

PEA 2200

# Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade

Profa. Eliane Fadigas

Prof. Alberto Bianchi

## Aula 4 - Usinas termelétricas



# Geração Termelétrica

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



# Combustíveis sólidos

- Madeira
- carvão mineral e vegetal
- biomassas vegetais
- lixo urbano



# Combustíveis líquidos e gasosos

## Combustíveis líquidos:

- etanol – cana de açúcar
- de origem fóssil: se obtêm mediante o processo de transformação do petróleo (craqueamento); o petróleo cru é aquecido de 300 a 370°C para que se formem os vapores que, separados, se condensam em temperaturas diferenciadas:
  - gás liquefeito de petróleo (GLP);
  - gasolina;
  - querosene;
  - óleo combustível.

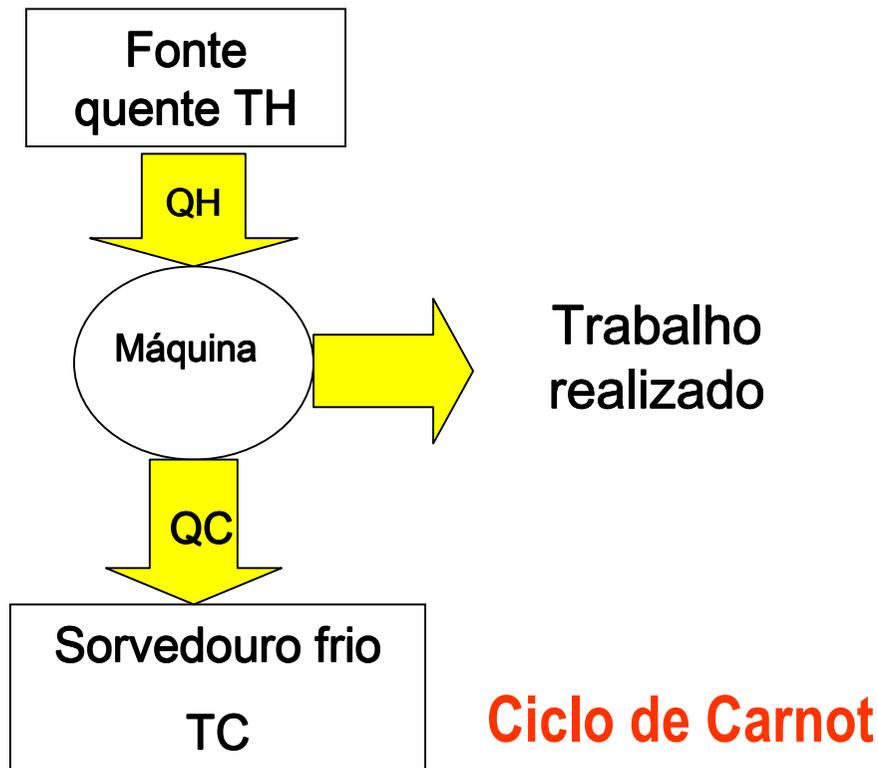
## Combustíveis gasosos:

- gás natural
- de origem não fóssil
  - gás de lixo - biogás



# 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:

$$\text{Trabalho realizado} = Q_H - Q_C$$

Portanto:

$$\text{Eficiência} = \frac{(Q_H - Q_C)}{Q_H}$$

Para uma máquina ideal - Eficiência máxima =  $(T_H - T_C) / T_H$

(Em Kelvin)

# Centrais termelétricas

Esquemas, principais tipos e configurações:

- Centrais a Diesel
- Centrais a Vapor (não-nucleares)
- Centrais Nucleares
- Centrais a Gás
- Termelétrica com Sistema Combinado
- Central Termo-solar
- Central Geotérmica
- Central Oceânica – gradiente térmico
- Central de Cogeração



# Máquina Térmica Real

## 2ª Lei da Termodinâmica

É impossível converter uma dada quantidade de energia térmica completamente em trabalho útil. Em um processo de conversão de energia, esta sempre sofre degradação de qualidade, de forma que a habilidade para realizar trabalho é reduzida.

**Entropia** é uma propriedade que mede o grau de desordem do sistema, quando o mesmo tem a sua energia alterada, seja pela adição ou subtração de calor, seja pela realização de trabalho sobre o mesmo



# 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.



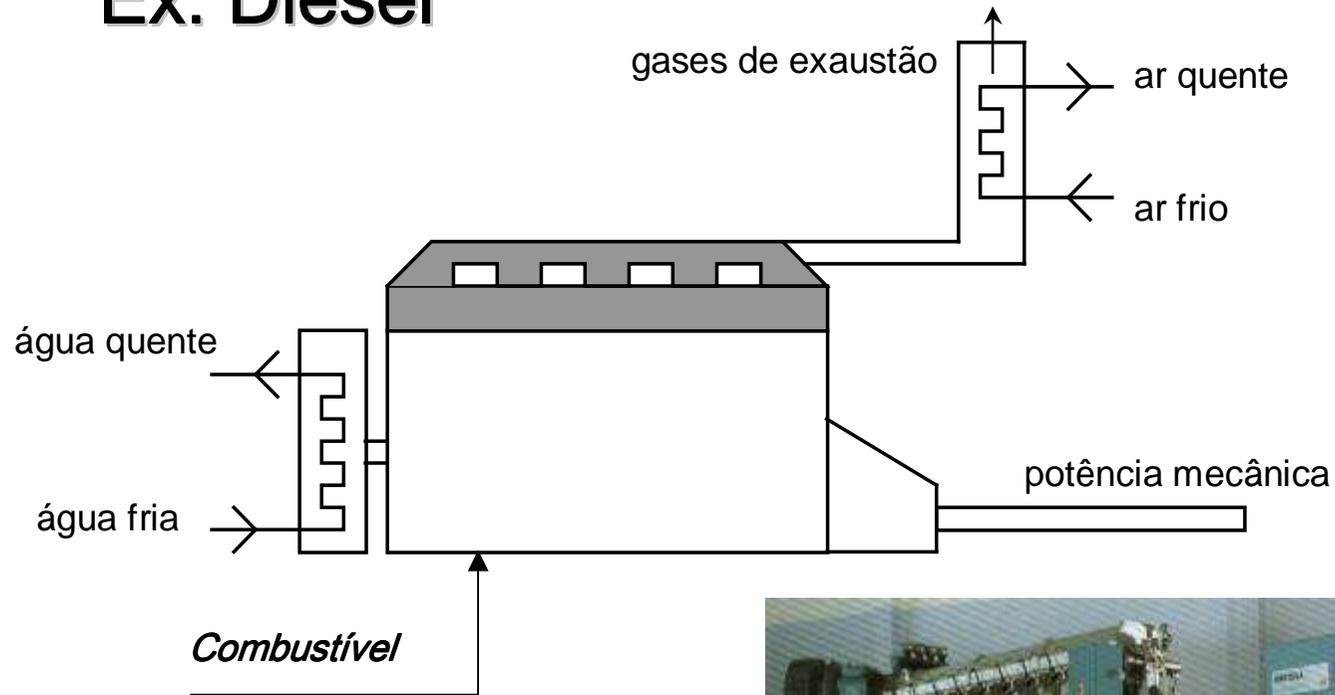
# Conceitos básicos sobre combustão:

- **Combustão** é o processo através do qual os combustíveis são oxidados numa reação que transforma a energia química contida em suas moléculas em energia térmica, na forma de calor de combustão.
- As fontes combustíveis que apresentam melhores eficiências de conversão energética são compostas por cadeias de átomos de carbono associadas aos de hidrogênio, formando estruturas conhecidas como hidrocarbonetos:



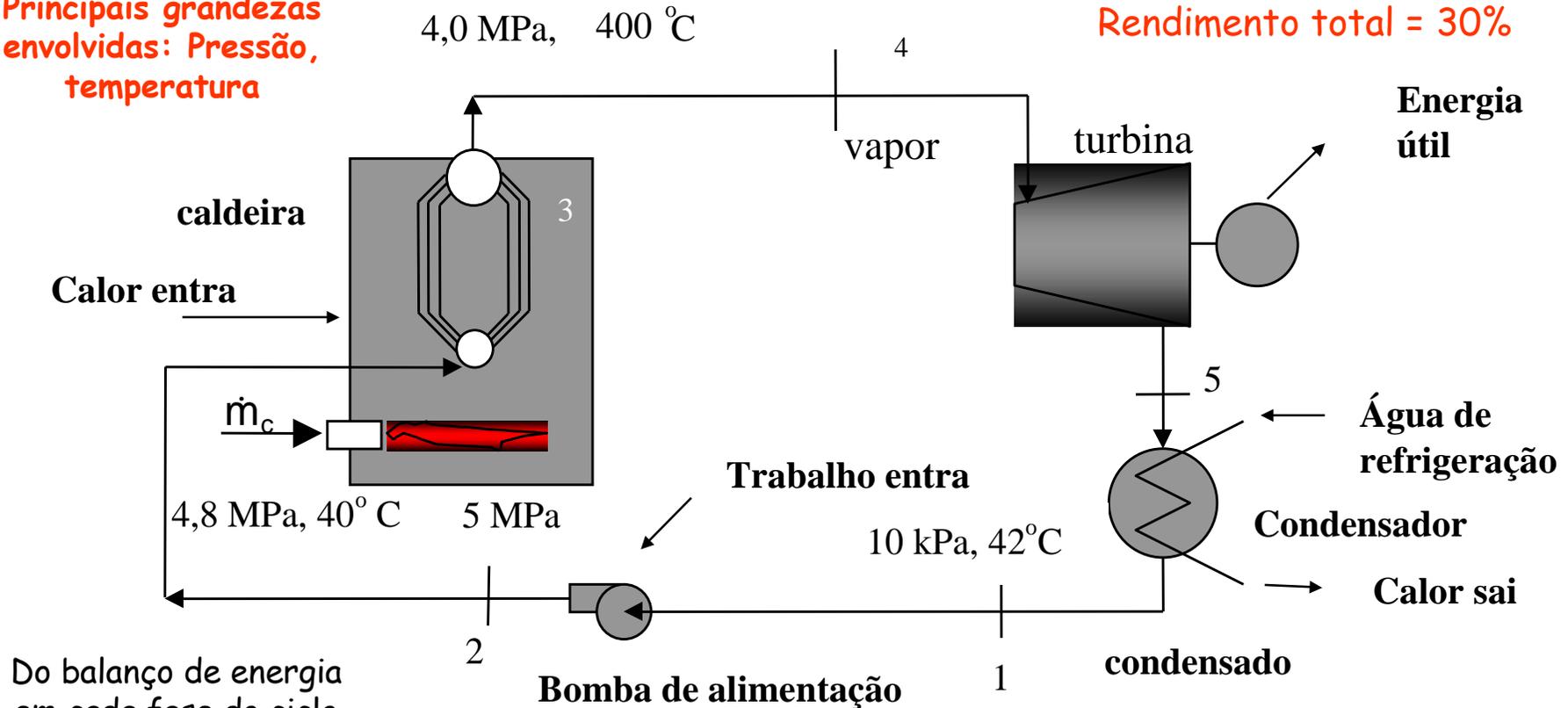
# Motores de combustão interna

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

$$u + \overset{3}{p}v = \overset{4}{h} \longrightarrow \text{Entalpia (kJ/kg)}$$

Trabalho de fluxo  
Energia interna

$$\eta_r = \frac{\text{Trabalho produzido (3)} - \text{Trabalho na bomba}}{\text{Calor fornecido á caldeira}}$$

$$= \frac{(h_4 - h_5) - (h_2 - h_1)_s}{h_4 - h_2} \quad P_e = P_u \times \eta_G$$



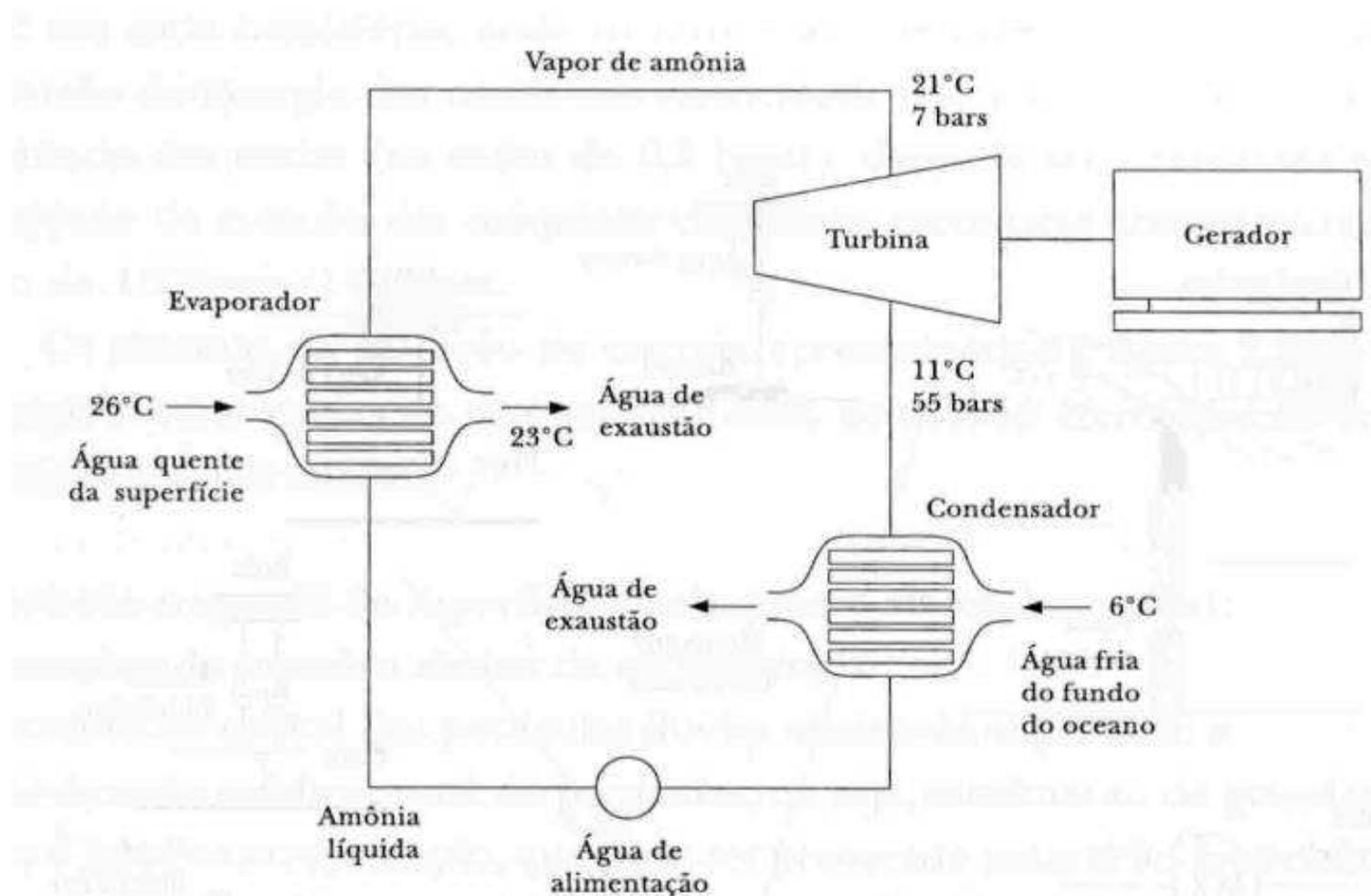
# Aplicações da Turbina a Vapor

- **Ciclo a Vapor Convencional ( já mostrado);**
- **Térmicas Utilizando Ciclo Binário:**
  - **Centrais Nucleares,**
  - **OTEC – *Ocean Thermal Energy Conversion*;**
- **Esquemas de Cogeração;**
- **Esquemas de Ciclo Combinado.**

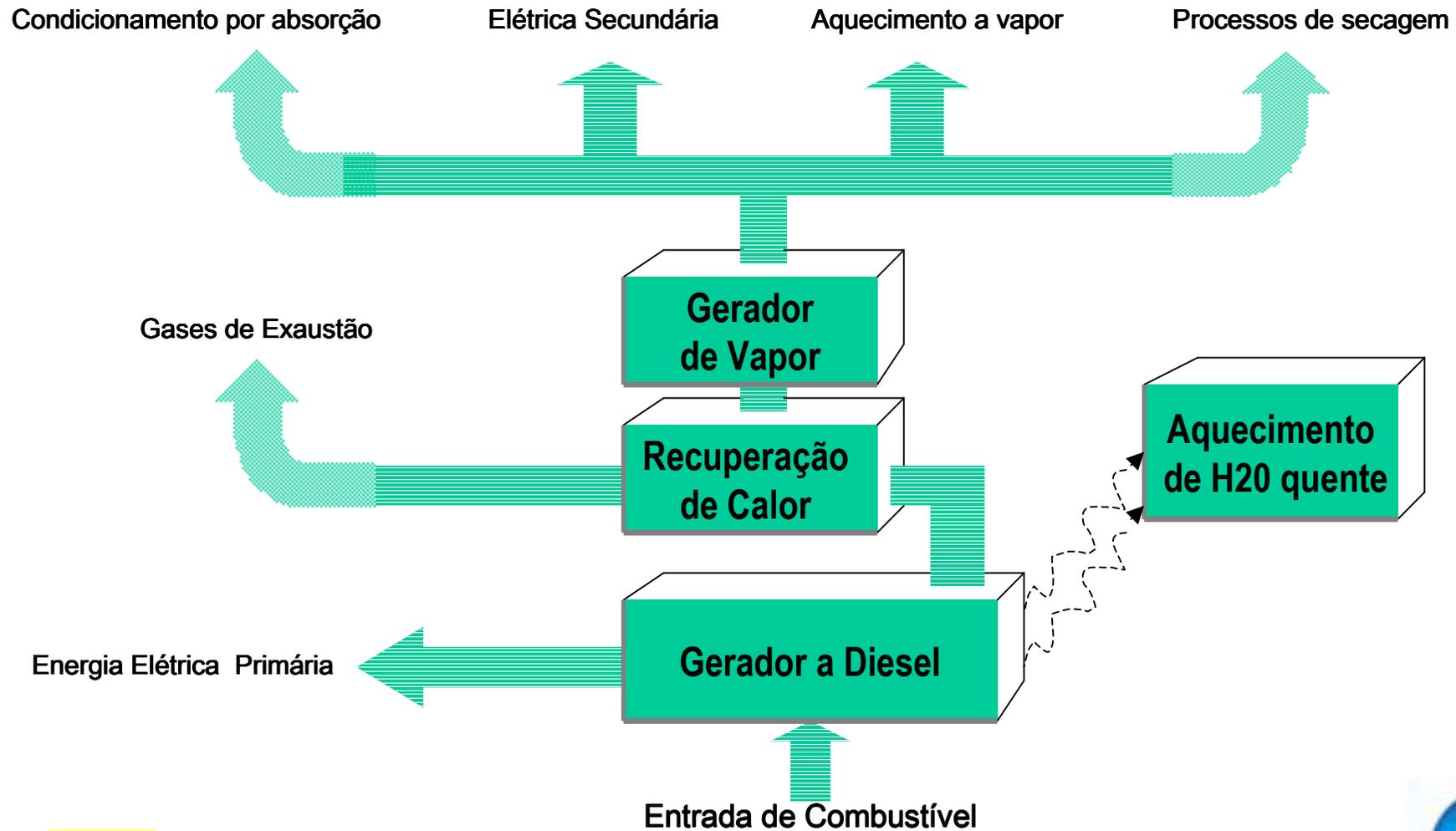


# Energia dos oceanos

## Aproveitamento do gradiente térmico



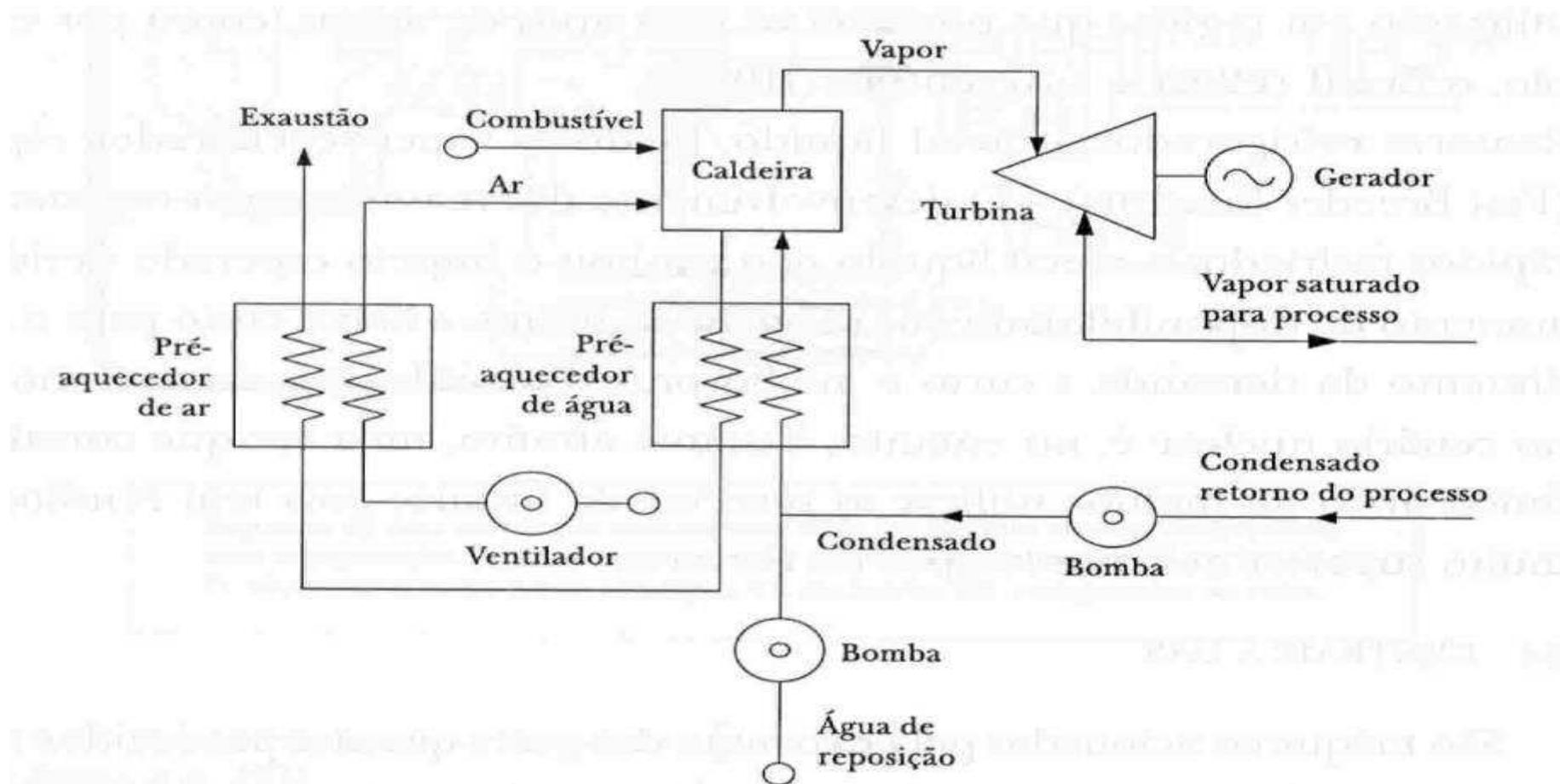
# Cogeração: Produção e uso simultâneo de várias formas de energia a partir de uma única fonte de combustível.



Fonte: Reproduzido de HINRICHS & KLEINBACH, 2003.



# Cogeração: Esquema usando Ciclo a Vapor



Rendimento = 80%

# 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.

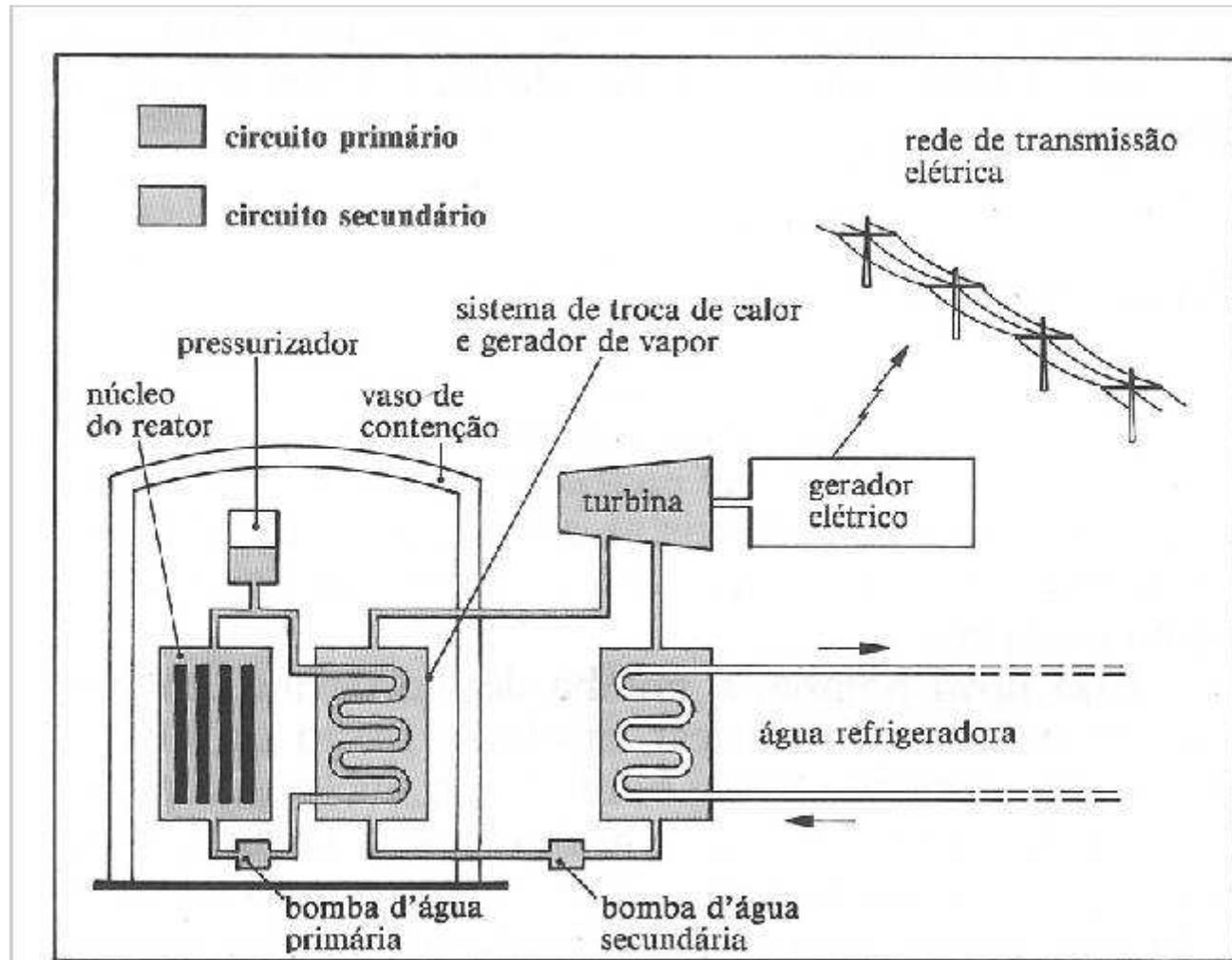
O minério de urânio é toda concentração natural de minerais na qual o urânio ocorre em proporções e condições que permitam sua exploração econômica.

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.

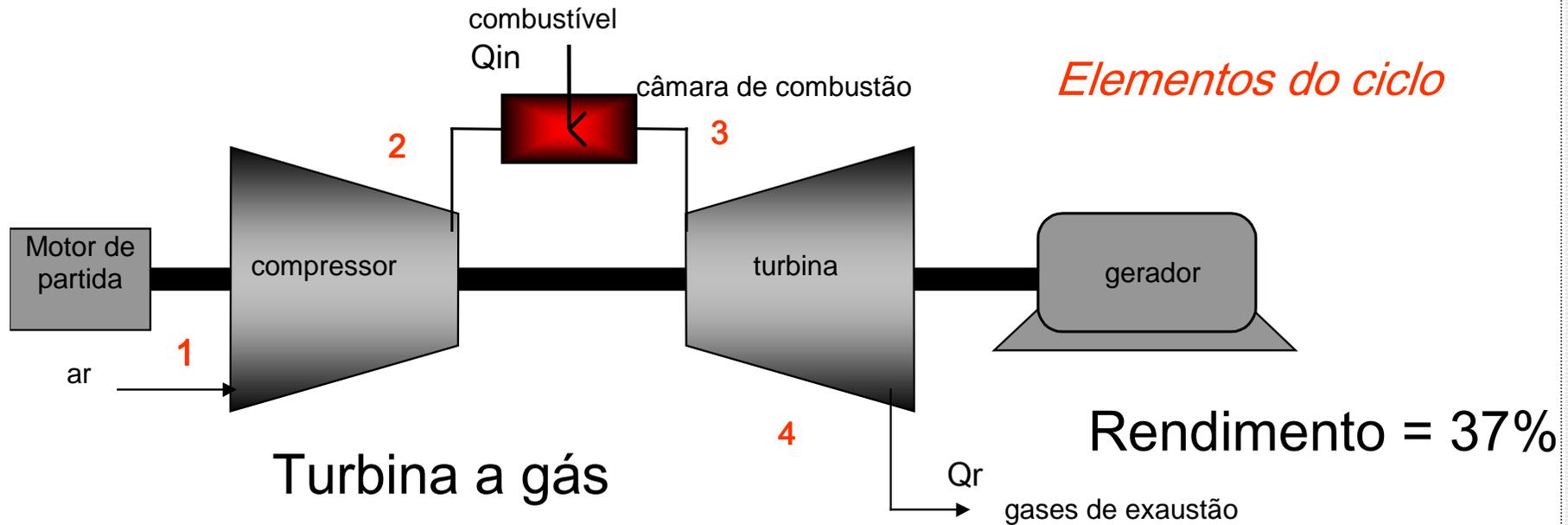


# Centrais Nucleares – Geração de Eletricidade



Esquema de construção de um reator nuclear do tipo Angra I

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



Trabalho líquido  $\rightarrow q_{in} - q_r = c_p (T_3 - T_2) - c_p (T_4 - T_1)$

Então:

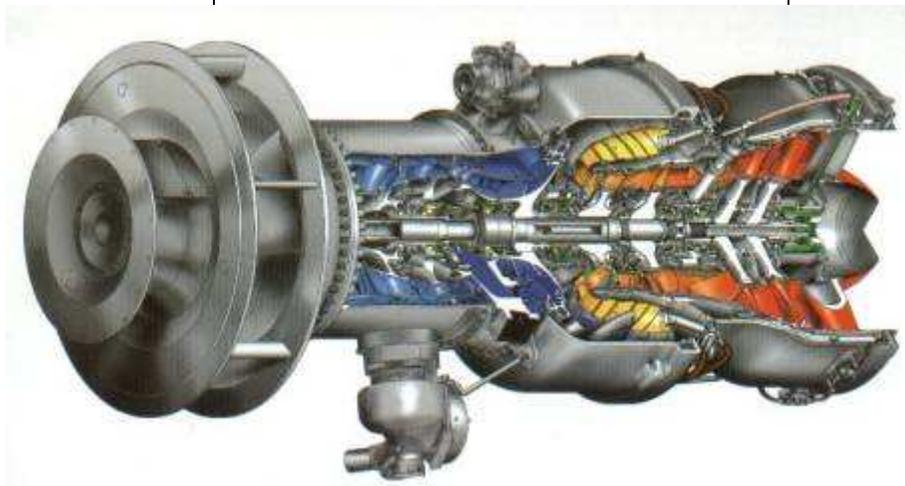
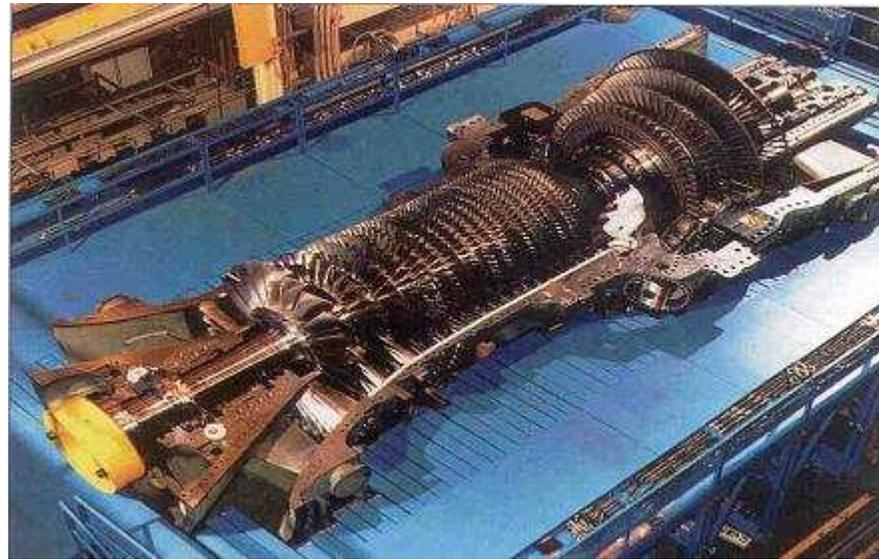
$$\eta_{Brayton} = \frac{c_p (T_3 - T_2) - c_p (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Calor fornecido ao ciclo

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

# Turbina a gás

Turbina a gás  
Alta potência →



← *Microturbina a Gás*

# Centrais a CICLO COMBINADO

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

*Vantagem: aumenta o rendimento do ciclo*

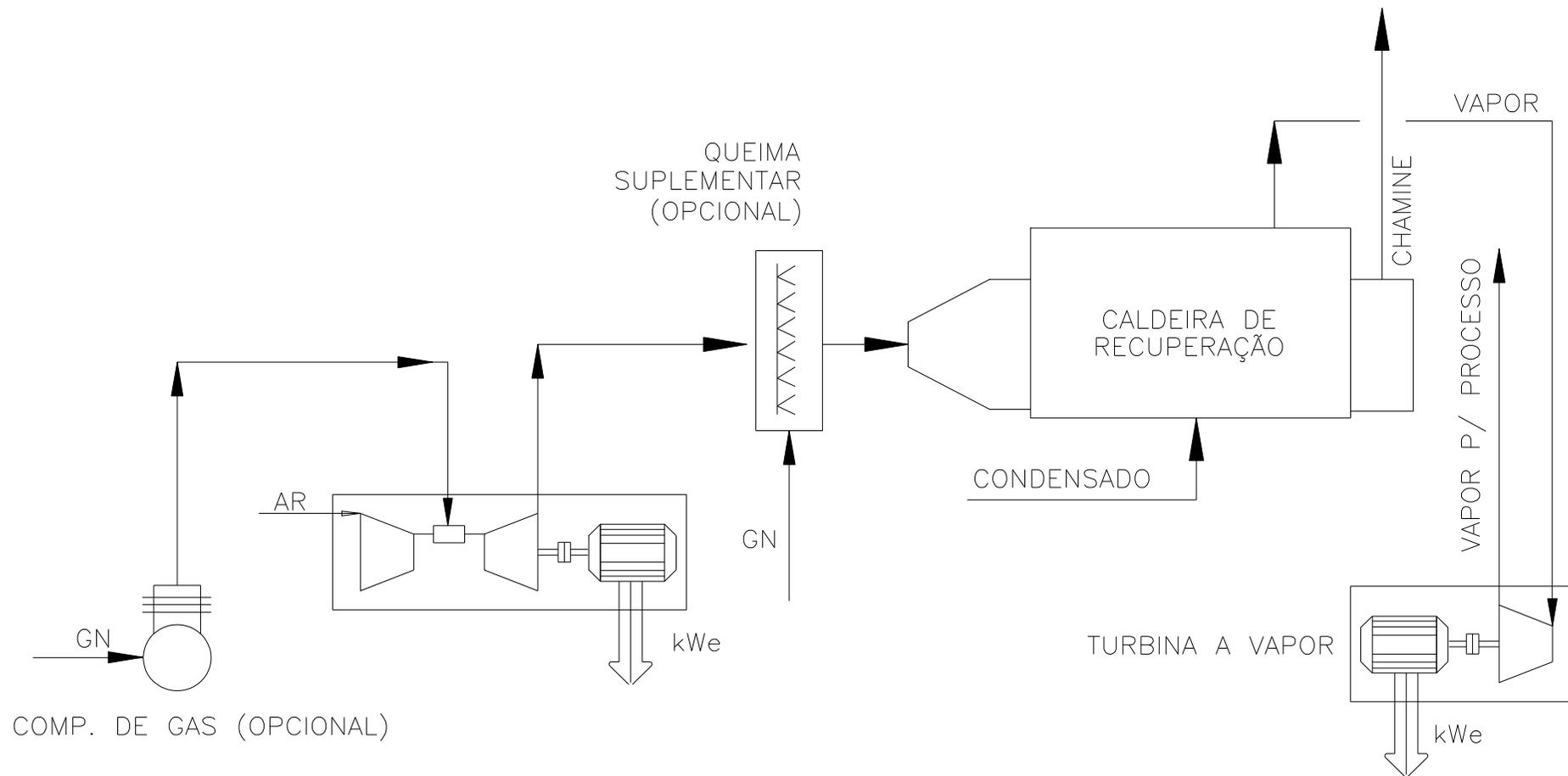
Num ciclo simples de turbina a gás, os gases de exaustão após percorrerem a extensão da mesma, são enviados à atmosfera a uma temperatura elevada (aproximadamente 500°C).

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



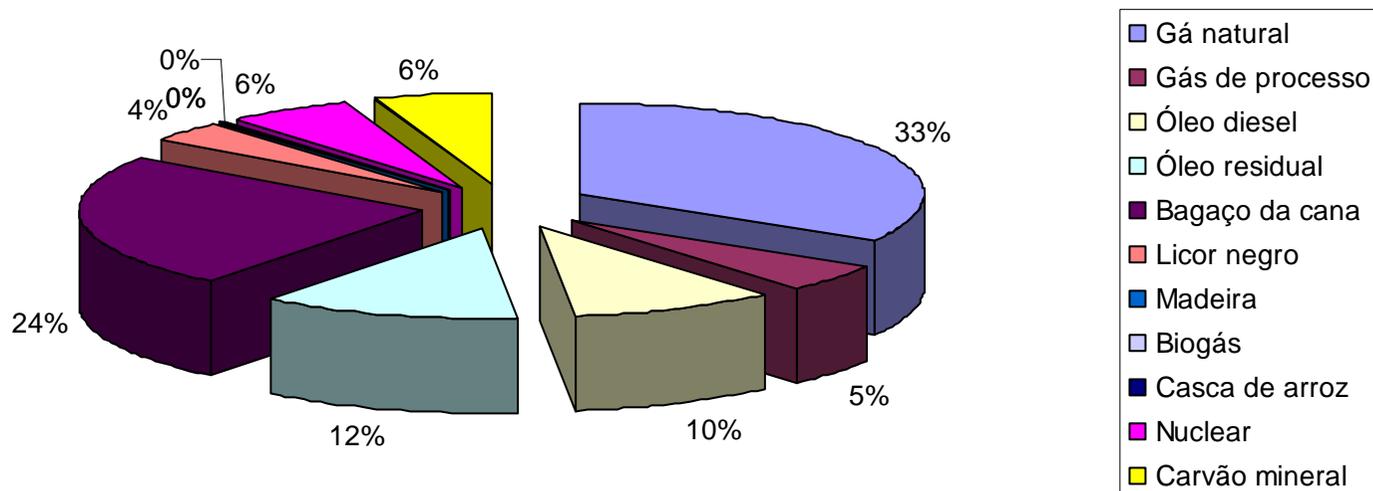
Rendimento = 55%

# Potência Instalada em Termelétricas por Tipo de Combustível-Brasil – 2013

Potência total instalada = 130,7 GW

Potência instalada com Usinas térmicas – 36,1 GW = 27,1%

Gás natural	9,05%
Gás de processo	1,29%
Óleo diesel	2,65%
Óleo residual	3,25%
Bagaço da cana	6,49%
Licor negro	0,95%
Madeira	0,03%
Biogás	0,06%
Casca de arroz	0,03%
Nuclear	1,54%
Carvão mineral	1,50%



# A s e e l i s s i l d d s

Usina	Potência fiscalizada (kW)	Combustível	Ciclo
Governador Leonel Brizola (Ex TermoRio)	<b>1.058.300</b>	Gás Natural	Combinado
Mário Lago (Ex. Macaé Merchant)	<b>922.615</b>	Gás Natural	Aberto
Norte Fluminense	<b>868.925</b>	Gás Natural	Combinado
Santa Cruz	<b>766.000</b>	Gás Natural	Combinado
Uruguaiana	<b>639.900</b>	Gás Natural	Combinado
Mauá (UTM-II)	<b>552.564</b>	Óleo Diesel	Combinado
Termopernambuco	<b>532.755,70</b>	Gás Natural	Combinado
Cuiabá	<b>529.200</b>	Gás Natural	Combinado
Araucária	<b>484.150</b>	Gás Natural	Combinado
Piratininga	<b>472.000</b>	Óleo Combustível	Combinado
Presidente Médici A, B e C	<b>446.000</b>	Carvão Mineral	-
Fernando Gasparian (Ex-Nova Piratininga)	<b>386.080</b>	Gás Natural	Combinado
Barbosa Lima Sobrinho (Ex-Eletrobolt)	<b>379.000</b>	Gás Natural	-
Jorge Lacerda IV	<b>363.000</b>	Carvão Mineral	-
Termo Norte II	<b>349.950</b>	Gás Natural	Combinado

Total de usinas termoeletricas em operação: 1002

Potência total instalada: 21.416.638,12kW

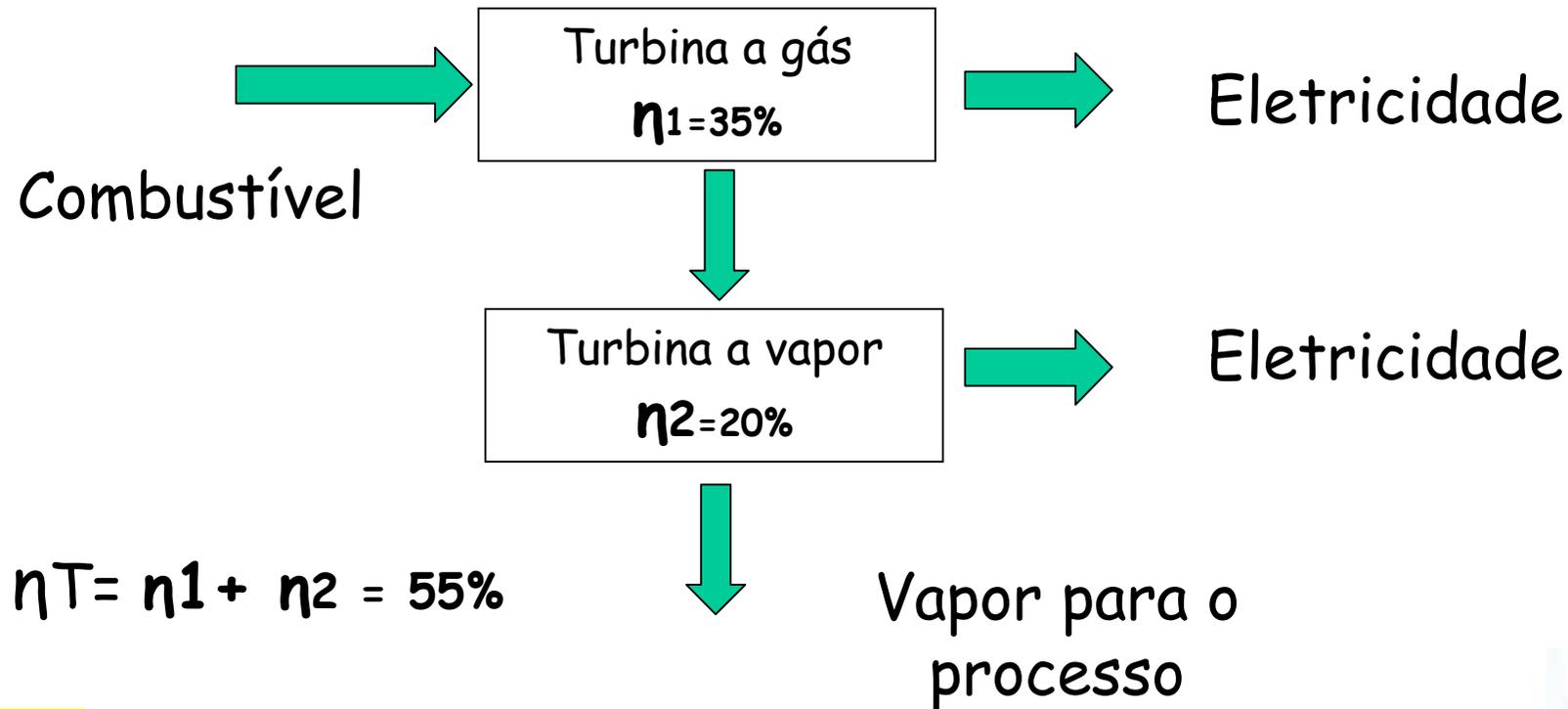
Total de usinas a bagaço de cana: 244

Potência total das usinas a bagaço de cana: 3.046.205,2kW

# 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**



## Alguns números:

- Os avanços tecnológicos já ultrapassaram a barreira dos 60% na geração de eletricidade
- O rendimento médio da geração térmica brasileira através de serviços públicos aumentou de 31% em 1989 para 36% em 2005.
- No mesmo período, o segmento autoprodutor não cresceu mas já parte de uma patamar mais alto = 40%
- Para se comparar, no Japão a eficiência média de 36% em termelétrica já tinha sido atingida em 1965.
- Em 2004, a termelétricas no Japão possuíam eficiência média de 40,4% com algumas unidades chegando a 52%
- A Dinamarca tinha 36% de eficiência média em 1960 e 52% no ano 2000.



**Novos desenvolvimentos em tecnologias:** Direcionados para obter maior eficiência, menores custos e emissões

Exemplos:

- Geradores de vapor supercríticos
- Ciclos combinados ( Rankine + Brayton)
- Novos materiais como ligas de níquel
- Ciclos magneto-hidrodinâmicos
- Queimadores mais eficientes
- Injeção de amônia - combustão
- Usinas de combustão com Leito fluidizado circulante
- Usinas de ciclo combinado com gaseificação integrada
- Captura e sequestro de carbono



## Ex: Ciclo integrado de gaseificação e cogeração

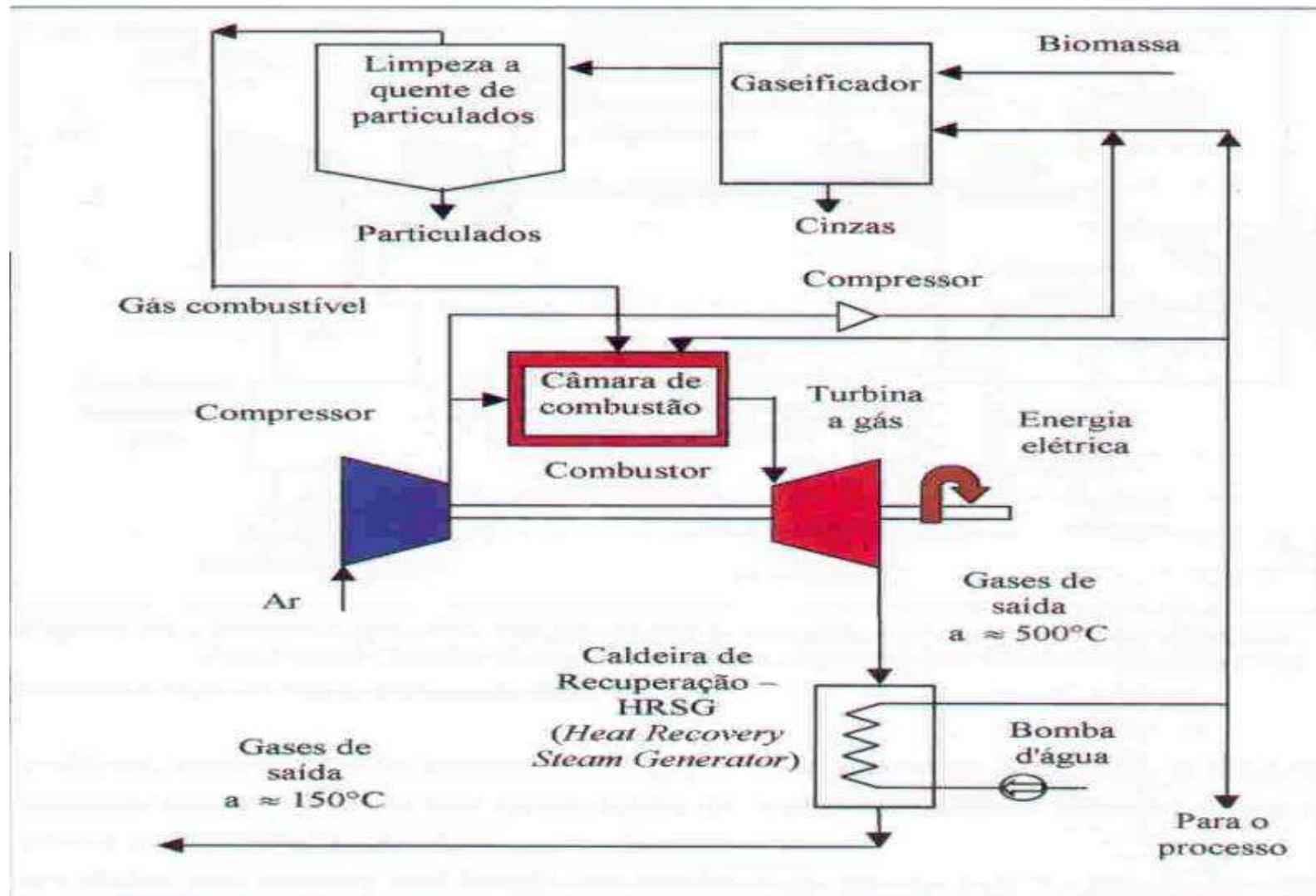


Figura 14 - Turbina a gás com injeção de vapor integrado a gaseificador de biomassa - *Biomass Integrated Gasifier/Steam Injected Gas Turbine (BIG/STIG)*.