

# PME3453 Máquinas de fluxo e sistemas fluidodinâmicos



EPUSP / Engenharia Mecânica



**Humberto Gissoni**

# Horário de atendimento

---



Terças-feiras após as aulas até às 18h na secretaria de Mecânica dos Fluidos (ES10).

E-mail: [Humberto.Gissoni@usp.br](mailto:Humberto.Gissoni@usp.br)



1. Energia
2. Máquinas de transformação de energia
3. Cavitação
4. Instalações hidrelétricas
5. Instalações termelétricas
6. Sistemas de recalque

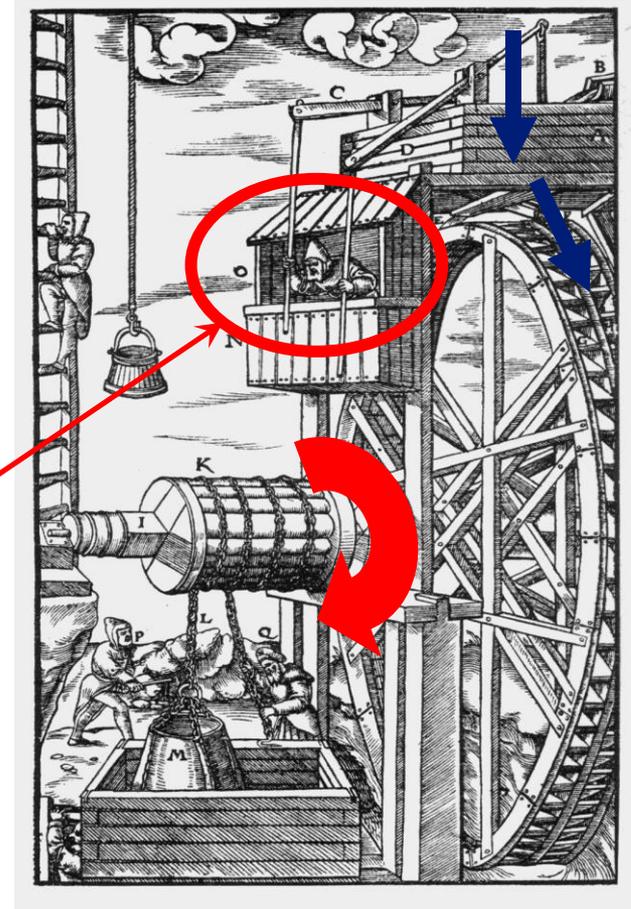
# Evolução histórica



Pré história : domínio do fogo  
Pré história até século XVIII  
Reduzida evolução social e econômica  
Reduzido aproveitamento energético

Sistema de controle

Água



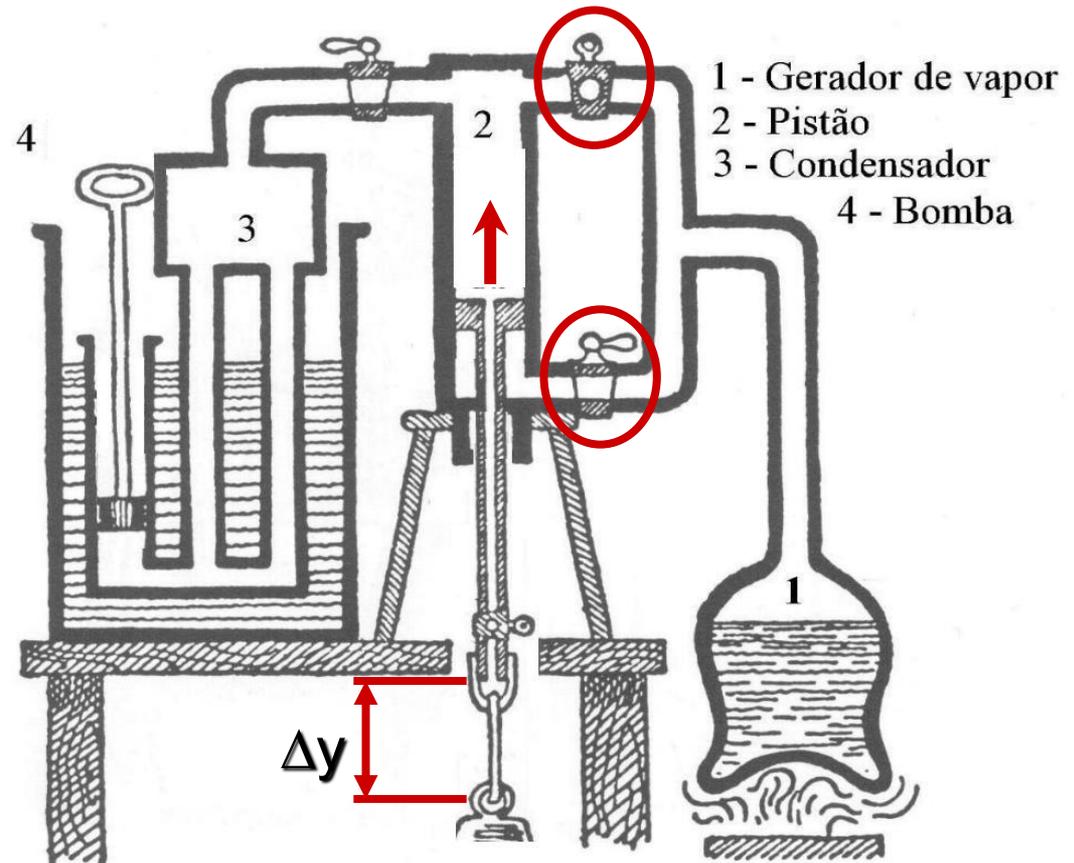
Bomba de poço D=10,7 m (G. Agricola 1556)

# Esquema de máquina a vapor segundo James Watt



- Meados do século XVIII
- 1750: ciclo do vapor por James Watt
- Revolução industrial
- Desenvolvimento social e econômico crescente

$\Delta y$ : deslocamento do peso devido ao trabalho realizado pelo vapor





Térmicas convencionais: Turbinas a vapor

Hidráulicas: Turbinas hidráulicas

Após 1960: Energia nuclear para geração de vapor

Após 1975: Choques do petróleo

Formas alternativas: investimentos em pesquisa oscilando segundo o preço do petróleo

Após: 1990 políticas claras de investimentos nas formas alternativas



Primária: nível não alterado pelo homem

- Carvão natural, óleo cru, gás natural, urânio não enriquecido, energia hidráulica, energia solar

Secundária: nível alterado pelo homem

- Derivados de petróleo, energia elétrica, urânio enriquecido, vapor

Hidráulica: Reaproveitada em usinas reversíveis

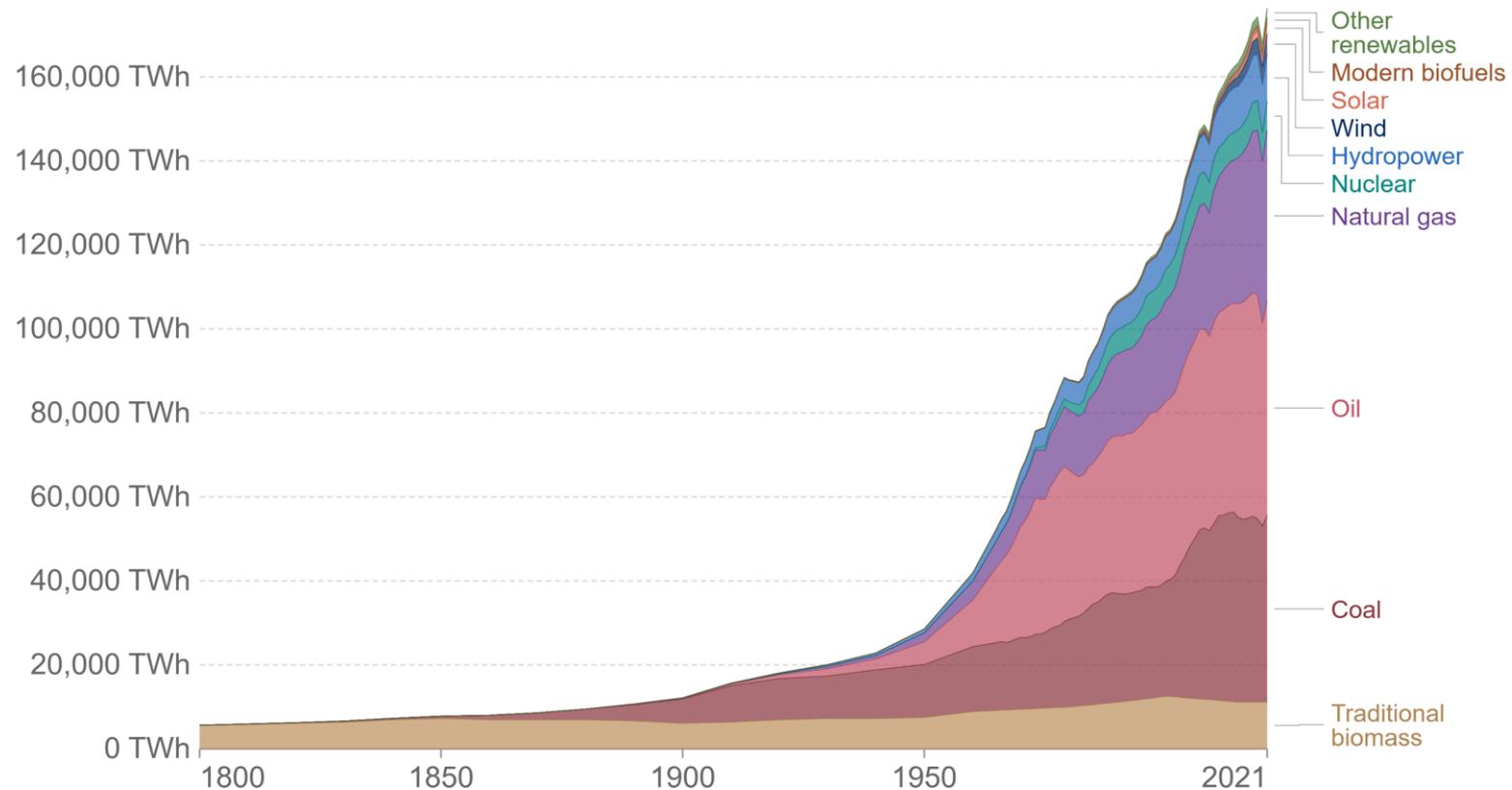
# Consumo de energia primária no mundo



## Global primary energy consumption by source



Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



Source: Our World in Data based on Vaclav Smil (2017) and BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

# Formas renováveis e perecíveis de energia

---



## Aproveitamento para transformação em energia elétrica

Países desenvolvidos:

- Térmico: processamento de carvão, óleo, gás natural, urânio } Energia perecível
- Energia hidráulica } Energia renovável (pouco significativa)
- Energia eólica }
- Energia solar }

# Formas renováveis e perecíveis de energia

---



## Aproveitamento para transformação em energia elétrica

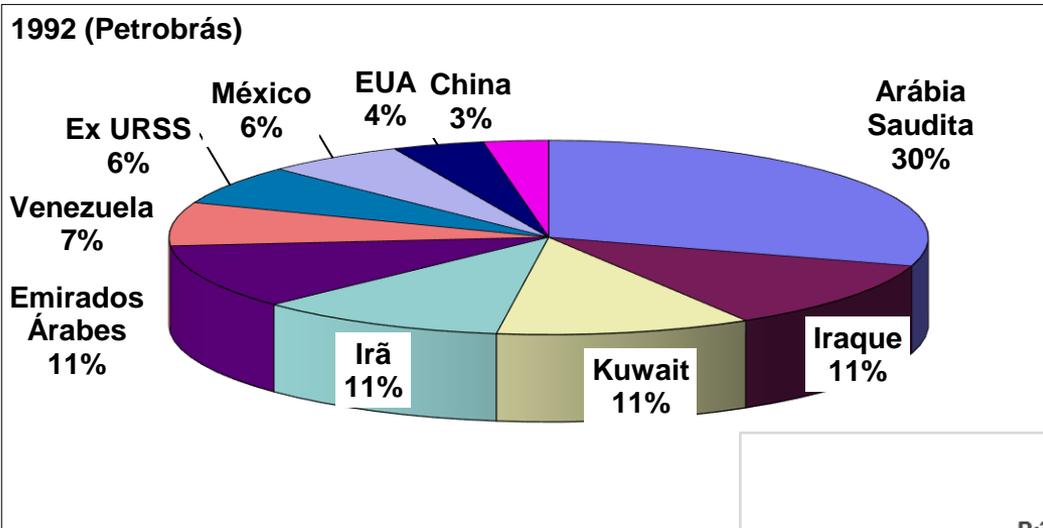
Países em desenvolvimento:

- Petróleo, gás natural } Energia perecível
- Energia hidráulica } Energia renovável
- Energia eólica }
- Biomassa }

Energia hidráulica:

Fator de carga → parcela do ano em que a usina pode operar a plena carga

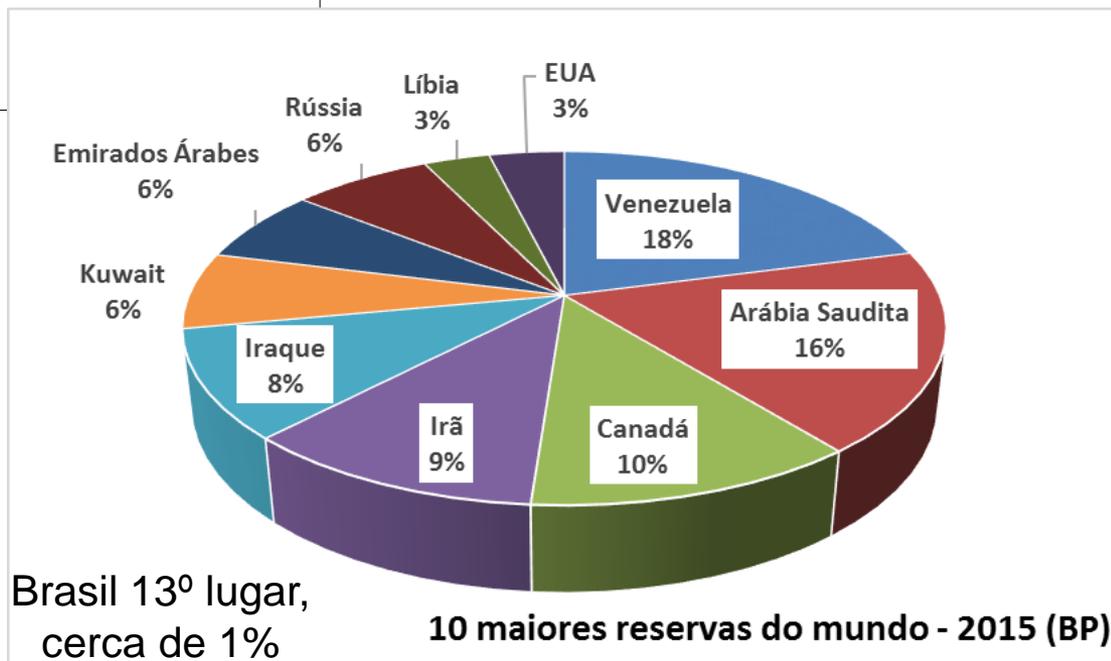
# Reservas mundiais de petróleo (1992 – 2015)



## Oriente Médio

1992: cerca de 75% das reservas

2015: cerca de 45% das reservas



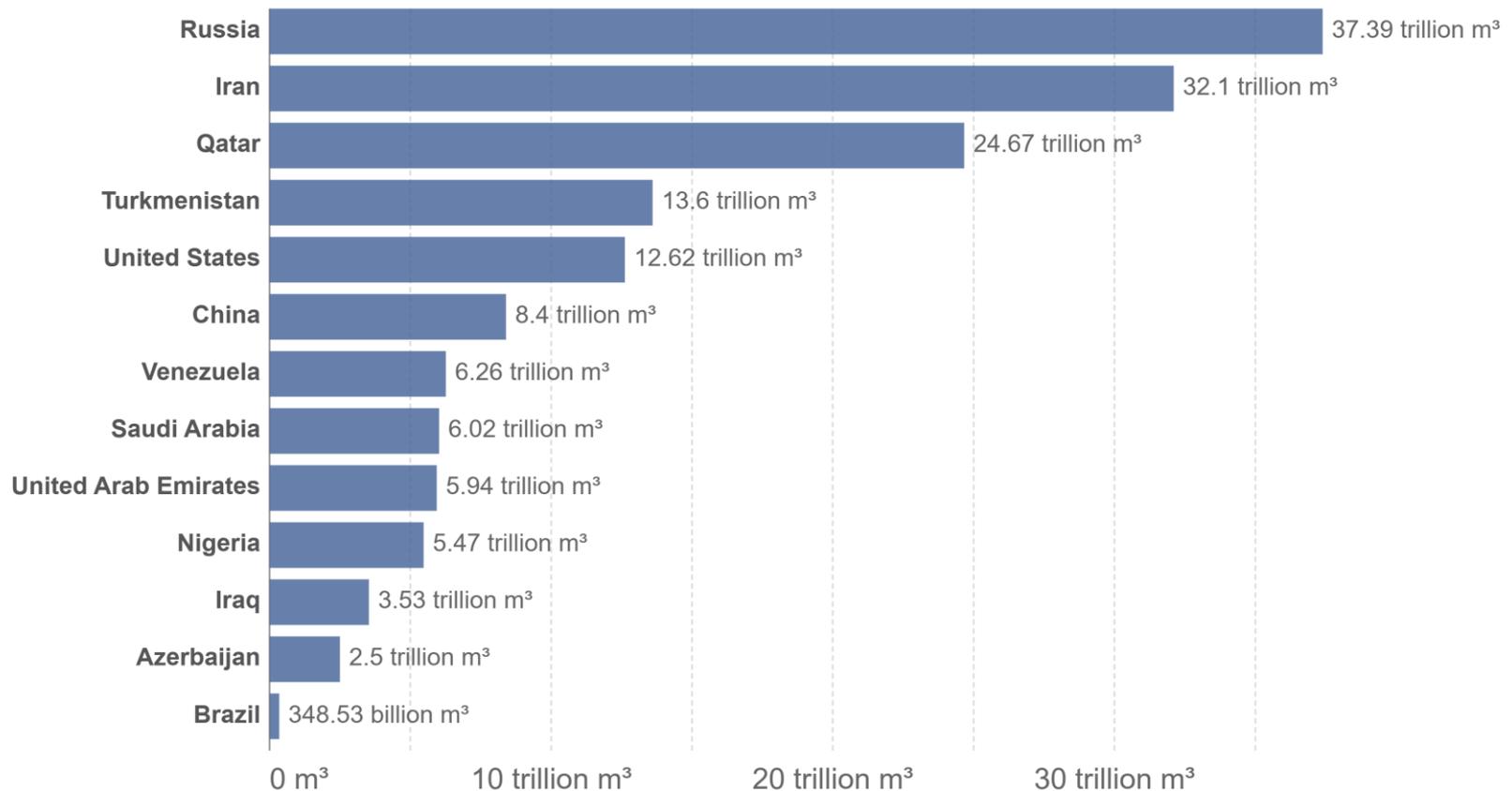
# Reservas de gas natural



Our World  
in Data

## Gas reserves, 2020

Proved reserves is generally taken to be those quantities that geological and engineering information indicates with reasonable certainty can be recovered in the future from known reservoirs under existing economic and operating conditions.



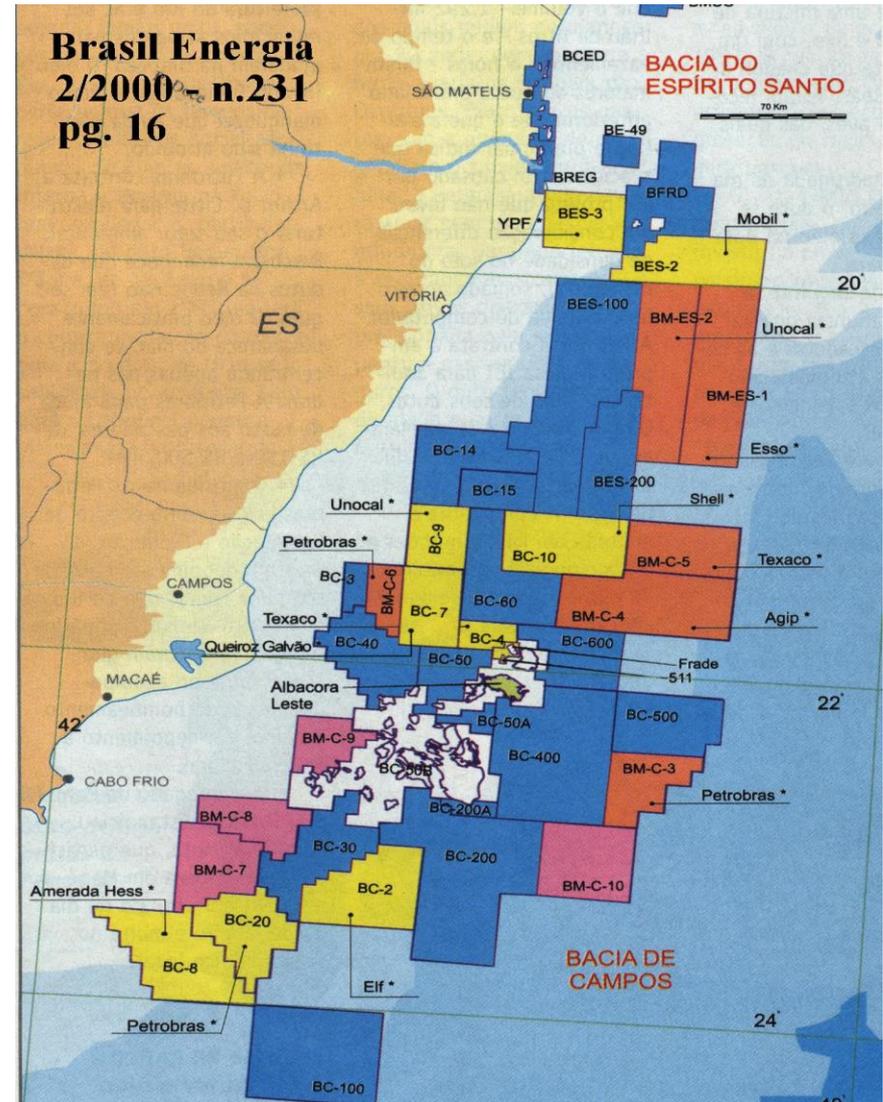
Source: BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/fossil-fuels/ • CC BY

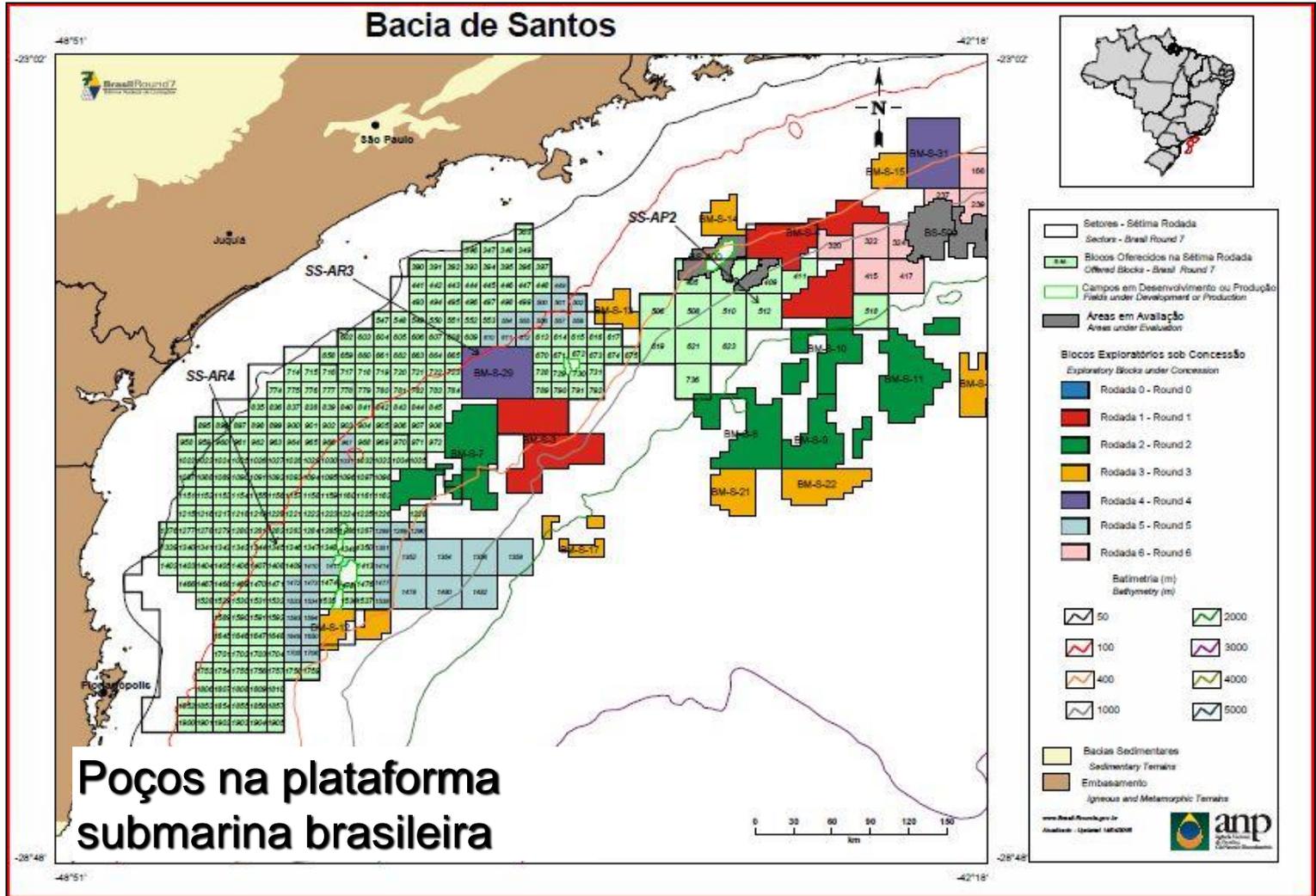
# Poços na plataforma submarina brasileira



Bacia de Campos, RJ  
Bacia do Espírito Santo, ES



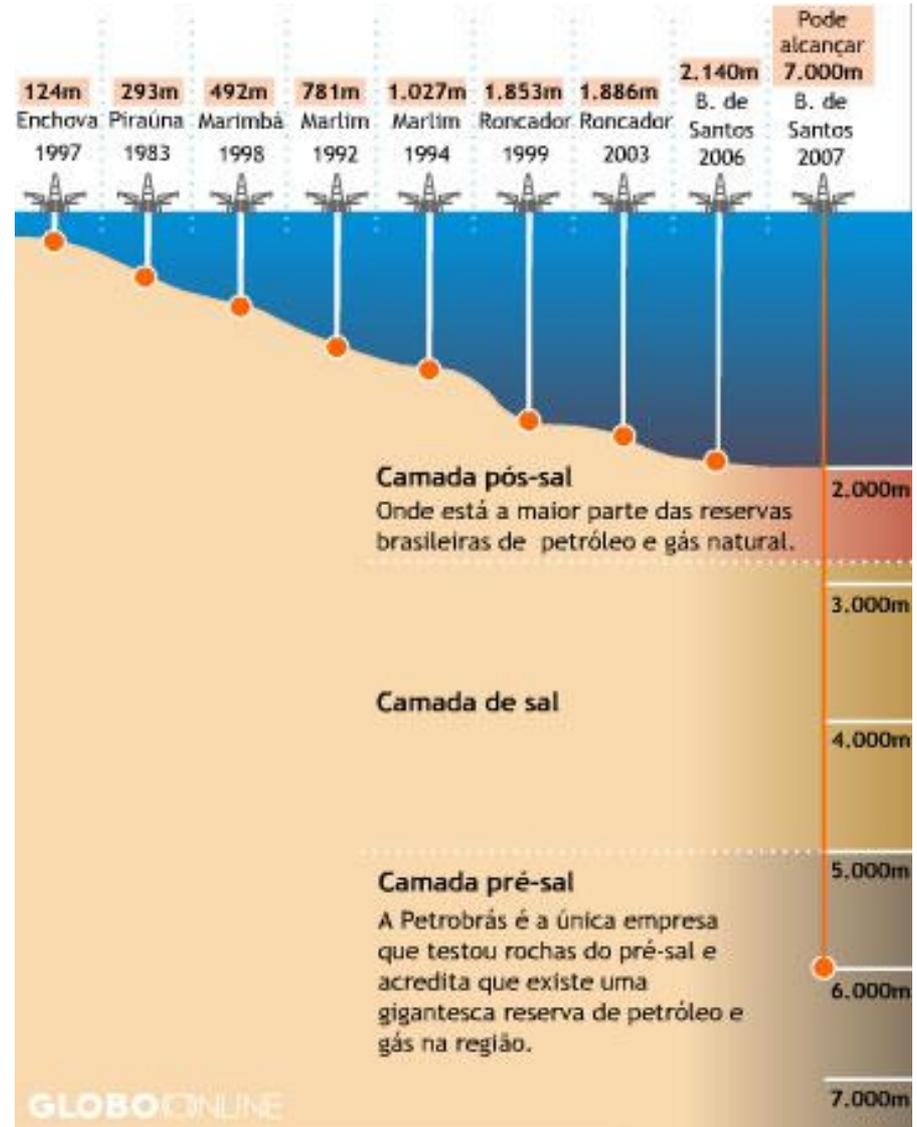
# Bacia de Santos, SP (2008)



# Profundidades de perfuração

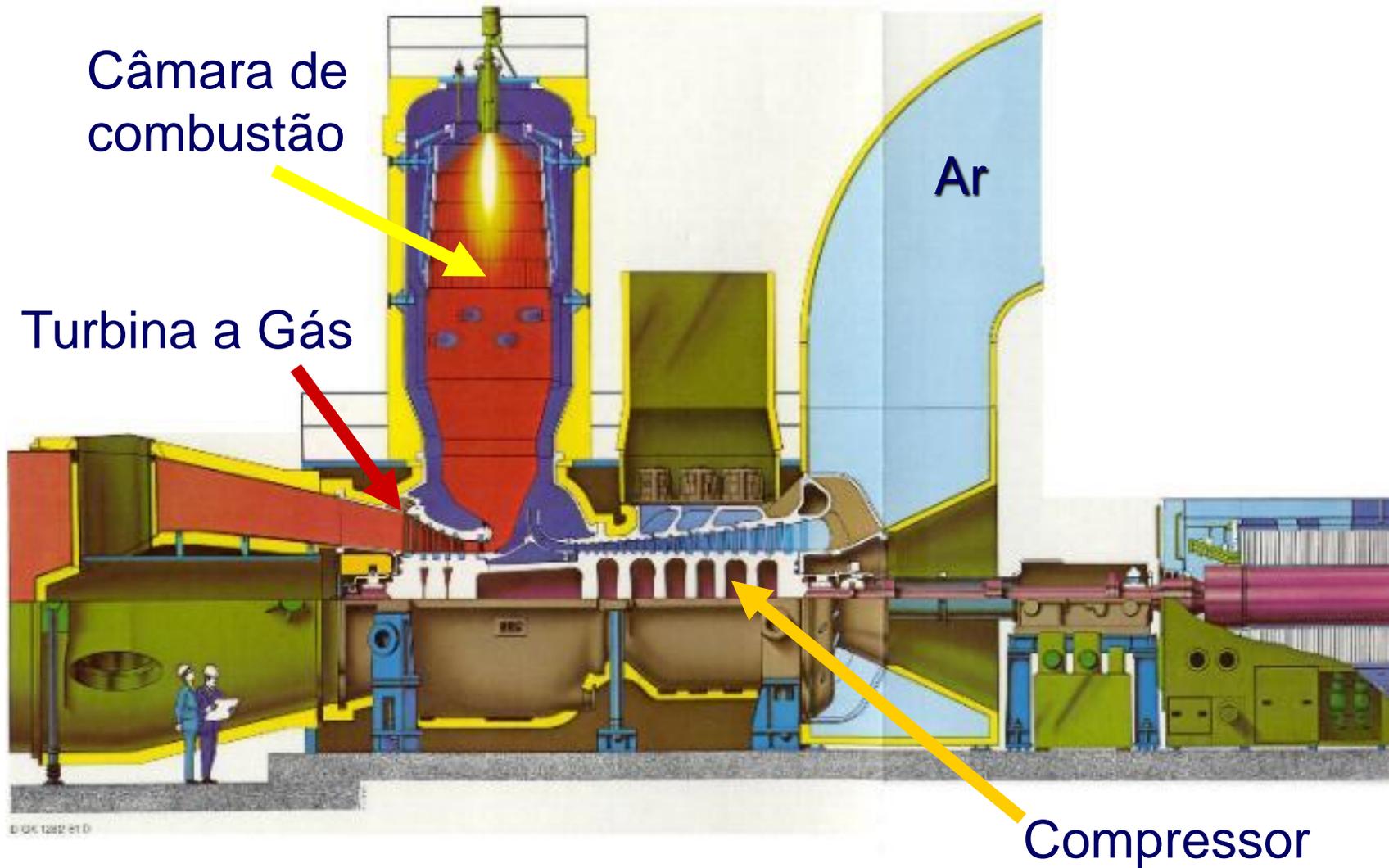


## Profundidades de perfuração na plataforma submarina brasileira

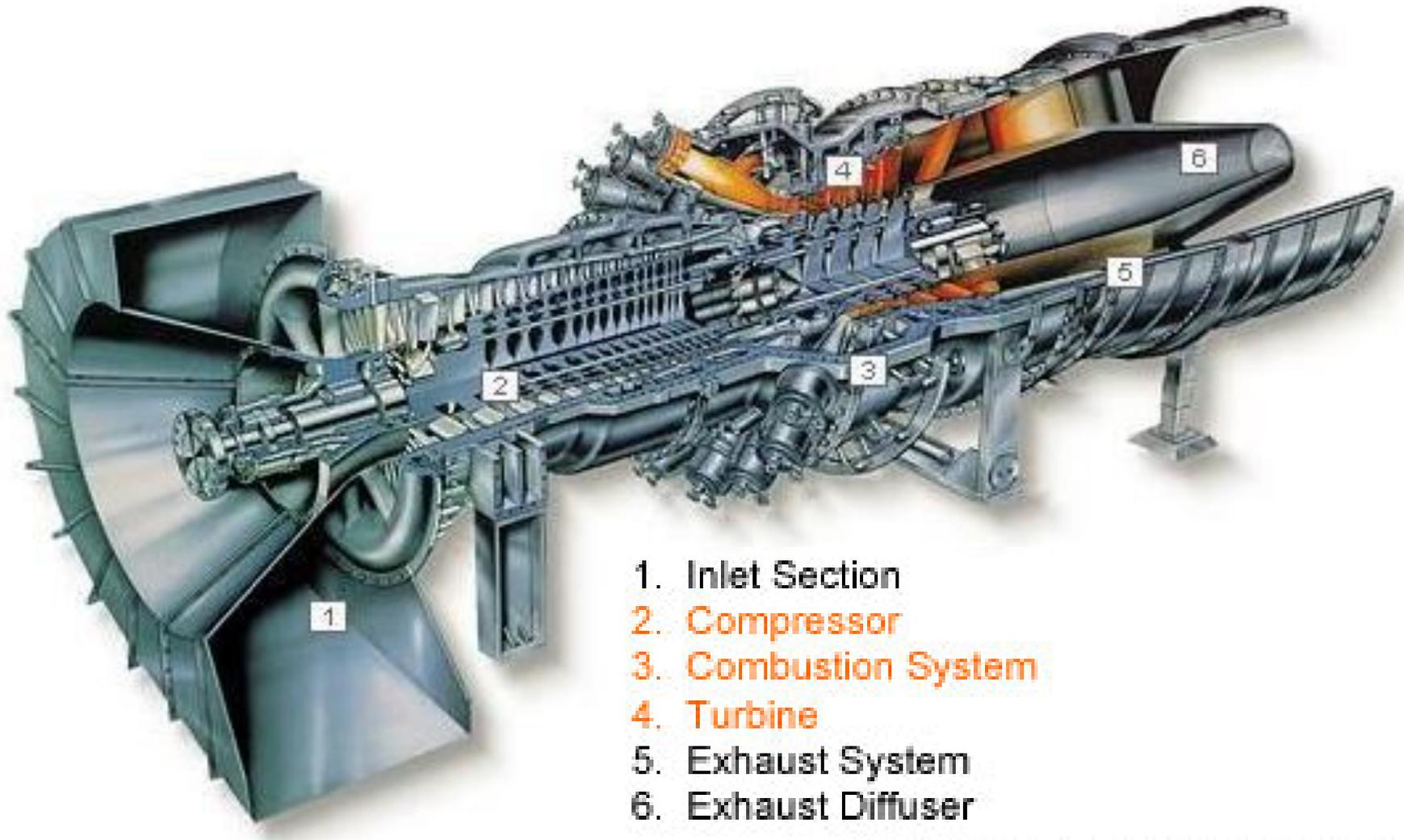




# Motor a gás – Aplicação em termelétricas



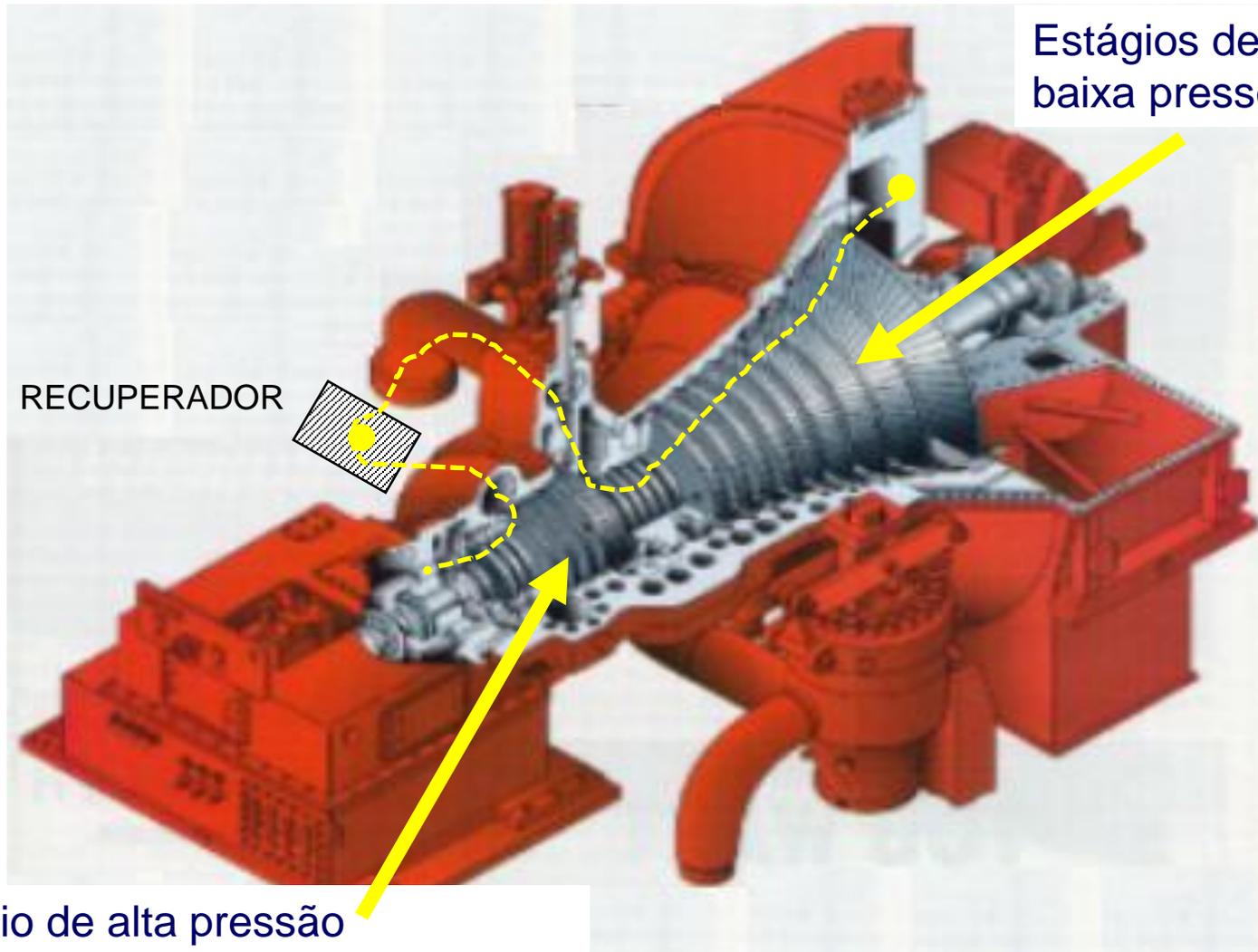
# Motor a gás – Aplicação em termelétricas



1. Inlet Section
2. Compressor
3. Combustion System
4. Turbine
5. Exhaust System
6. Exhaust Diffuser

Courtesy of Siemens Westinghouse

# Turbina a vapor – Aplicação em termelétricas



Estágios de média e baixa pressões

menor nível de energia do vapor

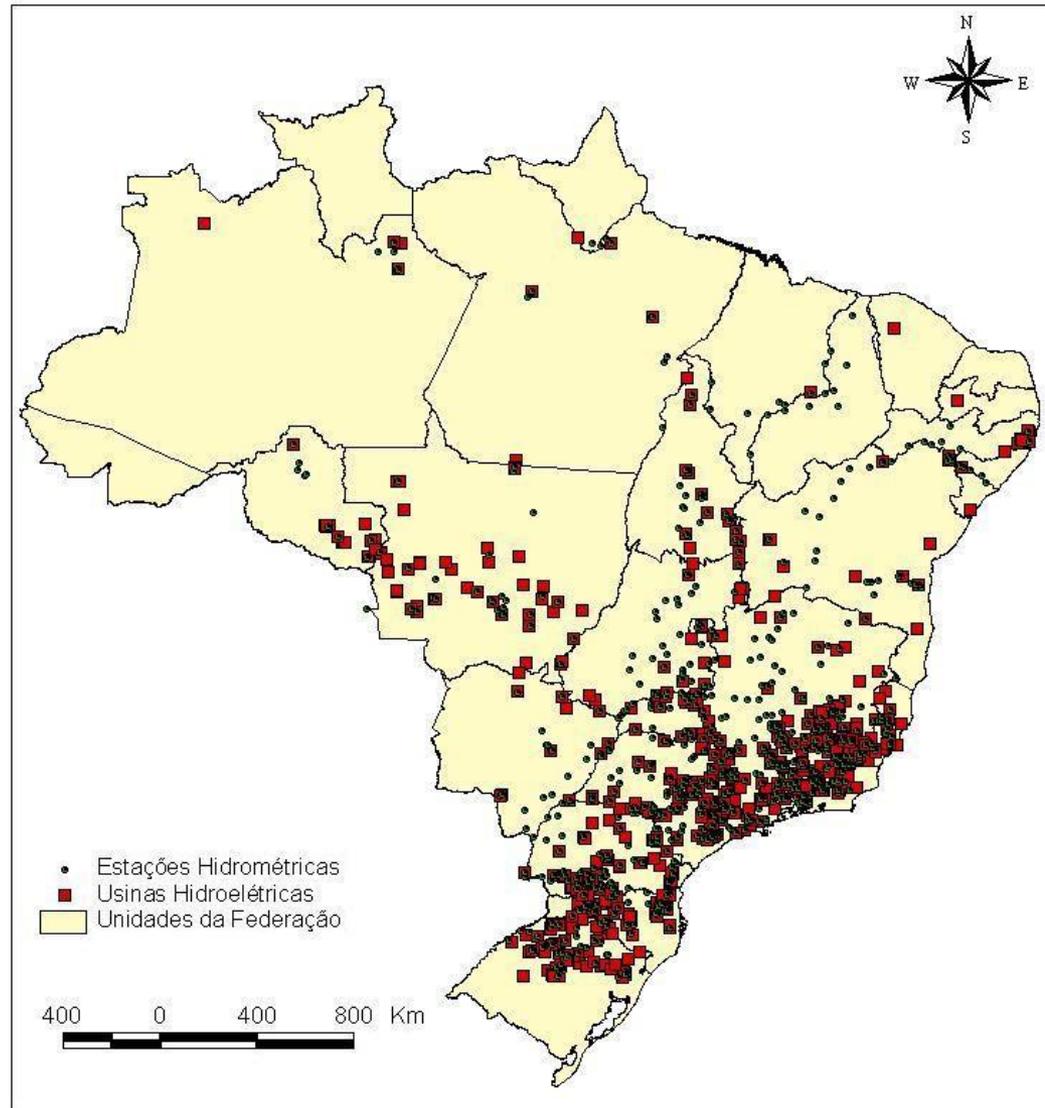
RECUPERADOR

Estágio de alta pressão  
maior nível de energia do vapor

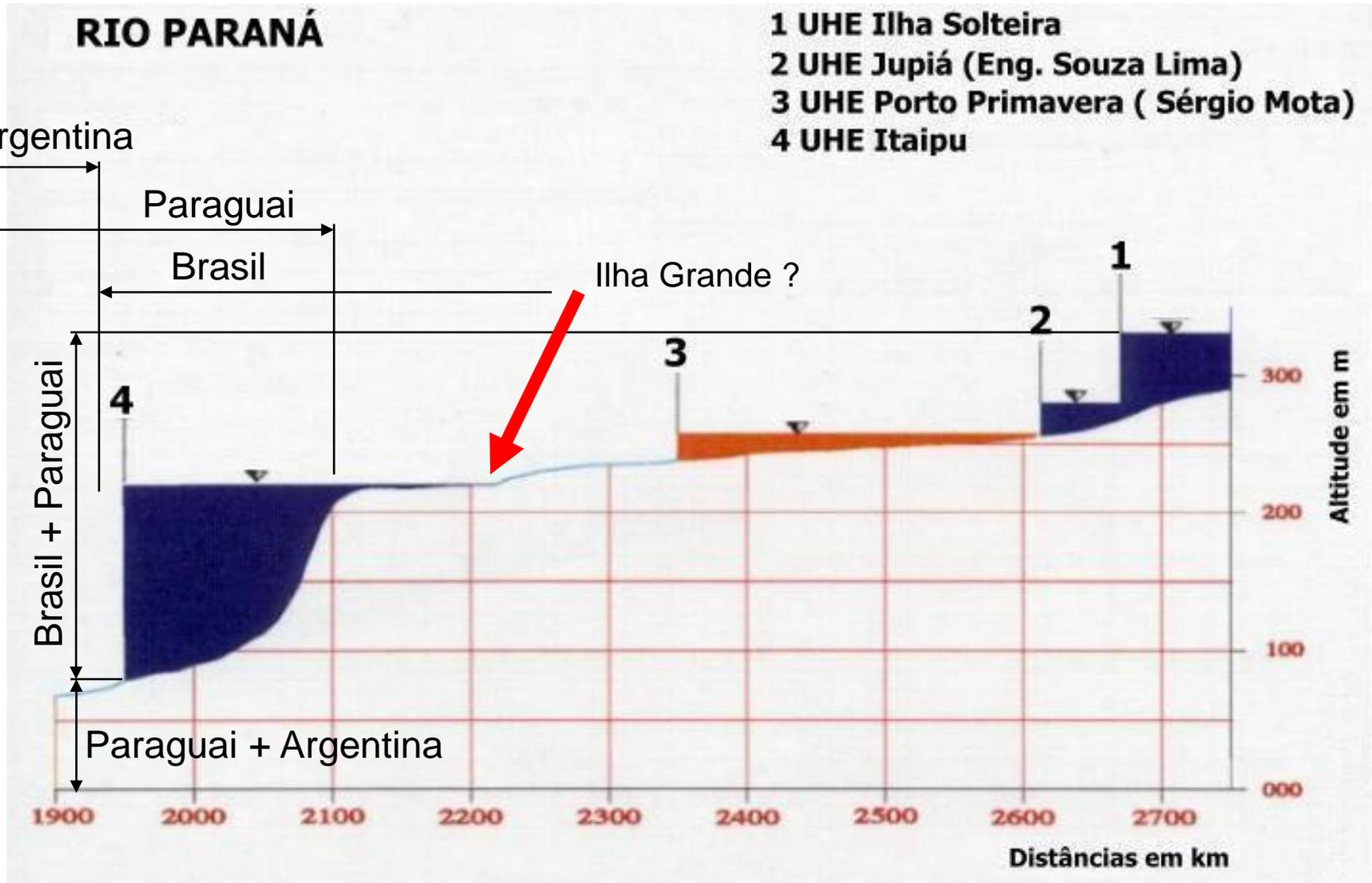
# Aproveitamento hidráulico



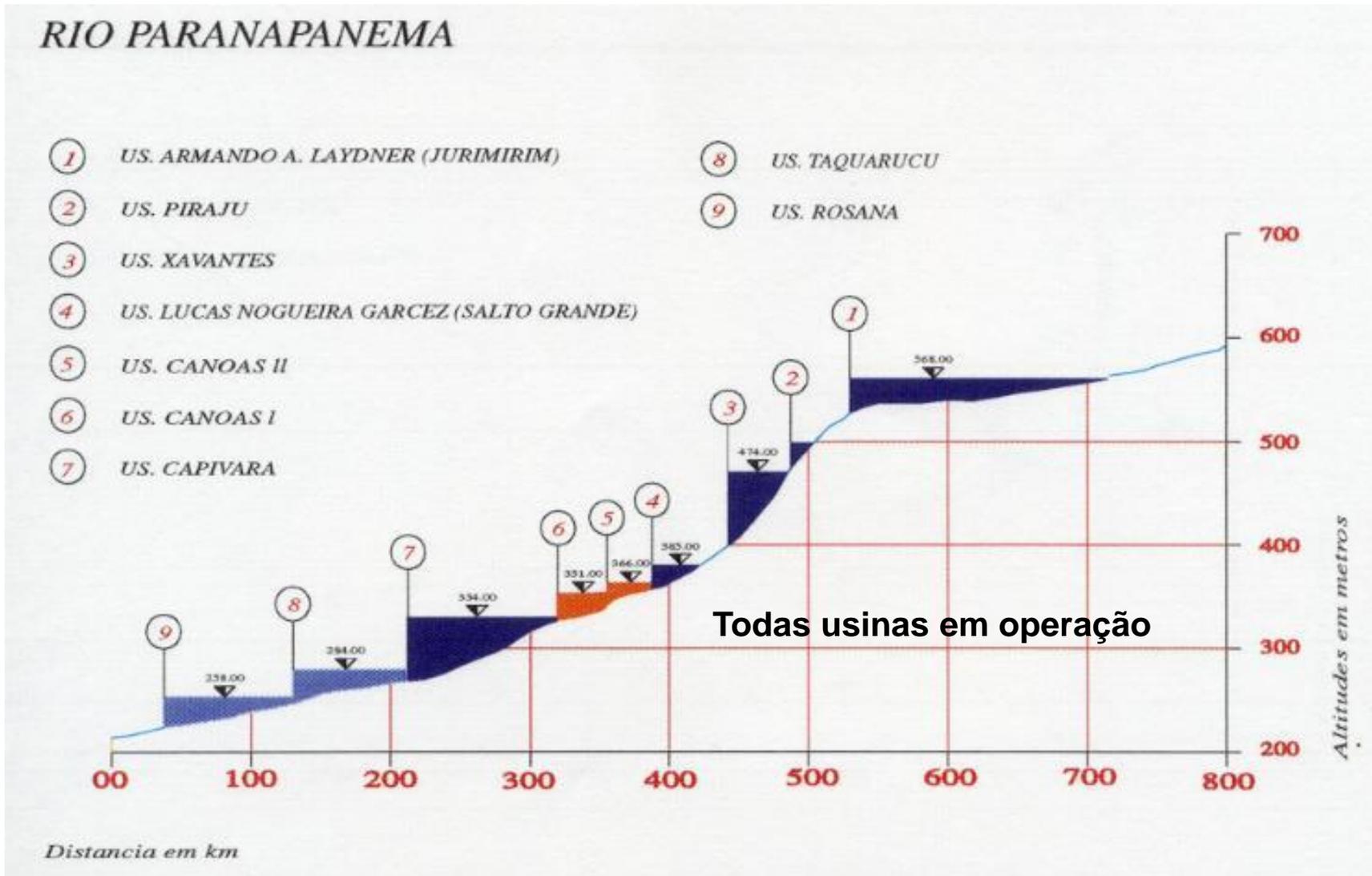
Usinas hidrelétricas  
e estações  
hidrométricas



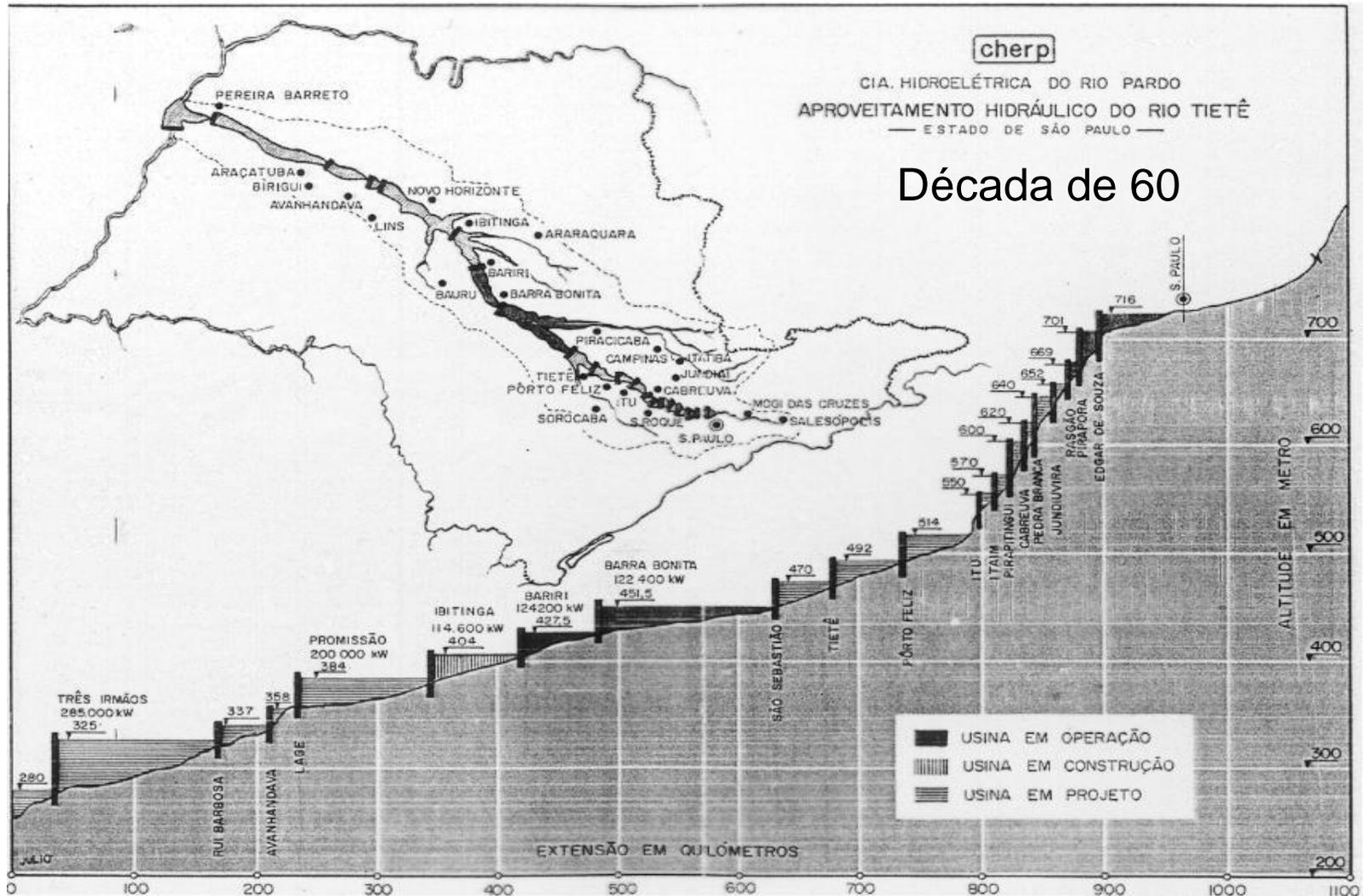
# Aproveitamento hidráulico – Rio Paraná



# Aproveitamento hidráulico – Rio Paranapanema



# Aproveitamento hidráulico – Rio Tietê



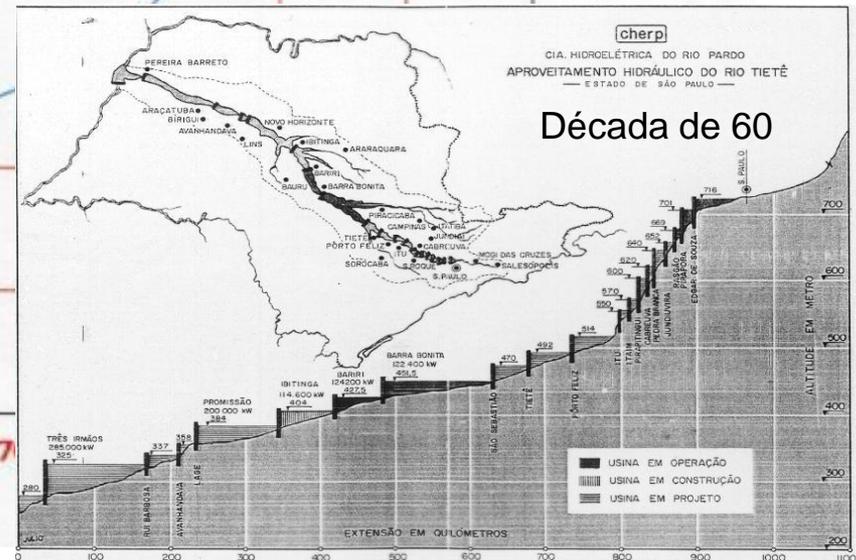
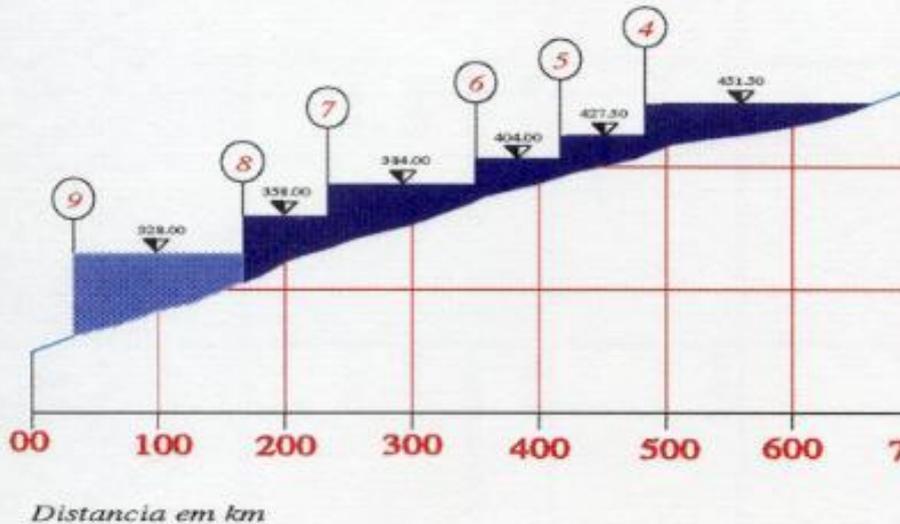
# Aproveitamento hidráulico – Rio Tietê



## RIO TIETÊ

Todas usinas em operação

- |   |                               |   |                               |
|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
| 1 | US. EDGAR DE SOUZA            | 7 | US. M. LOPES LEAO (PROMISSAO) |
| 2 | US. PIRAPORA                  | 8 | US. NOVA AVANHANDAVA          |
| 3 | US. RASGAO                    | 9 | US. TRES IRMAOS               |
| 4 | US. BARRA BONITA              |   |                               |
| 5 | US. A. DE SOUZA LIMA (BARIRI) |   |                               |
| 6 | US. DE IBITINGA               |   |                               |



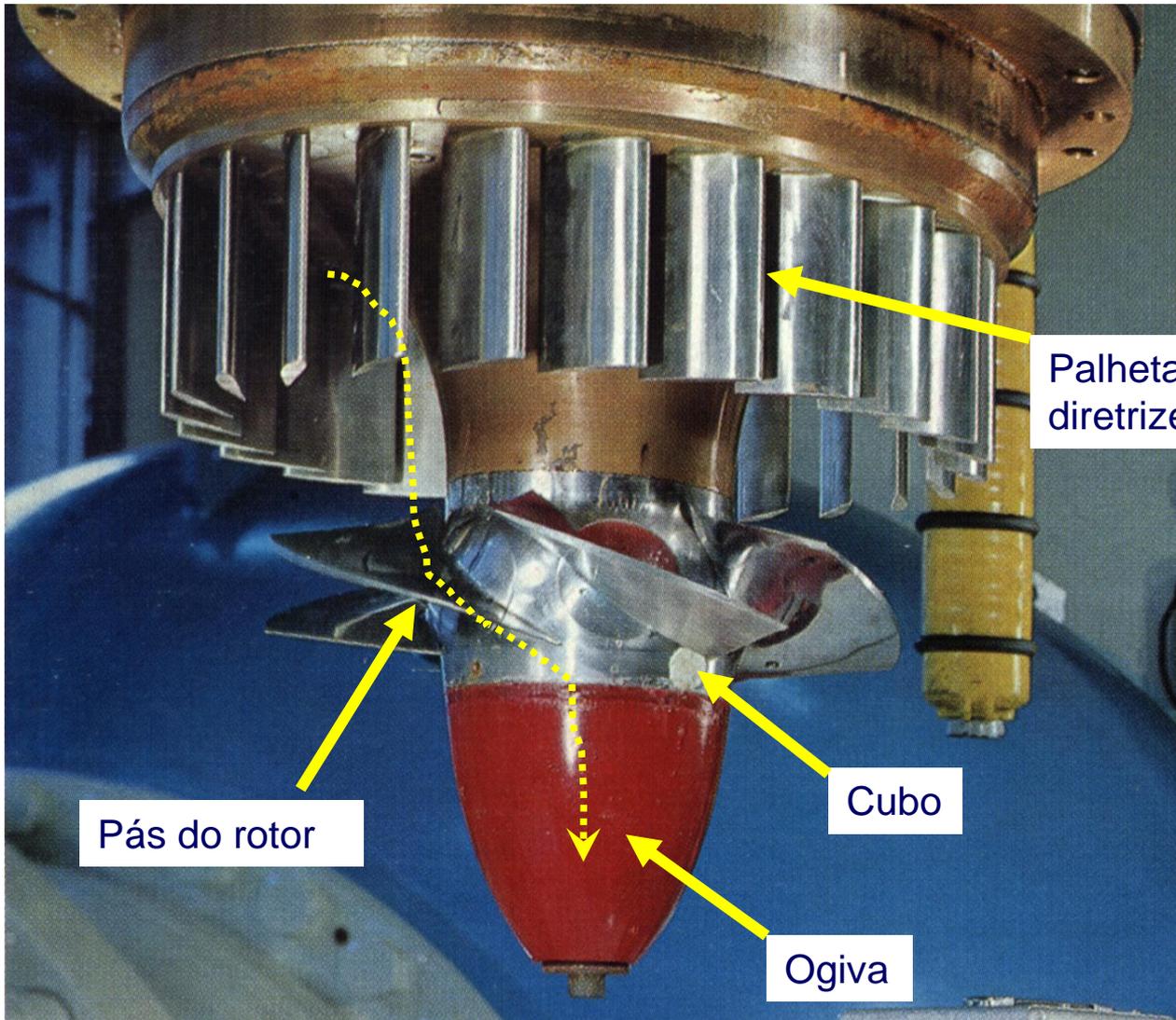
# Turbina Pelton



# Turbina Francis



# Turbina Kaplan



# Máquinas de fluxo – Formas alternativas

---



Solar → 1 kW/ m<sup>2</sup> (máximo)

Eólica → velocidade ≥ 4m/s

Energia marítima → ondas

→ marés

→ escoamento e térmica

Biomassa → Proálcool (BR)

# Energia eólica



Idade média



Século XIX

# Energia eólica



Atual

# Vestas V236-15.0 MW



## Power regulation operational data

Pitch regulated with variable speed

Rated power	15,000kW
Cut-in wind speed	3m/s
Cut-out wind speed	31m/s

## ROTOR

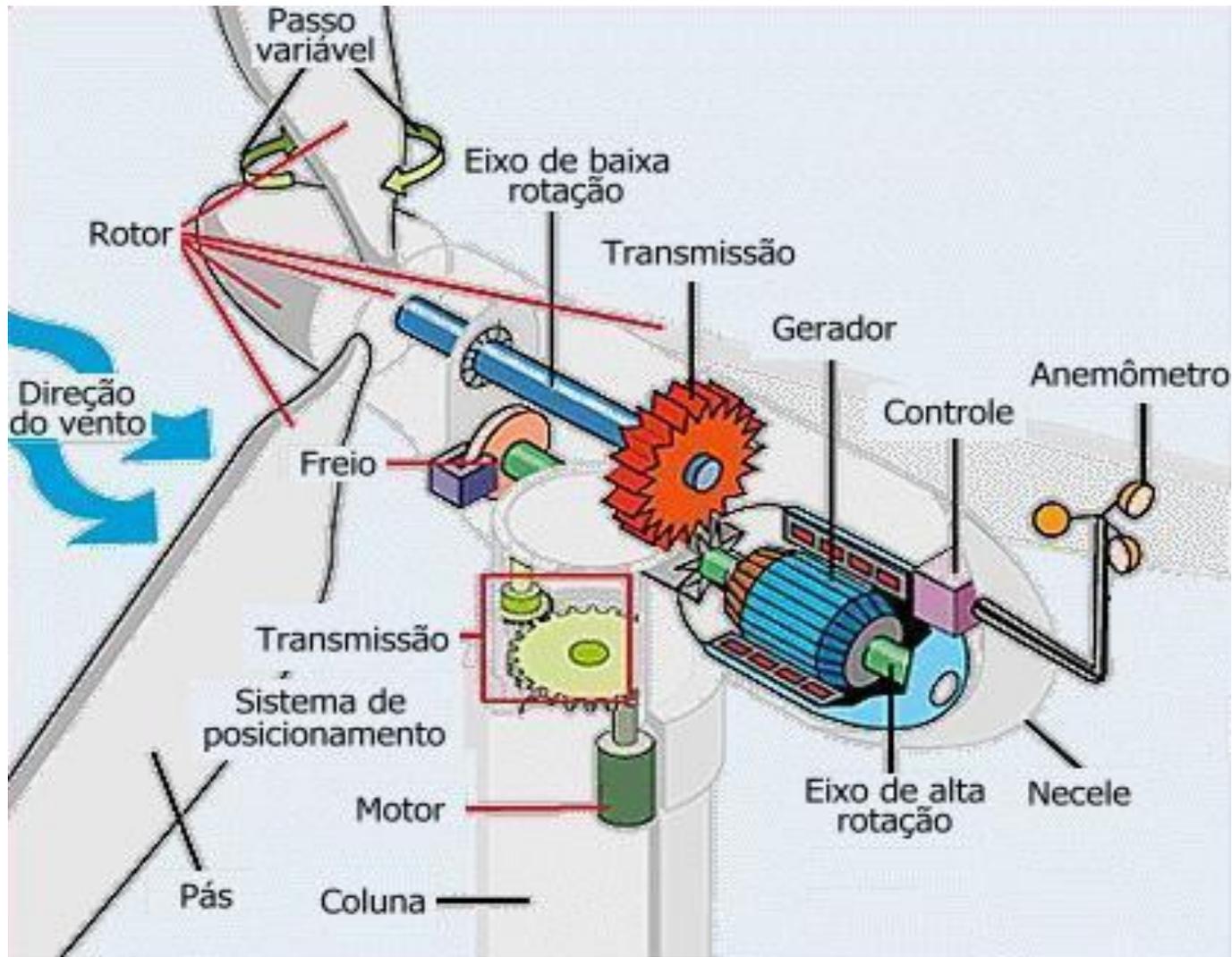
Rotor diameter	236m
----------------	------

## SOUND POWER

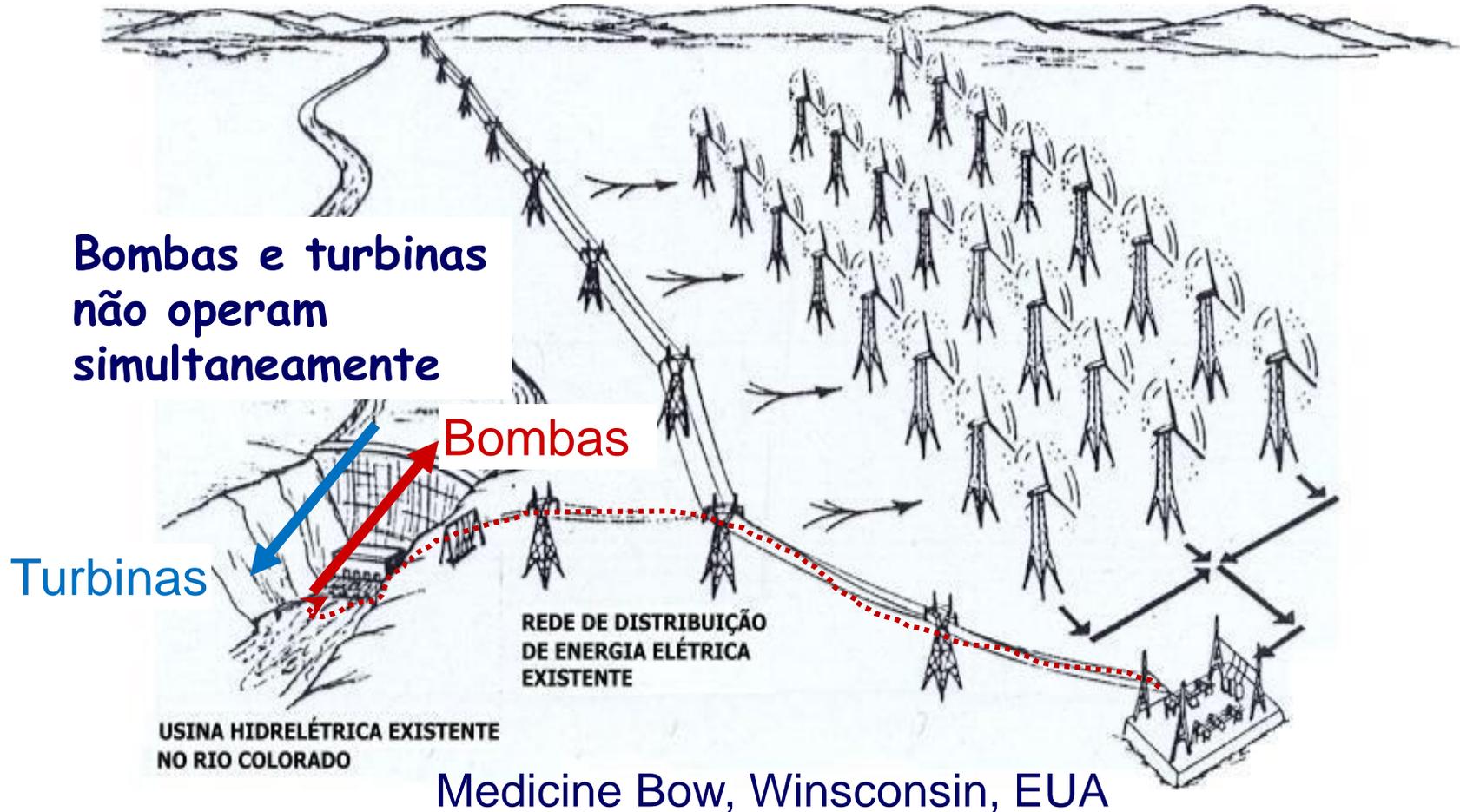
Maximum	115.3dB(A)
---------	------------

\*\*Sound Optimised Modes dependent on site and country

# Componentes de uma turbina eólica



# Armazenamento sob a forma de energia hidráulica



# Usina eólica Koudia al Baida, Marrocos



# Fazenda eólica, EUA

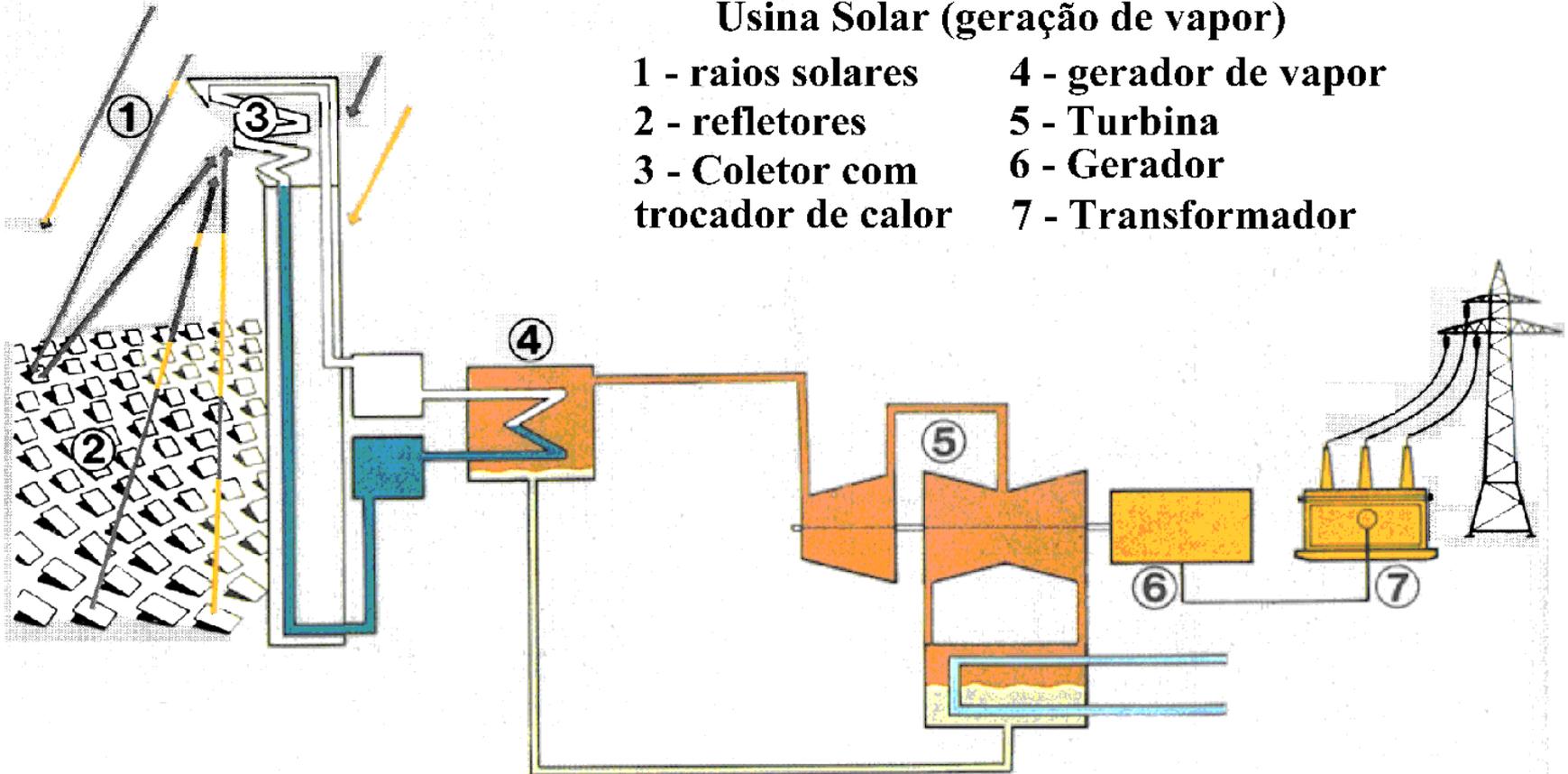


Fonte: Veja, 22.12.04 pg. 211



## Usina Solar (geração de vapor)

- 1 - raios solares
- 2 - refletores
- 3 - Coletor com trocador de calor
- 4 - gerador de vapor
- 5 - Turbina
- 6 - Gerador
- 7 - Transformador

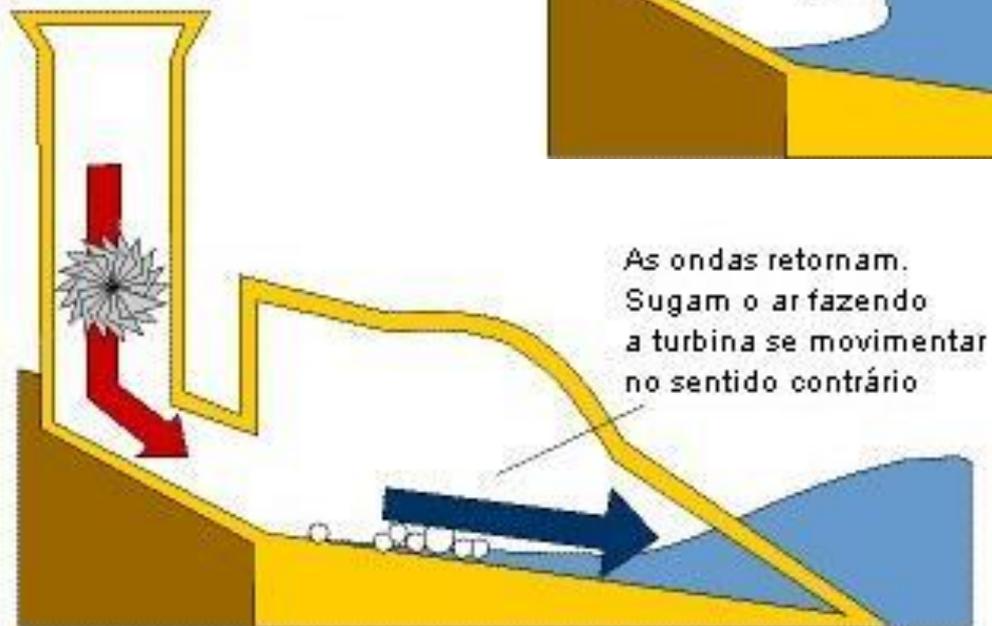
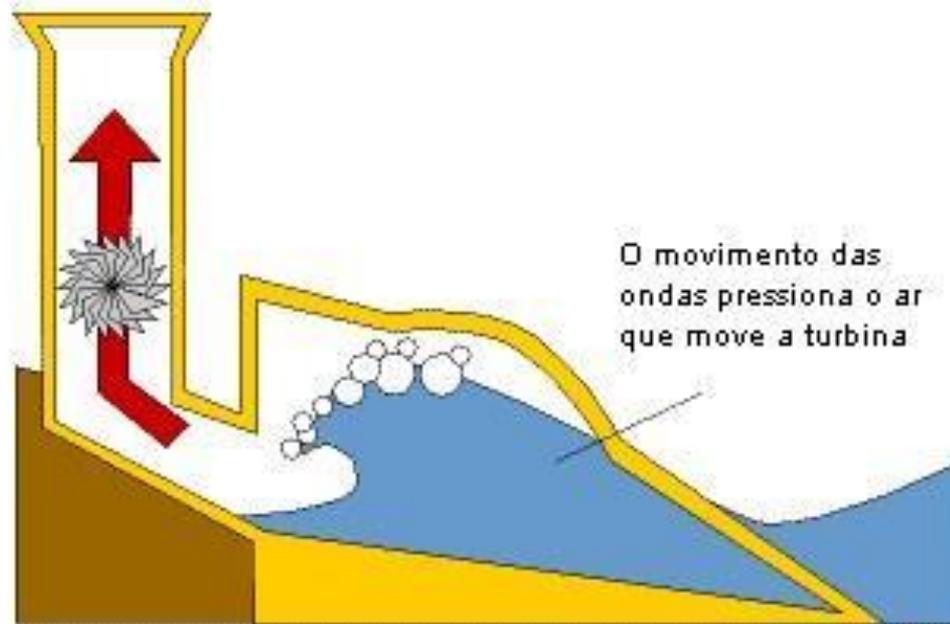


823125

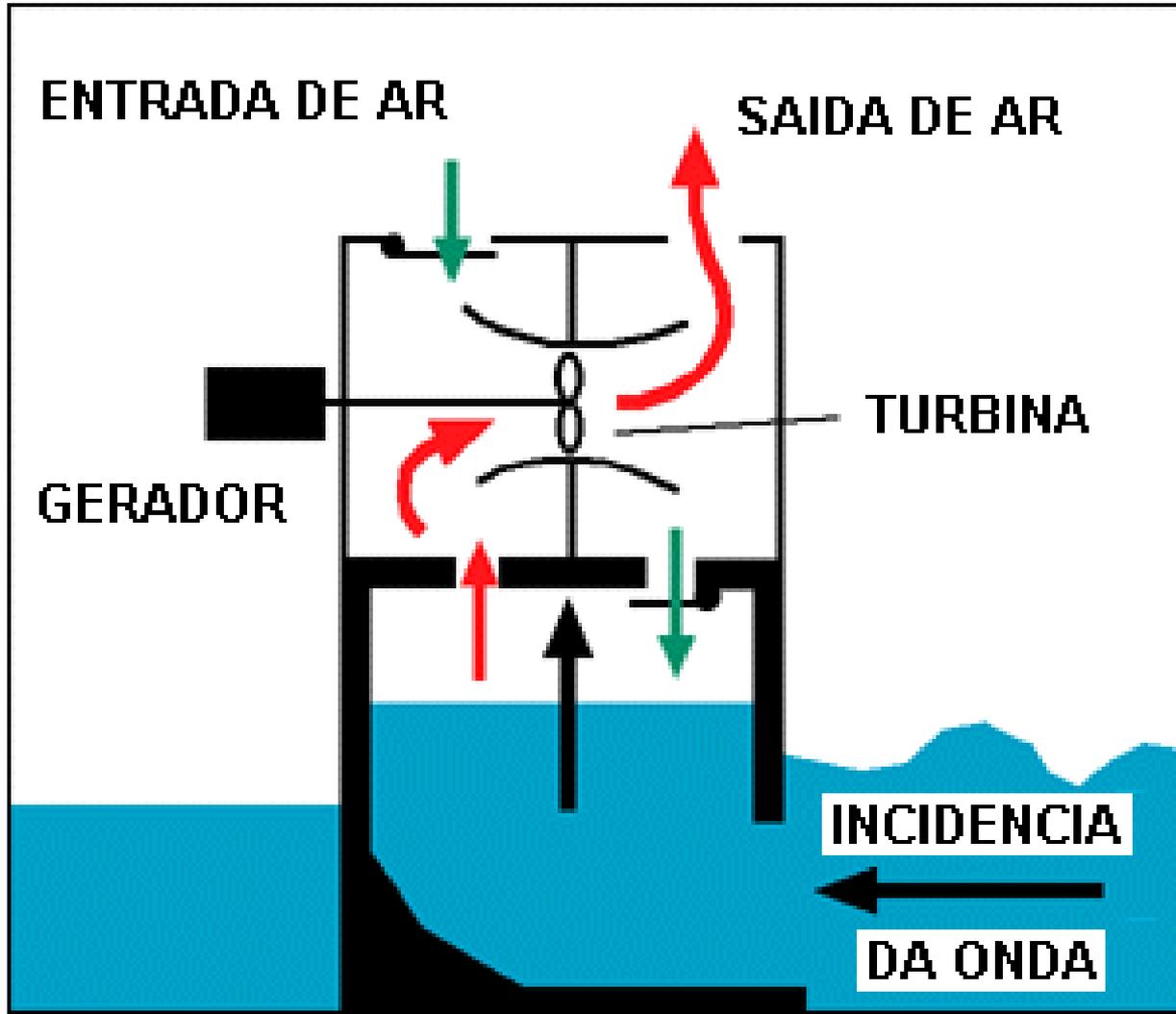
# Usina termelétrica solar de Almeria (Espanha) 500 kW



# Energia das ondas – Aproveitamento oceânico



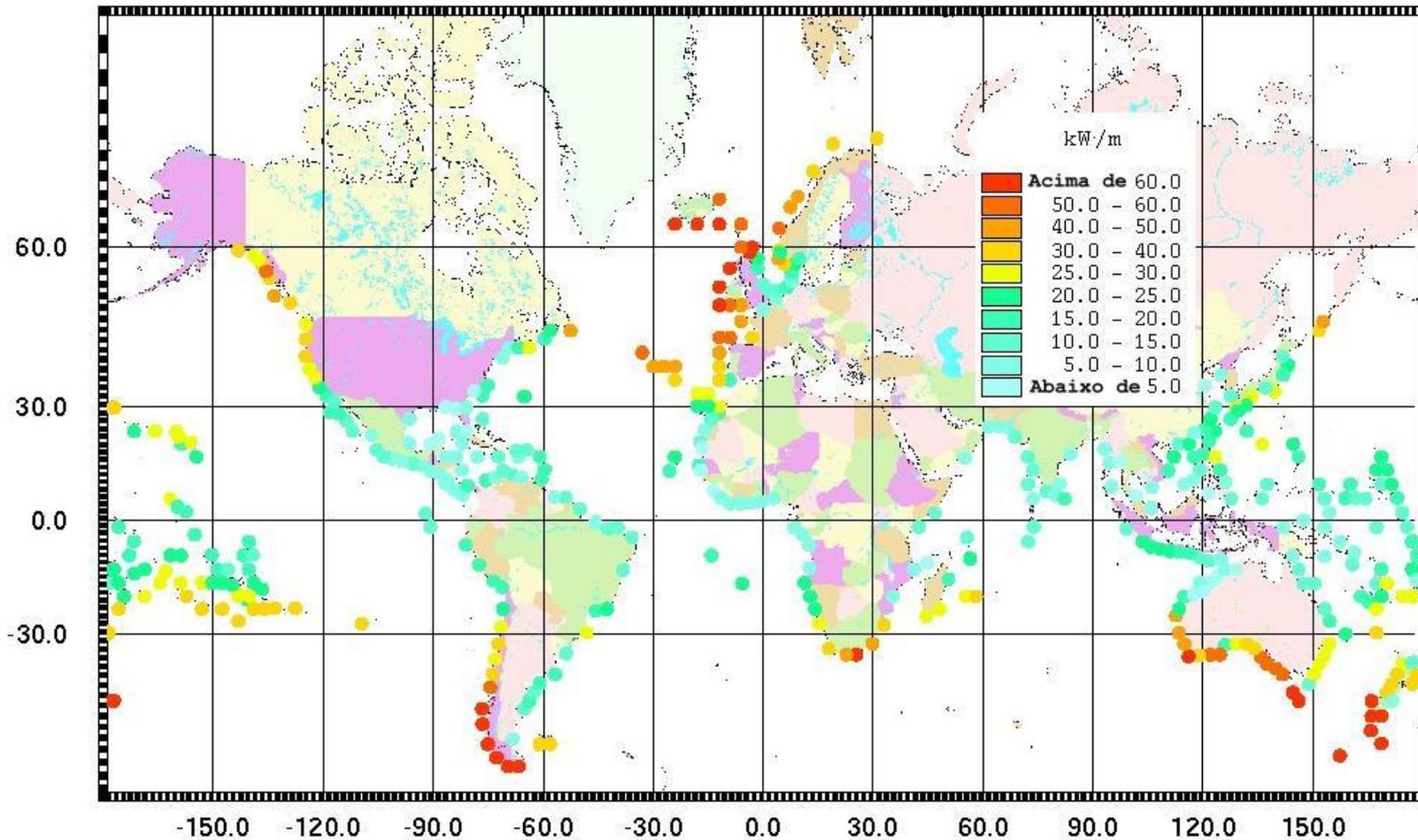
# Energia das ondas – Aproveitamento oceânico



# Energia das ondas – Aproveitamento oceânico

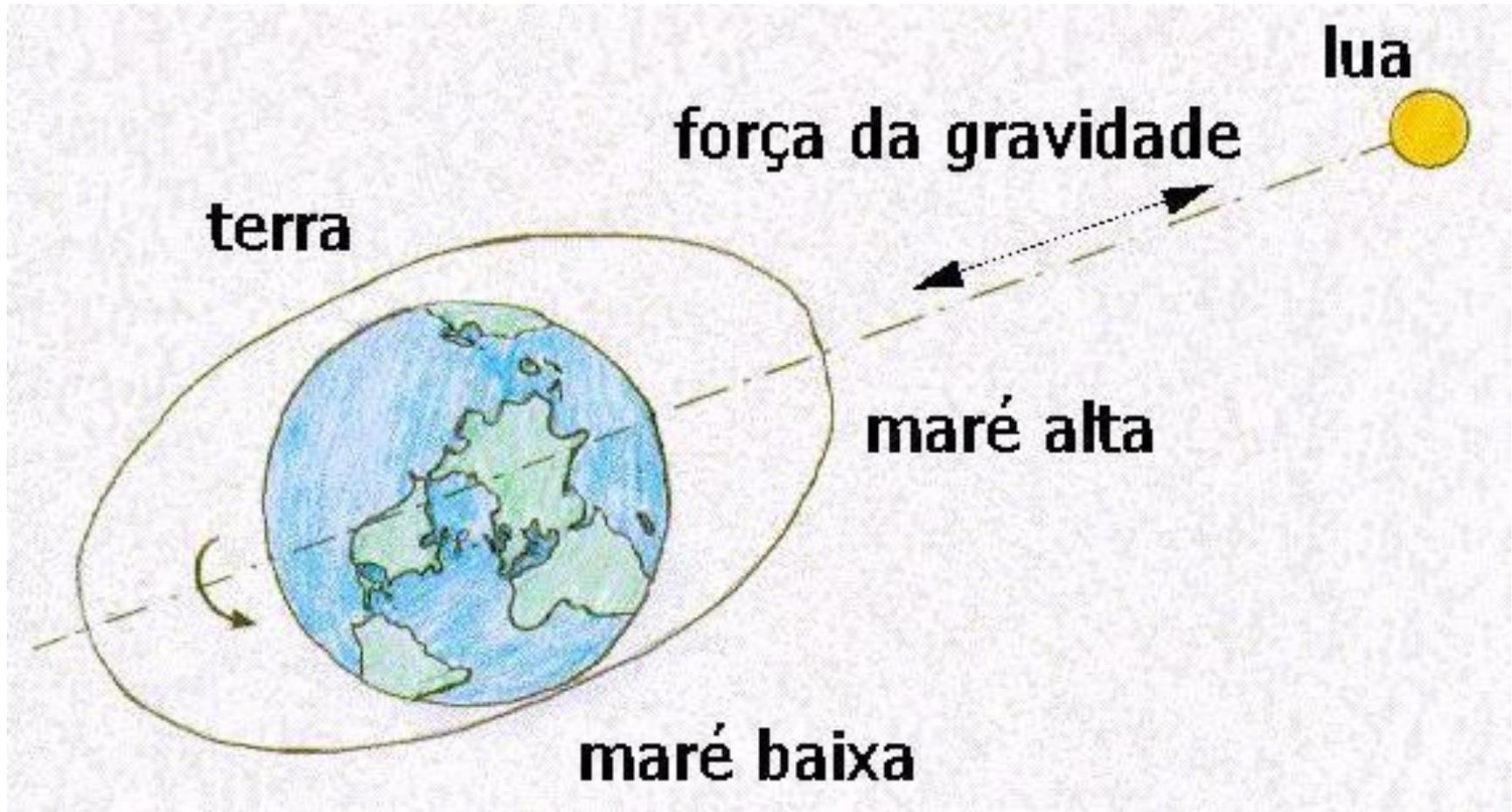


# Energia das ondas – Aproveitamento oceânico



Potência por comprimento de crista das ondas, em kW/ m

# Energia das marés – Aproveitamento oceânico

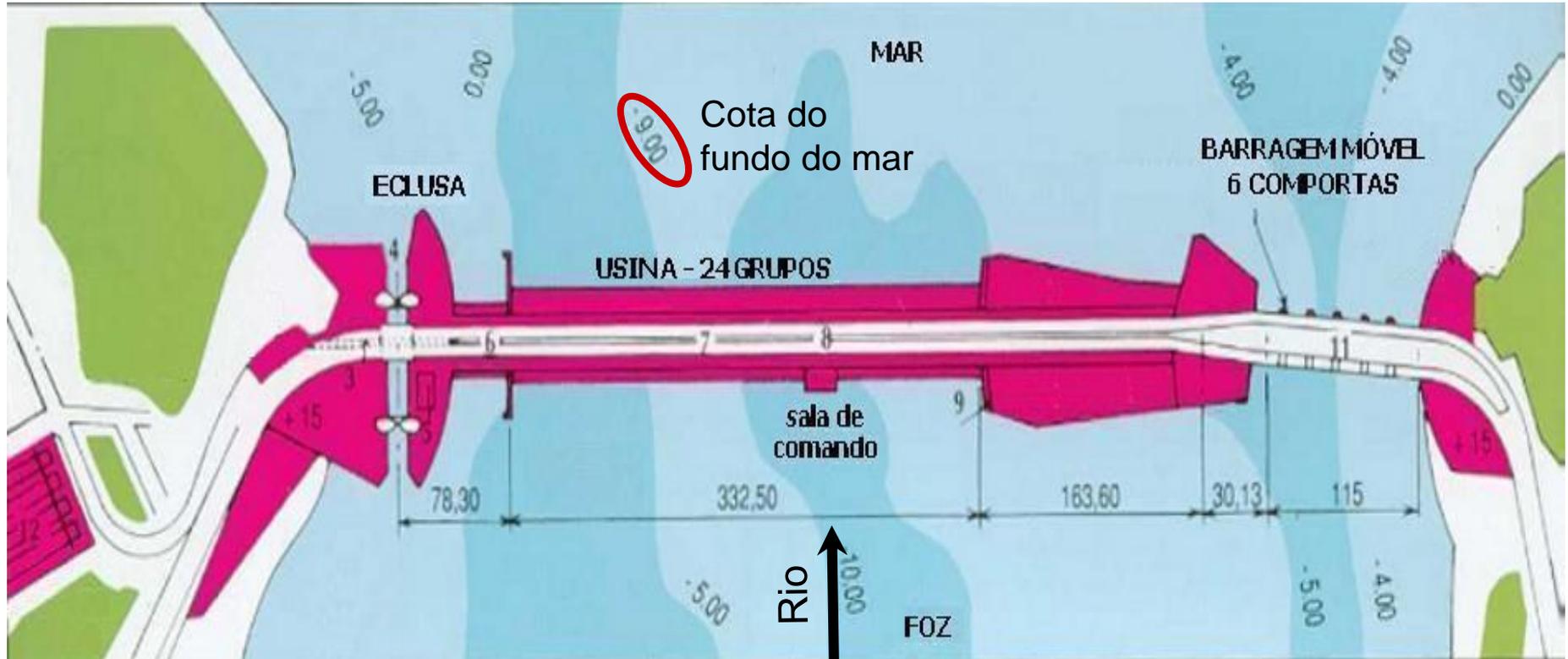


# Energia das marés – Aproveitamento oceânico



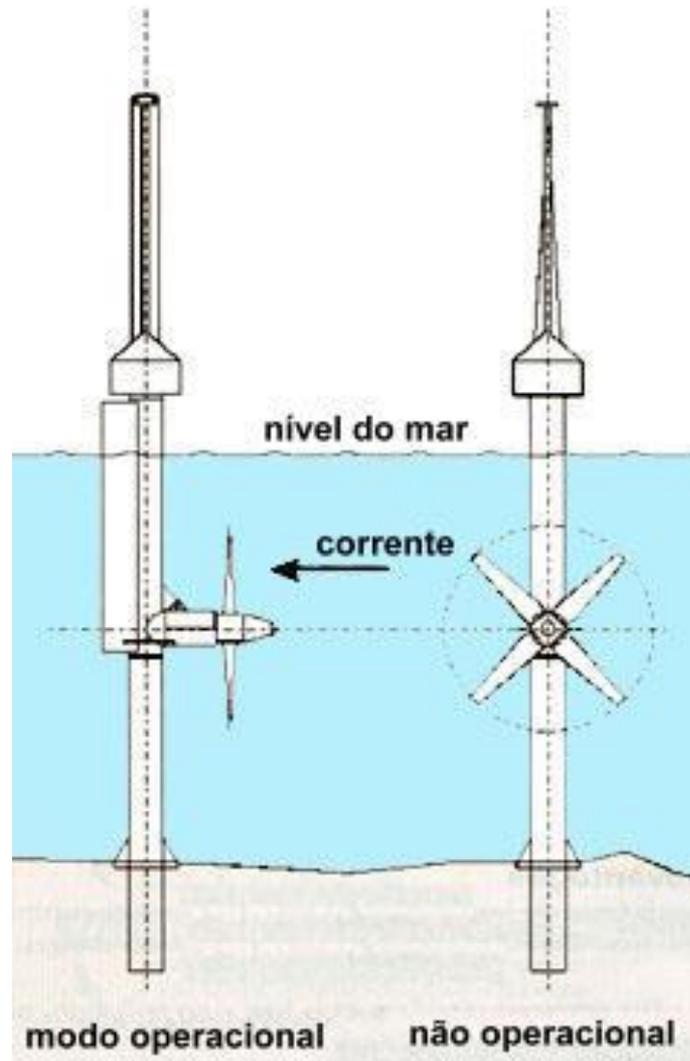
Usina maremotriz de La Rance, França

# Energia das marés – Aproveitamento oceânico



Usina maremotriz de La Rance, França

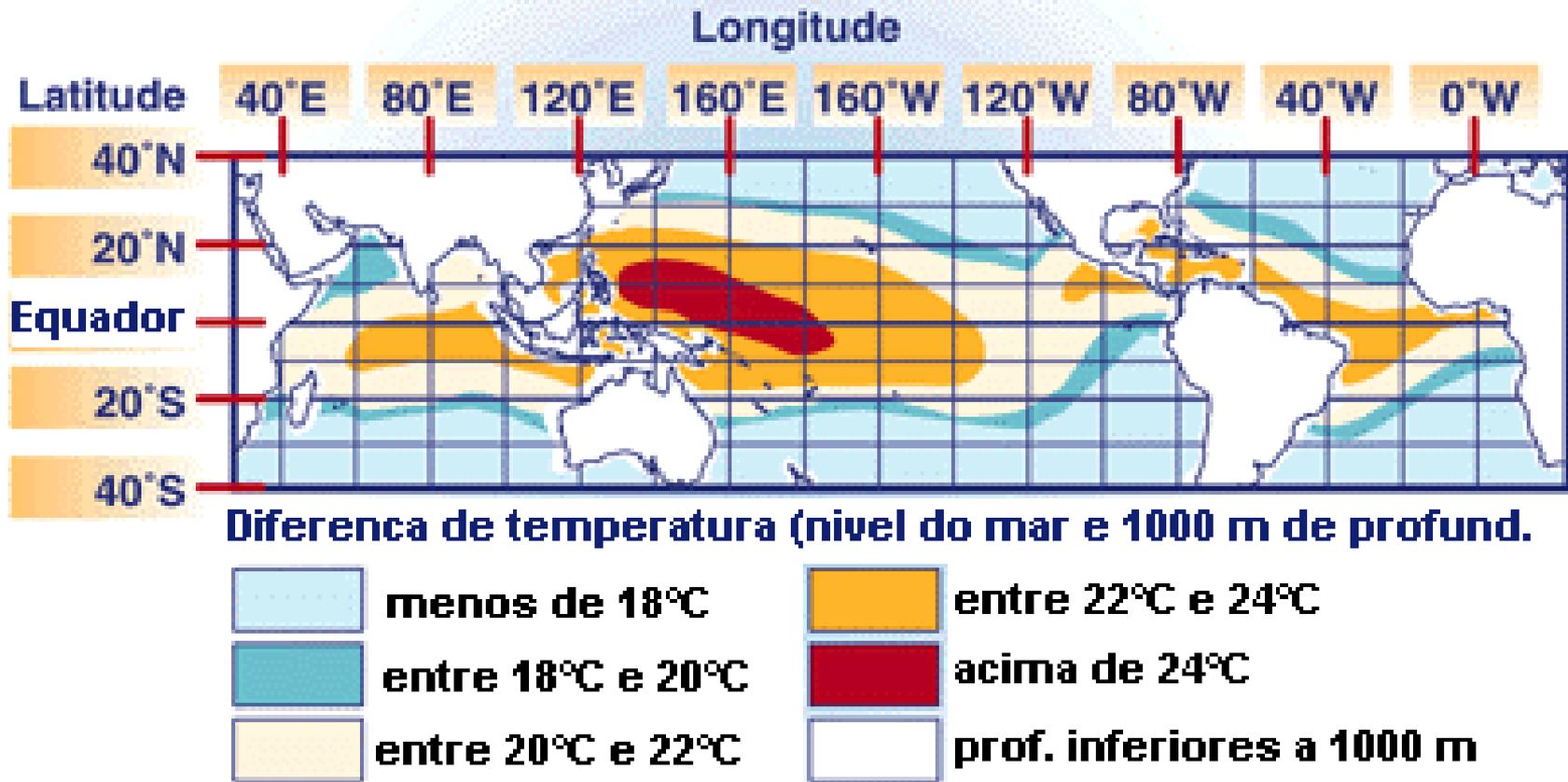
# Energia das correntes – Aproveitamento oceânico



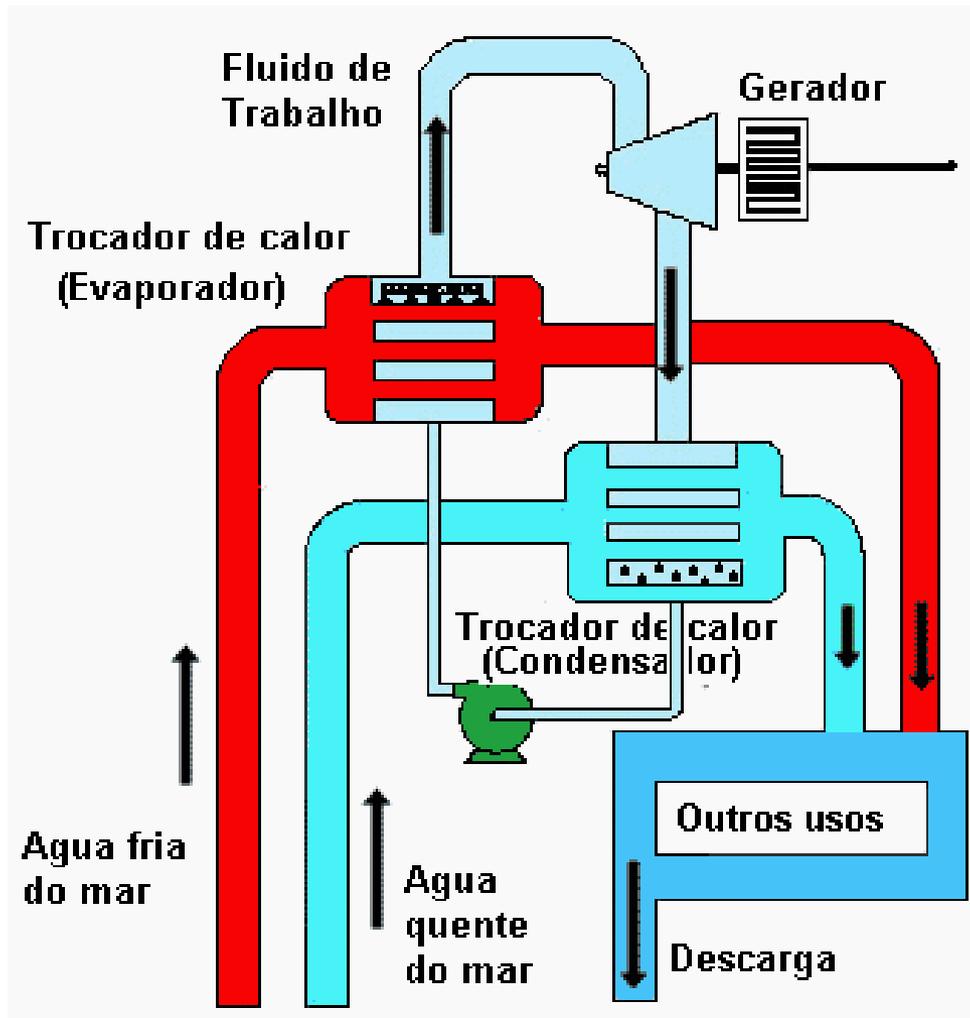
# Energia das correntes – Aproveitamento oceânico



# Energia térmica – Aproveitamento oceânico

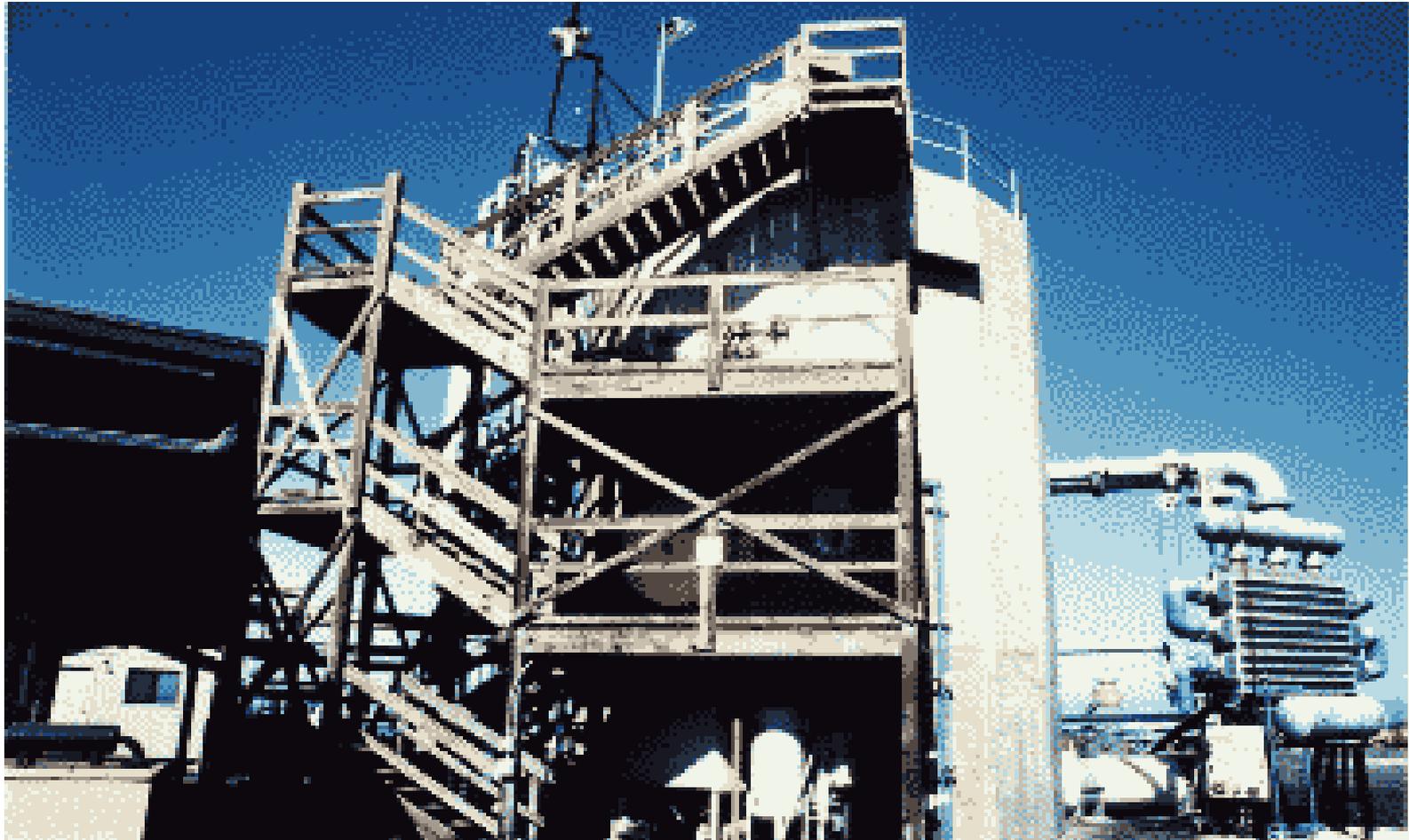


# Energia térmica – Aproveitamento oceânico



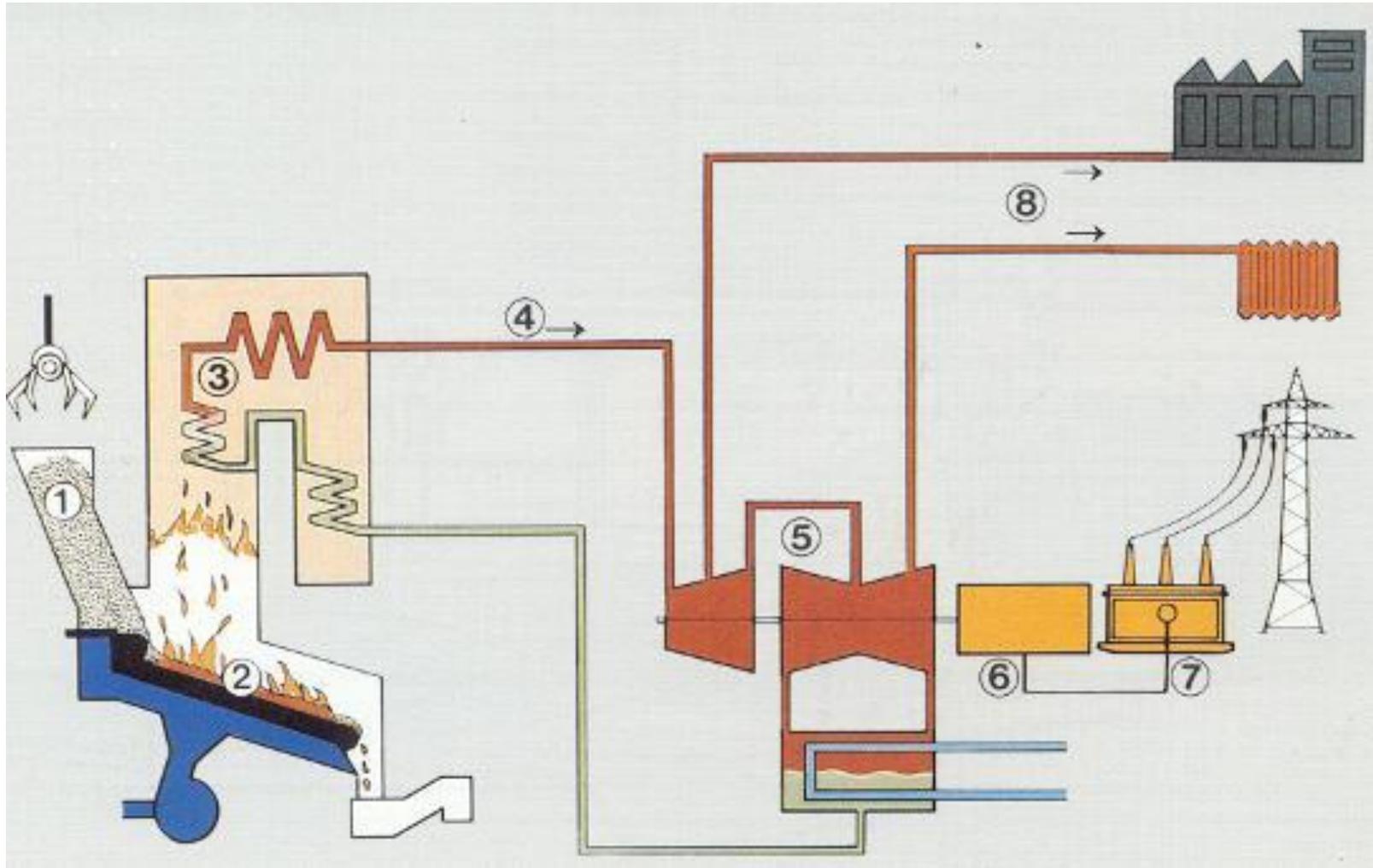
Ciclo térmico de aproveitamento

# Energia térmica – Aproveitamento oceânico



Keahole Point, Havai, EUA

# Energia de biomassa

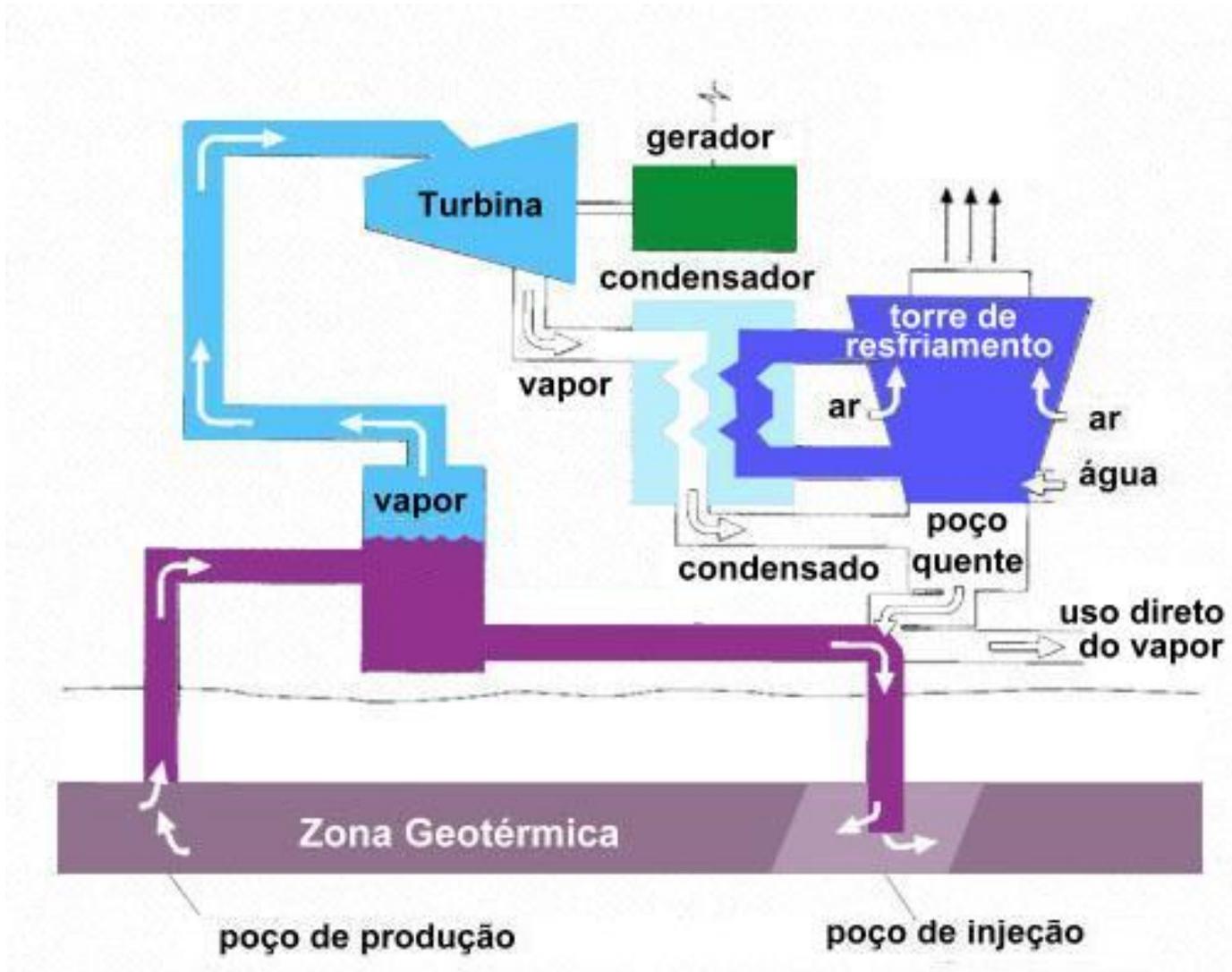


# Energia de biomassa



Usina a bagaço de cana; Moule, Guadalupe

# Energia geotérmica



# Energía geotérmica



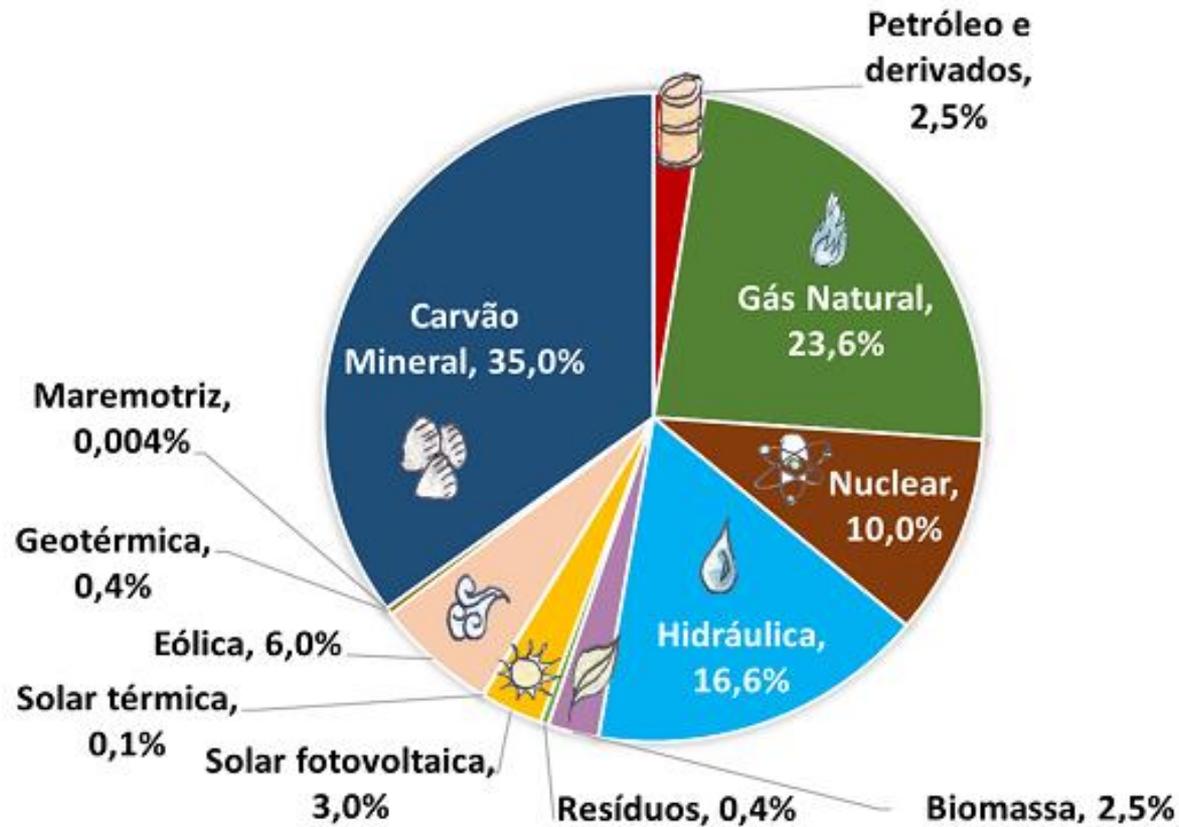
Califórnia, USA

# Energia geotérmica



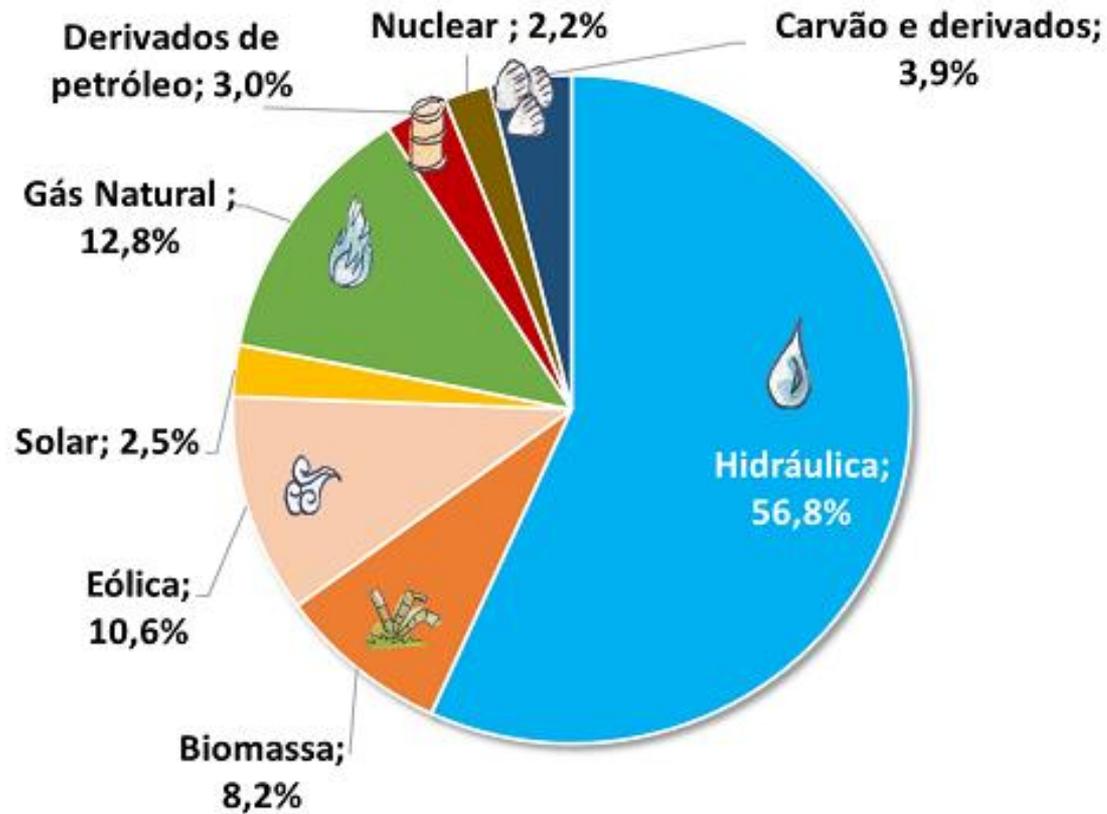
Nova Zelândia

# Matriz elétrica mundial 2020



IEA, 2022; total: 27 milhões de GWh

# Matriz elétrica brasileira 2021



BEN, 2022; total: 657 TWh

# Rede de transmissão – Horizonte 2007



Horizonte 2007  
(atualização março/2005)



# Rede de transmissão – Horizonte 2024



**ONS** Operador Nacional do Sistema Elétrico

Extensão total das linhas de transmissão = 169.914 km (em 2021).



<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>

<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>



- Mineração de combustíveis sólidos
- Poluição das águas
- Ocupação de terras
- Resíduos sólidos
- Nível de ruído
- Estética local
- Prospecção de petróleo em plataforma
- Poluição das águas
- Poluição do ar
- Estética local (perto de praias)



## Termelétricas

	A óleo e a gás	A carvão	Nuclear
Poluição das águas	+	+	++
Poluição do ar	+	+	+
Ocupação da terra	+	+	+
Resíduos sólidos		++	+
Estética local	+	+	+

+ significativo

++ muito significativo



## Hidrelétricas

- Poluição das águas
- Ocupação de terras
- Estética local
- Danos à barragem
- Impacto social pelo deslocamento de populações
- Mudanças climáticas locais
- Abalos sísmicos
- Linhas de transmissão



Escada de peixes

---

Dúvidas?

Obrigado.



**ESCOLA POLITÉCNICA**  
**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**