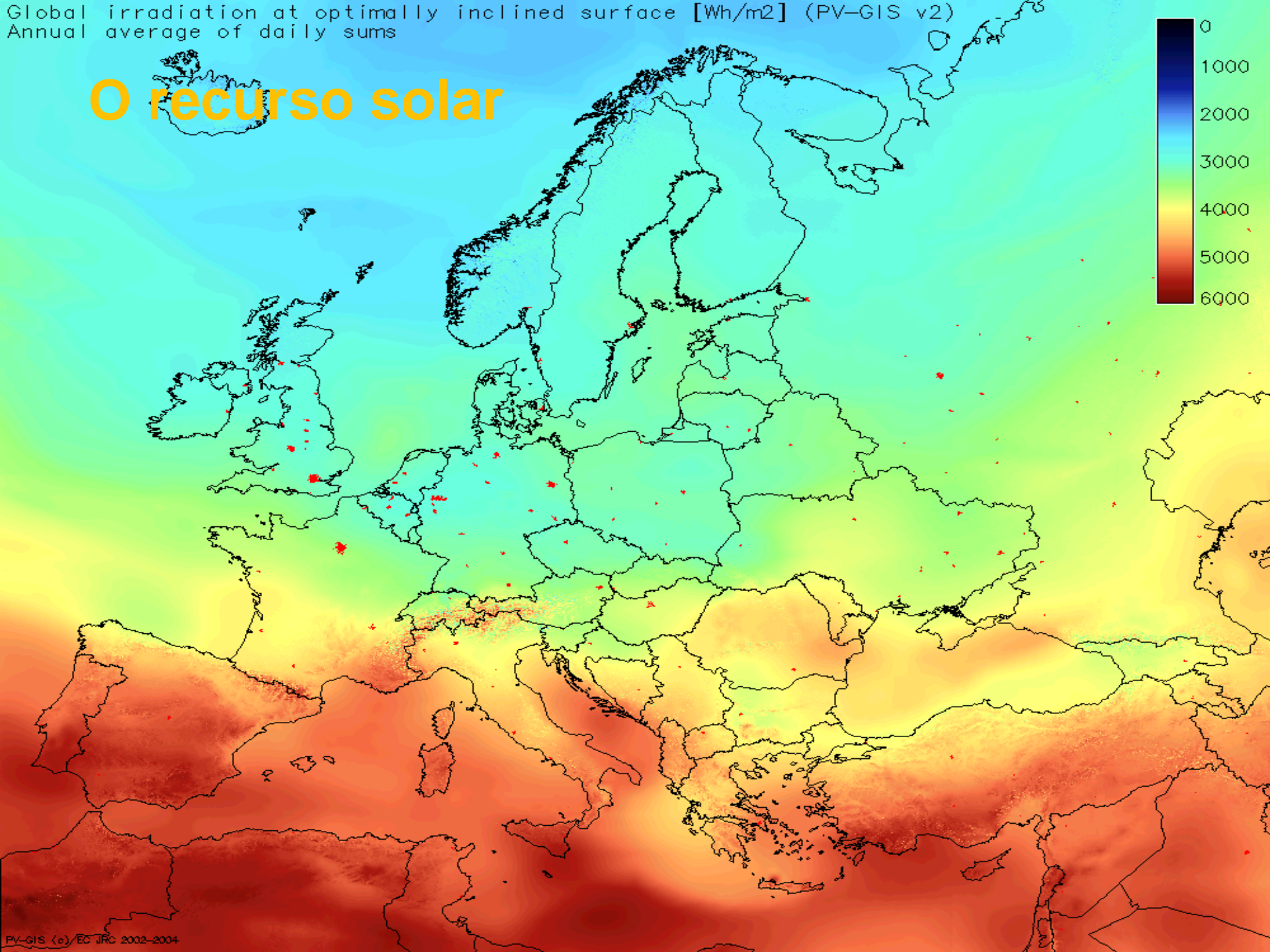


Radiação Solar
2200-3000 h
14-17MJ/m²/dia



Global irradiation at optimally inclined surface [Wh/m2] (PV-GIS v2)
Annual average of daily sums

0 recurso solar



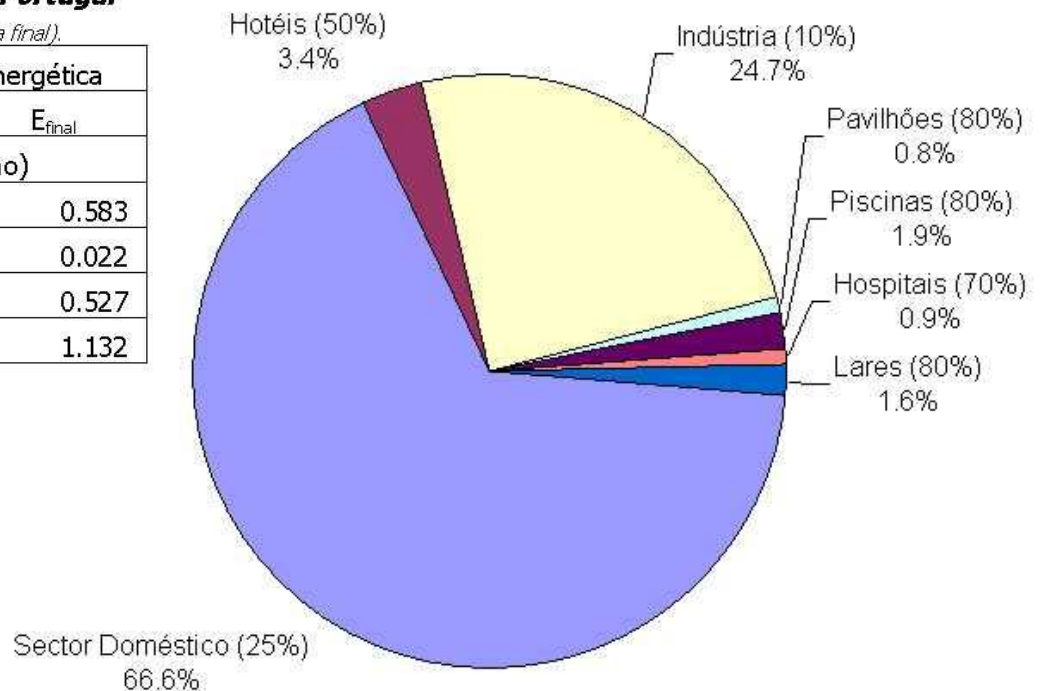
Solar Térmico - Mercado Potencial

O mercado potencial em Portugal foi estimado em 14 milhões m², dos quais 2,8 milhões m² representa o potencial exequível

Quadro 1 – Potencial máximo de aplicação de sistemas solares térmicos para AQS e AQP em Portugal

(A_c – área de colectores solares; $E_{\text{útil}}$ – Energia Útil E_{final} – Energia final).

| | | A_c (m ²) | Contribuição energética | |
|----------------------|-----|-------------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | $E_{\text{útil}}$ | E_{final} |
| | | (Mtep/ano) | | |
| Doméstico | AQS | 7 468 112 | 0.424 | 0.583 |
| Indústria e Serviços | AQS | 244669 | 0.021 | 0.022 |
| | AQP | 6 907 095 | 0.448 | 0.527 |
| Total | | 14 619 876 | 0.893 | 1.132 |



Como explorar este potencial?

| Seguimento | Tipo de coletor | Concentração | Intervalo de temperaturas indicativo (°C) |
|--------------|-----------------------------|--------------|---|
| Estacionário | Coletor plano | 1 | 30-80 |
| | Tubo de vácuo | 1 | 50-200 |
| | Coletor parabólico composto | 1-5 | 60-240 |
| Uniaxial | Coletor parabólico composto | 5-15 | 60-300 |
| | Fresnel linear | 10-40 | 60-250 |
| | Cilindro-parabólico | 10-50 | 60-300 |
| Biaxial | Disco parabólico | 100-1000 | 100-500 |
| | Campo de heliostátos | 100-1500 | 150-2000 |

Fonte: Kalogirou, S., Solar thermal collectors and applications. Prog. Energy Comb. Sci., 30 (2004)

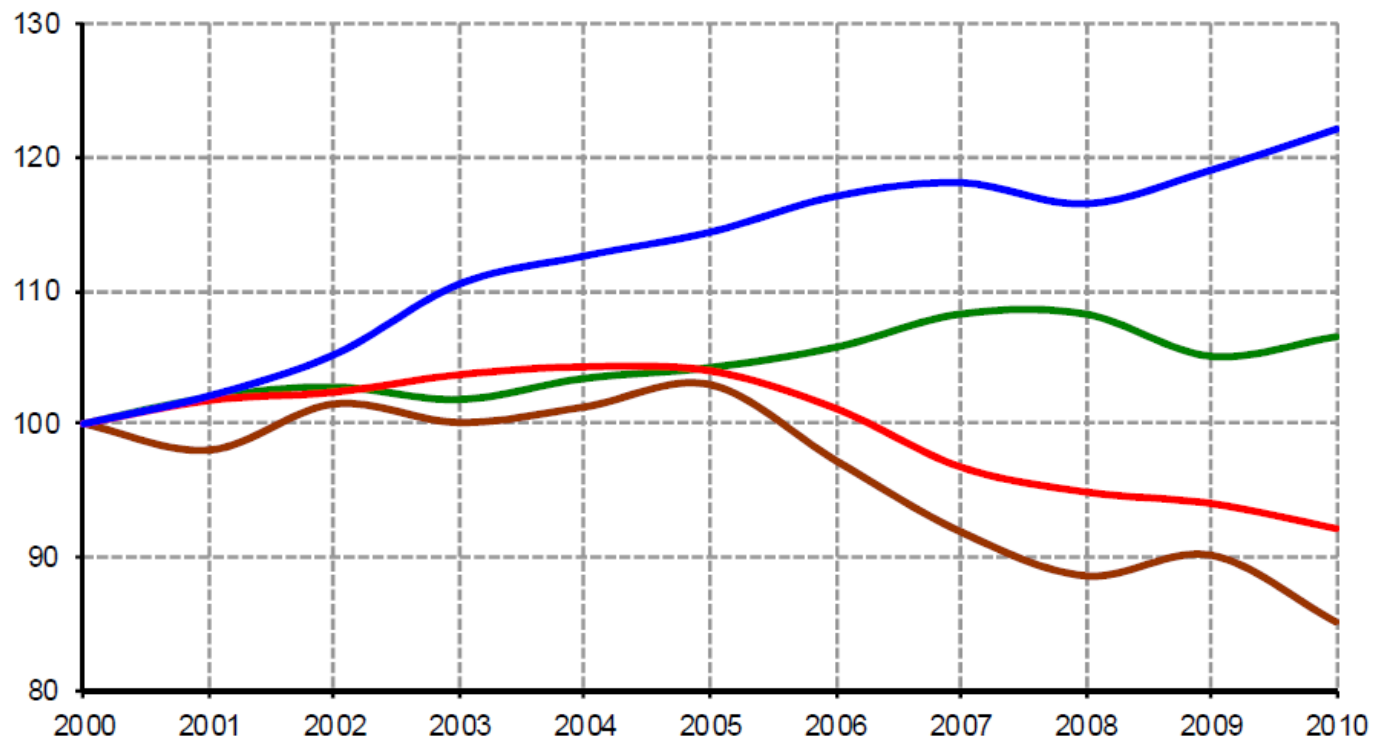
Como explorar este potencial?

| Seguimento | Tipo de colector | Concentração | Intervalo de temperaturas indicativo (°C) |
|--------------|------------------------------|--------------|---|
| Estacionário | Colector plano | 1 | 30-80 |
| | Tubo de vácuo | 1 | 50-200 |
| | Colector parabólico composto | 1-5 | 60-240 |
| Uniaxial | Colector parabólico composto | 5-15 | 60-300 |
| | Fresnel linear | 10-40 | 60-250 |
| | Cilindro-parabólico | 10-50 | 60-300 |
| Biaxial | Disco parabólico | 100-1000 | 100-500 |
| | Campo de heliostátos | 100-1500 | 150-2000 |



Possível utilização para produção de electricidade

A importância da electricidade

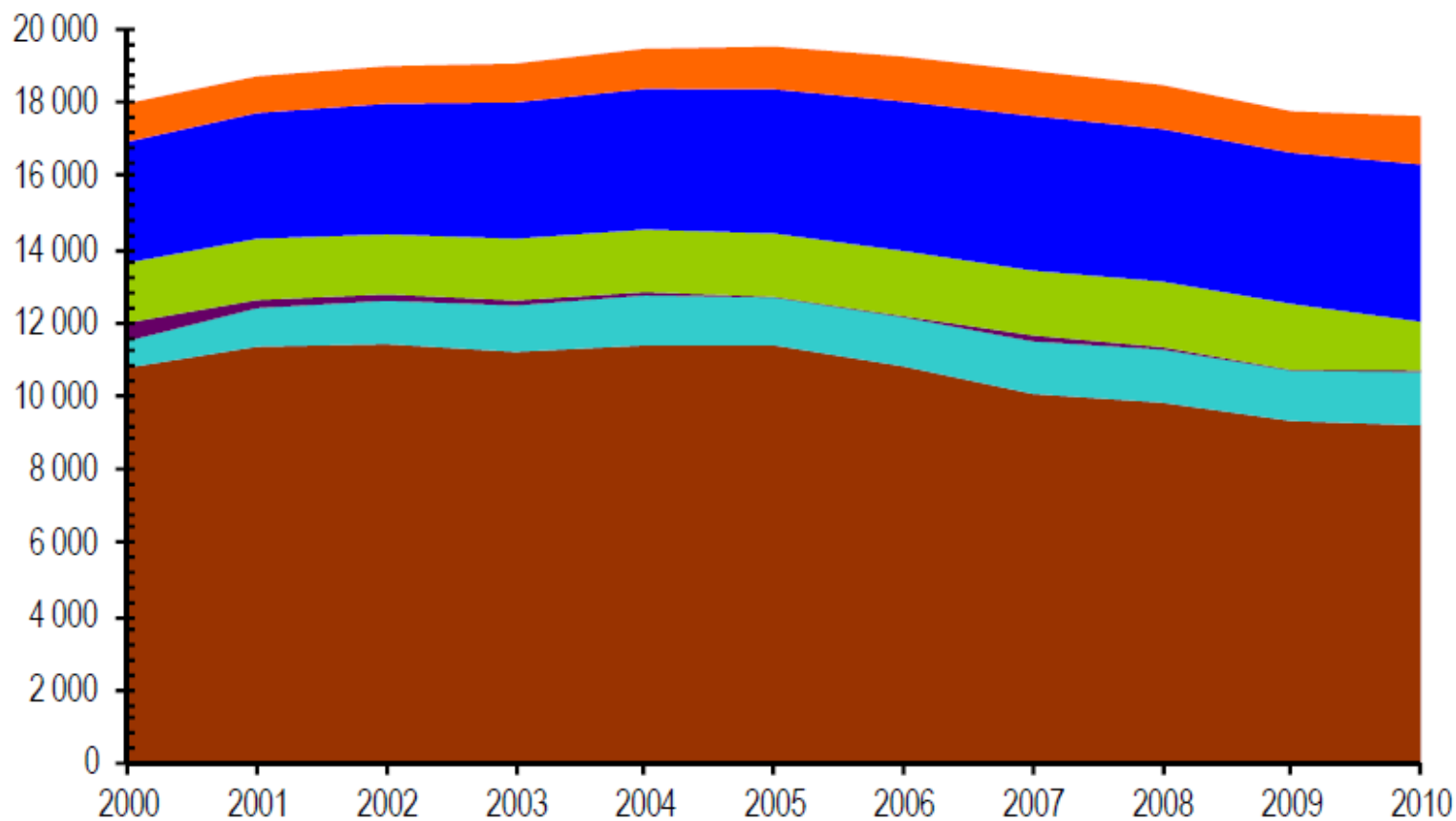


- PIB (preços de 2006)
- Consumo de Energia Primária / PIB (preços de 2006)
- Consumo de Energia Final / PIB (preços de 2006)
- Consumo de Energia Elétrica / PIB (preços de 2006)

Fonte: DGEG

A importância da electricidade

Representa 24% do consumo de energia final

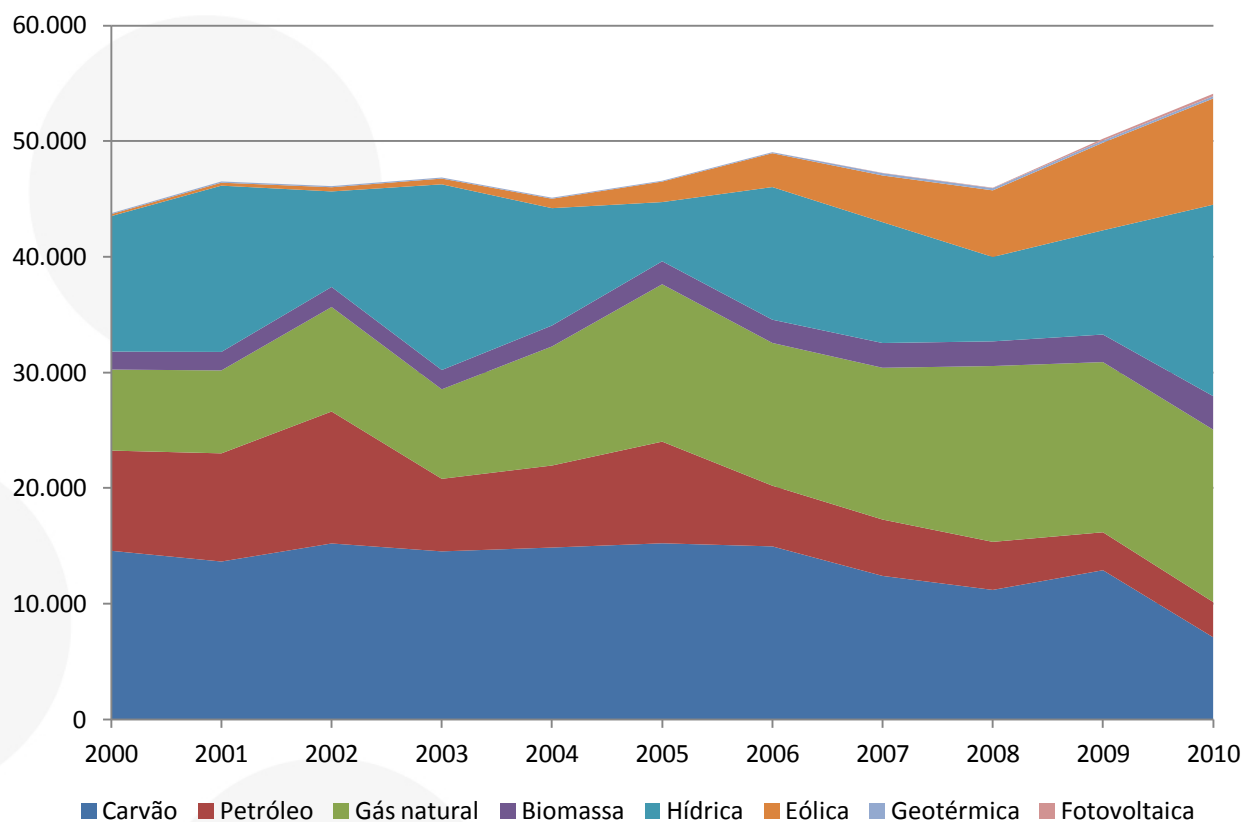


Consumo de energia final ktep Fonte: DGEG

Petróleo GN Carvão Biomassa E. Elétrica Calor

Produção de electricidade em Portugal

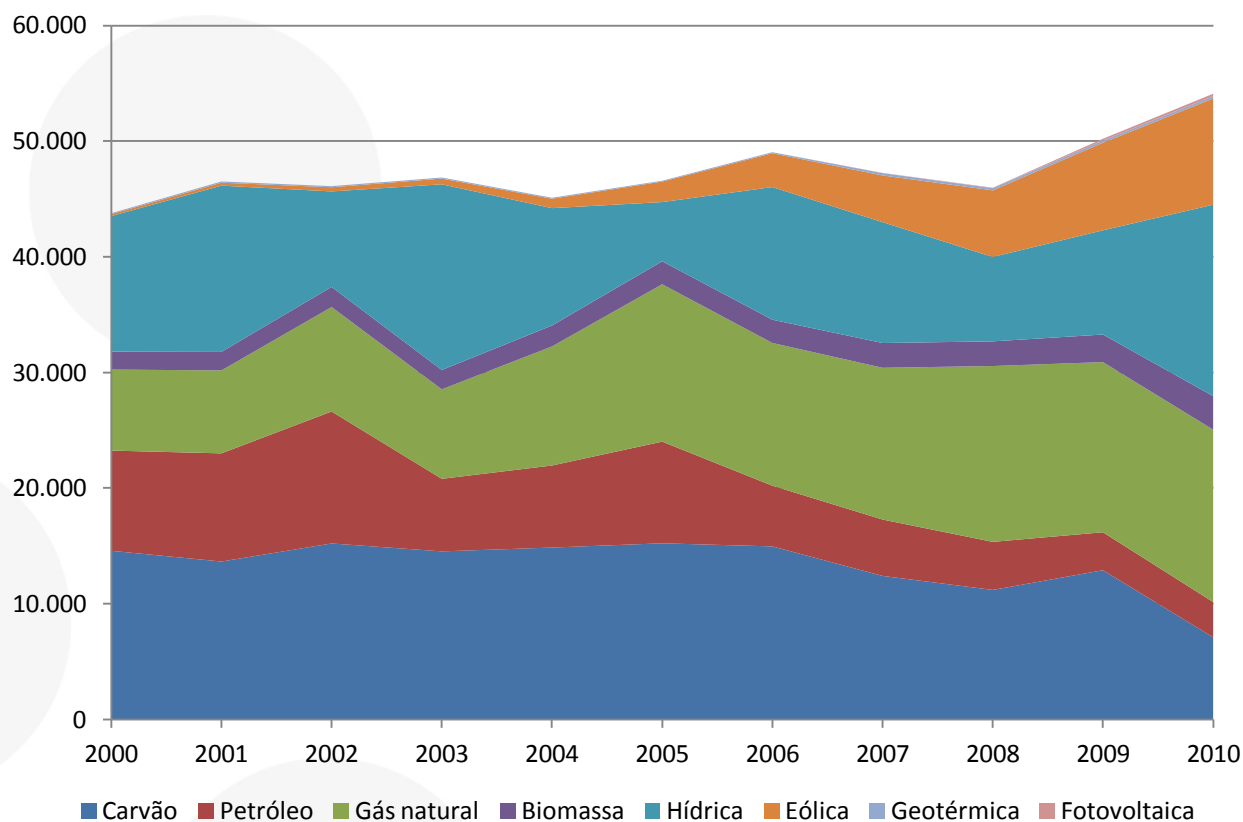
Disponibilidade de energia eléctrica por fonte (GWh)



Fonte: DGEG

Produção de electricidade em Portugal

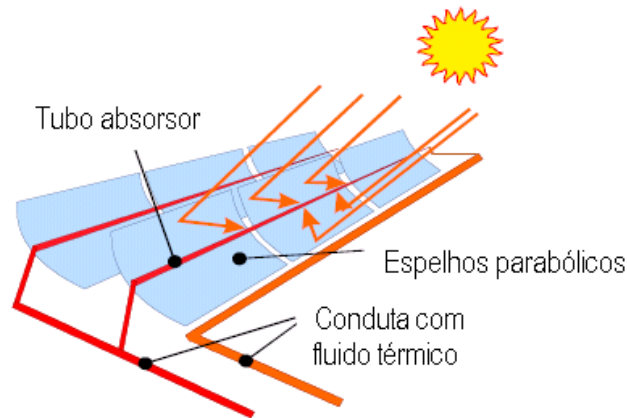
Disponibilidade de energia eléctrica por fonte (GWh)



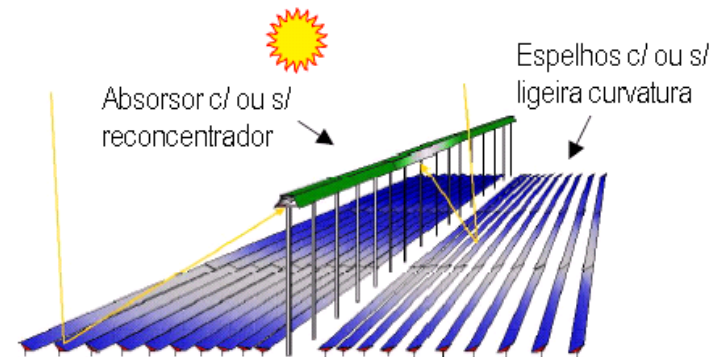
Fonte: DGEG

Centrais solares termoelectricas

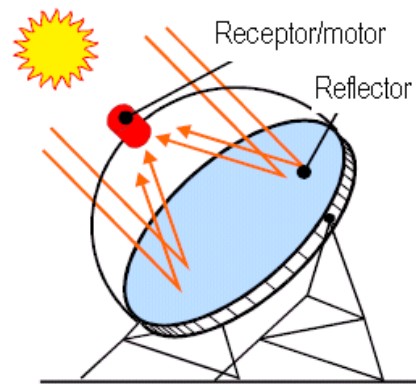
As tecnologias



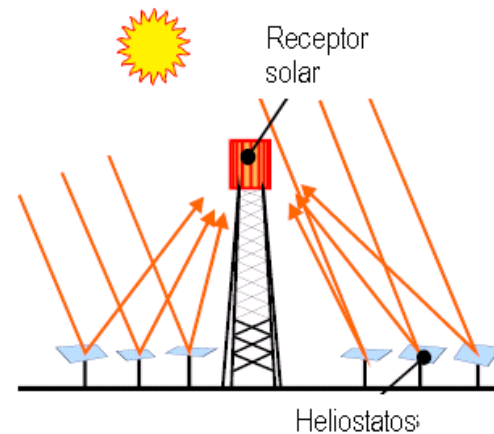
Cilindro-Parabólica



Fresnel Linear

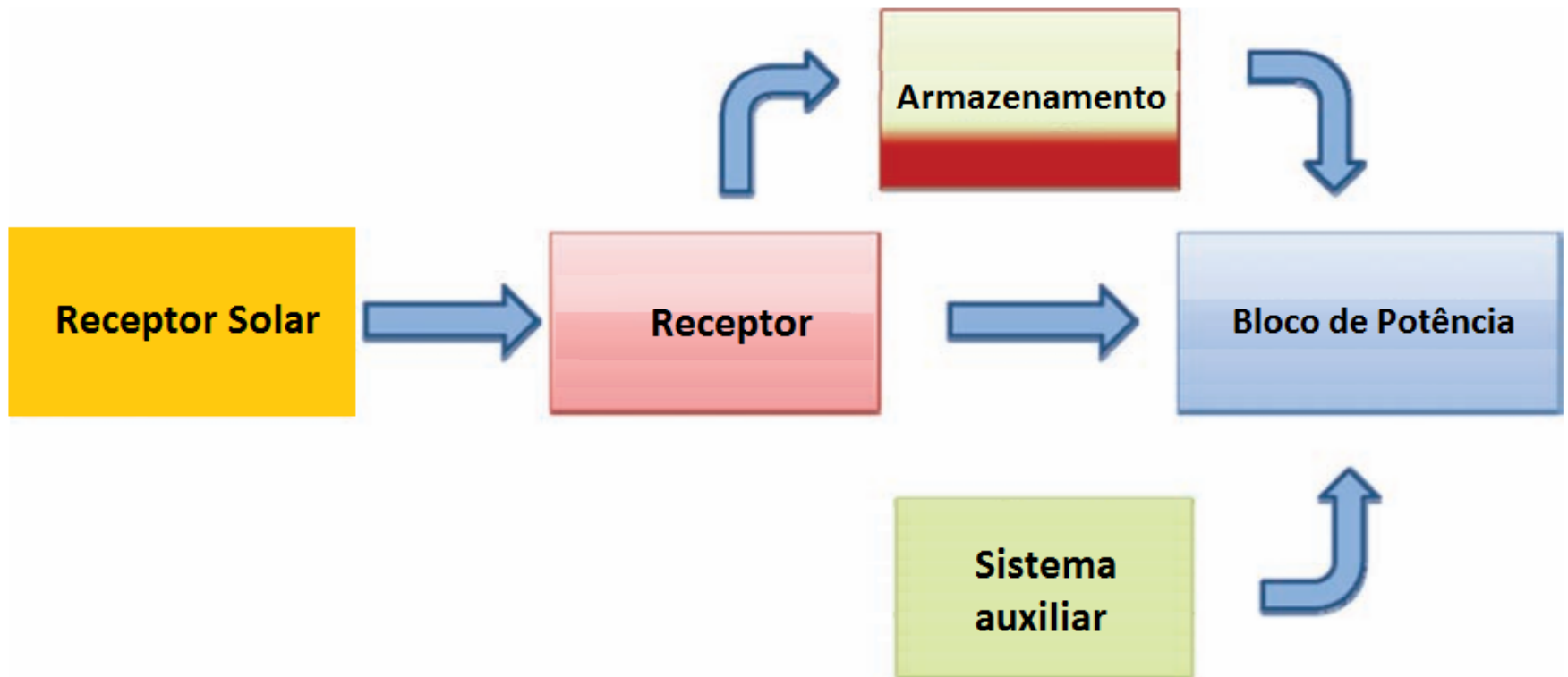


Disco parabólico/Motor

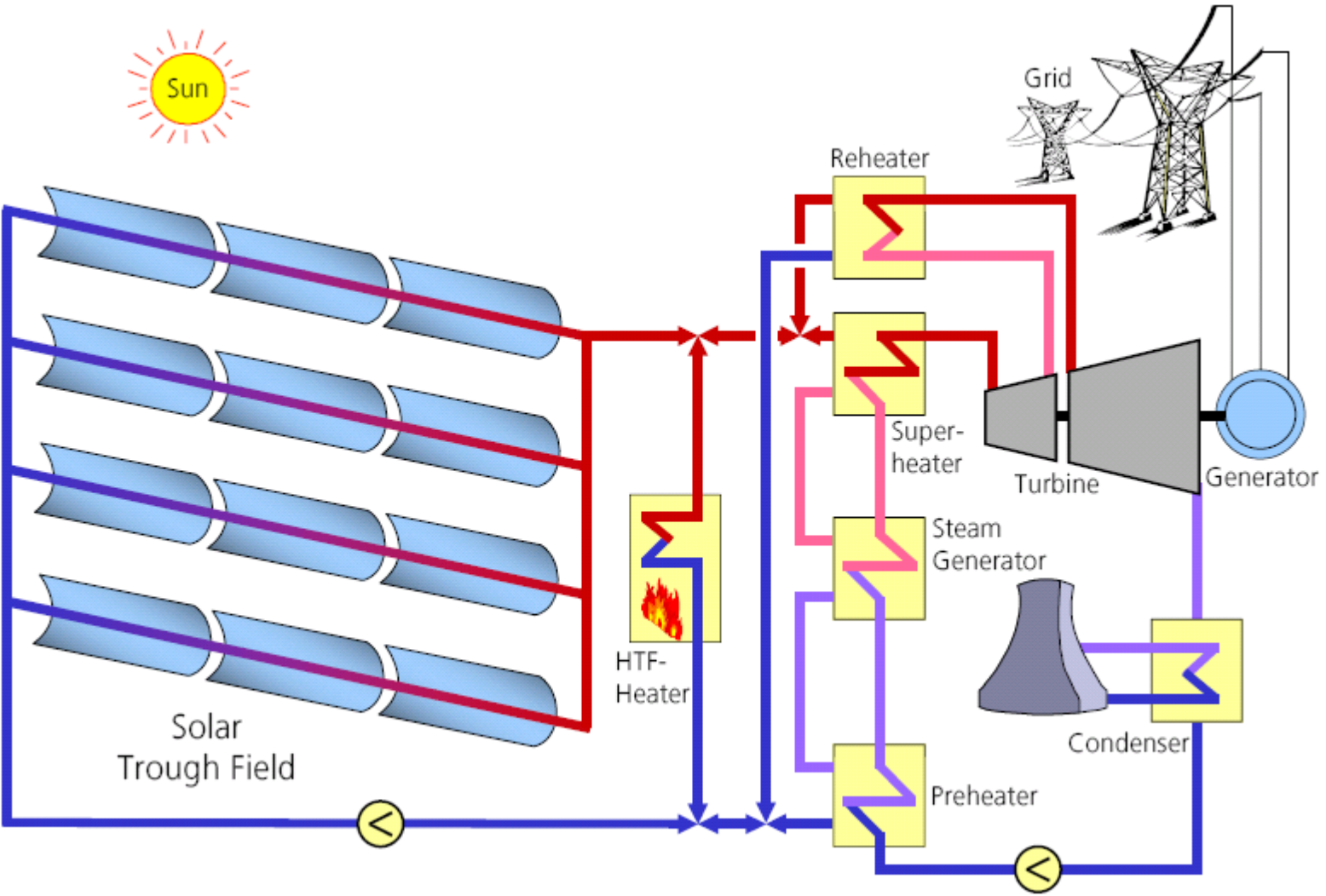


Receptor Central

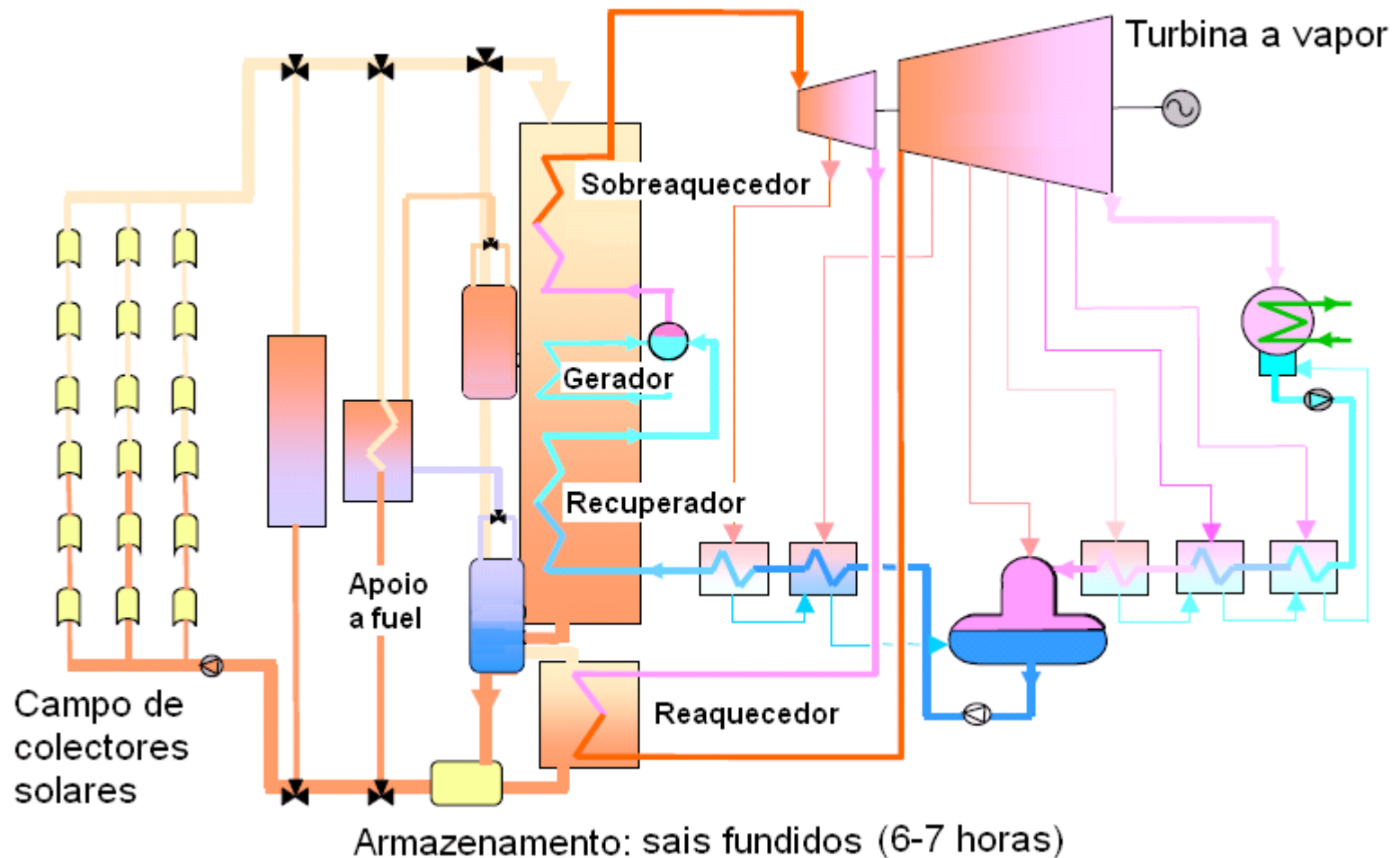
Princípio de funcionamento



Centrais Cilindro-Parabólicas



Centrais Cilindro-Parabólicas

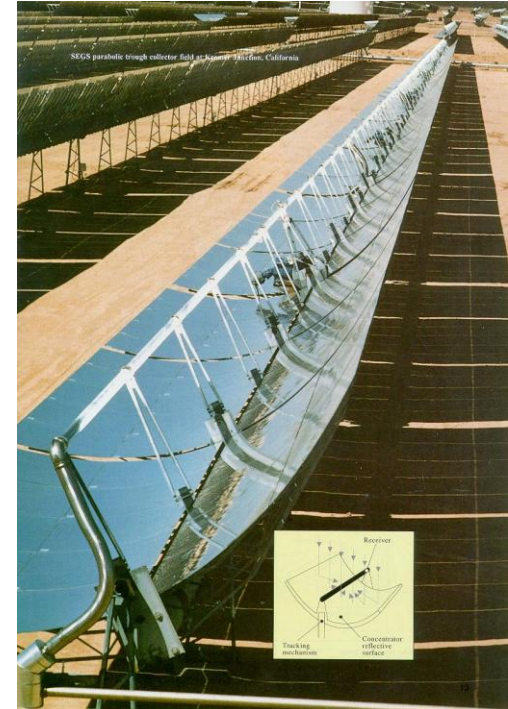


Centrais Cilindro-Parabólicas

- Seguimento do movimento aparente do sol em um só eixo
- Temperatura de operação: com fluido térmico- até 390°C + apoio (gás) para operar entre 450 e 470°C.
- AbsorSOR em tubo de vácuo
- DISS produção directa de vapor
- Concentração 30 a 80 X e 30 a 80 MW em potência
- Dimensão adequada >50MWp (2-3 euro / Wp)



Colector Eurotrough



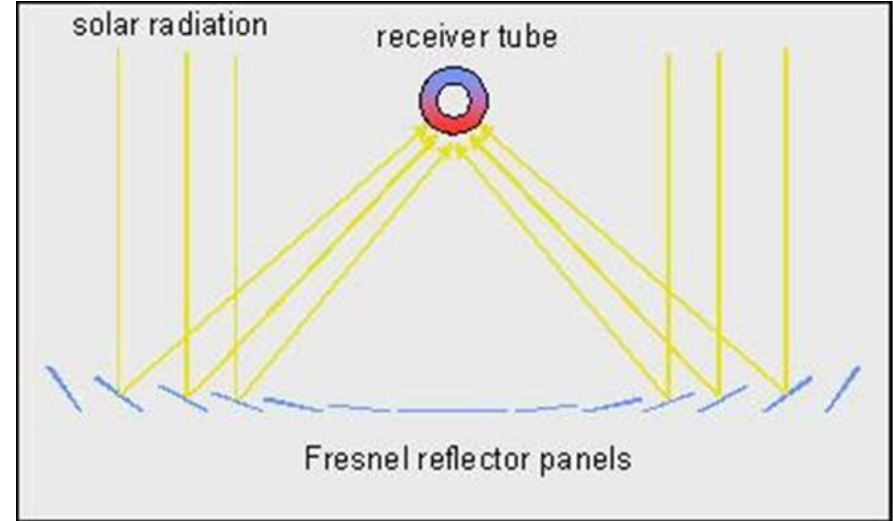
Deserto Mojave/California
Anos 84-91 / 354 MWp = 9 SEGS
Efic annual 14 a 18% e max=21%

Centrais Fresnel Linear

Ideia: Aproximar a parábola por espelhos planos tangentes à mesma



Solarmundo



Centrais Fresnel Linear

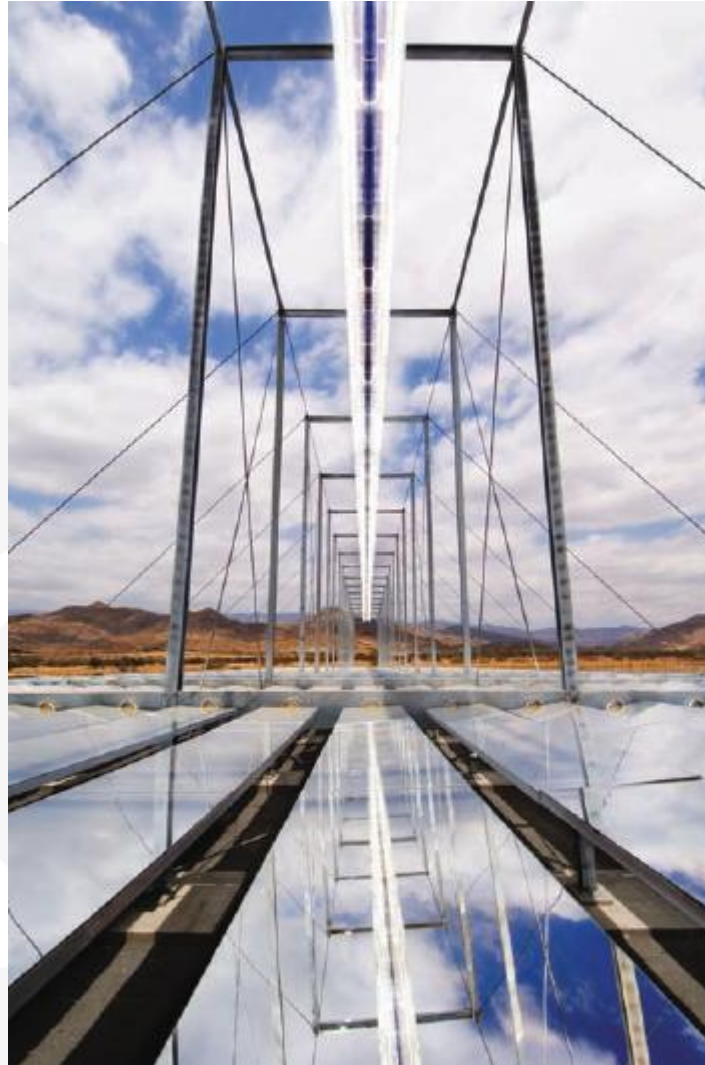
- Menos absorvedor por m²: menos perdas térmicas
- Absorvedor fixo: possibilita DISS
- Espelhos planos: baixo custo, e podem curvar-se ligeiramente, i.e. concentração extra ou maior tamanho para a mesma concentração
- Seguimento do sol com menos precisão: mecanismo relógio, mais simples, mais barato
- Temperatura <290°C: turbina com menor rendimento, mas menor exigência em termos de materiais, sobrevivência, etc.
- Menor superfície de solo por m² de espelho de qualquer tecnologia: 70%



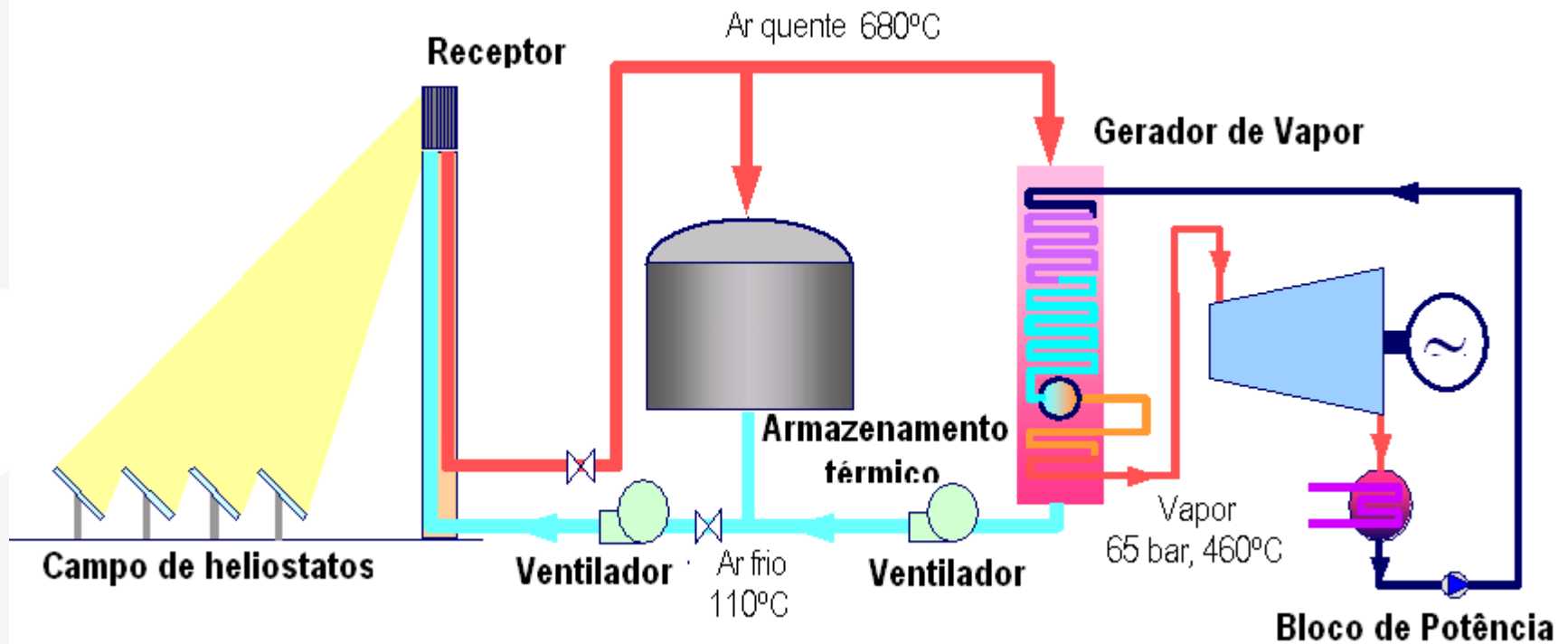
1MWth - Liddell Coal Power Station, Australia



Centrais Fresnel Linear



Centrais de Torre



Centrais de Torre



- Temperatura de funcionamento : 300-1000°C – produção de vapor
- $T > 1000^{\circ}\text{C}$ para combinação com turbina a gás (exige rigor nos materiais/soluções ópticas para as cavidades absorvedoras)
- Heliostatos montados em pedestal fazendo o seguimento do sol em dois eixos/controlo individual. Ocupação terreno : ~ 5 Ha/MW
- Concentração 200 a 1 000 X
- Potência : 10 a 200 MW.
- Custo actual ≥ 3.3 euro/Wp.

Centrais de Disco/Stirling

- Paraboloide de revolução - conversão directa no foco
- Motor Stirling/gerador ou miniturbina em ciclo Brayton
- Concentração : 1000 a 4000 X
- Interessante para pequena escala (5 a 25kW) e aplicações remotas
- É hoje a mais cara das soluções termicas (>5 € / Wp)
- Mas é também a mais eficiente (efic. anual 29%)



Desempenho

| CSP technology | Peak solar to electricity conversion efficiency (%) | Annual solar-to-electricity efficiency (%) | Water consumption, for wet/dry cooling (m ³ /MWh) |
|-----------------------------------|---|--|--|
| Parabolic troughs | 23–27 | 15–16 | 3–4/0.2 |
| Linear Fresnel systems | 18–22 | 8–10 | 3–4/0.2 |
| Towers (central receiver systems) | 20–27 | 15–17 | 3–4/0.2 |
| Parabolic dishes | 20–30 | 20–25 | <0.1 |

Fonte: EASAC

- Capacidade única em termos de **integrabilidade** nas centrais convencionais
- Com armazenamento térmico ou com apoio a fuel fóssil as centrais solares dão **garantia de capacidade de abastecimento** sem perturbações estocásticas da rede
- Pode fornecer a **potência de pico no Verão** quando o vento e a água são escassos.
- Proporciona aplicações à **escala do MW**.

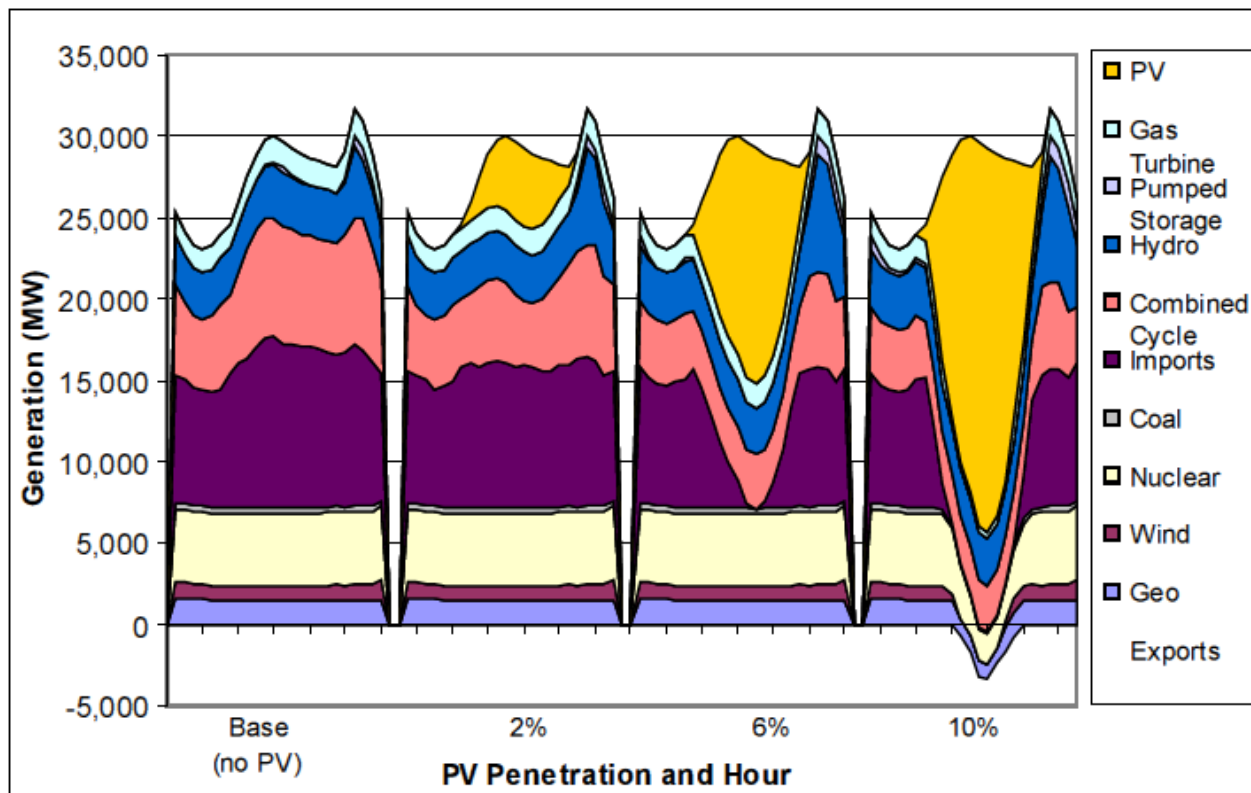
Armazenamento

| Design concept | Heat storage media | Heat transfer fluid |
|---|---------------------------------------|---|
| Sensible Heat Storage | | |
| Two-tank: <i>i) direct, ii) indirect</i> | Molten salts | Mineral oil |
| Single-tank: <i>i) thermocline, ii) stratifying TES/integrated steam generation</i> | Inert filler solids Concrete | Molten salts Steam |
| Special block for solid materials | Solids/particles | Gas (CO ₂ , air, helium, etc.) |
| Latent Heat Storage | | |
| Special equipment for PCMs | Phase-change materials (PCMs) | Steam |
| Chemical Storage | | |
| Special equipment for thermo-chemical products | Thermo-chemical products or solutions | Various |

| Storage concept/material | Storage capacity (kWh/m ³) | Actual cost (€/kWh) | Cost expectation (€/kWh) |
|---|--|---------------------|--------------------------|
| Sensible: liquid (depending on ΔT) | 30–90 | 30–70 | 20–50 |
| Sensible: solid (depending on ΔT) | 20–100 | 30–50 | 15–30 |
| Phase-change materials | 50–150 | 80–120 | 30–50 |
| Thermo-chemical reactions | 250–400 | n.a. | 10–50 |

Problemas da integração de Renováveis

- Divergência entre disponibilidade de energia e padrões de consumo
- Flexibilidade limitada dos geradores convencionais

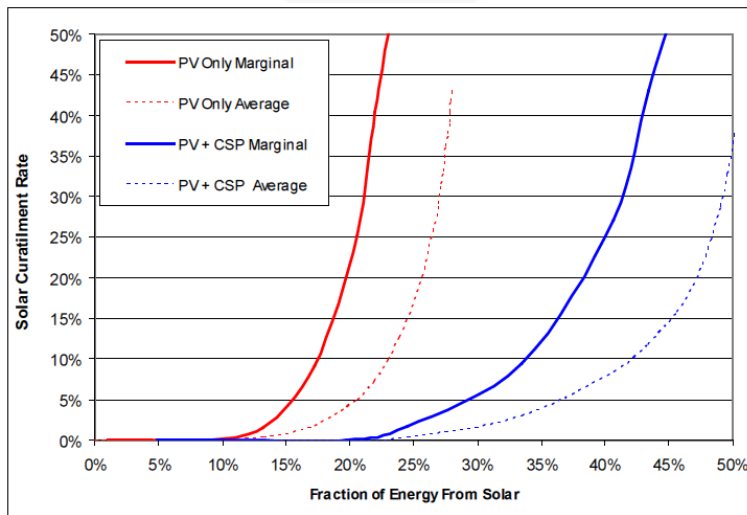


Simulated dispatch in California for a spring day with PV penetration from 0%–10%

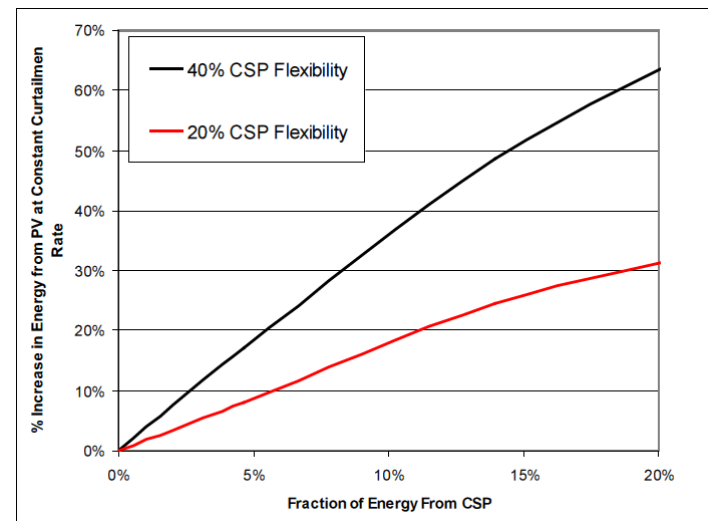
Fonte: NREL

Solução: CSP+TES ?!

- Uso de armazenamento térmico torna o CSP numa tecnologia despachável
- Contribui para o aumento da flexibilidade da rede
- Contribui para o aumento da penetração sustentável de energias renováveis na rede (PV+Eólica)

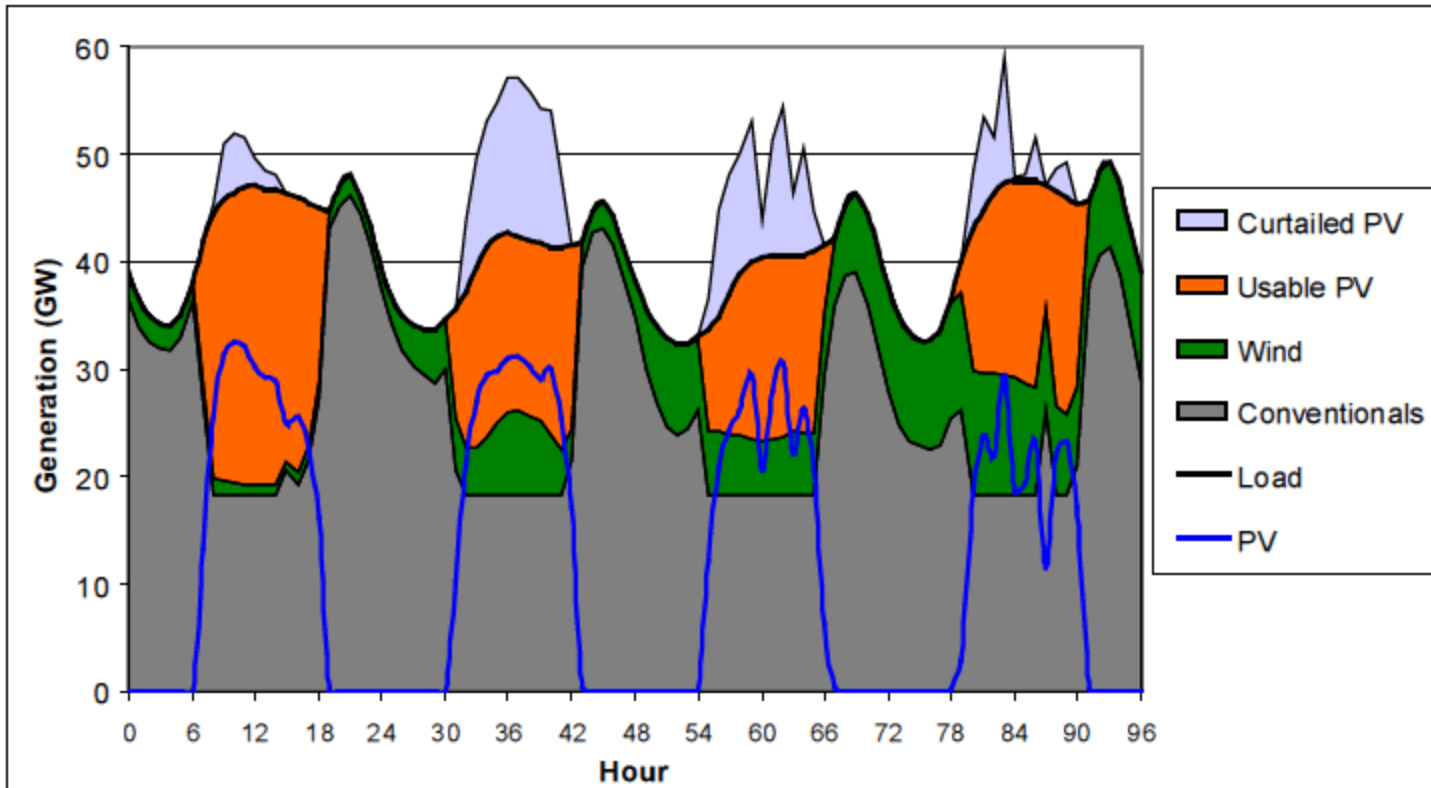


Curtailment of solar assuming an equal mix (on an energy basis) of PV and CSP



Fonte: NREL

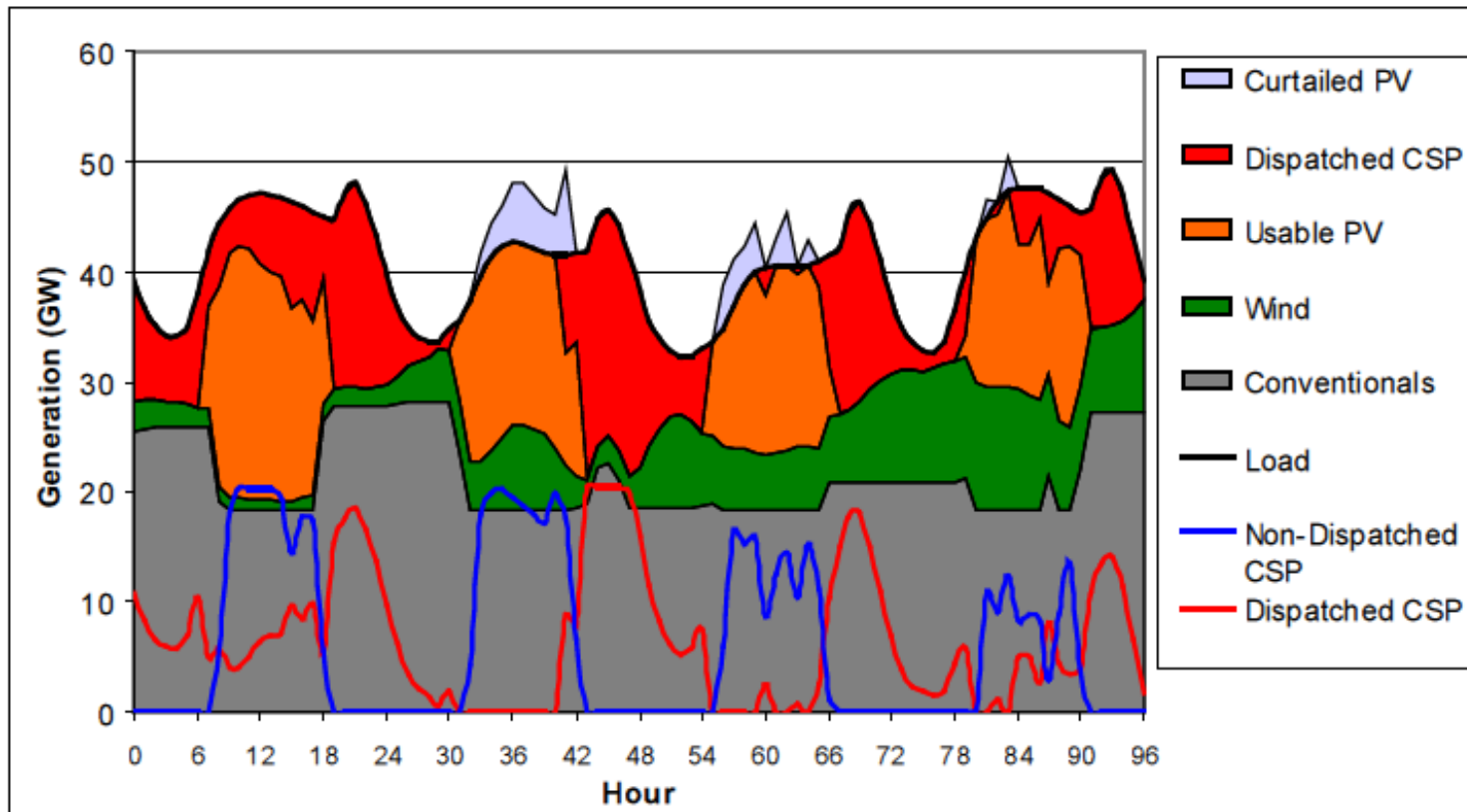
Solução: CSP+TES ?!



Simulated system dispatch on April 7-10 with 20% contribution from PV generation and resulting curtailment due to grid flexibility constraints

Fonte: NREL

Solução: CSP+TES ?!



Simulated system dispatch on April 7-10 with 15% contribution from PV and 10% from dispatchable CSP

Fonte: NREL

Muito obrigado pela vossa atenção!

João Cardoso

joao.cardoso@lneg.pt

Unidade de Energia Solar, Eólica e dos Oceanos



www.lneg.pt



GOVERNO DE
PORTUGAL

MINISTÉRIO DA ECONOMIA
E DO EMPREGO