

# PEA 3100

## Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade

### Aula 12 - Usinas termelétricas



# Geração termelétrica

## Processo fundamental de funcionamento:

Baseado na conversão da energia térmica em energia mecânica, e desta em energia elétrica

**A conversão da energia térmica em mecânica** : dá-se através do uso de um fluido que produzirá trabalho em seu processo de expansão em turbinas térmicas

**A conversão da energia mecânica em elétrica**: Dá-se através do acionamento mecânico de um gerador elétrico acoplado ao eixo da turbina.

A produção da energia térmica se dá através da :

- Transformação da energia química dos combustíveis através do processo de combustão
- Ou da energia nuclear dos combustíveis radioativos através da fissão nuclear
- Diretamente através do aproveitamento do gradiente térmico de diferentes fluidos.Ex: energia oceânica; geotérmica.

## Renovável e Não-renovável

### Não renovável

- Diesel
- Óleo - combustível
- RASF
- Carvão mineral
- Gás natural
- Urânio
- Geotérmica

### Renovável

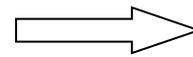
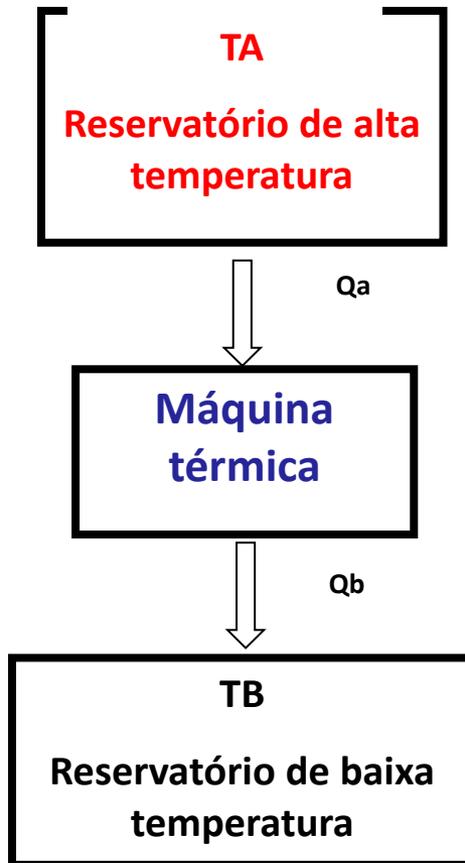
- Biomassa Florestal
- Óleos vegetais
- Bagaço de cana
- Palha de arroz
- Lixo

# MÁQUINAS TÉRMICAS E O CICLO DE CARNOT

(Nicolas Leonard Sadi Carnot, nascido em Paris, no dia 1º de junho de 1796, e educado nas École Polytechnique (Paris) e École Genie (Metz).)

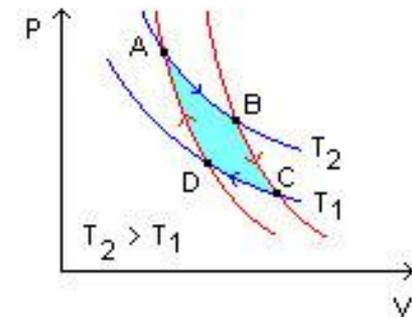
**Carnot apresentou a possibilidade de interconversão entre calor e trabalho possui restrições para as chamadas máquinas térmicas. O Segundo Princípio da Termodinâmica, elaborado em 1824 por Sadi Carnot, é enunciado da seguinte forma:**

**"Para haver conversão contínua de calor em trabalho, um sistema deve realizar ciclos entre fontes quentes e frias, continuamente. Em cada ciclo, é retirada uma certa quantidade de calor da fonte quente (energia útil), que é parcialmente convertida em trabalho, sendo o restante rejeitado para a fonte fria (energia dissipada)"**



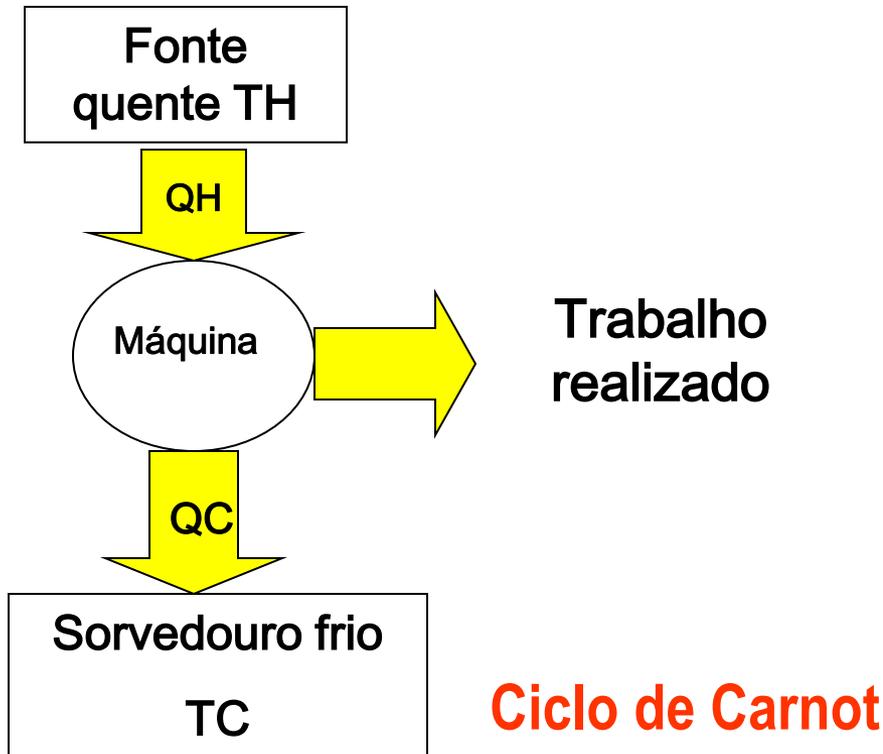
$\omega$

**Trabalho obtido**



# Princípio da Conversão de Energia

**Máquina Térmica** – inclui todos os tipos de máquinas em que o calor é transformado em trabalho.



## 1ª Lei da Termodinâmica

Lei da conservação de energia diz que:

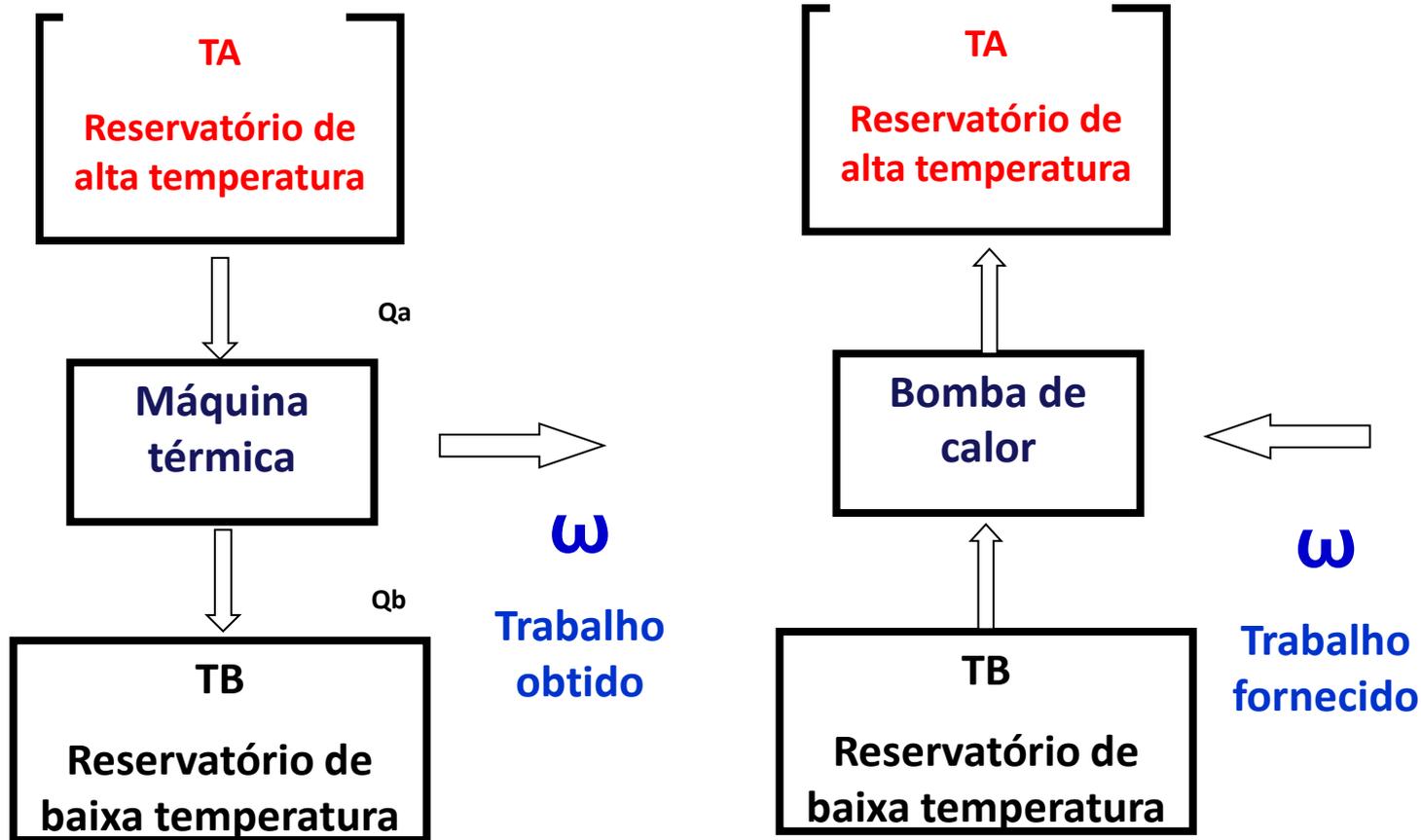
$$\text{Trabalho realizado} = QH - QC$$

Portanto:

$$\text{Eficiência} = \frac{(QH - QC)}{QH}$$

↑ (Em Kelvin)

Para uma máquina ideal - Eficiência máxima =  $(TH - TC) / TH$



$$(Eficiência) E = \frac{W}{Q_a} = \frac{Q_a - Q_b}{Q_a} = 1 - \frac{Q_b}{Q_a} = 1 - \frac{T_b}{T_a} \text{ (Temperatura em Kelvin)}$$

## Perguntas:

a - Em uma locomotiva a vapor qual é a fonte quente?

b – Quem é a fonte fria?



<http://busca.uol.com.br/imagem/?ref=homeuol&ad=on&q=foto+de+locomotiva+a+vapor> Acesso  
22/01/2014

**Exercício 14:** Em uma usina geradora de energia elétrica a ciclo de vapor convencional, a temperatura do vapor que entra na turbina é de 540 °C ou 813 K. A temperatura do reservatório frio (a água de refrigeração) é de 20 °C ou 293 K.

**a - Qual é a eficiência máxima possível desta máquina térmica?**

**b - Se a eficiência global da usina for de 35%, quanto a mesma estará operando em relação a eficiência de Carnot?**

**Respostas:**

$$\text{Eficiência máxima} = \frac{813 - 293}{813} \times 100\% = 64\%$$

$$\text{Eficiência (em relação)} = \frac{0,35}{0,64} = 55\% \text{ da eficiência de Carnot}$$

# Tipos de Máquinas Térmicas

Caracterizam-se pelo tipo de ciclo termodinâmico a que o fluido de trabalho é submetido.Ex.:

**Ciclo a Vapor ou Rankine: fluido de trabalho sofre mudança de estado.**

**Ciclo a Gás ou de Brayton: o fluido de trabalho se mantém no estado gasoso (gás quente).**

## Classificação:

- **Centrais a combustão** – Termelétricas (convencionais):
  - ◆ **Combustão externa:** o combustível não entra em contato com o fluido de trabalho.
  - ◆ **Combustão interna:** a combustão se efetua sobre uma mistura de ar e combustível.
- **Centrais nucleares** – Processo de fissão do núcleo atômico do combustível nuclear.

**Os Tipos de Máquinas Térmicas também são caracterizados pelo tipo de ciclo termodinâmico a que o fluido de trabalho é submetido. Ex:**

**a - Ciclo a Vapor ou Rankine: Fluido de trabalho sofre mudança de estado.**

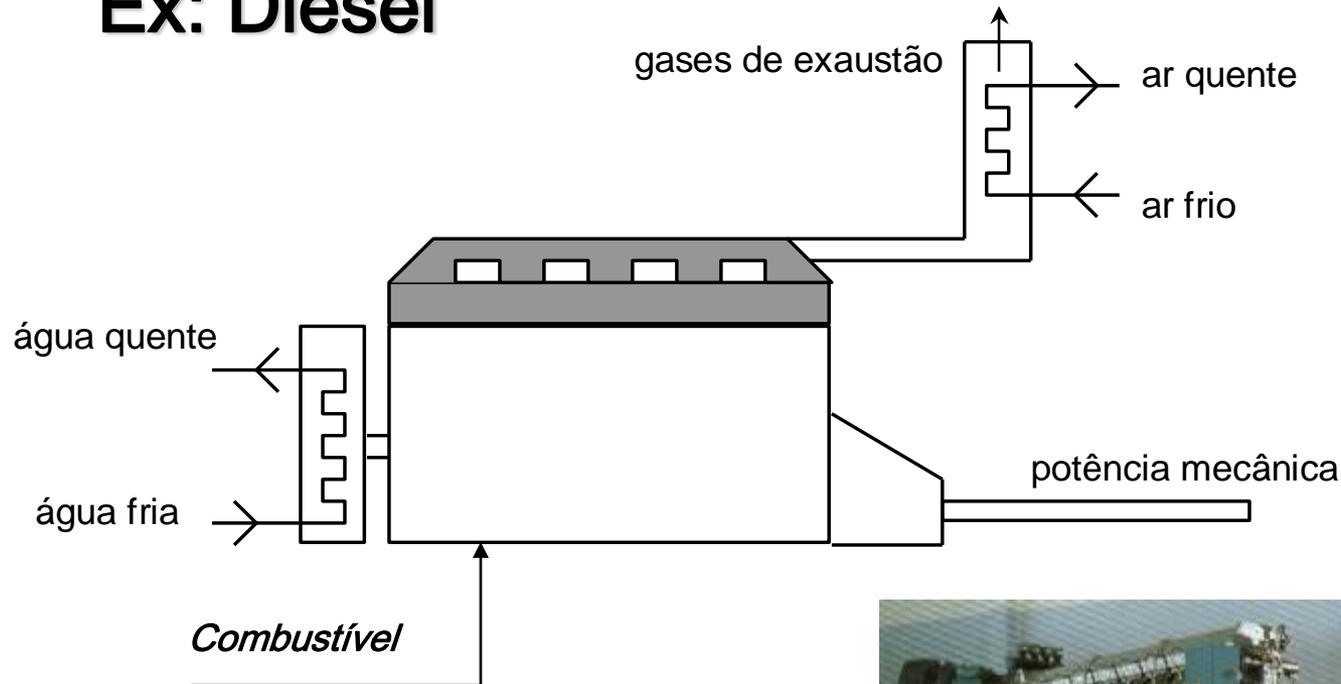
**b - Ciclo a Gás ou de Brayton: Fluido de trabalho se mantém no estado gasoso.**

**Centrais a combustão – Termelétricas (convencionais):**

- ◆ **Combustão externa**: o combustível não entra em contato com o fluido de trabalho.
- ◆ **Combustão interna**: a combustão se efetua sobre uma mistura de ar e combustível.

# Motores de combustão interna

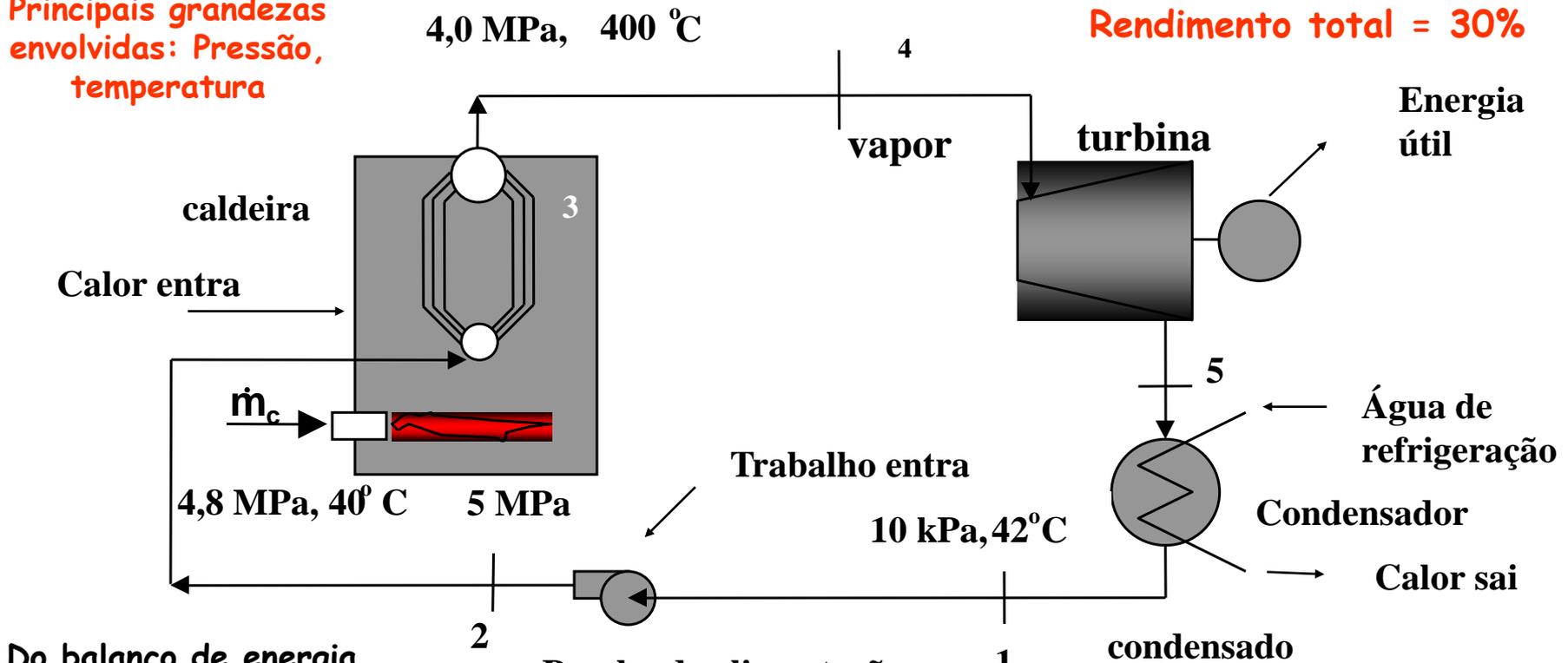
## Ex: Diesel



# Ciclo a vapor – Termelétrica a vapor

Principais grandezas envolvidas: Pressão, temperatura

Rendimento total = 30%



Do balanço de energia em cada fase do ciclo

$$u + pv = h \longrightarrow \text{Entalpia (kJ/kg)}$$

Trabalho de fluxo

$$\eta_r \stackrel{s}{=} \frac{\text{Energia interna} \quad \text{Trabalho produzido ( )} - \text{Trabalho na bomba}}{\text{Calor fornecido á caldeira}}$$

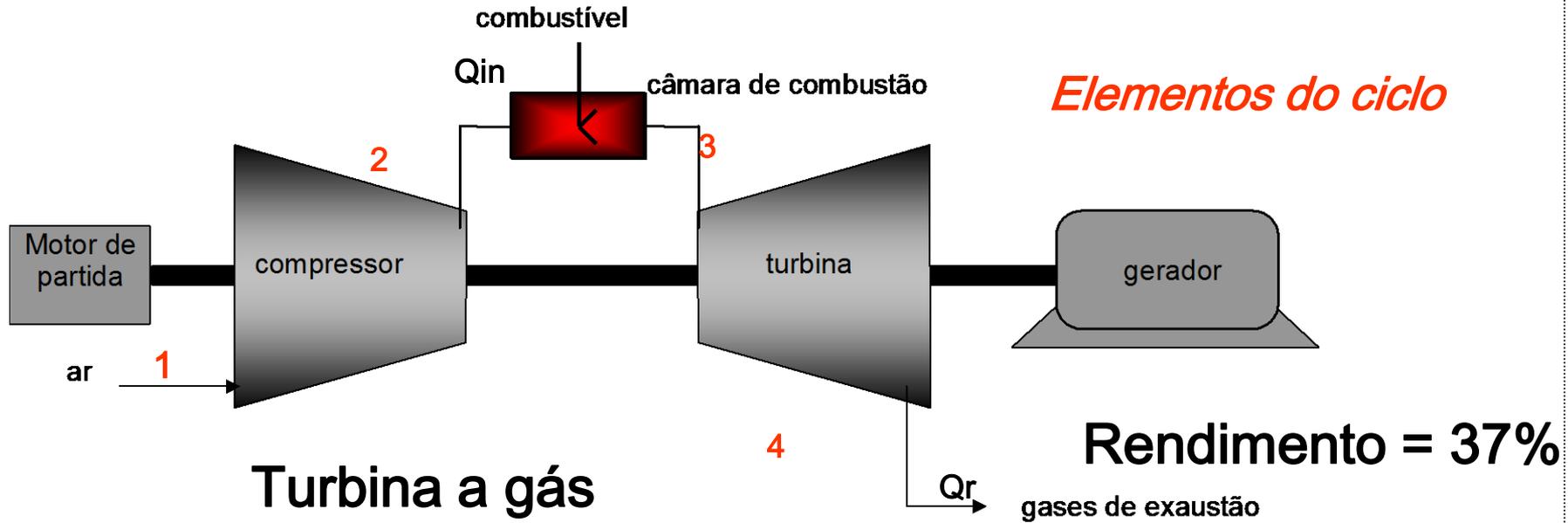
$$P_e = P_u \times \eta_G$$

**Rendimento do ciclo**

$$= \frac{(h_4 - h_5) - (h_2 - h_1)_s}{h_4 - h_2}$$



# Central a gás – Ciclo de Brayton (a gás)



Trabalho líquido →

$$q_{in} - q_r = c_p (T_3 - T_2) - c_p (T_4 - T_1)$$

Então:

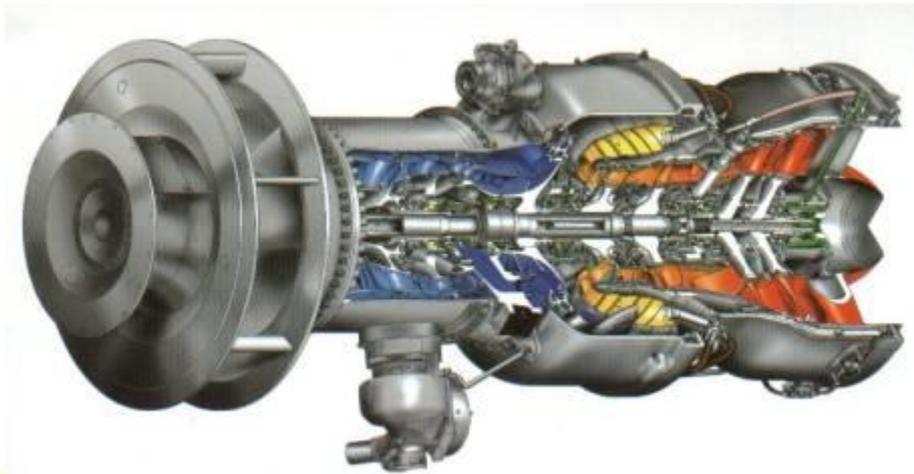
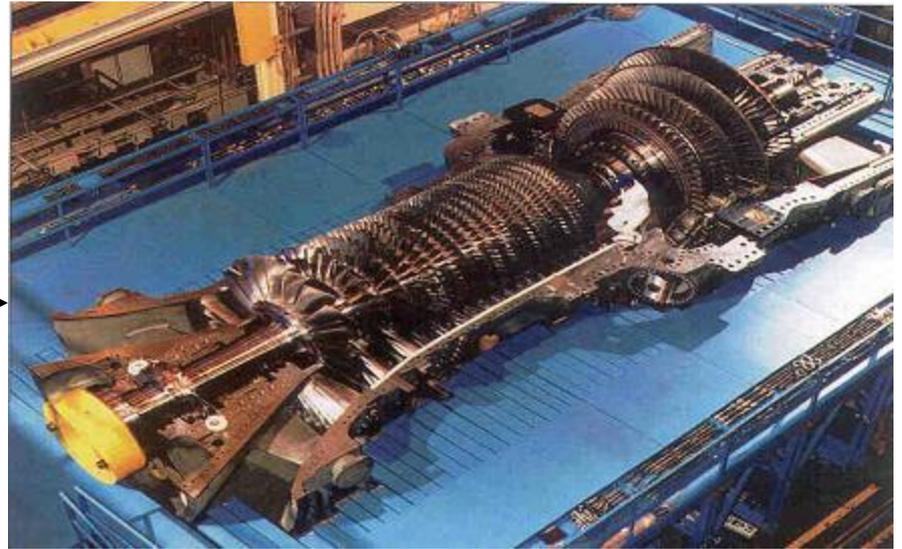
$$\eta_{Brayton} = \frac{c_p (T_3 - T_2) - c_p (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Calor fornecido ao ciclo

Onde:  $T$  = temperatura e  $C_p$  = calor específico

# Turbina a gás

Turbina a gás  
Alta potência



← *Microturbina a Gás*

# ENERGIA NUCLEAR - Princípio básico

A energia nuclear é a energia armazenada no núcleo dos átomos, mantendo prótons e nêutrons juntos.

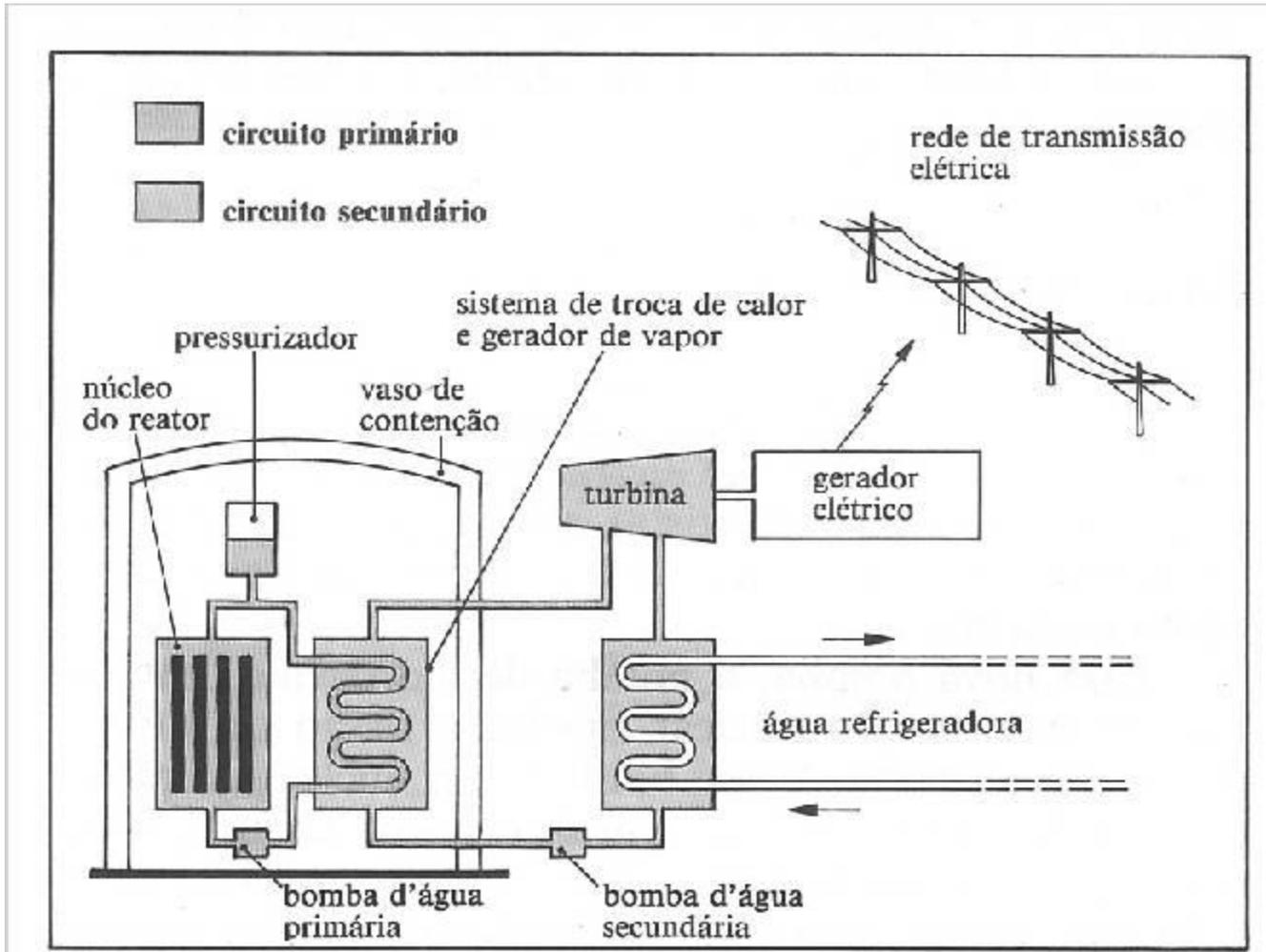
Esta energia é fóssil no sentido de que os elementos foram formados há cerca de 8 bilhões de anos.

O minério de urânio é toda concentração natural de minerais na qual o urânio ocorre em proporções e condições que permitam sua exploração econômica.

O elemento químico urânio é um metal branco-níquel, pouco menos duro que o aço e encontra-se em estado natural nas rochas da crosta terrestre. Sua principal aplicação é na geração de energia elétrica e na produção de material radioativo para uso na medicina e na agricultura.

Nos reatores nucleares, o que é aproveitado não é a radioatividade do urânio mas sim a sua propriedade de fissionar-se (quebrar-se ou partir-se) e de liberar grande quantidade de energia quando atingido por um “nêutron.

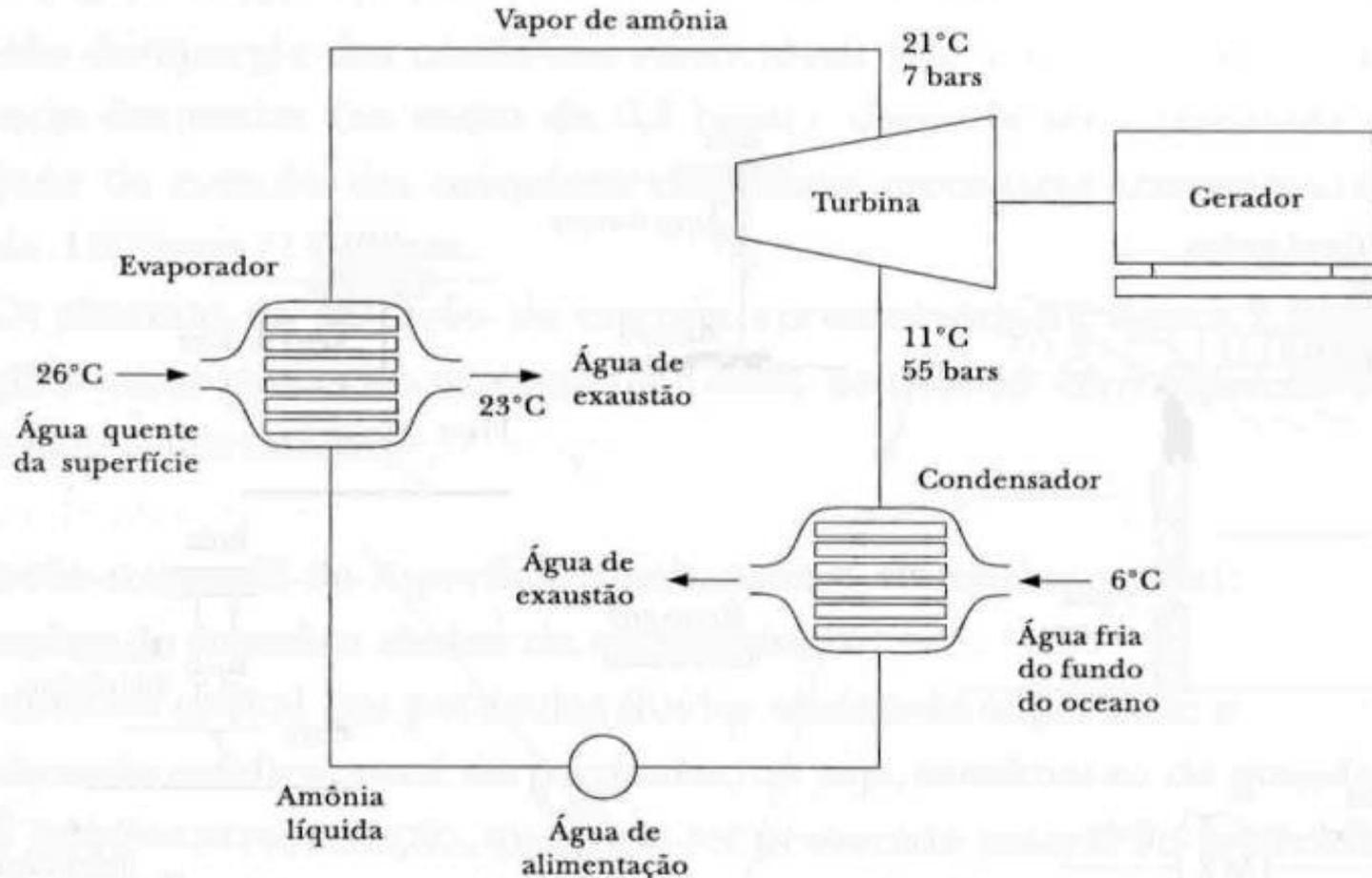
# Centrais Nucleares – Geração de Eletricidade



Esquema de construção de um reator nuclear do tipo Angra I

# Energia dos oceanos

## Aproveitamento do gradiente térmico



# Centrais a CICLO COMBINADO

Combinam ciclo a vapor ( Central a vapor) com ciclo a Gás ( central a gás).

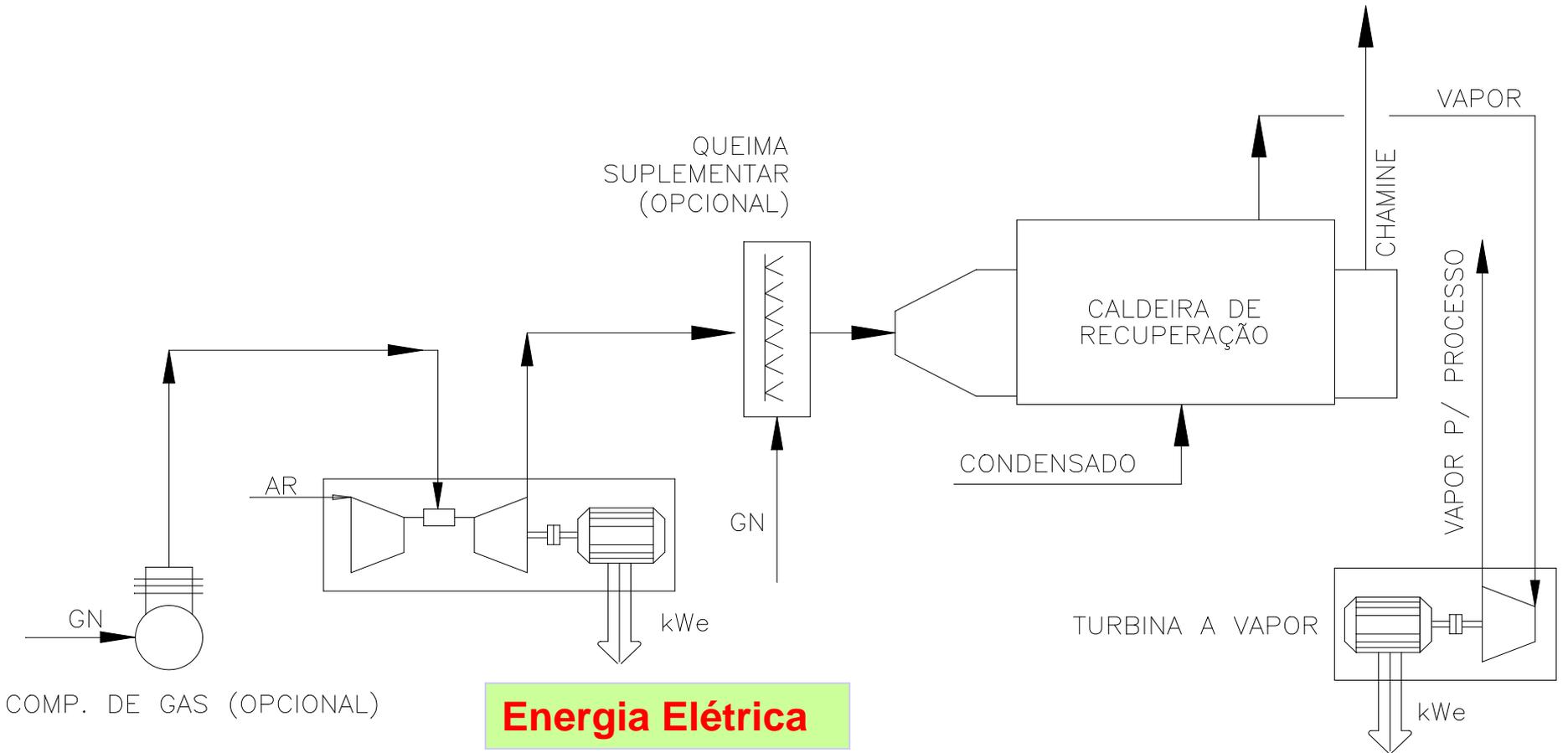
*Vantagem: aumenta o rendimento do ciclo*

Num ciclo simples de turbina a gás, os gases de exaustão após percorrerem a extensão da mesma, são enviados à atmosfera a uma temperatura elevada (aproximadamente 500°C).

O calor contido nos gases pode ser aproveitado para ser utilizado numa caldeira de recuperação térmica que irá transferir o calor dos gases para um circuito água-vapor.

O vapor gerado na caldeira de recuperação a uma alta pressão é enviado à uma turbina a vapor onde é expandido gerando mais eletricidade.

# Ciclo combinado

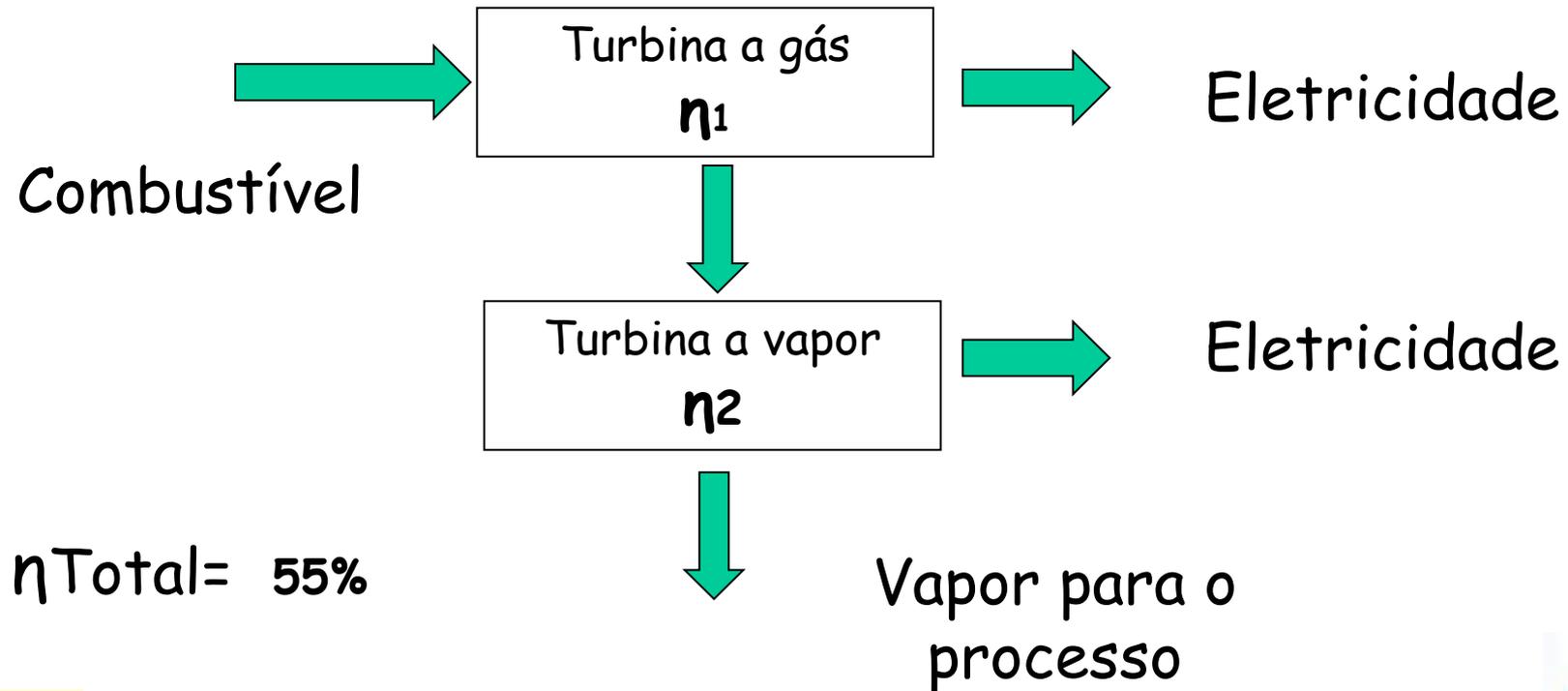


**Rendimento total típico = 55% a 60%**

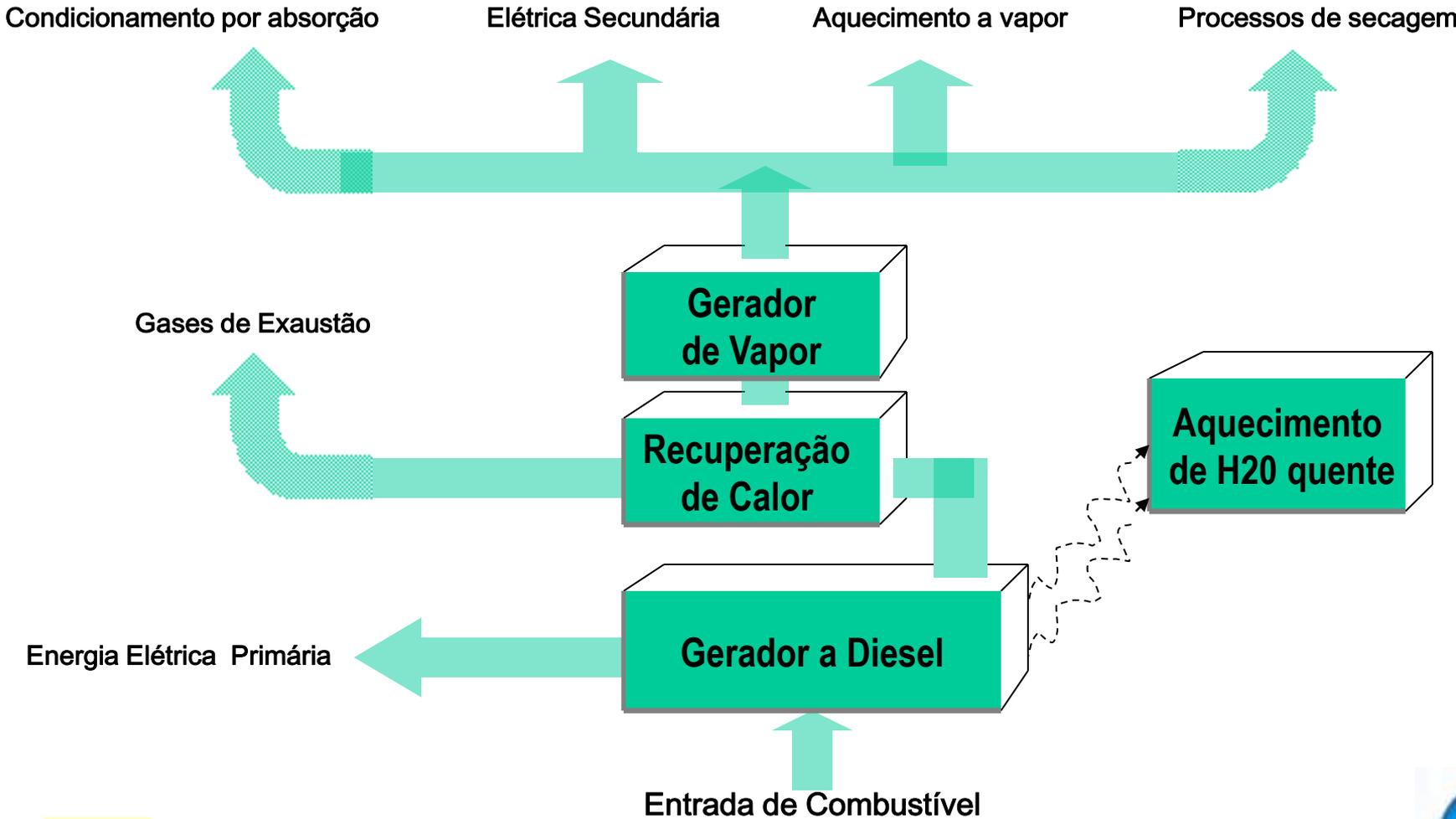
# AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

Os impactos ambientais e custos resultantes da produção de energia elétrica podem ser reduzidos melhorando a eficiência das tecnologias de geração de energia

**Ex: Centrais termelétricas – Geradores com ciclo combinado**



# Cogeração: Produção e uso simultâneo de várias formas de energia a partir de uma única fonte de combustível.



Fonte: Reproduzido de HINRICHS & KLEINBACH, 2003.

# Algumas Termelétricas no Brasil- dados:

Fonte			Capacidade Instalada			Total		
Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2	Nº de Usinas	( KW )	%	Nº de Usinas	( KW )	%
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	405	11.239.335	6,7206	421	11.317.316	6,7672
		Biogás-AGR	2	948	0,0006			
		Capim Elefante	2	31.700	0,0190			
		Casca de Arroz	12	45.333	0,0271			
	Biocombustíveis líquidos	Etanol	1	320	0,0002	3	4.670	0,0028
		Óleos vegetais	2	4.350	0,0026			
	Floresta	Carvão Vegetal	8	43.197	0,0258	96	3.157.975	1,8883
		Gás de Alto Forno - Biomassa	11	123.065	0,0736			
		Lenha	4	23.900	0,0143			
		Licor Negro	18	2.542.616	1,5204			
		Resíduos Florestais	55	425.197	0,2542			
	Resíduos animais	Biogás - RA	14	4.481	0,0027	14	4.481	0,0027
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	20	133.129	0,0796			
			Carvão - RU	1	2.700	0,0016		
Fóssil	Carvão mineral	Calor de Processo - CM	2	28.400	0,0170	25	3.718.670	2,2236
		Carvão Mineral	14	3.323.740	1,9874			
		Gás de Alto Forno - CM	9	366.530	0,2192			
	Gás natural	Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0239	165	12.993.676	7,7696
		Gás Natural	164	12.953.676	7,7457			
	Outros Fósseis	Calor de Processo - OF	1	147.300	0,0881	1	147.300	0,0881
		Petróleo	Gás de Alto Forno - PE	1	1.200			
	Gás de Refinaria		6	315.560	0,1887			
	Óleo Combustível		78	4.055.967	2,4253			
	Óleo Diesel		2160	4.574.019	2,7350			
	Outros Energéticos de Petróleo		18	1.028.328	0,6149			
Nuclear	Urânio	Urânio	2	1.990.000	1,1899	2	1.990.000	1,1899

Em 2018

Total de UTEs em operação = 3009 ; Capacidade instalada = 41,45 GW = 24,79% do total

Usinas nucleares em operação = 2 ; Capacidade instalada = 1,99 GW = 1,19% do total

Usinas térmicas a bagaço de cana = 405 ; Capacidade instalada = 11,24 GW = 6,72% do total