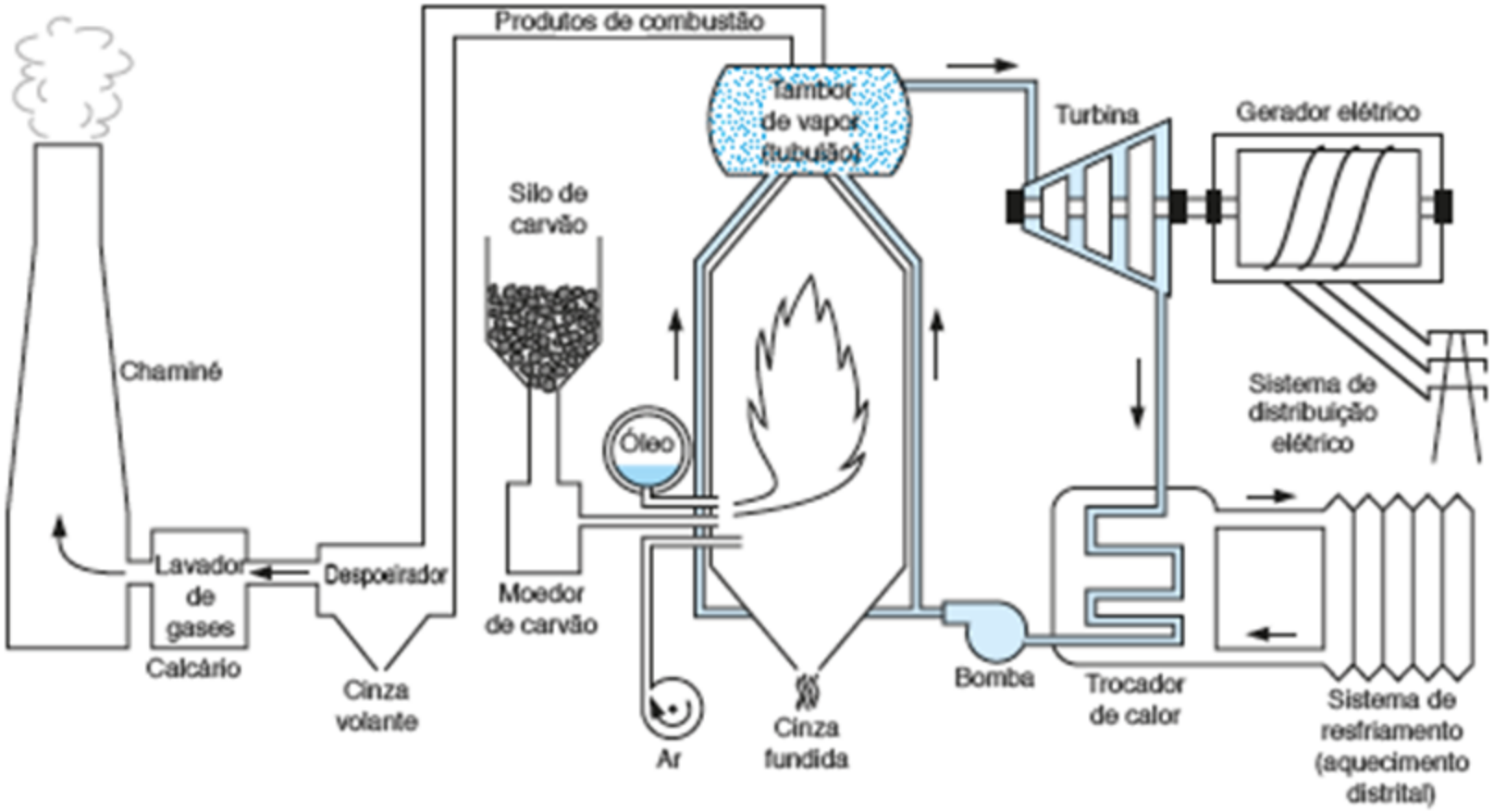
MÁQUINAS TÉRMICAS

Prof. Dr. Charles Assunção

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

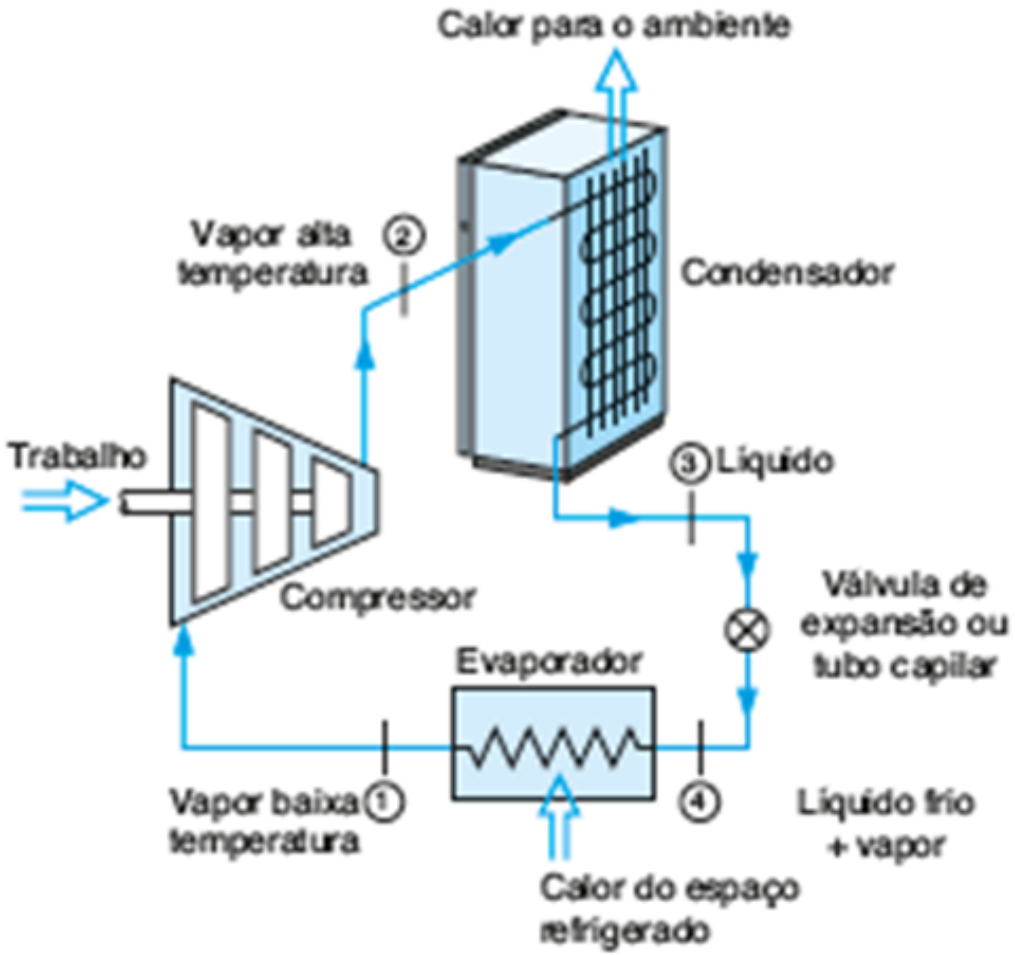
APLICAÇÃO DO ESTUDO DE MÁQUINAS TÉRMICAS



Esquema de uma central termoelétrica a vapor.

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

APLICAÇÃO DO ESTUDO DE MÁQUINAS TÉRMICAS



Esquema de um refrigerador.

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

UNIDADES DE MEDIDA

- **Dimensões primárias (fundamentais) e secundárias (derivadas)**
- **Sistema inglês e sistema internacional**
- **Homogeneidade dimensional**

UNIDADES DE MEDIDA SI

Grandeza	Unidade	Símbolo
Massa	quilograma	kg
Comprimento	metro	m
Tempo	segundo	s
Temperatura	kelvin	K
Quantidade de matéria	mol	mol
Área	metro quadrado	m^2
Volume	metro cúbico	m^3
Velocidade	metro por segundo	$m.s^{-1}$
Aceleração	metro por segundo quadrado	$m.s^{-2}$
Força	newton	N
Pressão	pascal	Pa
Energia	joule	J
Potência	Watt	W

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

UNIDADES DE MEDIDA

Prefixo	Símbolo	Potência de Base 10	Equivalente Decimal
yotta	Y	10^{24}	1000000000000000000000000
zetta	Z	10^{21}	1000000000000000000000
exa	E	10^{18}	1000000000000000000
peta	P	10^{15}	1000000000000000
tera	T	10^{12}	1000000000000
giga	G	10^{9}	1000000000
mega	M	10^{6}	1000000
quilo	k	10^{3}	1000
hecto	h	10^{2}	100
deca	da	10^{1}	10
nenhum	nenhum	10^{0}	1
deci	d	10^{-1}	0,1
centi	c	10^{-2}	0,01
mili	m	10^{-3}	0,001
micro	μ	10^{-6}	0,000001
nano	n	10^{-9}	0,000000001
pico	p	10^{-12}	0,000000000001
femto	f	10^{-15}	0,000000000000001
atto	a	10^{-18}	0,000000000000000001
zepto	z	10^{-21}	0,000000000000000000001
yocto	y	10^{-24}	0,000000000000000000000001

Fonte: http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/prefixos-sistema-internacional-unidades.htm

SISTEMA INTERNACIONAL E SISTEMA INGLÊS

GRANDEZA	INTERNACIONAL		INGLÊS	
	Unidade	Símbolo	Unidade	Símbolo
Massa	quilograma	kg	libra-massa	lbm
Comprimento	metro	m	pé	pé (ft)
Tempo	segundo	s	segundo	s
Temperatura	kelvin	K	rankine	R
Quantidade de matéria	mol	mol	mol	mol

EXERCÍCIOS

Celesc Distribuição S.A.

Celesc Distribuicao S.A
Itamarati, 160 - - Florianopolis
CNPJ: 08.336.783/0001-90 Insc.Est.: 255266626

Conta de Energia Elétrica

EMISSÃO: 05/02/2016 APRES.: 15/02/2016 NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE ÚNICA: 000.000.796.369 - FAT-01-20161948515810-2 REF.: 02/2016

CHARLES SOSTENES ASSUNCAO

Classificação: RESIDENCIAL / CONVENCIONAL / TRIFASICO
Tensão nominal ou contratada (V): 220 / 380
Limites adequados de tensão (V): 201 a 231
Grupo de Tensão: B Tipo de Tarifa: Convencional

Nº DA UNIDADE CONSUMIDORA	VENCIMENTO 10/03/2016
	CONSUMO TOTAL FATURADO 124 kWh
ATENDIMENTO AO CLIENTE LIGUE 0800 480120	VALOR ATÉ O VENCIMENTO R$ 78,84

Calcule a redução no valor da conta de energia elétrica (R$) se um aparelho de potência 100 W que ficava o tempo todo ligado for desligado durante todo o mês seguinte. Considerar que os dois meses têm 30 dias e todas os outros aparelhos serão usados de forma igual ao mês anterior.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

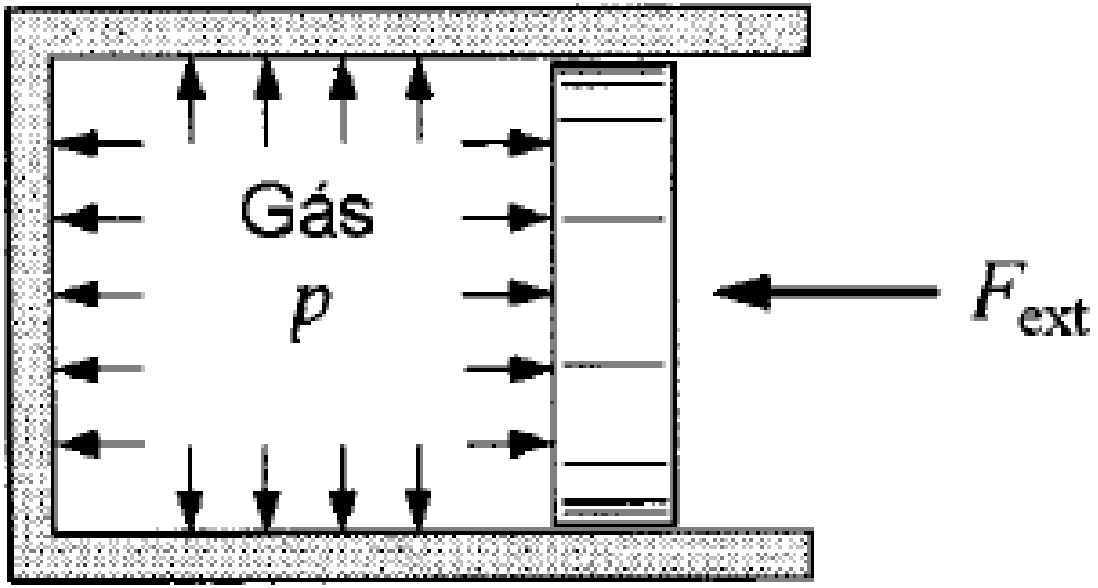
EXERCÍCIOS

Se o líquido no interior da lata fosse colocado em uma balança, qual seria a indicação se a massa específica do líquido é de 1,03g/ml?

Fonte: http://supercolecao.com/colecoes/latas/coca-cola-fuleco-mascote/3561/

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

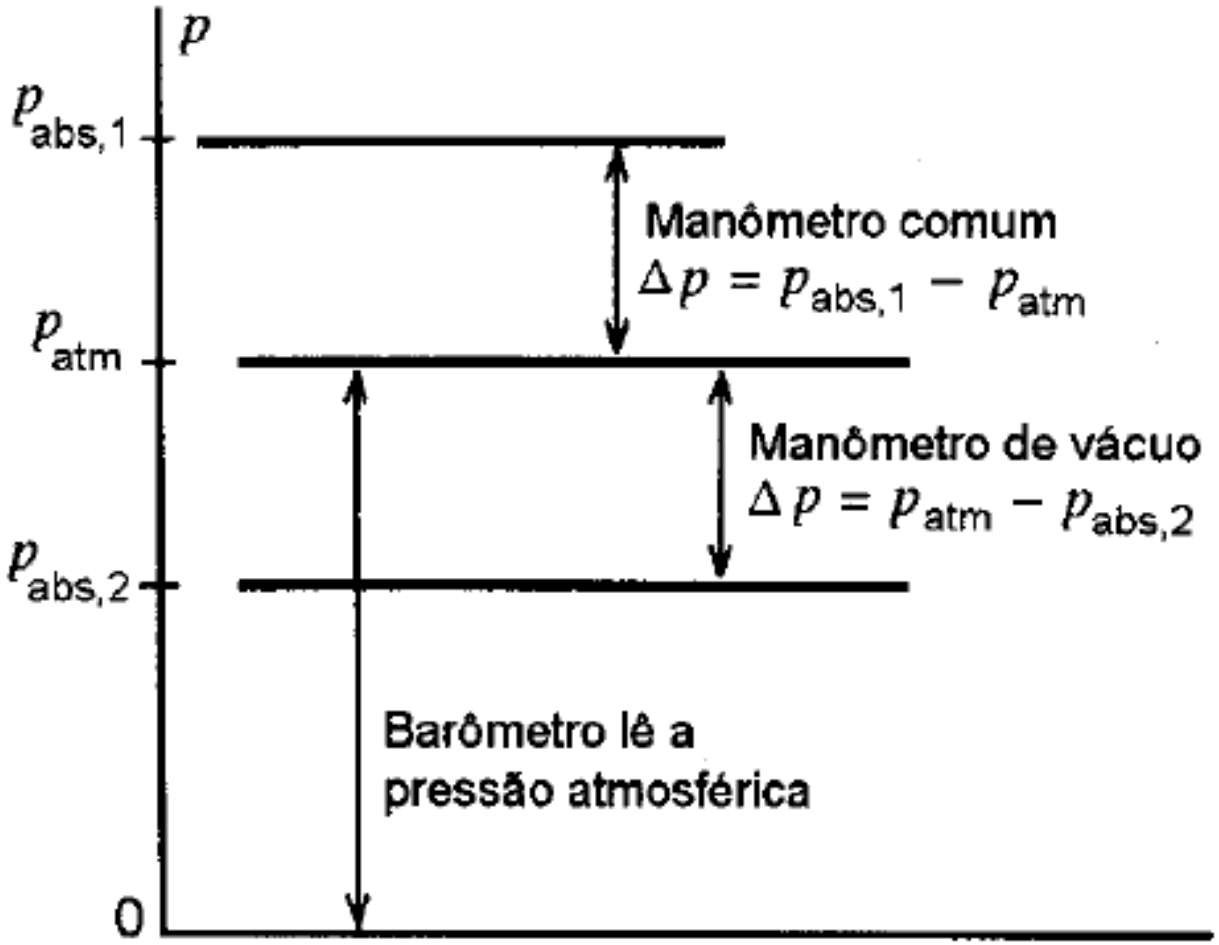
PRESSÃO



$$P = \frac{F}{A}$$

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

PRESSÃO



Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

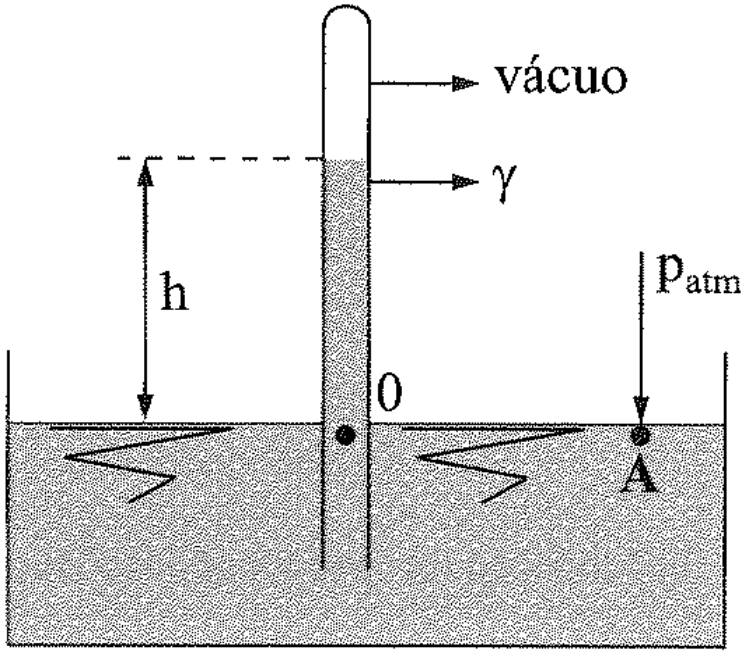
PRESSÃO

Nome de Faixa de Vácuo	Valores que a define	Principais Usos da Faixa
Vácuo Primário	De 1 013 mbar a 1 mbar	Secagem, Destilação, Degaseificação
Vácuo Médio	De 1 mbar a 10E-3 mbar	Destilação molecular Liofilização, Fornos de fundição e fusão, Fornos a arco
Alto Vácuo	De 10E-3 mbar a 10E-7 mbar	Evaporação de revestimentos, Polimento de cristais, Espectrômetros de massa, Fornos de feixe eletrônico, Produção de válvulas, Aceleradores de Partículas
Ultra Alto Vácuo	<10E-7 mbar	Fusão nuclear, Pesquisa sobre o espaço, Física da superfície, Aneis de acelerômetro, Pesquisa de materiais

Fonte: Rodolfo Lopes é consultor de Consensum Ind. Com. Ltda.

MEDIDORES DE PRESSÃO

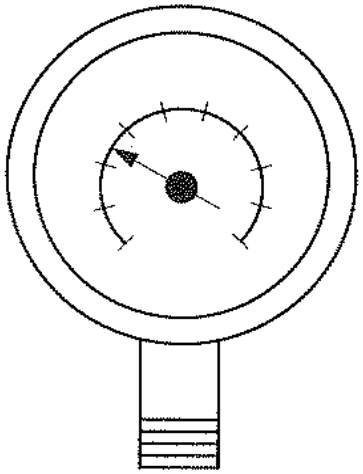
Barômetro

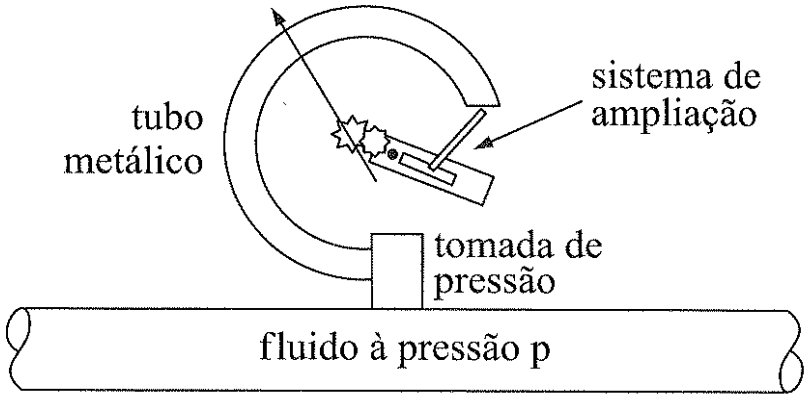


Fonte: Franco Brunetti. Mecânica do Fluidos. Pearson.

MEDIDORES DE PRESSÃO

Manômetro metálico ou de Bourdon

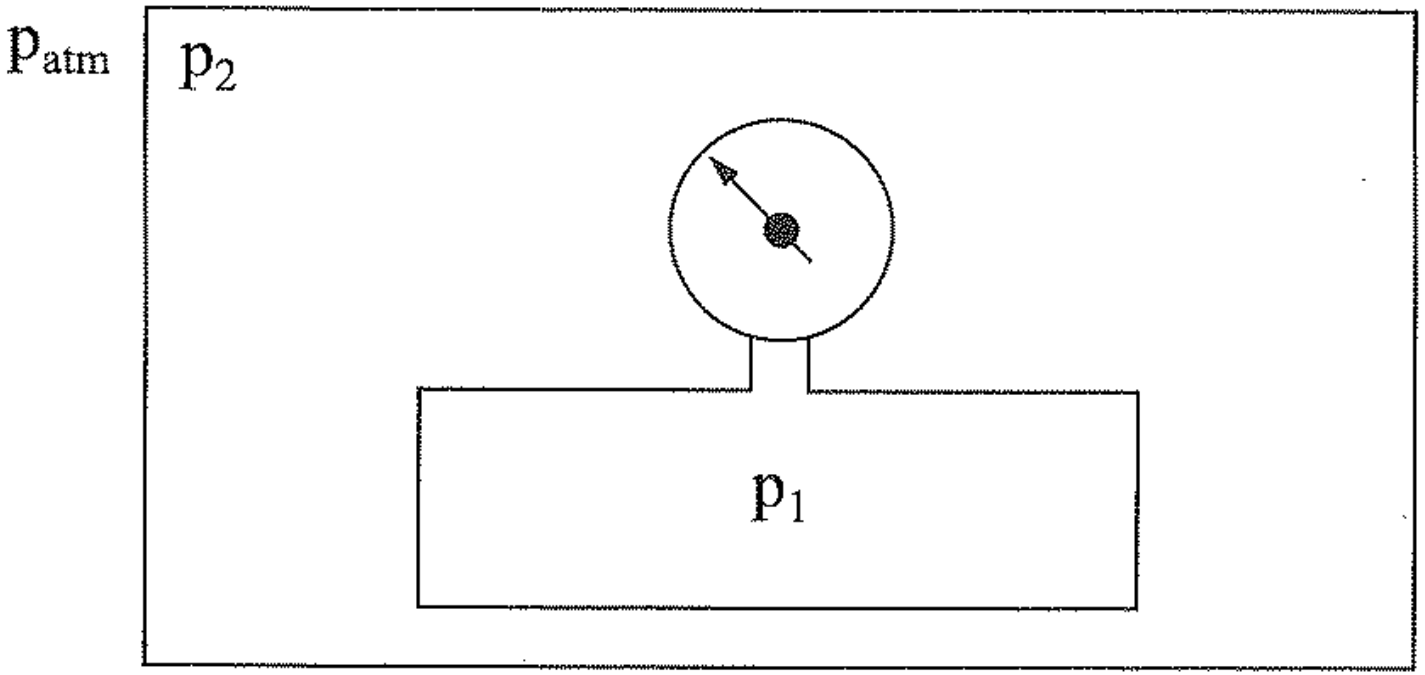




Fonte: Franco Brunetti. Mecânica do Fluidos. Pearson.

MEDIDORES DE PRESSÃO

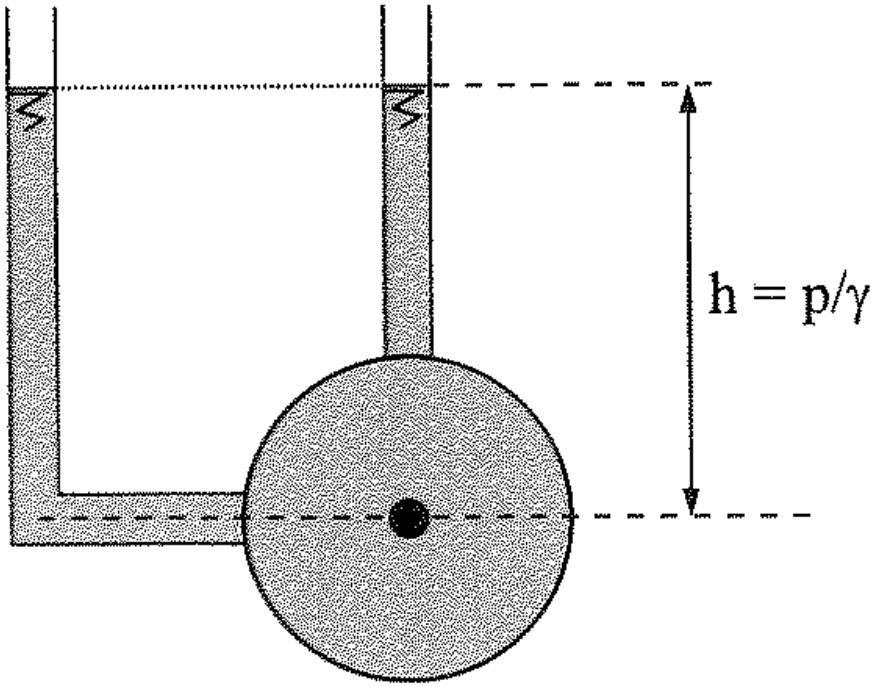
Qual é a leitura do manômetro abaixo?



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

MEDIDORES DE PRESSÃO

Piezômetro



Limitações:

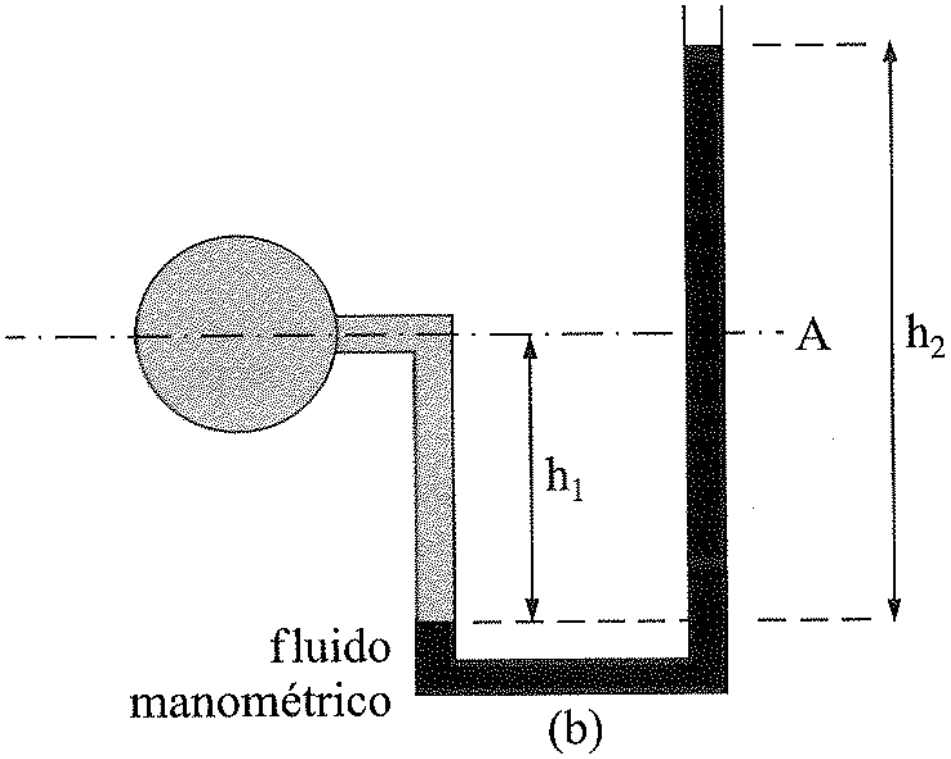
- **Altura da coluna**
- **Uso de gases**
- **Pressões efetivas negativas**

Fonte: Franco Brunetti. Mecânica do Fluidos. Pearson.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

MEDIDORES DE PRESSÃO

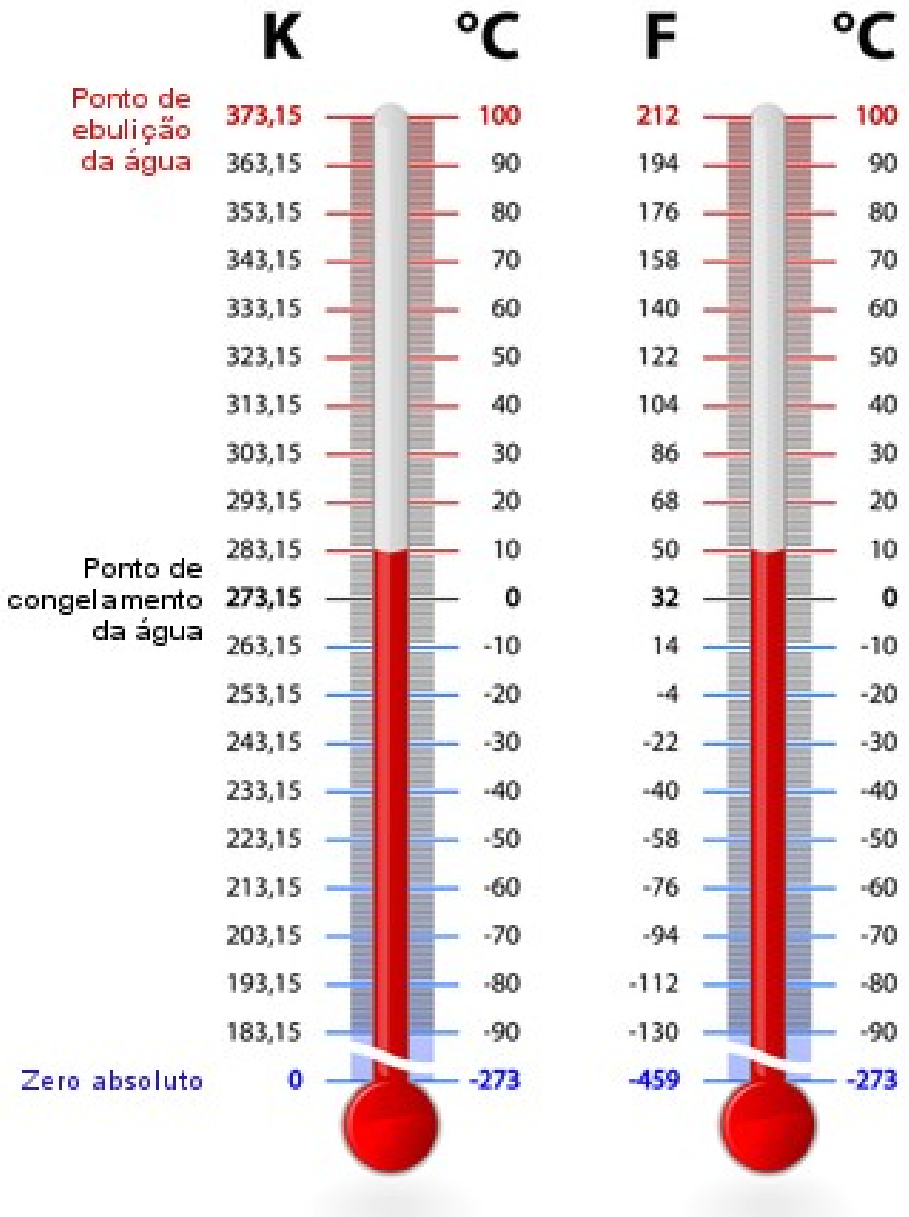
Manômetro com tubo em U



Fonte: Franco Brunetti. Mecânica do Fluidos. Pearson.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

ESCALAS DE TEMPERATURA



$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

$$K = C + 273{,}15$$

$$R = F + 459{,}67$$

Fonte: http://www.infoescola.com/fisica/conversao-de-escalas-termometricas

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

ESCALAS DE TEMPERATURA

MASSA, VOLUME E DENSIDADE

Massa: quantidade de matéria [kg]
Volume: espaço ocupado pela matéria [m^3]
Densidade: razão entre a massa e o volume [kg/m^3]

CALOR ESPECÍFICO

Quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de um grama de determinada substância em 1°C

Material	Calor Específico	
	(J/kg.K)	(cal/g.K)
Ouro	129	0,031
Prata	235	0,056
Cobre	385	0,092
Aço	435	0,104
Ferro	448	0,107
Vidro	670	0,16
Cimento (bloco)	780	0,186
Lã de vidro	800	0,19
Tijolo	835	0,199
Areia	840	0,2
Alumínio	903	0,216
Papel	1.340	0,320
Gelo	2.093	0,5
Água	4.186	1,000

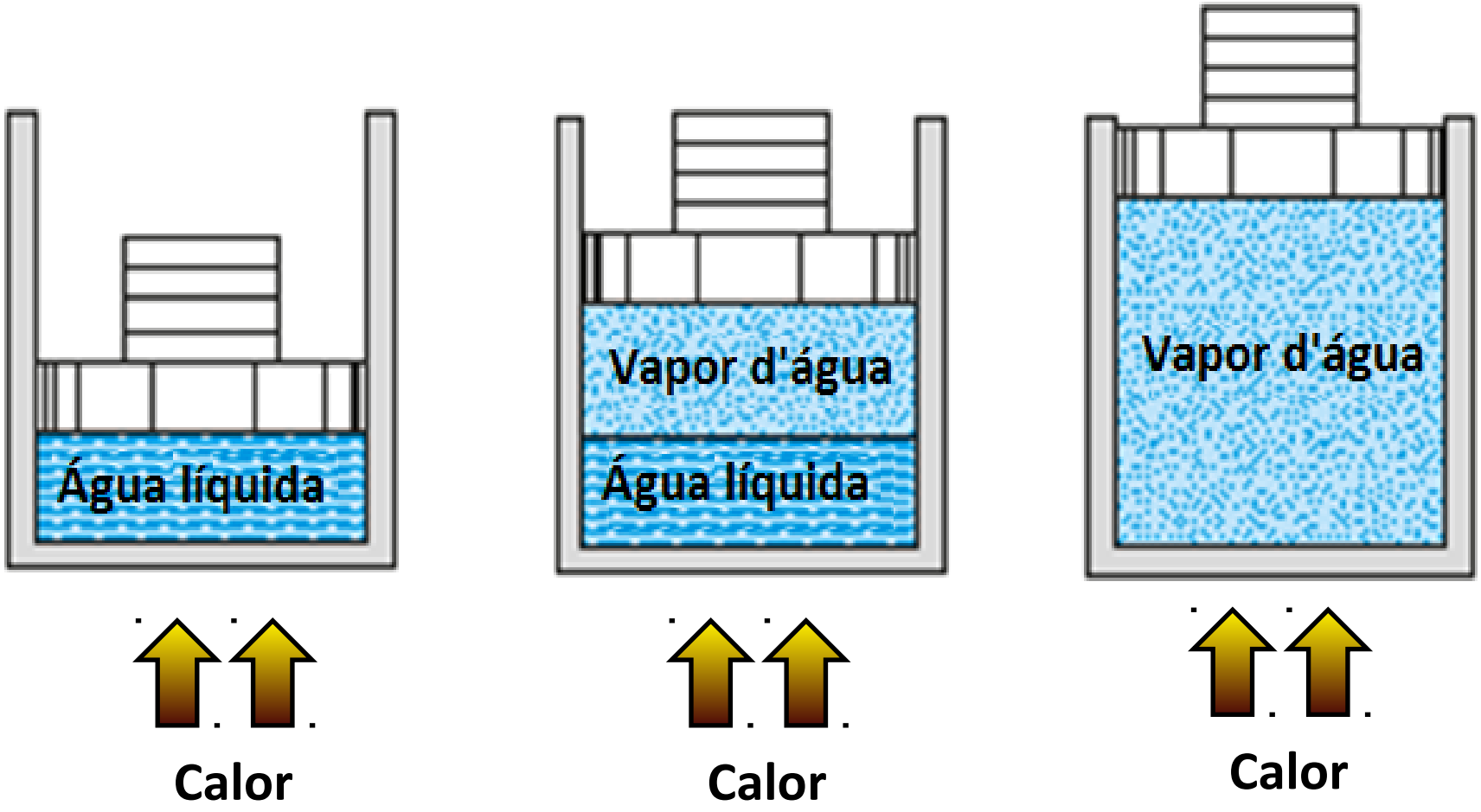
INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

SUBSTÂNCIAS PURAS

- **Substância pura: aquela que possui composição química invariável e homogênea**

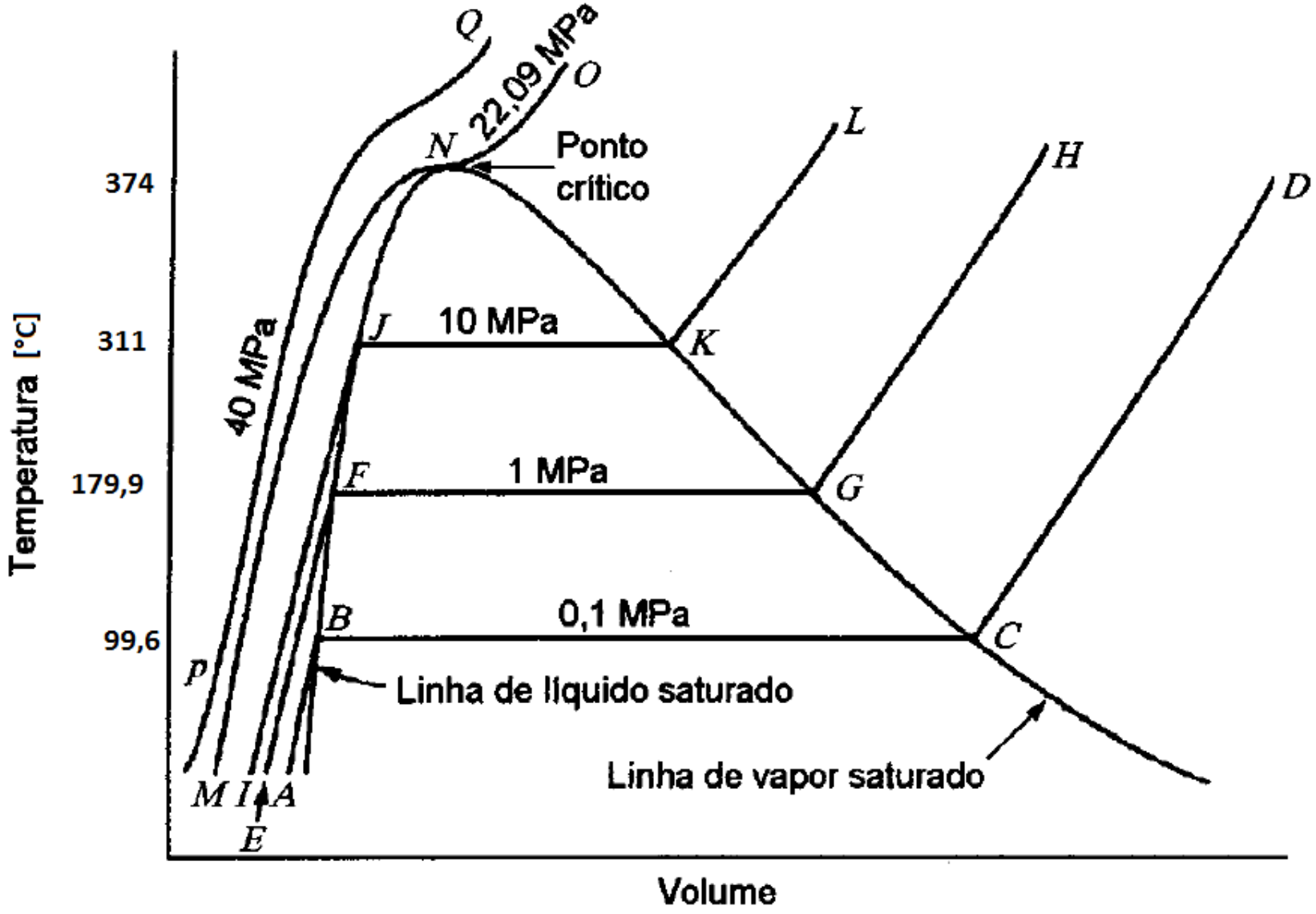
- **Fase: é identificada por uma organização molecular distinta , que é homogênea em toda a fase e separada das outras fases por fronteiras facilmente identificáveis**

MUDANÇA DE FASE EM UMA SUBSTÂNCIA PURA



Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

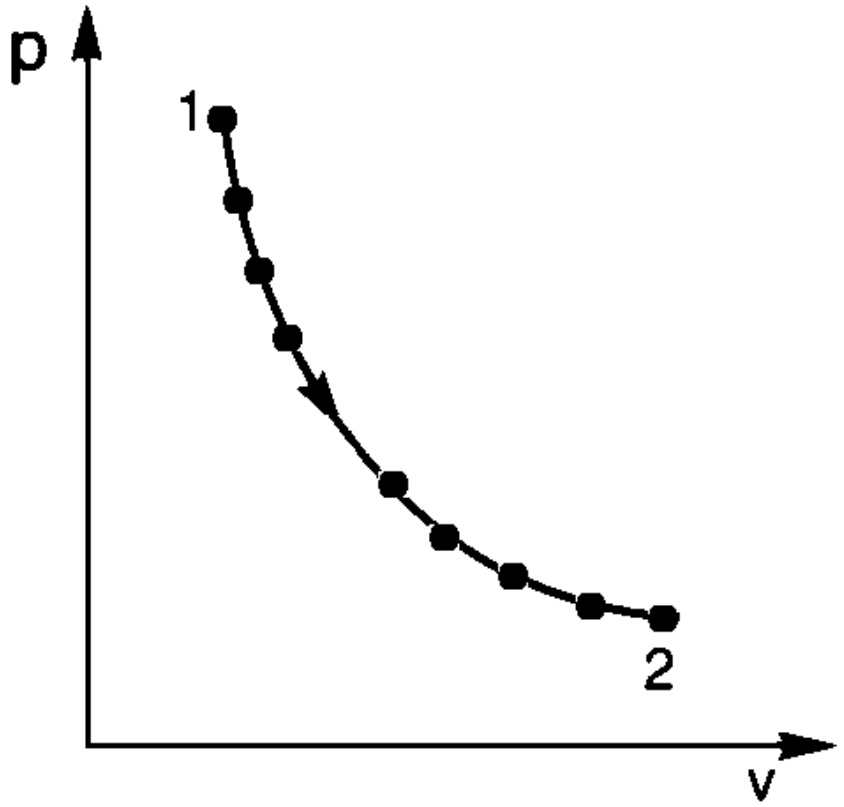
DIAGRAMA TEMPERATURA VOLUME PARA ÁGUA



Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

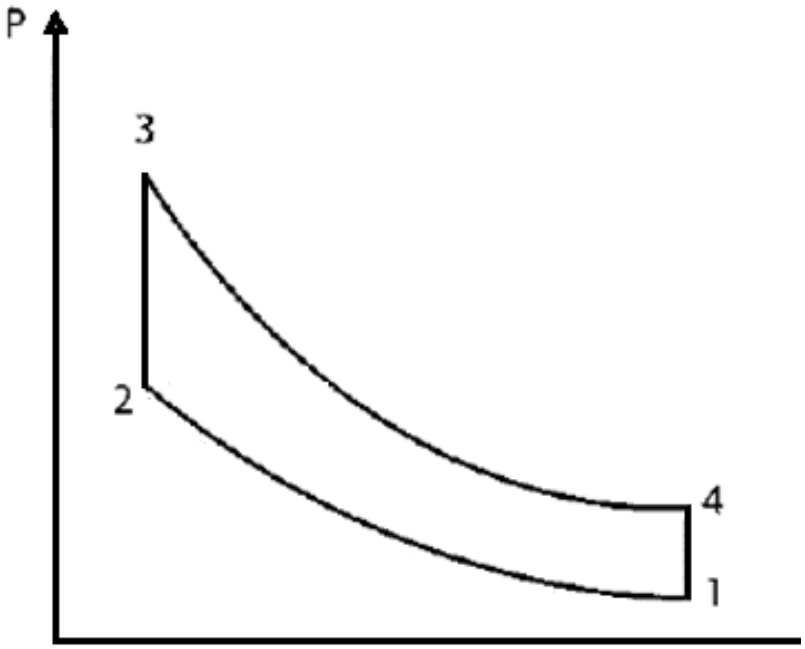
PROCESSOS E CICLOS

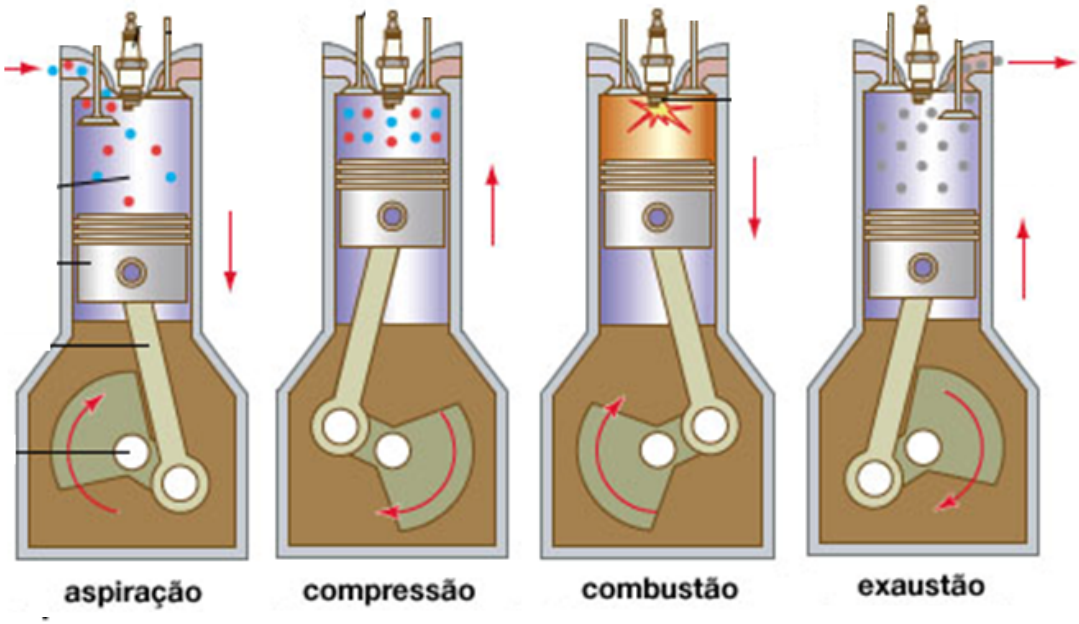
<u>Processo</u>: caminho definido pela sucessão de estados quando ocorre uma mudança em um sistema



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

PROCESSOS E CICLOS





<u>Ciclo</u>: é quando um sistema, em um dado estado inicial, passa por mudanças de estado ou processos e retorna ao estado inicial. Desta forma, todas as propriedades apresentam os mesmos valores iniciais.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

ENERGIA

É a capacidade de realizar trabalho. Tipos de energia: térmica, mecânica, elétrica, magnética, química, etc.

As unidades usuais de energia são caloria [cal], Joule [J], quilowatt-hora [kWh].

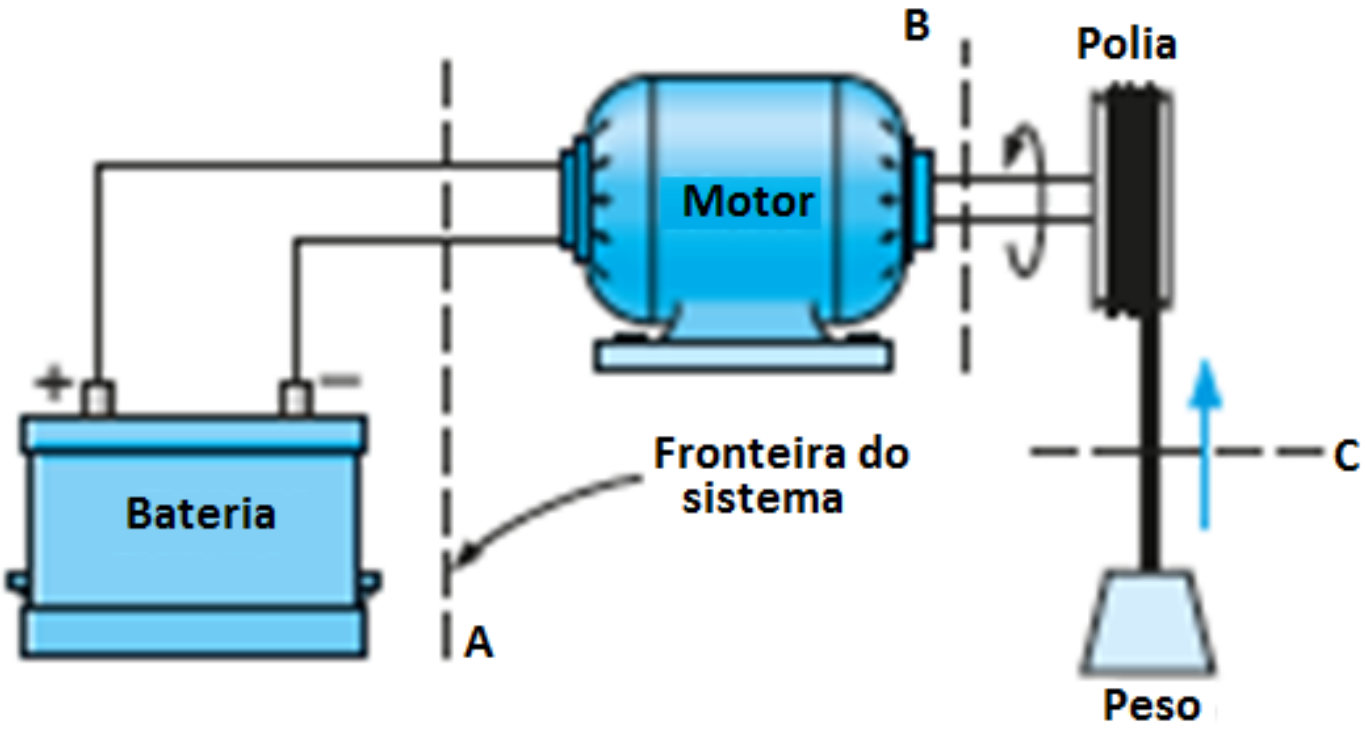
INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

TRABALHO

O trabalho pode ser definido como uma força *F* agindo ao longo de um deslocamento *x*.

Definição termodinâmica: um sistema realiza trabalho se o único efeito sobre o meio puder ser o levantamento de um peso.

FORMAS DE TRABALHO

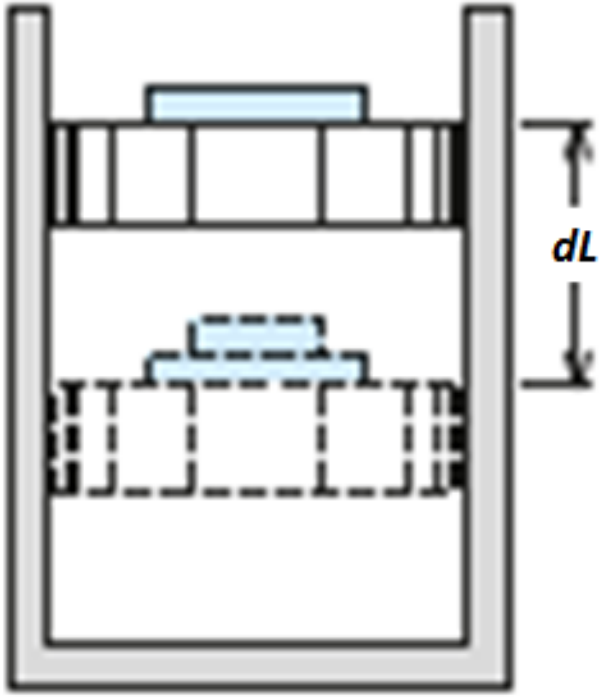


Exemplo de trabalho atravessando a fronteira de um sistema

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

TRABALHO DEVIDO AO MOVIMENTO DE FRONTEIRA



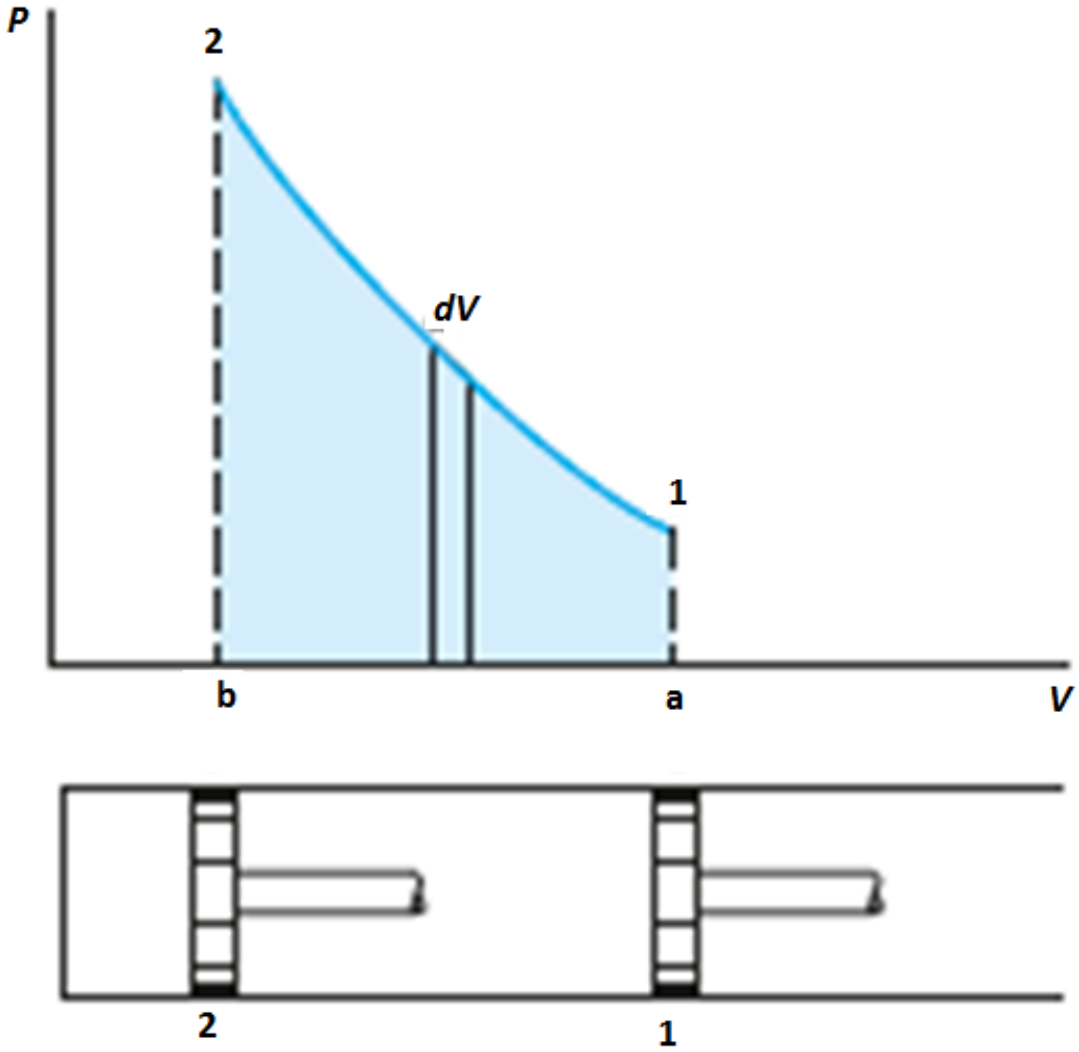
$$W = P.\Delta V$$

Trabalho em um processo quase estático

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

TRABALHO DEVIDO AO MOVIMENTO DE FRONTEIRA



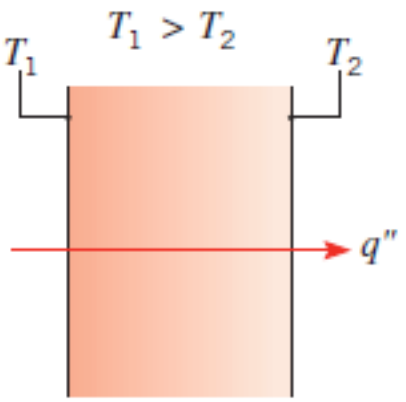
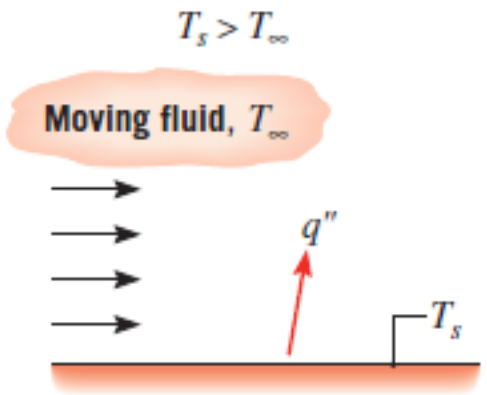
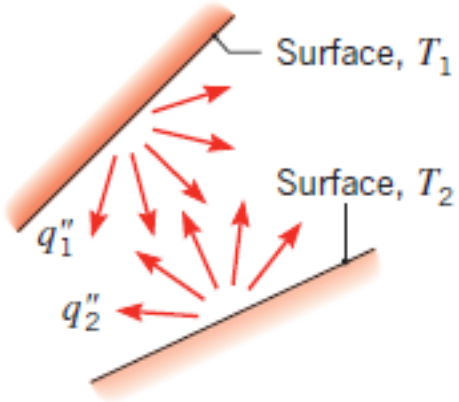
Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

CALOR

É uma forma de transferência de energia através da fronteira de um sistema, numa dada temperatura, a outro sistema ou , que apresenta uma temperatura inferior, em virtude da diferença de temperatura

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Conduction through a solid or a stationary fluid	Convection from a surface to a moving fluid	Net radiation heat exchange between two surfaces
		

Fonte: Incropera; DeWitt; Bergman; Lavine. Fundamento de transferência de calor e massa. LTC.

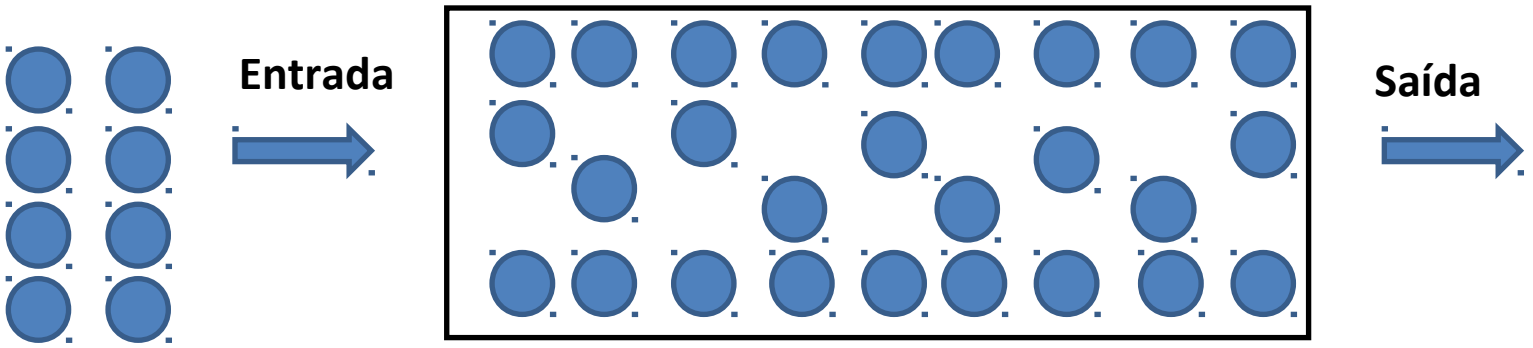
CONSIDERAÇÕES SOBRE TRABALHO E CALOR

- São fenômenos transitórios. Os sistemas não possuem calor ou trabalho, mas eles atravessam a fronteira do sistema quando ocorre alguma variação no estado do sistema
- São fenômenos de fronteira e representam uma forma de transferência de energia

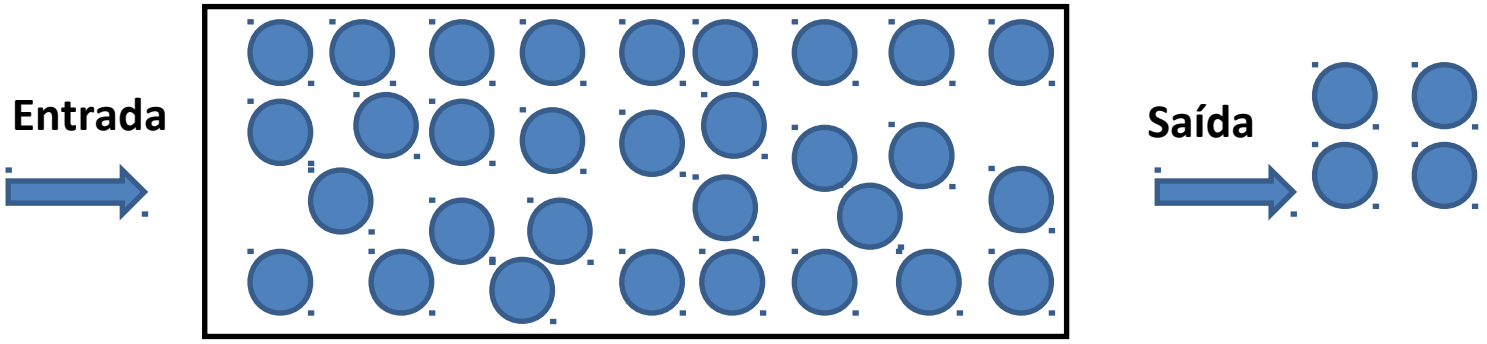
PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Qual é a variação de objetos dentro do retângulo?

Estado 1



Estado 2



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

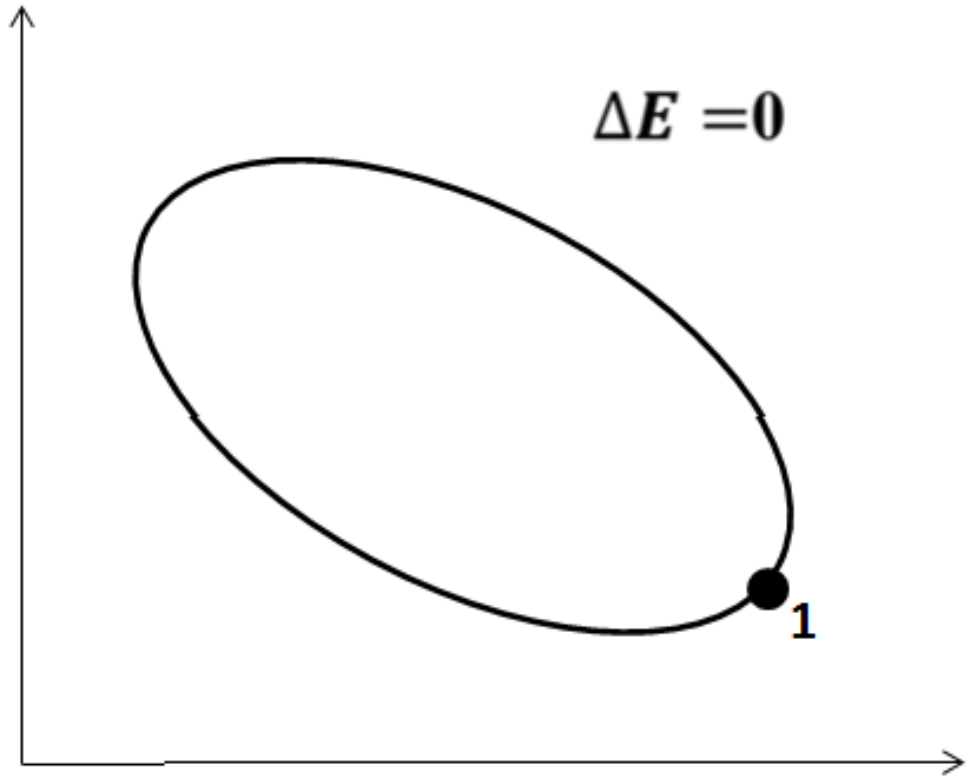
A variação de energia de um sistema pode ser expressa das seguintes formas:

$$\Delta E = E_{final} - E_{inicial} \quad \textbf{ou} \quad \Delta E = E_{ent} - E_{sai}$$

$$E = U + EC + EP$$

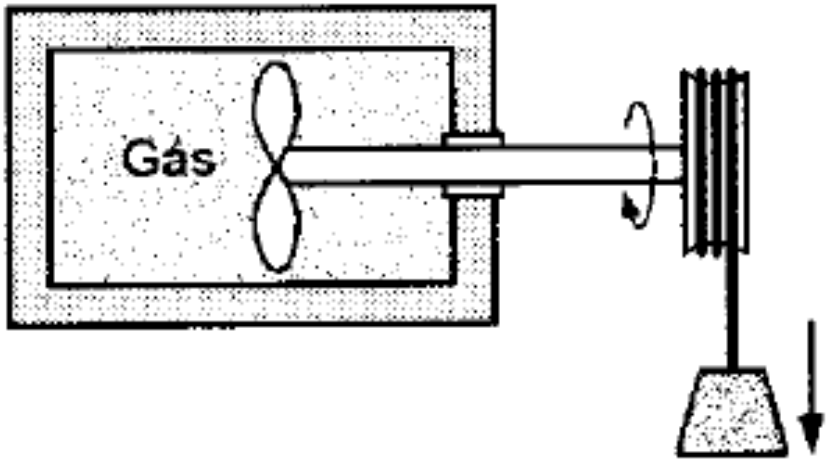
INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

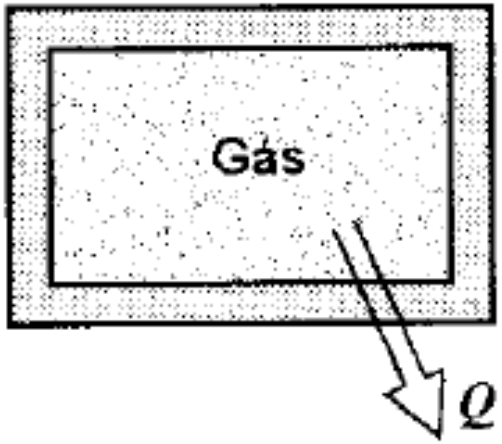
PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA PARA UM CICLO



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA PARA UM CICLO





PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A energia transferida pode ser expressa em termos de taxa de transferência de energia.

- **1º lei em termos de energia** $Q_{1-2} = \Delta E + W_{1-2}$

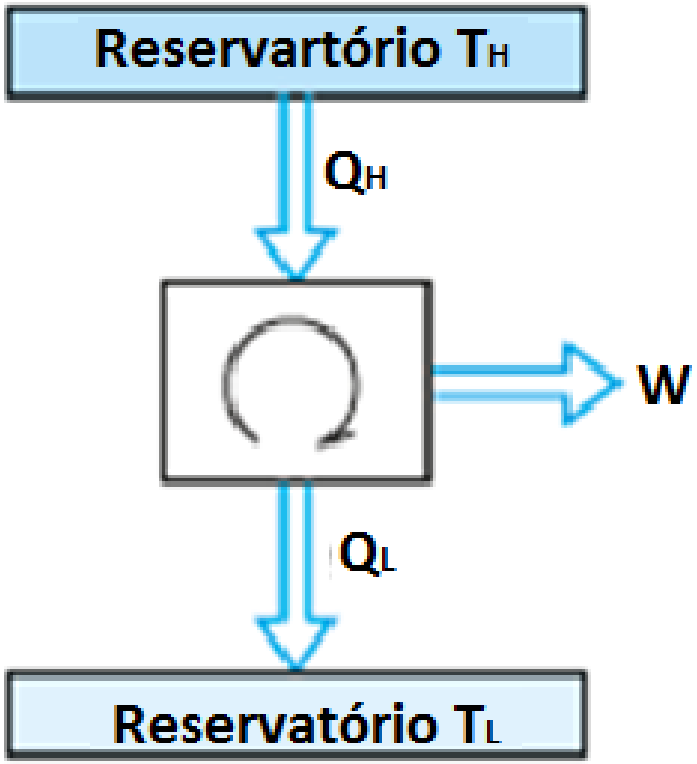
- **1º lei em termos de taxa de transferência de energia (potência):**

$$\dot{Q} = \frac{dE}{dt} + \dot{W}$$

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

MÁQUINAS TÉRMICAS

Definição: são dispositivos que transformam calor em trabalho mecânico

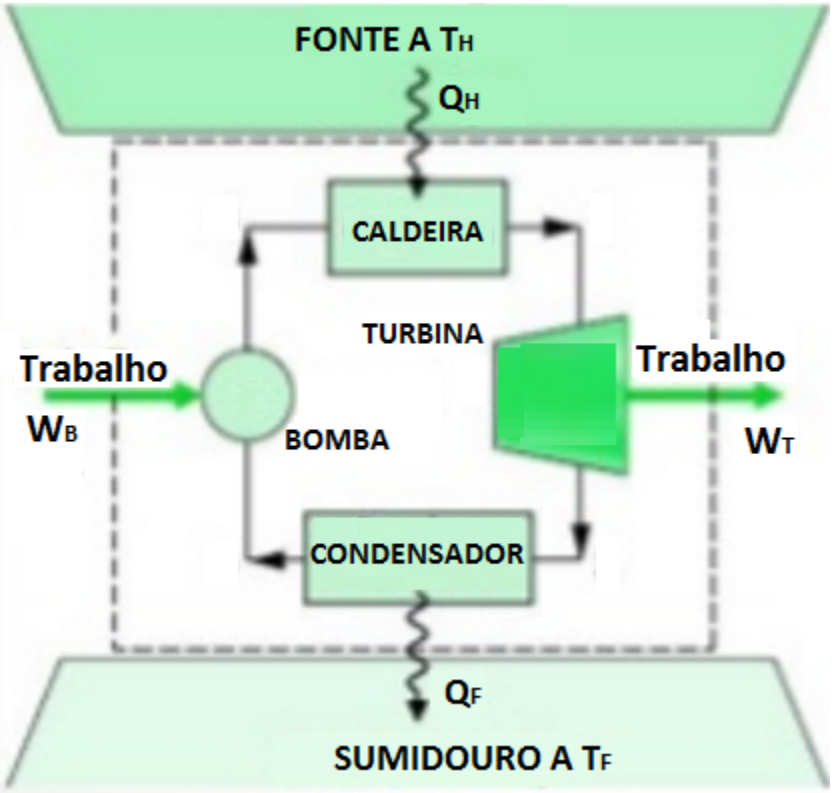


Características

- **Recebem calor de uma fonte à alta temperatura**
- **Convertem parte desse calor em trabalho**
- **Rejeitam o restante do calor para um sumidouro à baixa temperatura**
- **Operam em ciclo**

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

MÁQUINAS TÉRMICAS

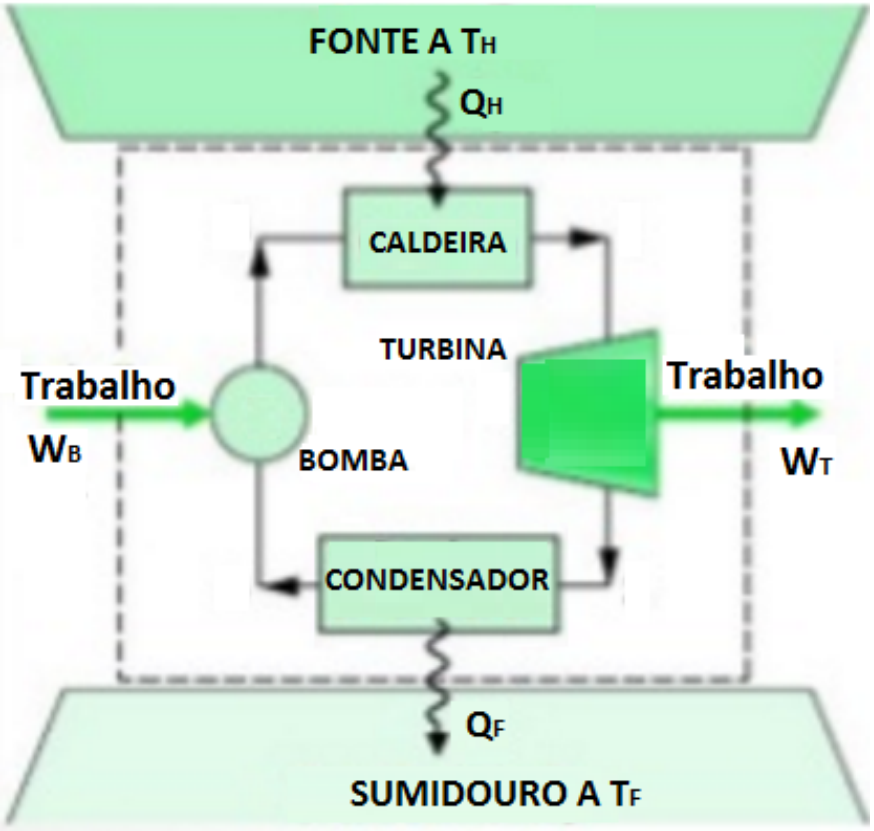


Representação de uma usina de potência a vapor

- **Recebem calor de uma fonte à alta temperatura**
- **Convertem parte desse calor em trabalho**
- **Rejeitam o restante do calor para um sumidouro à baixa temperatura**
- **Operam em ciclo**

Fonte: http://pt.slideshare.net/bowmanguimaraes/1-ciclo-rankine-1-36534773.

EFICIÊNCIA DE MÁQUINAS TÉRMICAS



Pela 1° lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta E + W$$

$$Q_{líq} = W_{líq}$$

$$Q_H - Q_F = W_{líq}$$

Pela definição de eficiência:

$$\eta = \frac{Resultado}{Custo}$$

$$\eta = \frac{W_{líq}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_F}{Q_H}$$

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

COMBUSTÃO

É uma reação química de oxidação de um combustível, na presença de temperatura e/ou pressão, resultando na liberação de calor útil e produção de chama

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

Reagentes **Produtos**

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

COMBUSTÃO

Combustível: definido como uma substância sólida, líquida ou gasosa, que deve ter fácil ignição e queima para produzir calor, luz ou outra forma de energia útil. O processamento industrial interessa-se na combustão para produzir calor (reação chamada exotérmica)

Poder Calorífico Inferior: É a energia liberada durante uma reação de combustão desconsiderando a energia gasta para formação da água no estado líquido. Depende da composição do combustível

COMBUSTÃO

Tabela de PCI de vários combustíveis

COMBUSTÍVEL	Pci	COMBUSTÍVEL	Pci
Álcool de cana	5.500 kcal/l	Gás natural	9.000 kcal/m^3
Aparas vinilo	6.300 kcal/kg	Lascas de madeira	3.300 kcal/kg
Bagaço de cana (20% água)	3.200 kcal/kg	Lenha (40% água)	2.400 kcal/kg
Bagaço de cana (50% água)	1.800 kcal/kg	Lenha (seca) (12% água)	3.800 kcal/kg
Bambœ (10% água)	3.700 kcal/kg	Madeira de caixotes	3.800 kcal/kg
Borra de café	1.570 kcal/kg	Madeira muito seca	4.800 kcal/kg
Carvão de babaú	7.000 kcal/kg	Madeira de pinho (seca ao ar)	3.500 kcal/kg
Carvão mineral-Cambul/PR	6.200 kcal/kg	Madeira verde	2.500 kcal/kg
Carvão mineral-Charqueadas/RS	3.100 kcal/kg	Óleo combustível 1A	9.550 kcal/kg
Carvão mineral-Mina do Leão/RS	4.200 kcal/kg	Óleo combustível 2A	9.431 kcal/kg
Carvão mineral-Tubarão/SC	4.500 kcal/kg	Óleo combustível 3A	9.388 kcal/kg
Carvão vegetal	7.500 kcal/kg	Óleo combustivel 4A	9.291 kcal/kg
Casca árvore	2.200 kcal/kg	Óleo combustivel 7A	9.290 kcal/kg
Casca algodão	3.000 kcal/kg	Óleo de algodão	8.050 kcal/l
Casca de amêndoa dendê	4.800 kcal/kg	Óleo de amendoim	8.000 kcal/l
Casca de arroz (12% água)	3.300 kcal/kg	Óleo de babaçu	7.770 kcal/l
Casca de babaçu	4.000 kcal/kg	Óleo de soja	8.125 kcal/l

COMBUSTÃO

Tabela de PCI de vários combustíveis

COMBUSTÍVEL	Pci	COMBUSTÍVEL	Pci
Casca de cacau (8% água)	3.900 kcal/kg	Óleo diesel	8.466 kcal/l
Casca de café	3.800 kcal/kg	Palha de amendoim (12% água)	3.100 kcal/kg
Casca de caju	4.700 kcal/kg	Palha de trigo (20% água)	3.200 kcal/kg
Casca de côco	4.000 kcal/kg	Papel	4.200 kcal/kg
Casca de eucalipto	3.750 kcal/kg	Piche alcatrão	8.600 kcal/kg
Casca de tanino (68% água)	800 kcal/kg	Pó de linho	4.000 kcal/kg
Casa de soja	3.300 kcal/kg	Pó de madeira fino (seco)	4.000 kcal/kg
Cavaco (eucalipto)	4.300 kcal/kg	Pó de madeira grosso(seco)	4.200 kcal/kg
Cavacos de pinho	2.500 kcal/kg	Pó tabaco	2.300 kcal/kg
Coque de gás	5.400 kcal/kg	Querosene	8.300 kcal/l
Coque de lenha	7.600 kcal/kg	Recortes de couro (14% água)	4.400 kcal/kg
Coque metalúrgico	7.200 kcal/kg	Resíduos de juta	3.800 kcal/kg
Fibras de palmeira (48% água)	2.000 kcal/kg	Restos de borracha	4.000 kcal/kg
Fibras de palmito	3.800 kcal/kg	Sementes de girassol (9,5% água)	4.300 kcal/kg
Filme polietileno	5.600 kcal/kg	Serragem de pinho (40% água)	2.000 kcal/kg
Gás de água	4.000 kcal/m^3	Serragem seca (20% água)	3.500 kcal/kg
Gás de água carburetado	6.000 kcal/m^3	Serragem + Cepilho (seco)	4.600 kcal/kg
Gás alto forno	700 kcal/m^3	Sisal (11% água)	3.400 kcal kg
Gás de biodigestor (biogás)	5.000 kcal/m^3	Sobra de serraria (pinho)	4.160 kcal/kg
Gás de coqueira	4.300 kcal/m^3	Tecido nailon	7.300 kcal/kg
Gás de gasogênio	1.260 kcal/m^3	Trapos de pano	4.200 kcal/kg
Gás de nafta	4.750 kcal/m^3	Turfa (seca ao ar 25 a 6% água)	3000-5000 kcal/kg
Gás GLP (50%)	11.200 kcal/kg		

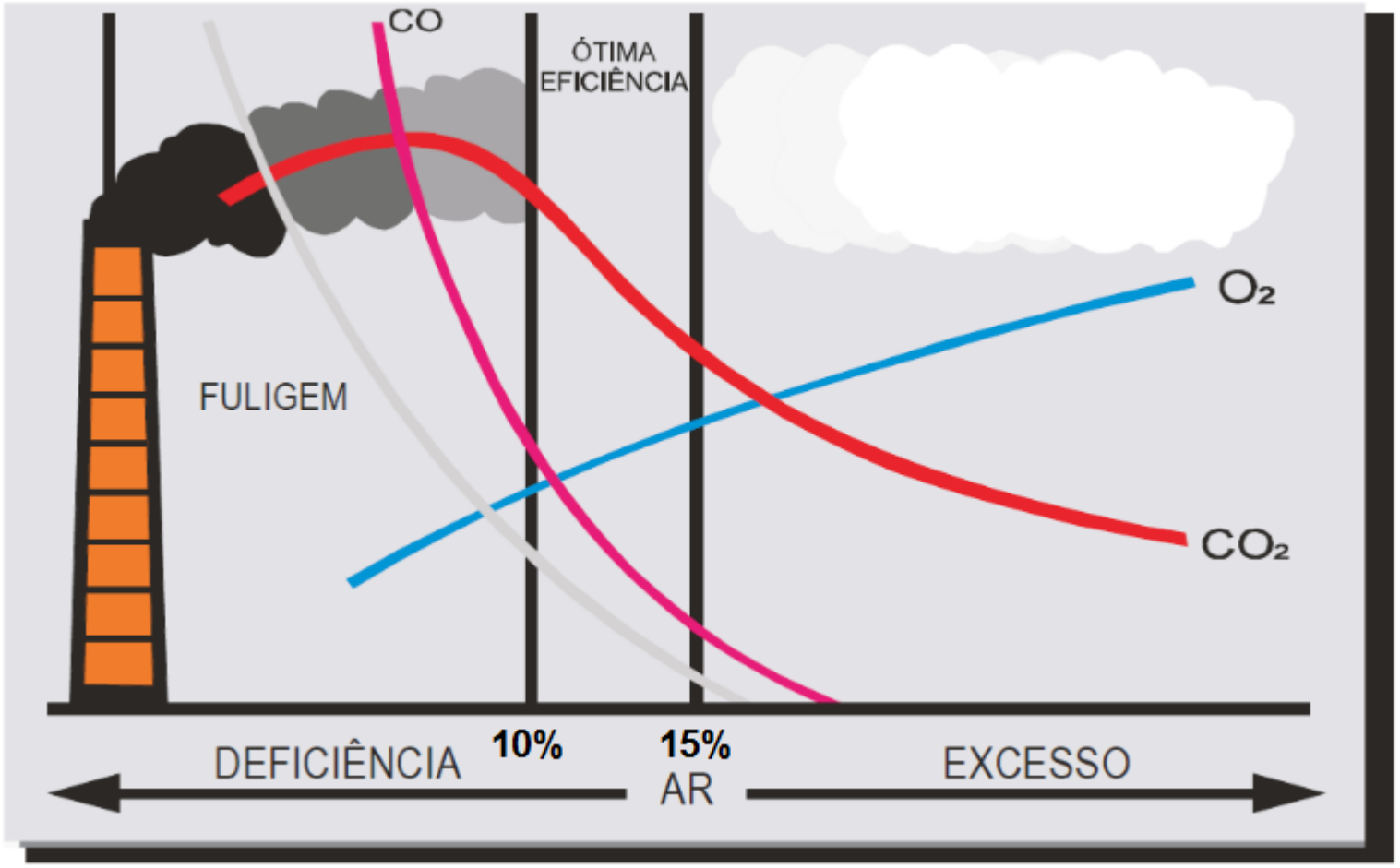
COMBUSTÃO

Relação ar/combustível: é a proporção entre a quantidade de ar e a quantidade de combustível no processo de combustão. A mistura adequada gera uma combustão eficiente, segura e ambientalmente adequada

Tipo de mistura	Produto da combustão	Comentário
Estequiométrica	CO_2, H_2O e N_2	Na prática, não ocorre combustão completa
Rica (excesso de combustível)	CO_2, H_2O, N_2 e CO	Risco de intoxicação
Pobre (excesso de ar)	CO_2, H_2O, N_2 e O_2	Atmosfera oxidante

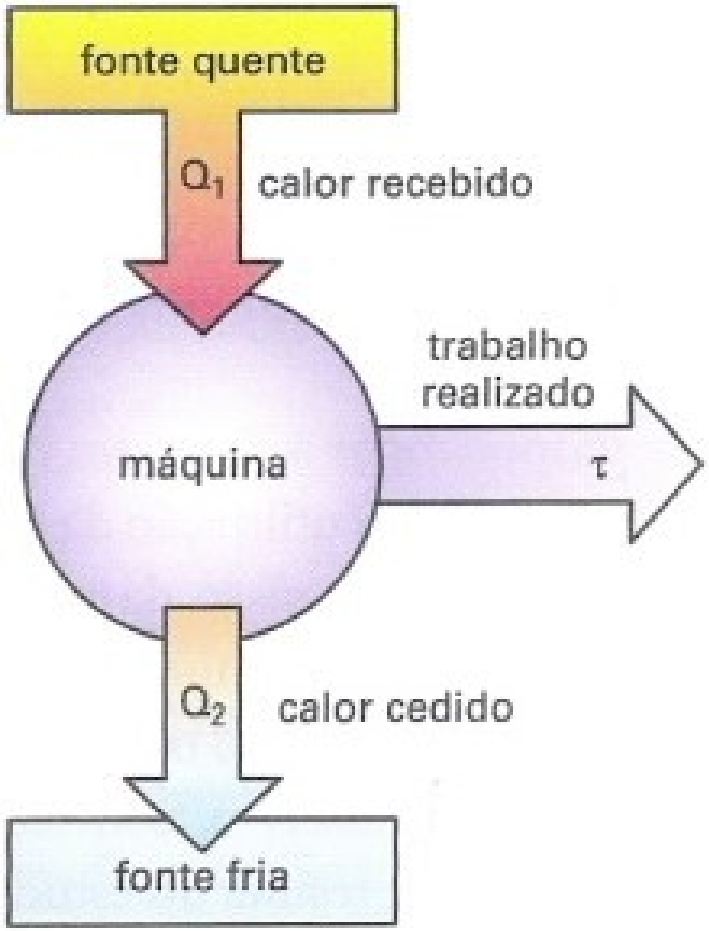
COMBUSTÃO

Efeitos da relação ar/combustível



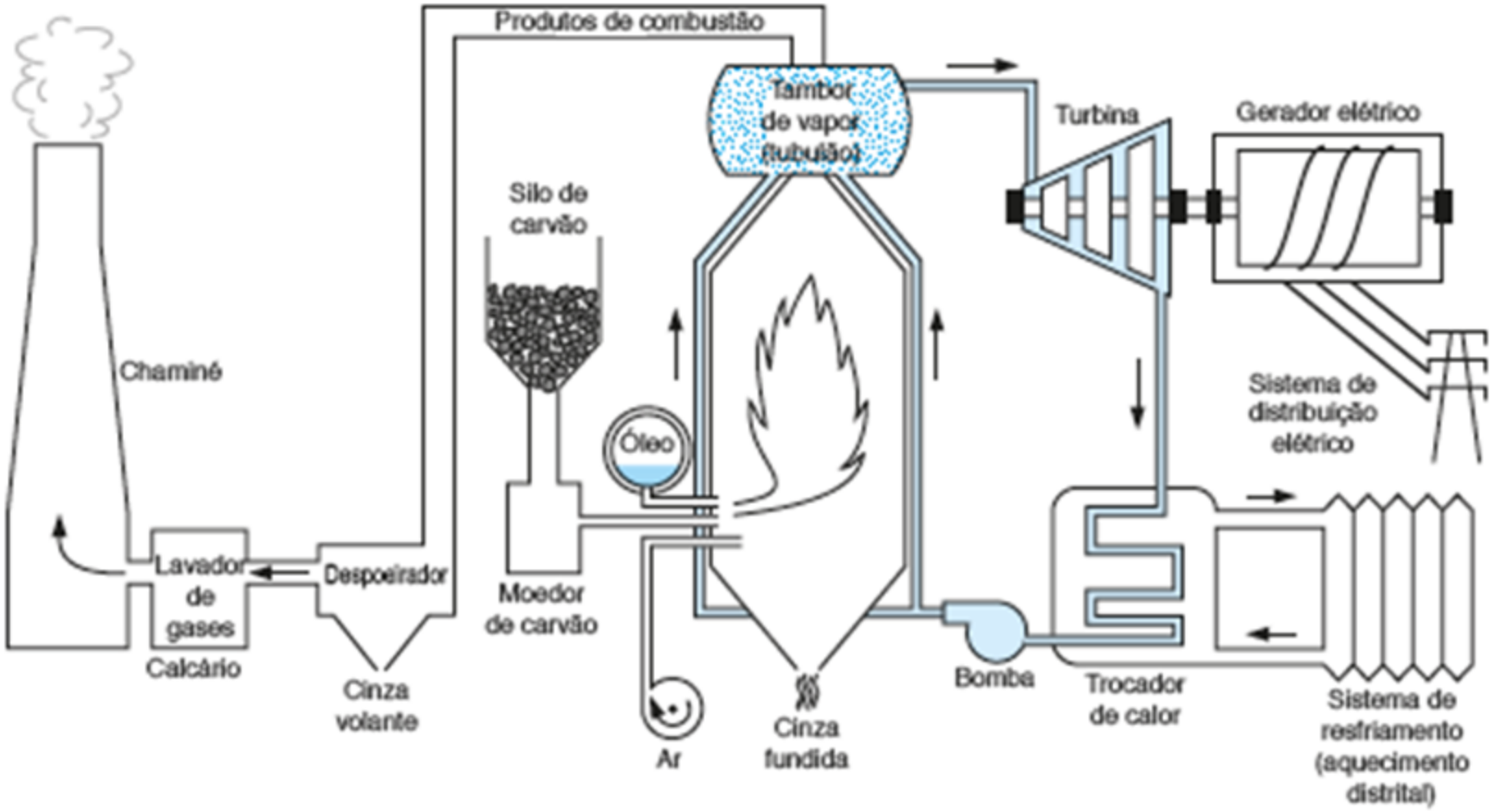
INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

MÁQUINA TÉRMICA



Fonte: http://www.infoescola.com/fisica/maquina-termica/

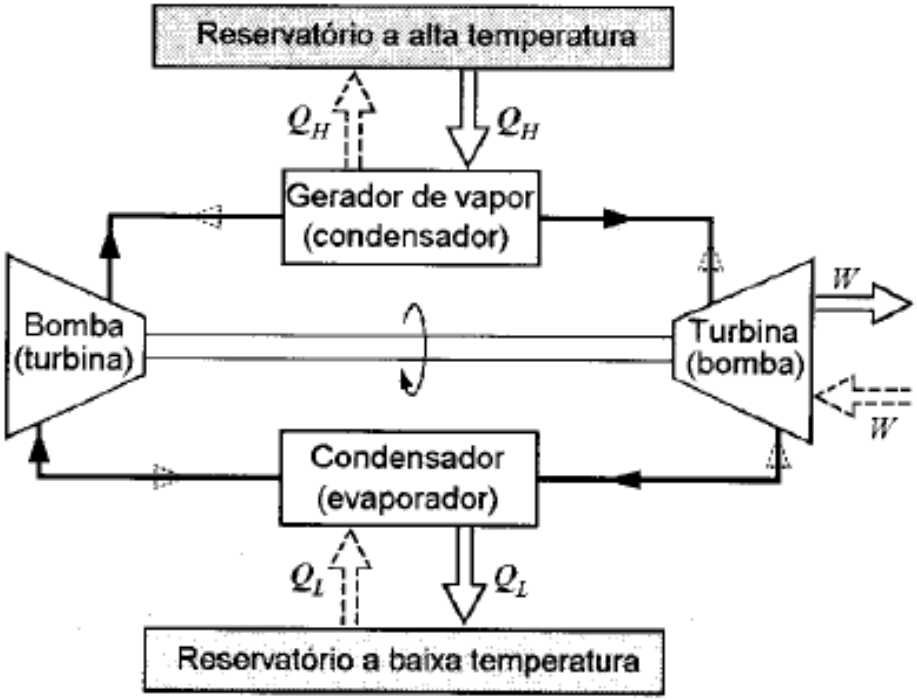
MOTORES DE COMBUSTÃO EXTERNA

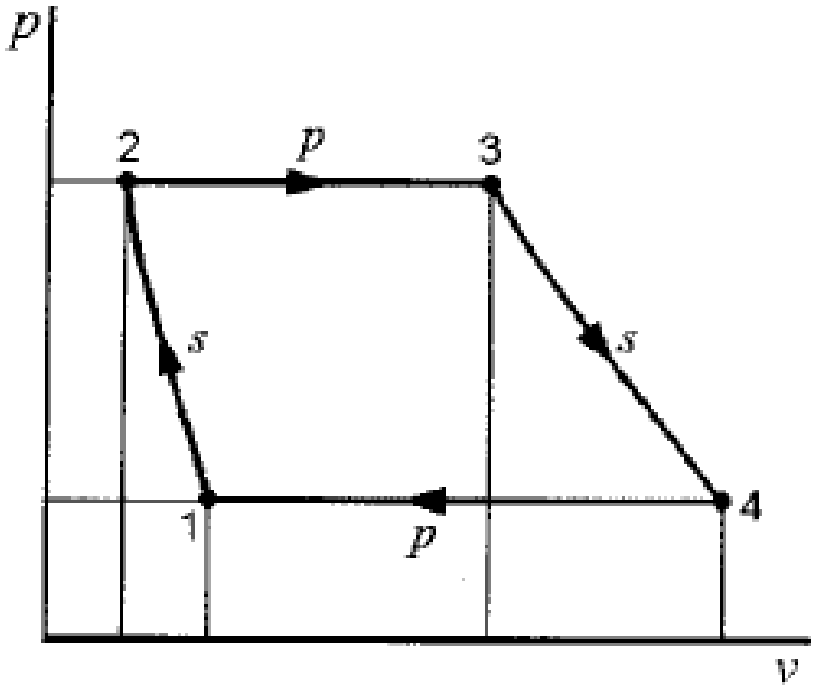


Esquema de uma central termoelétrica a vapor.

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

CICLO DE POTÊNCIA





- **1-2: bombeamento sem troca de calor**
- **2-3: Transferência de calor a pressão constante**
- **3-4: expansão sem troca de calor**
- **4-1: Transferência de calor a pressão constante**

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

EFEITOS DA VARIAÇÃO DA PRESSÃO E DA TEMPERATURA

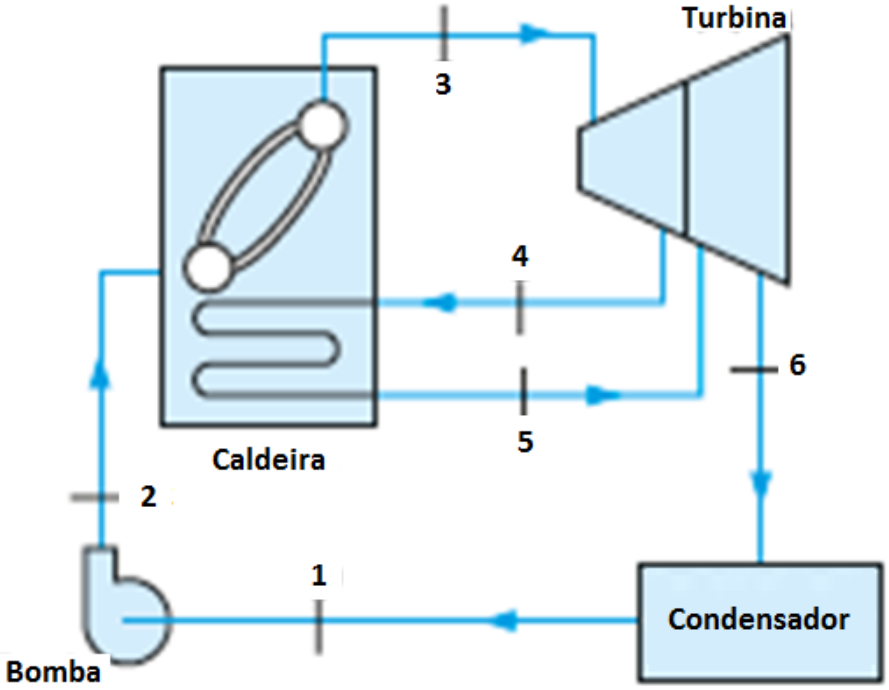
Fatores que aumentam a eficiência do ciclo

- Redução de pressão da descarga da turbina
- Aumento da pressão na caldeira
- Superaquecimento do vapor

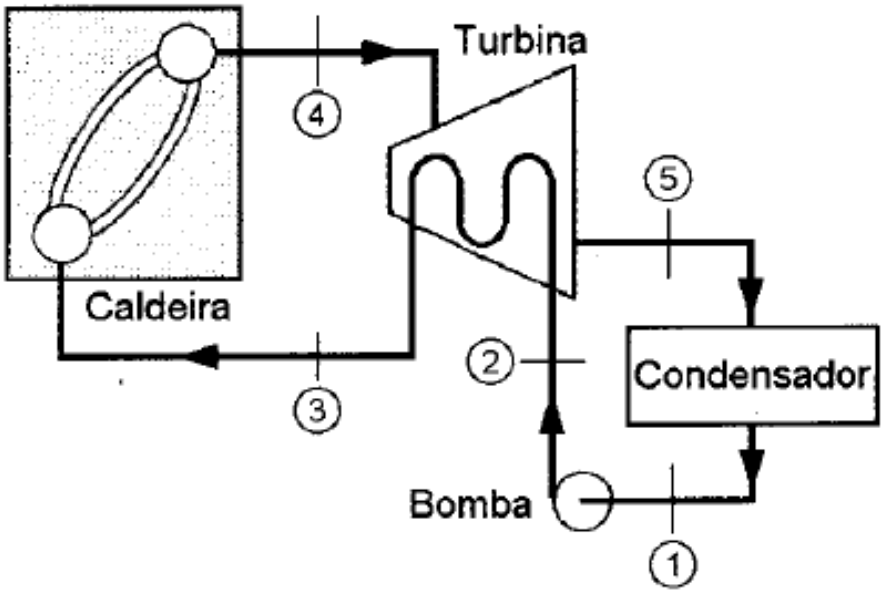
EXERCÍCIO

Calcule o rendimento de um ciclo de geração de potência composto por uma caldeira que consome 500 kg de cavaco por hora (PCI = 4300 kcal/kg) e por uma turbina que gera 2000 kW de potência.

ALTERNATIVAS PARA AUMENTAR EFICIÊNCIA



Ciclo com reaquecimento



Ciclo regenerativo ideal

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

CALDEIRA

- Conceito
- Princípio de funcionamento
- Tipos
- Principais componentes
- Eficiência
- Segurança

CALDEIRA

Conceito

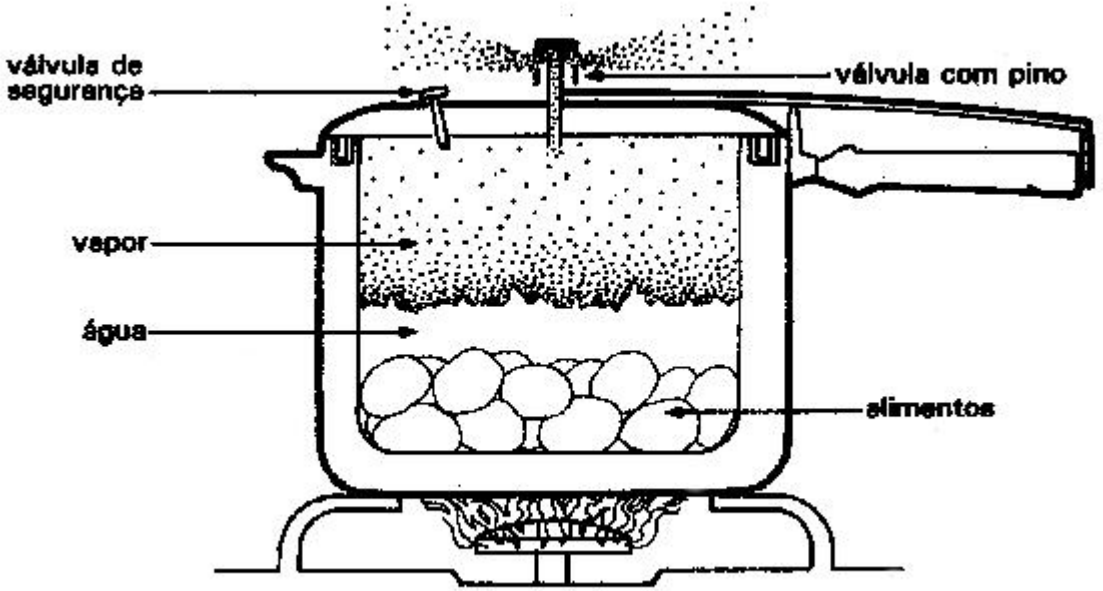
CALDEIRA

Conceito

Caldeira ou gerador de vapor é um conjunto de equipamentos destinados a produzir uma determinada quantidade de vapor com certas características, aproveitando o calor fornecido por um combustível ou outra fonte de calor

CALDEIRA

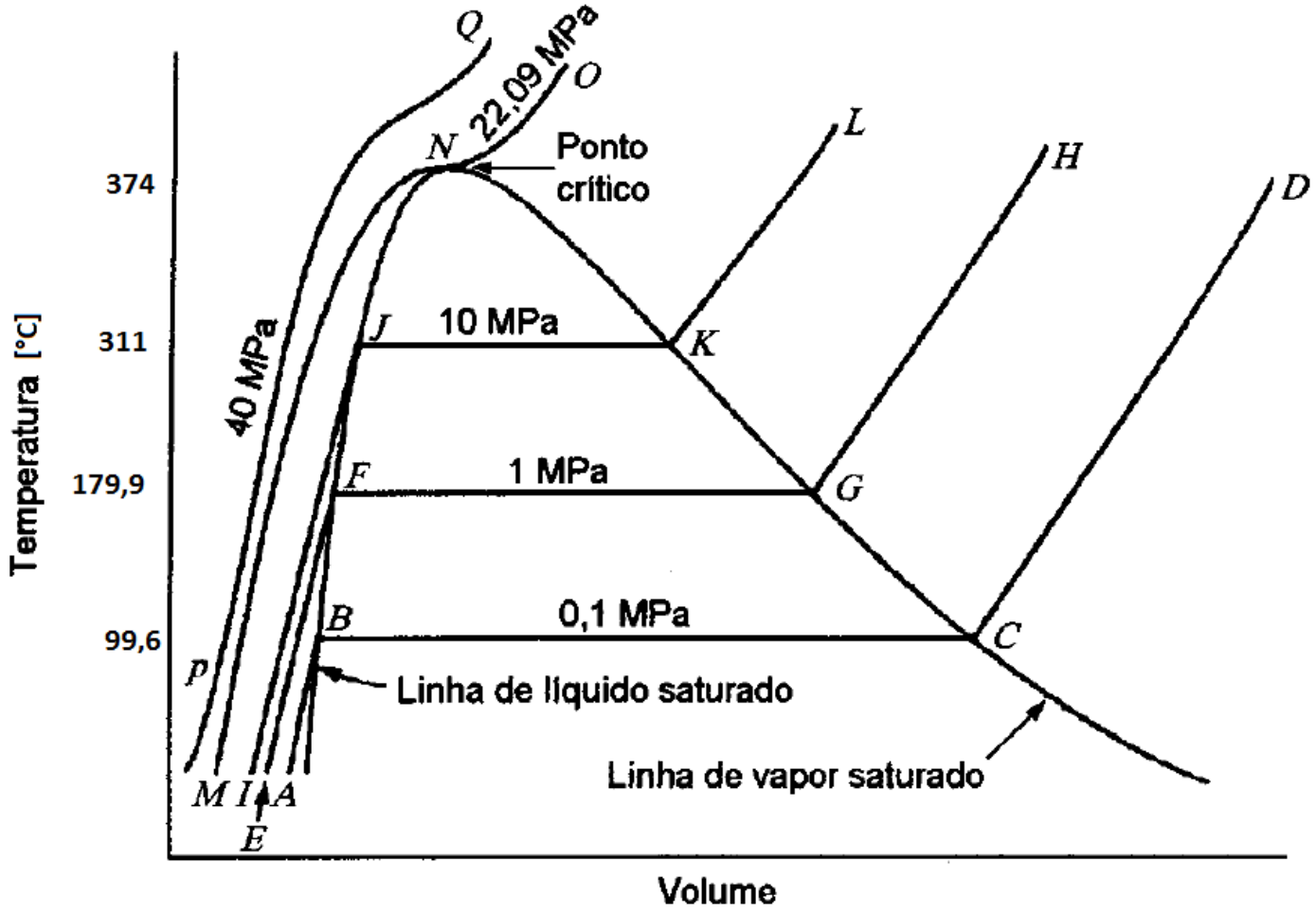
Princípio de funcionamento



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

CALDEIRA

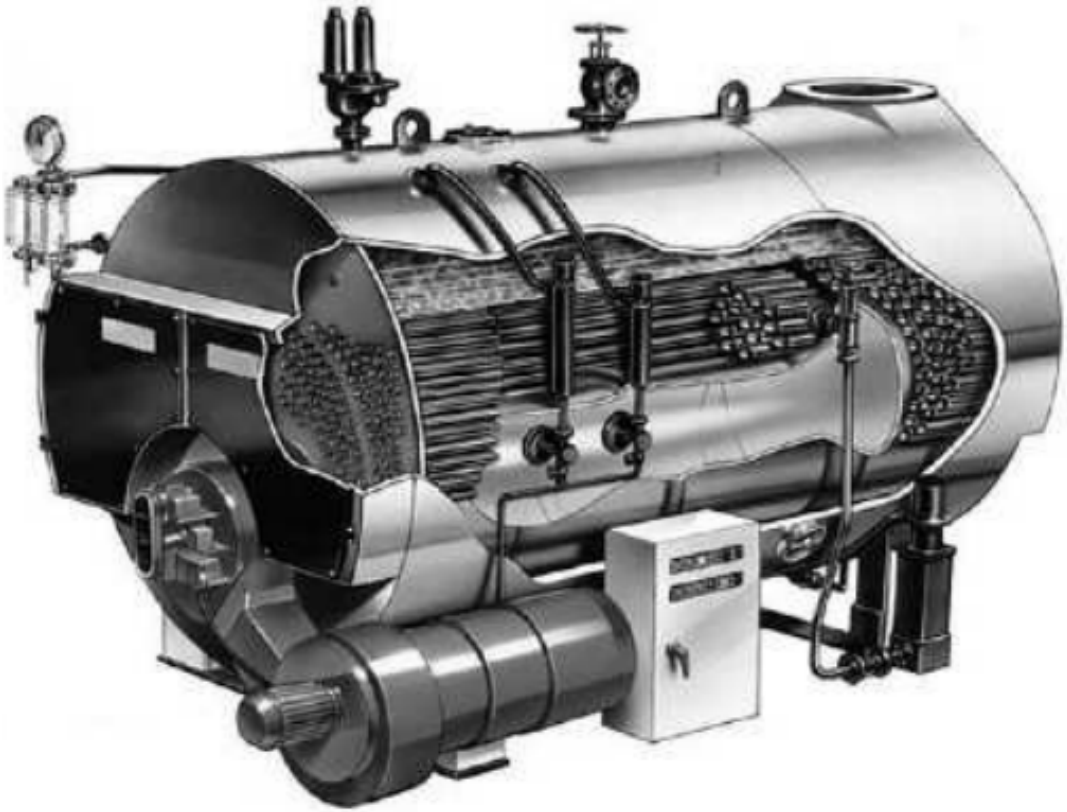
Diagrama T-V da água



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

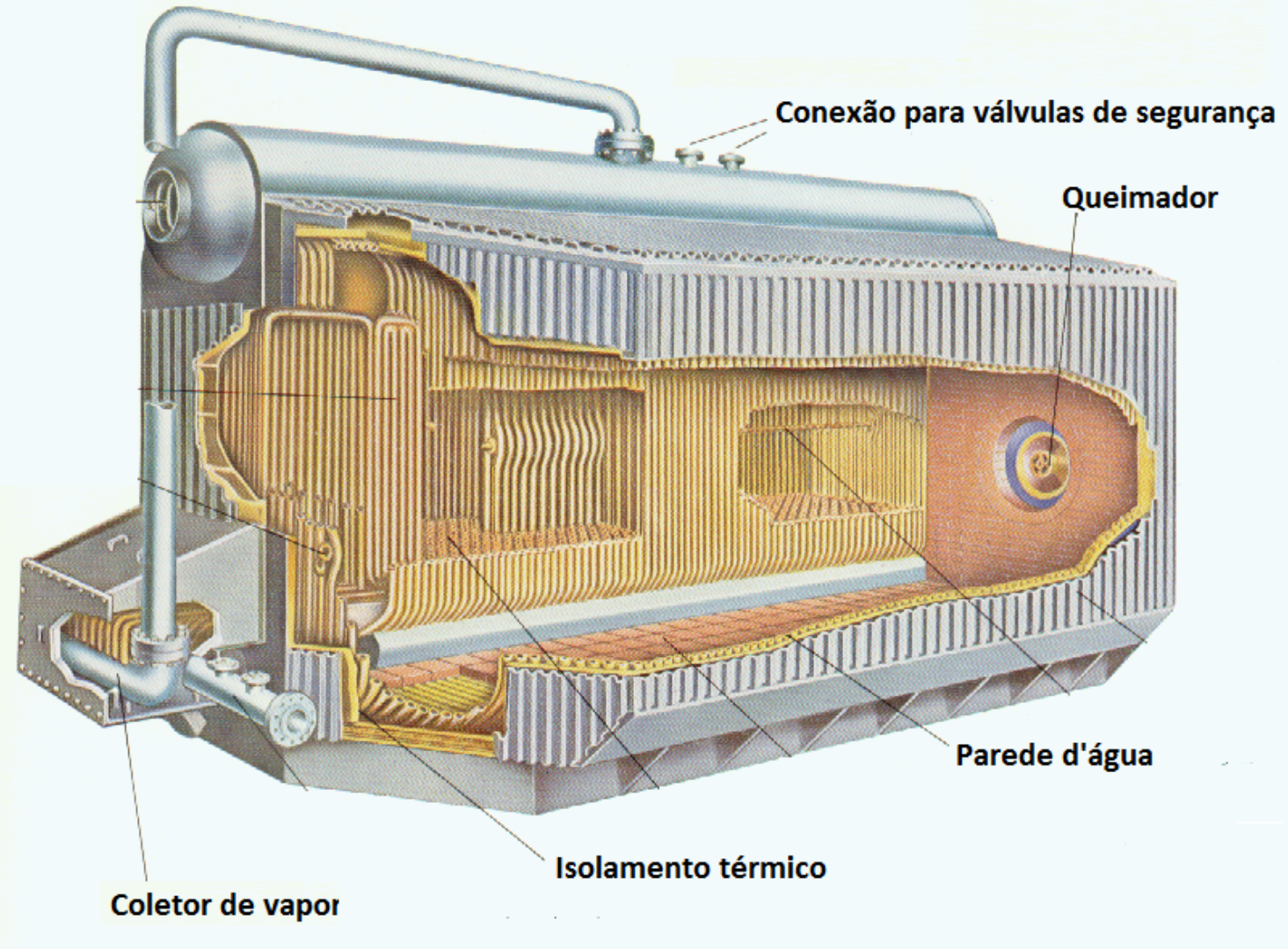
CALDEIRA

Tipo flamotubular



CALDEIRA

Tipo aquatubular



CALDEIRA

Tipo mista

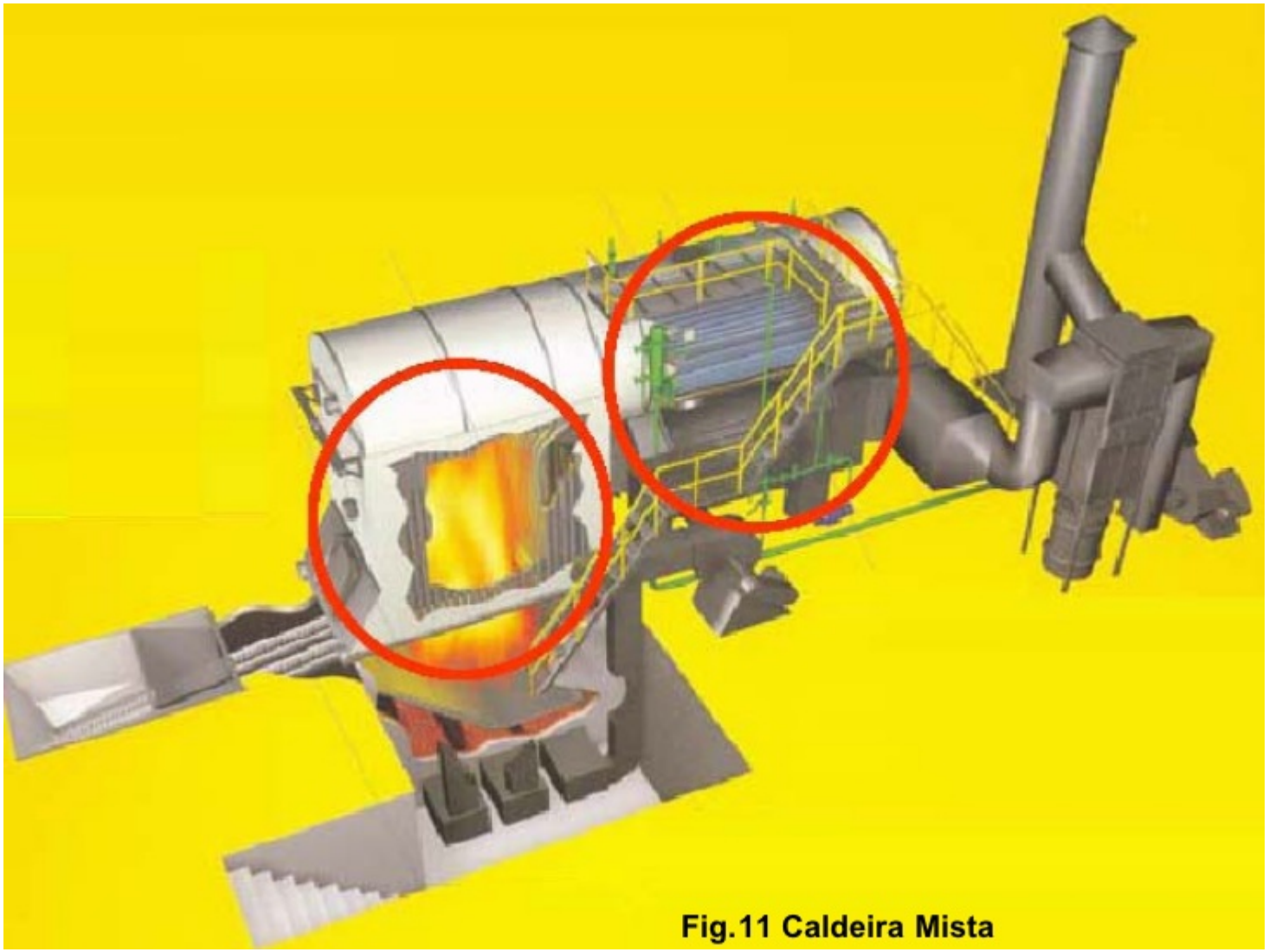
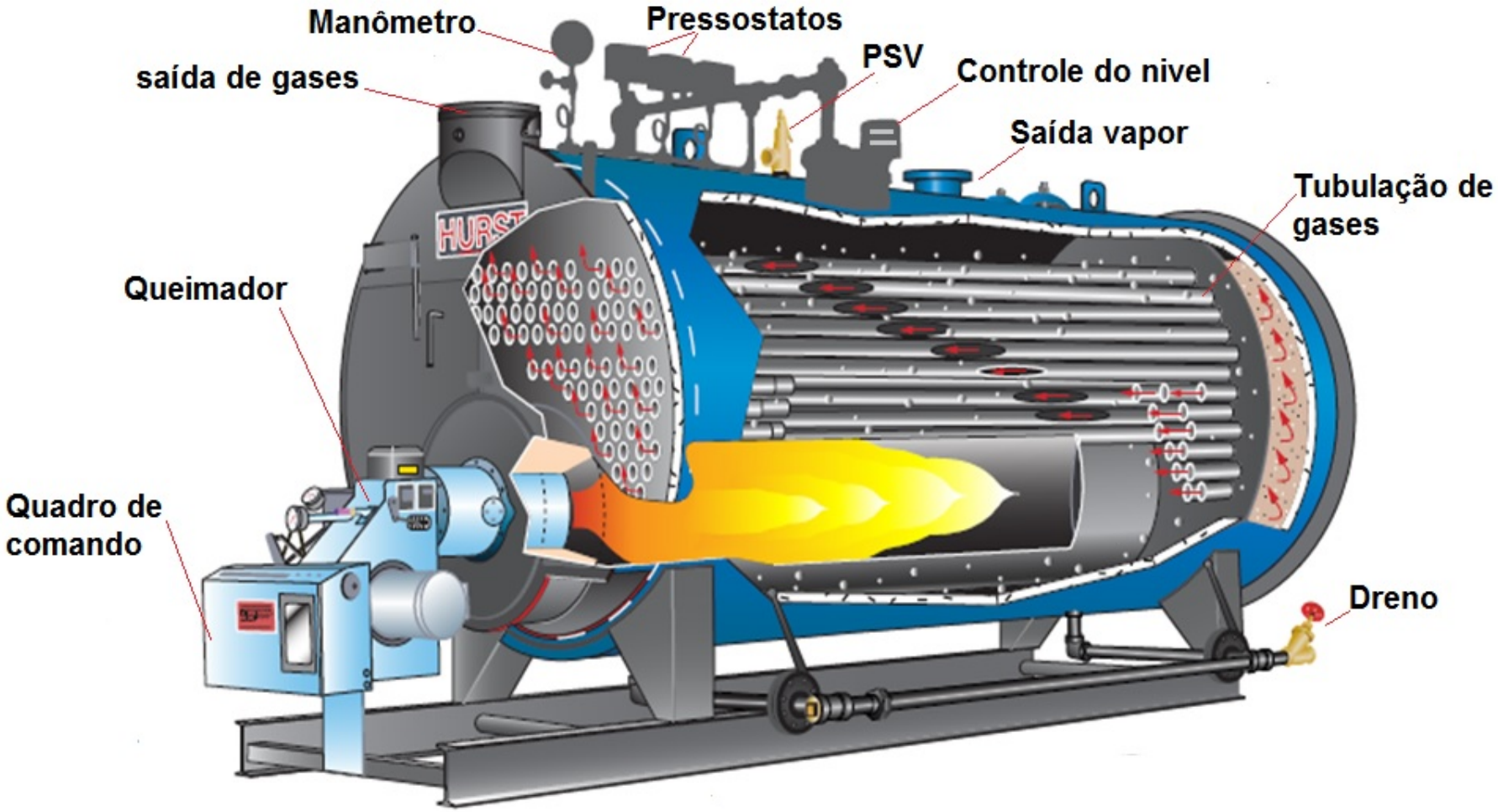


Fig.11 Caldeira Mista

CALDEIRA

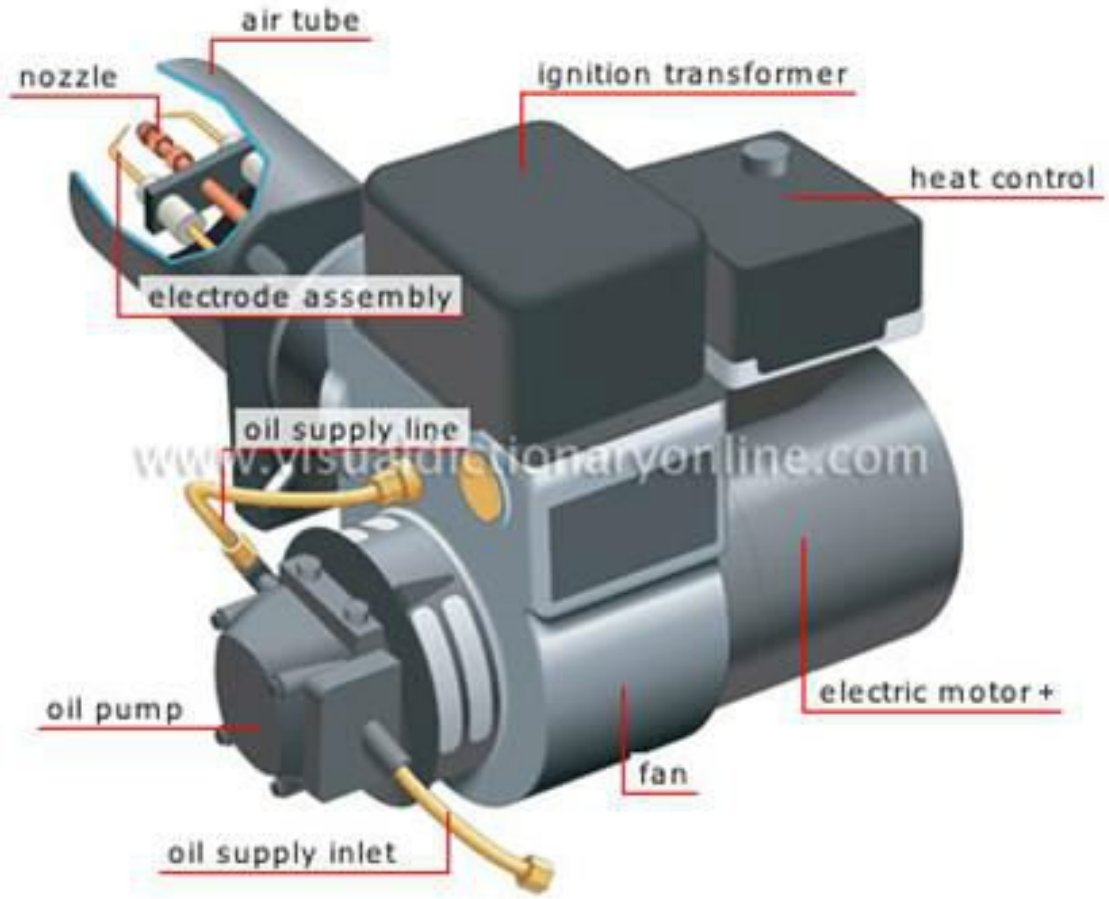
Principais componentes



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

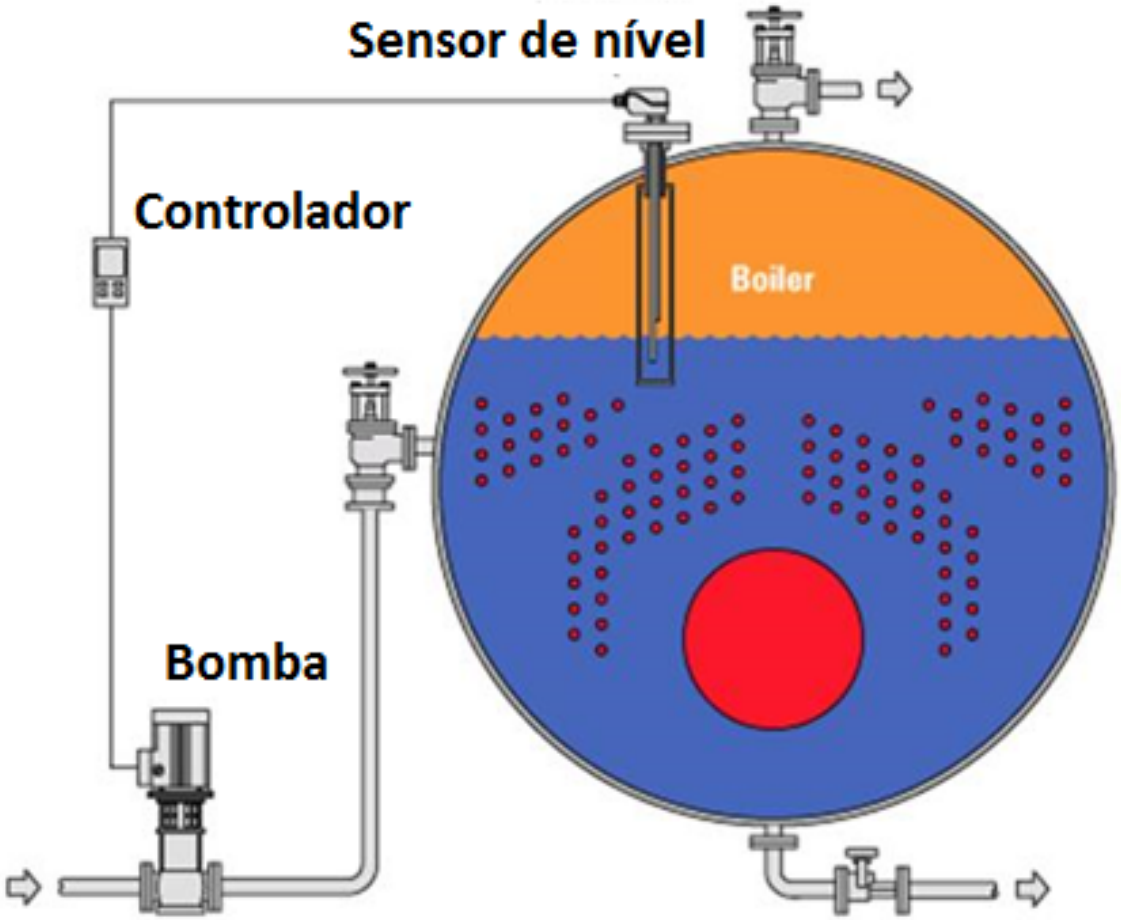
CALDEIRA

Queimador



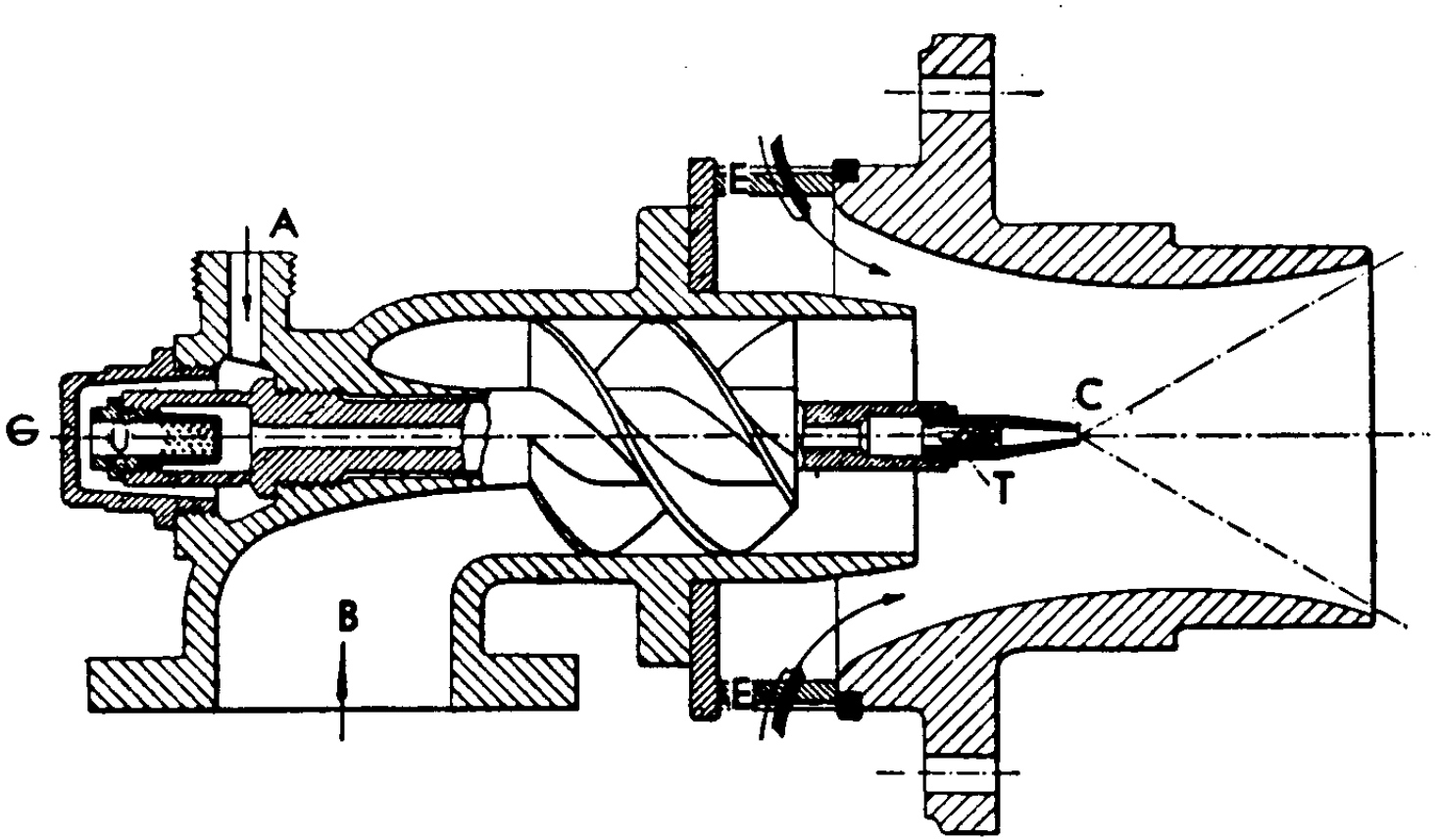
CALDEIRA

Sistema de alimentação de água



CALDEIRA

Queimador



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

CALDEIRA

Válvula de segurança

CALDEIRA

Visor de nível

CALDEIRA

Eficiência energética

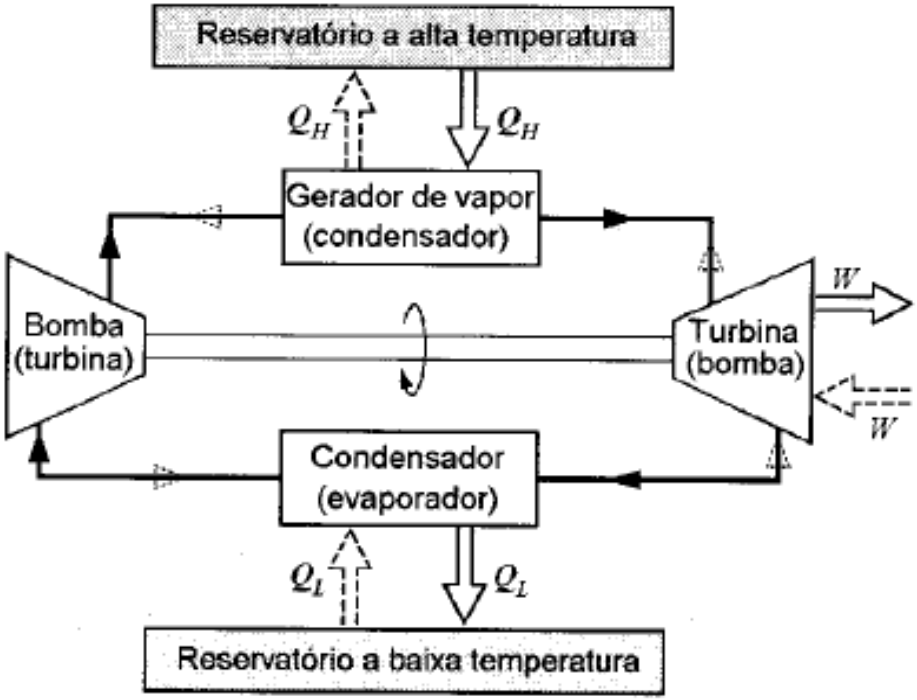
- Processo de combustão
- Isolamento térmico
- Vazamentos e purgas de água e vapor
- Qualidade do vapor – arraste de condensado

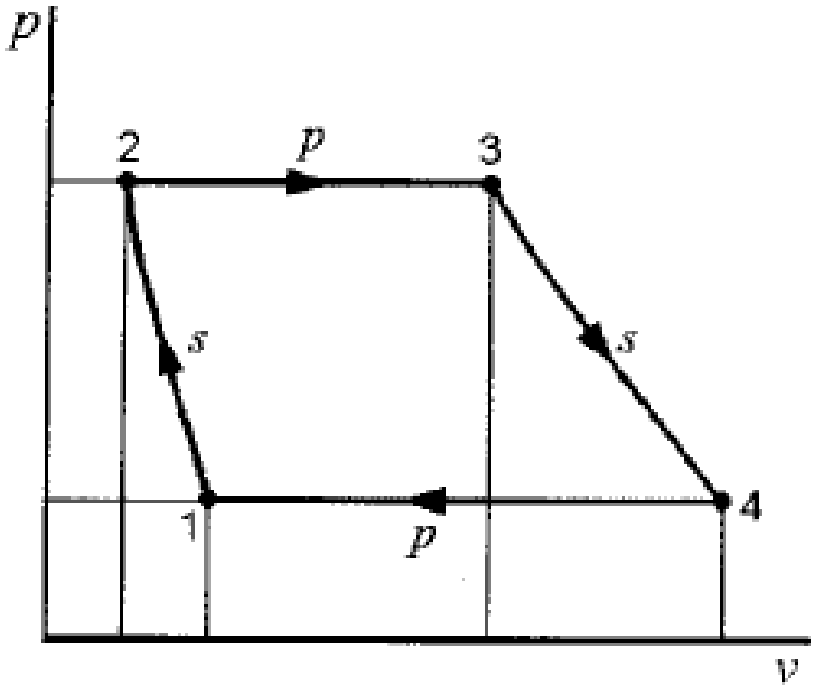
CALDEIRA

NR -13: Inspeção em caldeira

1. Antes de entrarem em funcionamento, quando novas, no local de operação;
2. Após reforma, modificação, ou após terem sofrido qualquer acidente;
3. Periodicamente, pelo menos uma vez ao ano, para caldeiras das categorias A, B e C. Estabelecimentos que possuam Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos podem estender os períodos entre inspeções de segurança, respeitando alguns prazos (vide NR-13 (BRASIL, 2013)).
4. Ao ser recolocada em funcionamento, após intervalo de inatividade igual ou superior a seis meses consecutivos;
5. Quando houver mudança de local de instalação;
6. Ao completar 25 anos de uso, na sua inspeção subseqüente, as caldeiras devem ser submetidas à rigorosa avaliação de integridade estrutural.

CICLO DE POTÊNCIA





- **1-2: bombeamento sem troca de calor**
- **2-3: Transferência de calor a pressão constante**
- **3-4: expansão sem troca de calor**
- **4-1: Transferência de calor a pressão constante**

Fonte: Wylen; Sonntag; Borgnakke. Fundamentos da termodinâmica. Blucher.

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

TURBINAS

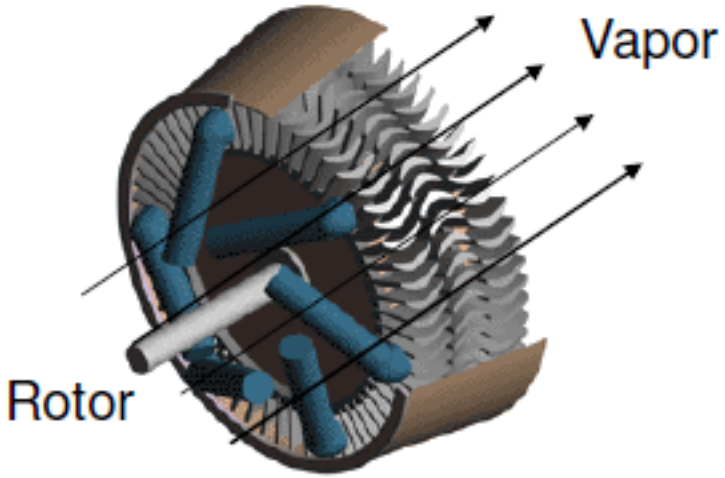
DEFINIÇÃO:

A turbina a vapor (TV) é definida como sendo uma máquina térmica, onde a energia potencial termodinâmica contida no vapor é convertida em trabalho mecânico.

TURBINAS

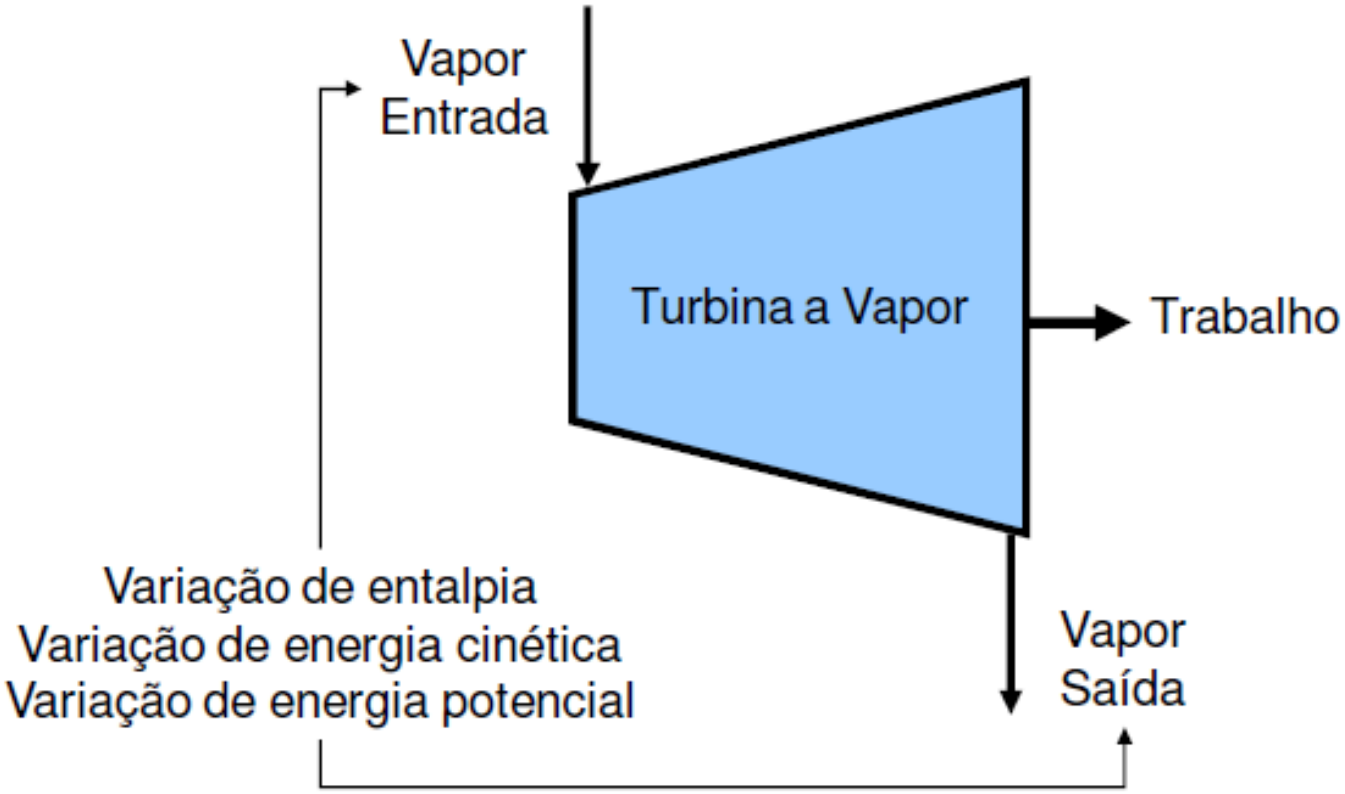
FUNCIONAMENTO:

A passagem do vapor gera forças, que aplicadas às pás, determinam um momento motor resultante, que faz girar o rotor.



TURBINAS

FUNCIONAMENTO:



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

TURBINAS

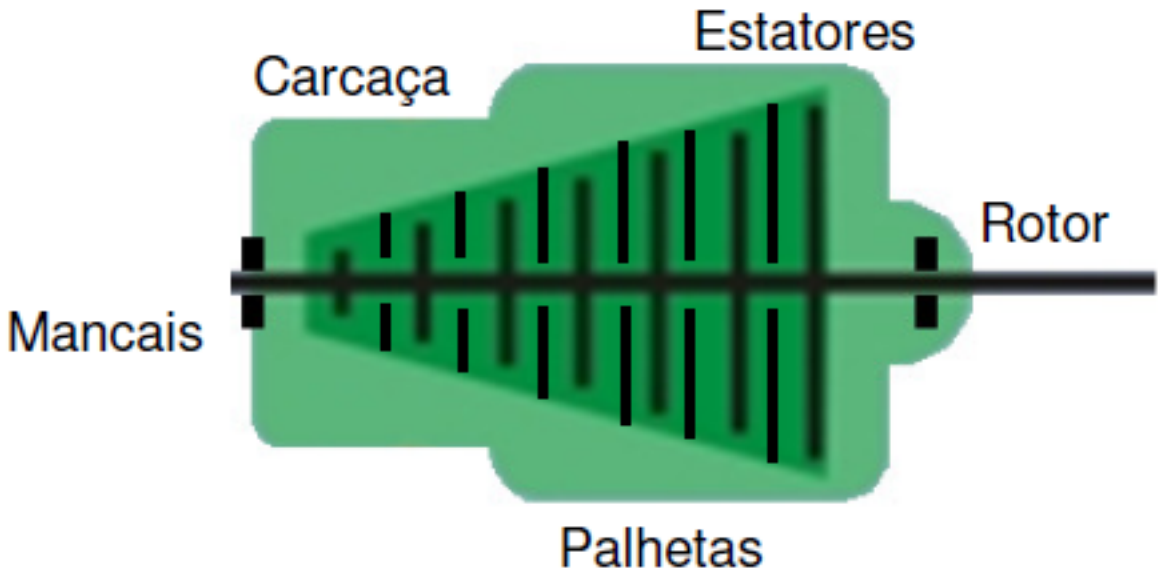
PARTES COMPONENTES:

As principais partes componentes da turbina a vapor são:

- Carcaça (Com ou sem estatores),
- Mancais,
- Rotor,
- Palhetas.

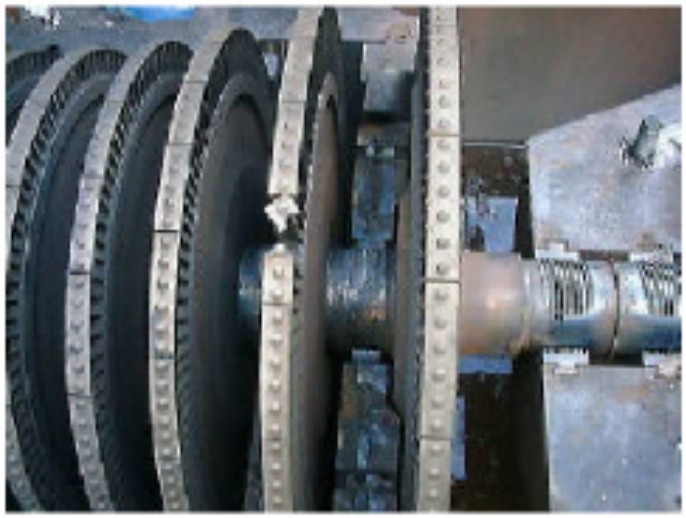
TURBINAS

Esquematicamente:



TURBINAS

FALHAS NO EQUIPAMENTO:



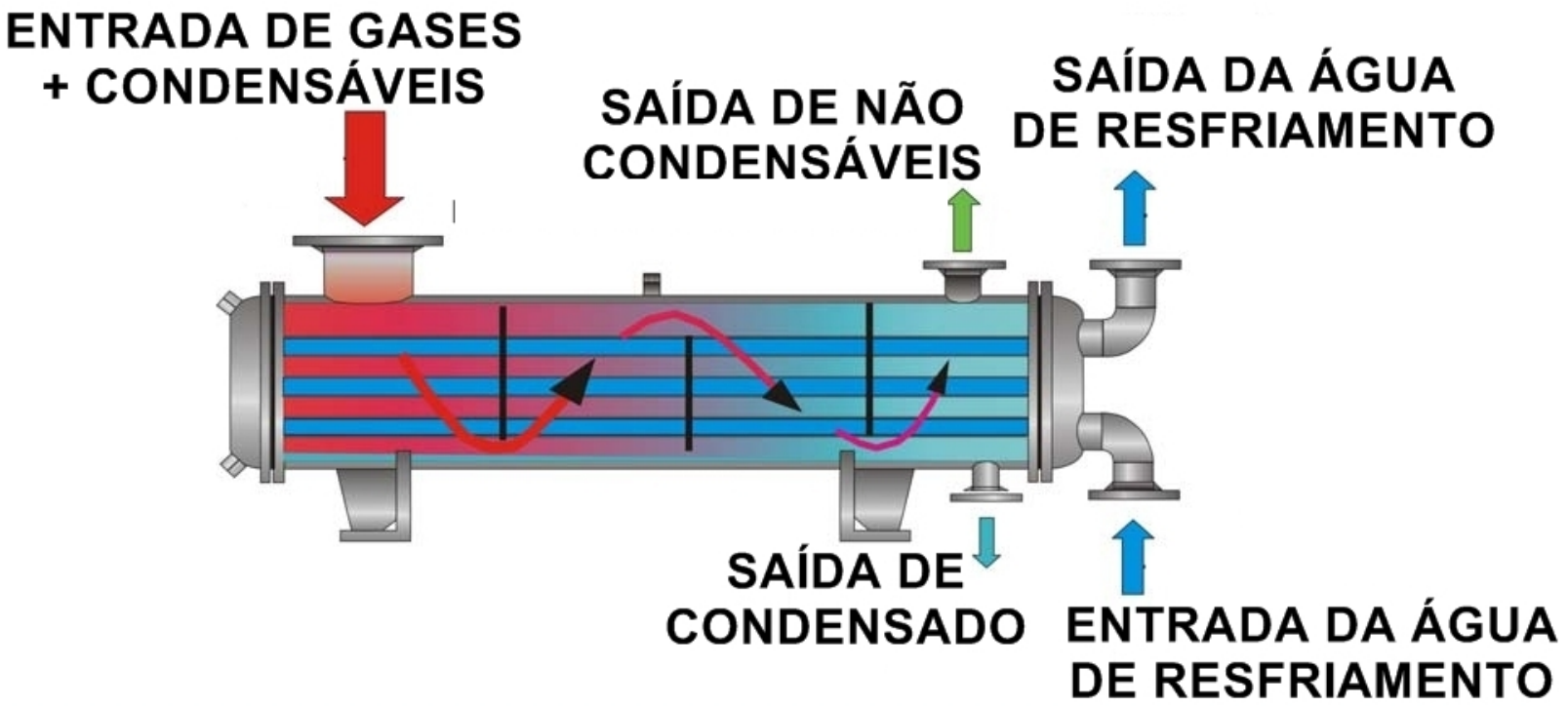
Paleta fragmentada

Corrosão

FILME SOBRE TURBINA A VAPOR

CONDENSADOR

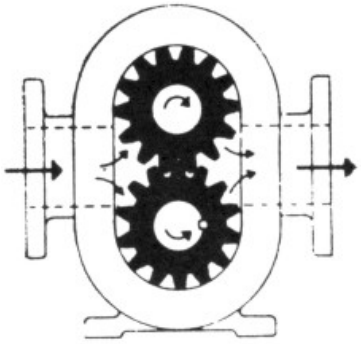
Esquema geral de um condensador



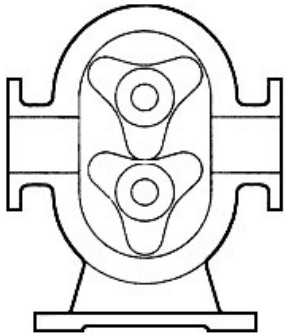
BOMBAS

Classificação das bombas

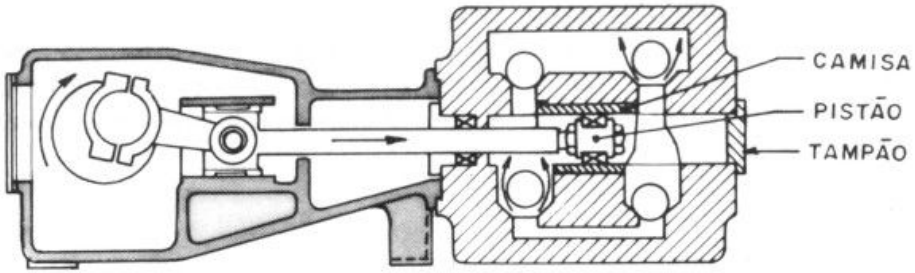
- **Bombas de deslocamento positivo: a transferência de energia ocorre devido à variação do volume provocada pelo movimento da fronteira onde o fluido está confinado**



Bomba de engrenagens



Bomba de lóbulos



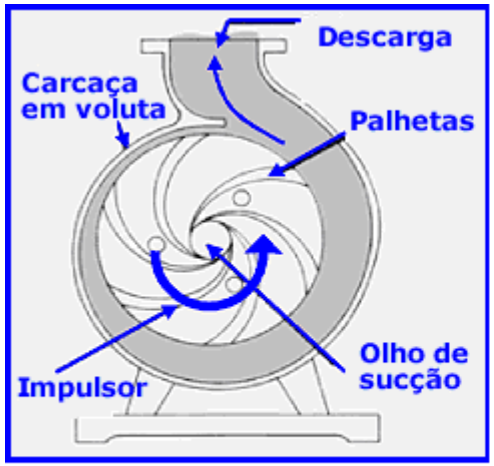
Bomba de pistão

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

BOMBAS

Classificação das bombas de fluxo

- **Bombas dinâmicas ou turbomáquinas: possuem lâminas ou pás fixadas em um elemento rotativo. Os efeitos dinâmicos do rotor geram a transferência de energia do fluido ou para o fluido.**



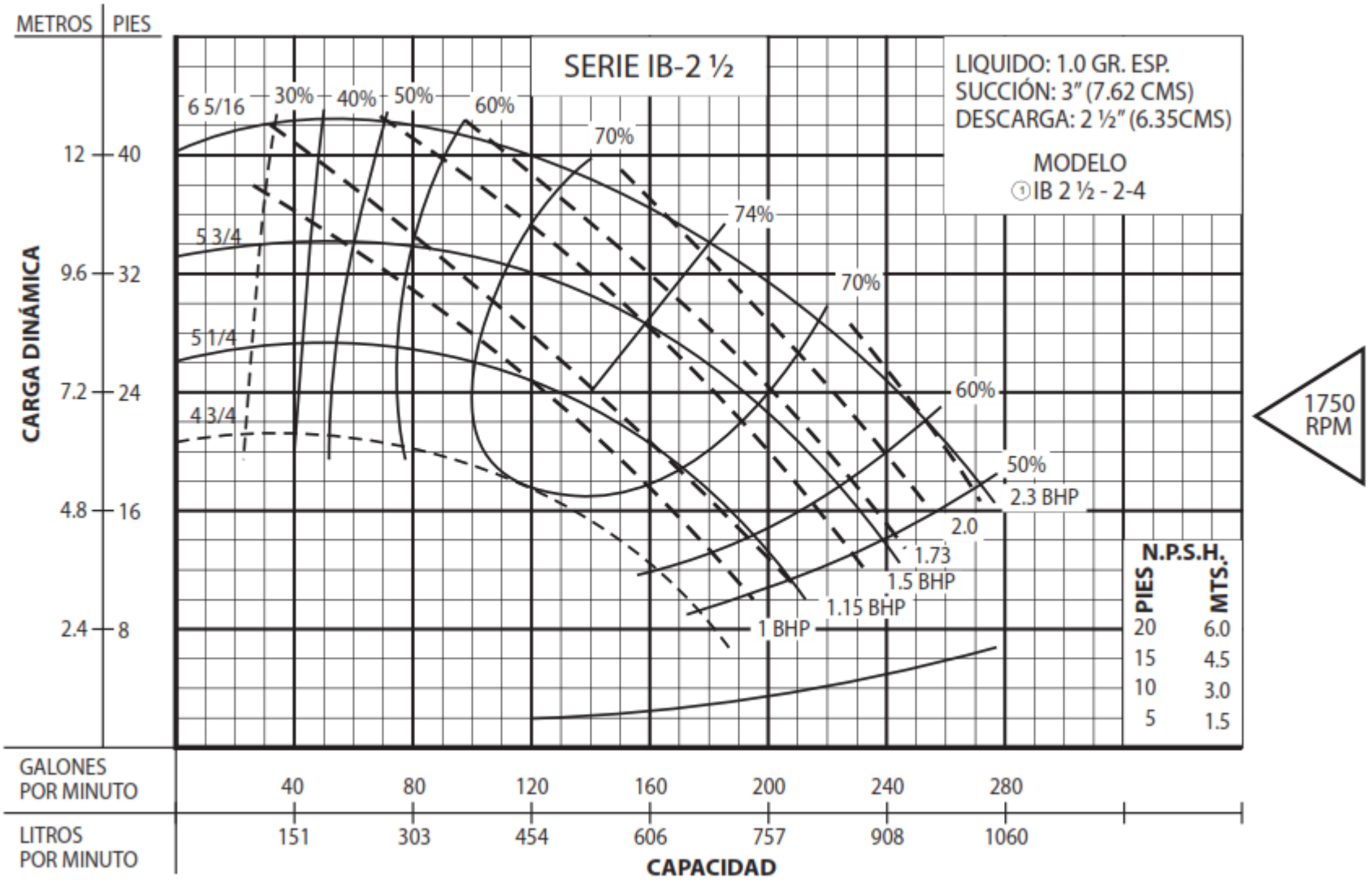
Bomba centrífuga

Impelidor de um turbocompressor

Turbina de Itaipu

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

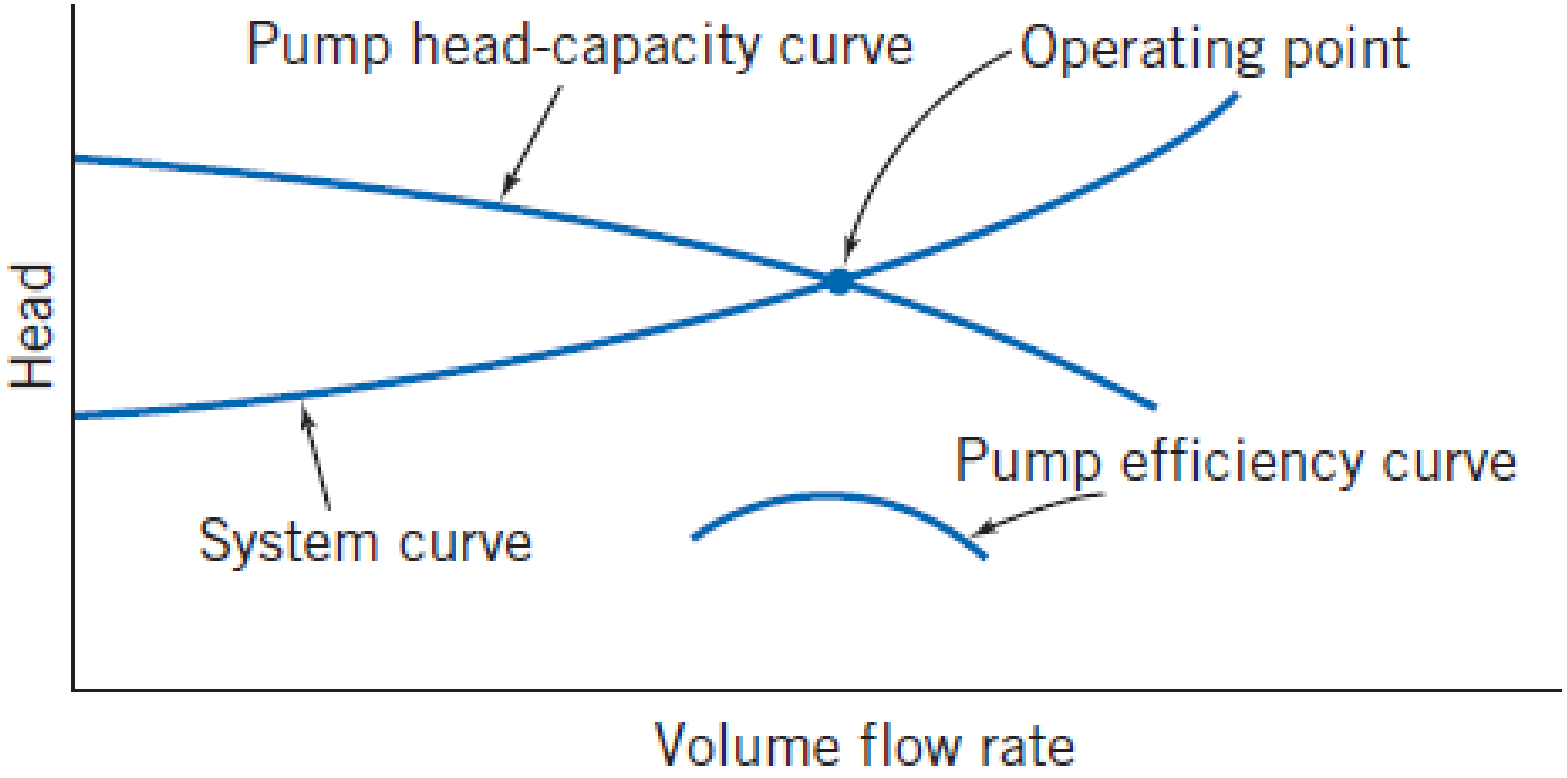
CURVA CARACTERÍSTICA DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA



Fonte: http://hidroserviciosambientales.com/ib2-1-2-2-4

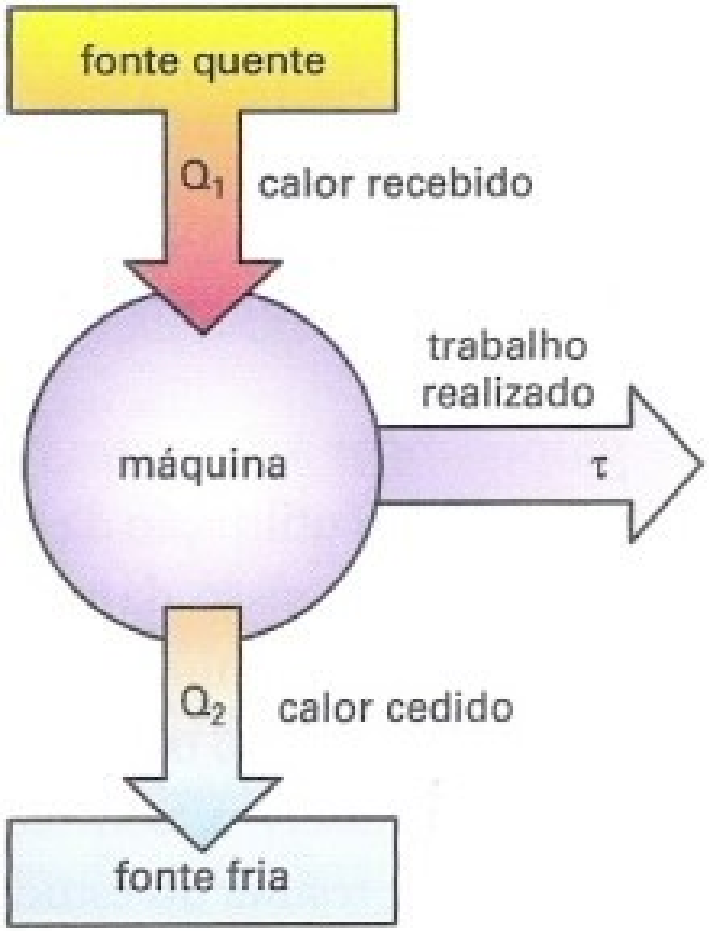
INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

OPERAÇÃO DA BOMBA



Fonte: Fox; Pritchard; McDonald. Introdução à Mecânica do Fluidos. LTC

MÁQUINA TÉRMICA

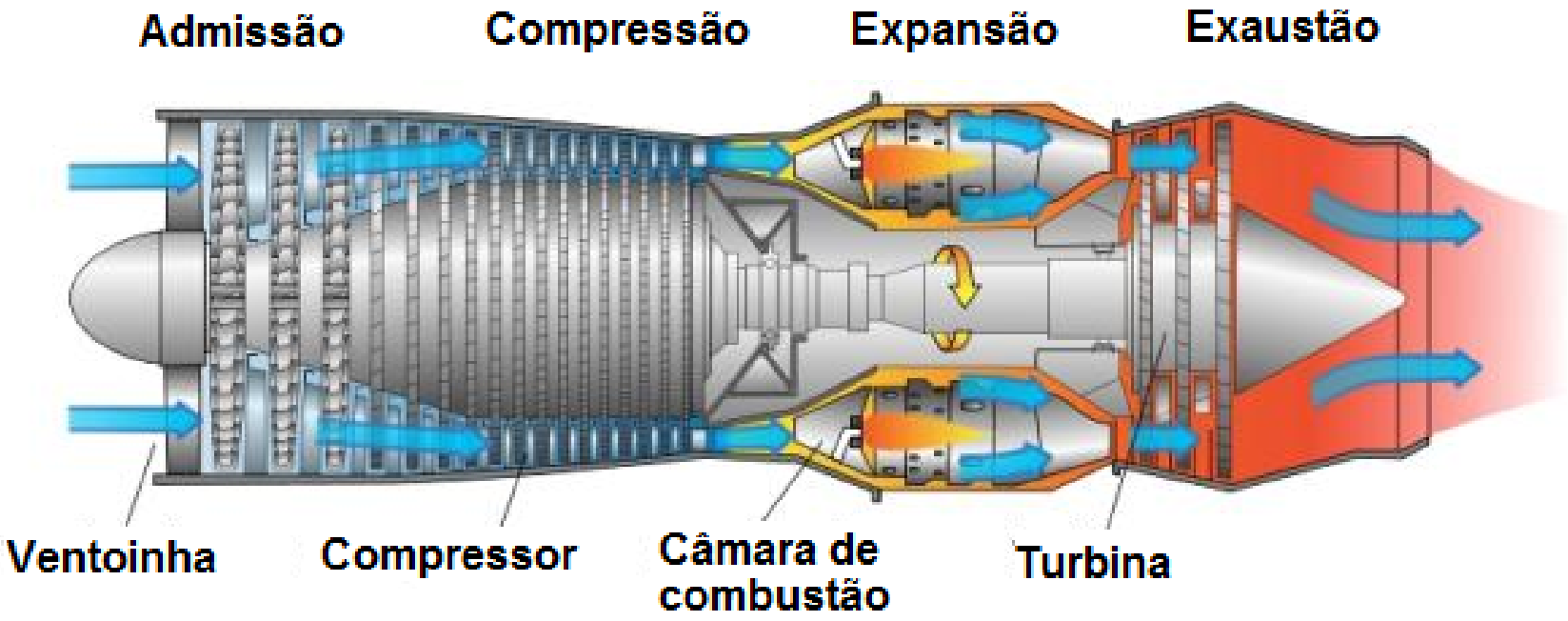


Fonte: http://www.infoescola.com/fisica/maquina-termica/

MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

- **Motores rotativos**
- **Motores alternativos**

MOTORES ROTATIVOS – TURBINA A GÁS



MOTORES ALTERNATIVOS

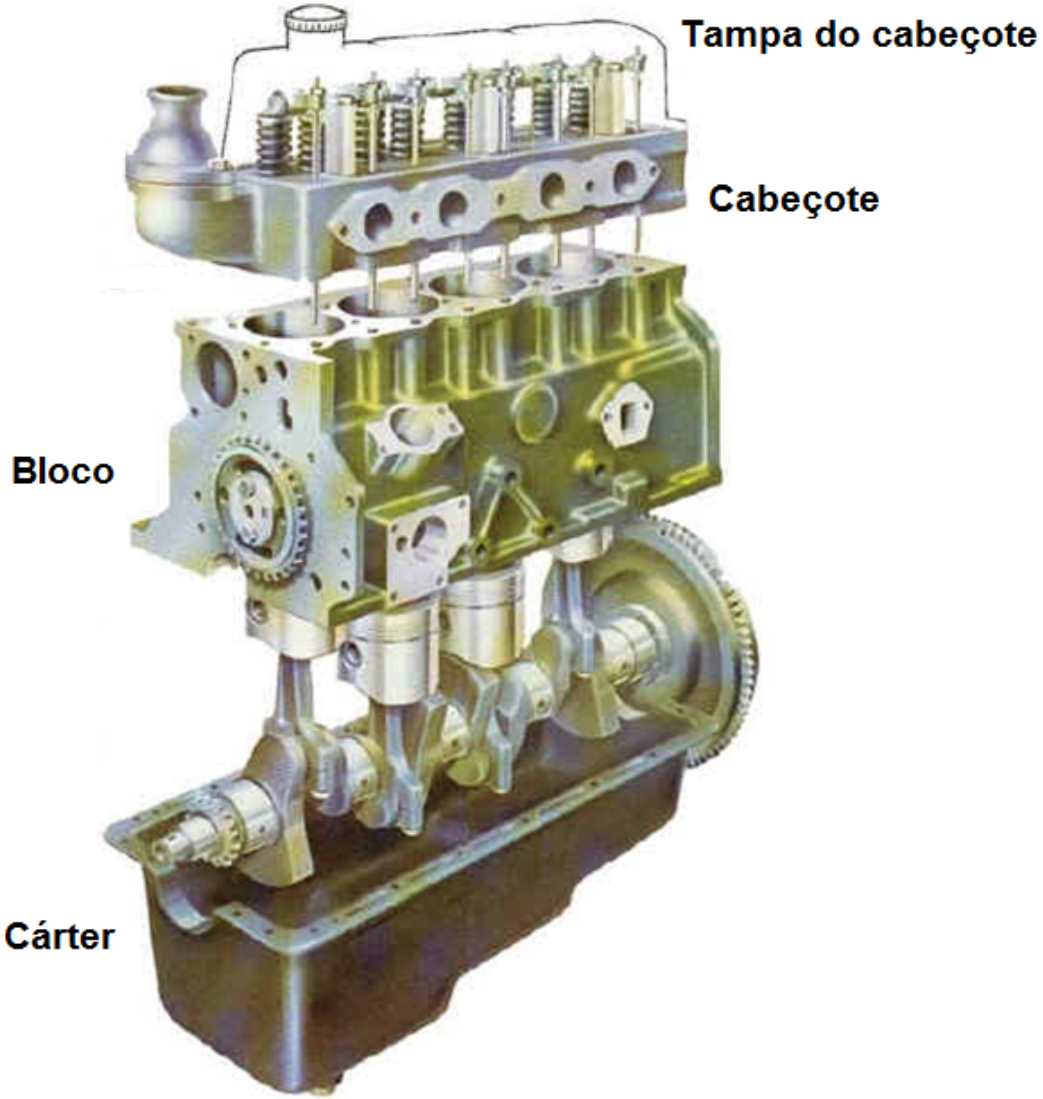
Fonte: http://www.infoescola.com/fisica/maquina-termica/

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

MOTORES ALTERNATIVOS

- Disposição dos cilindros
- Número de cilindros
- Movimentos por ciclos
- Mecanismo de válvulas
- Ciclos termodinâmicos

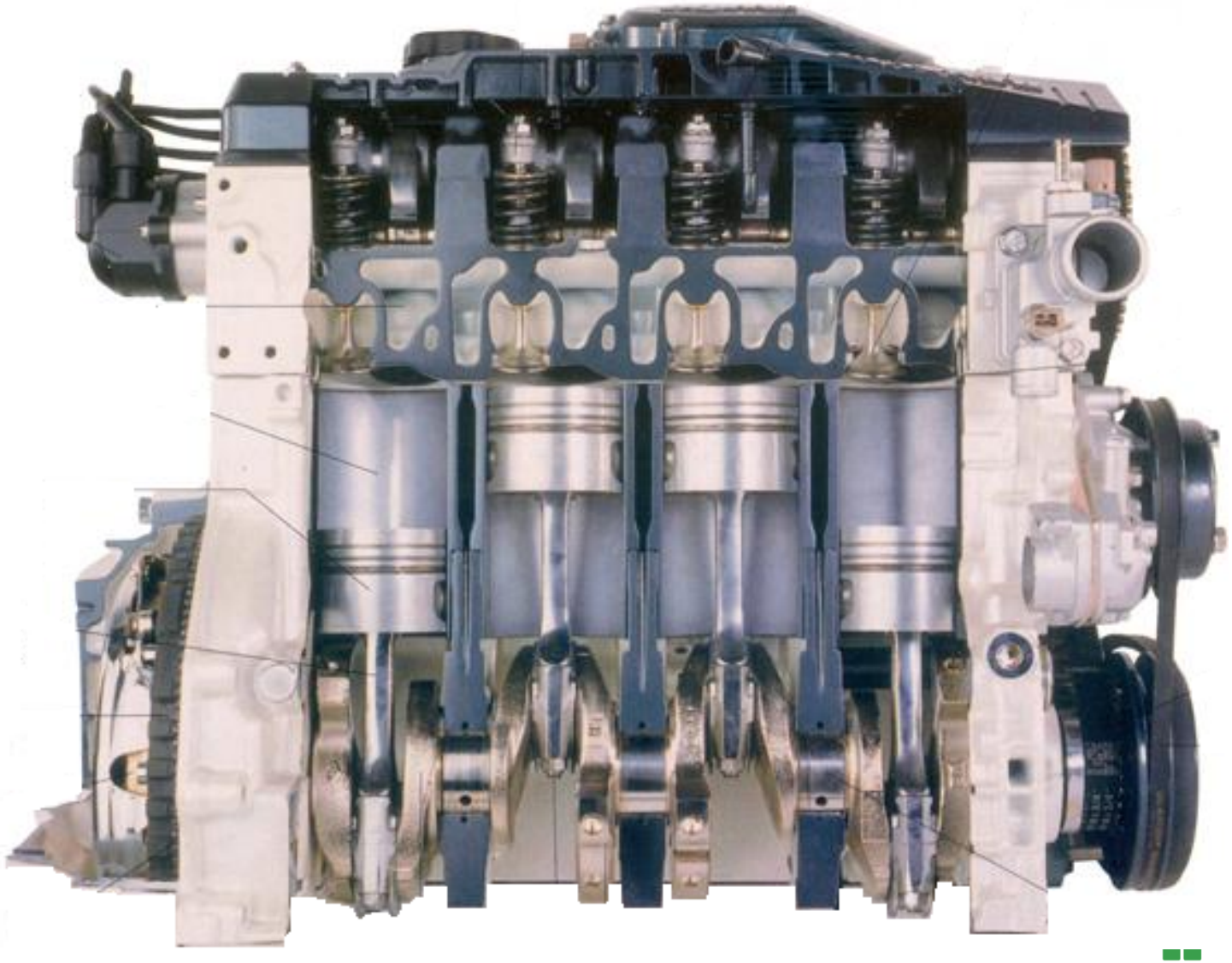
MOTORES ALTERNATIVOS



Fonte: http://www.infoescola.com/fisica/maquina-termica/

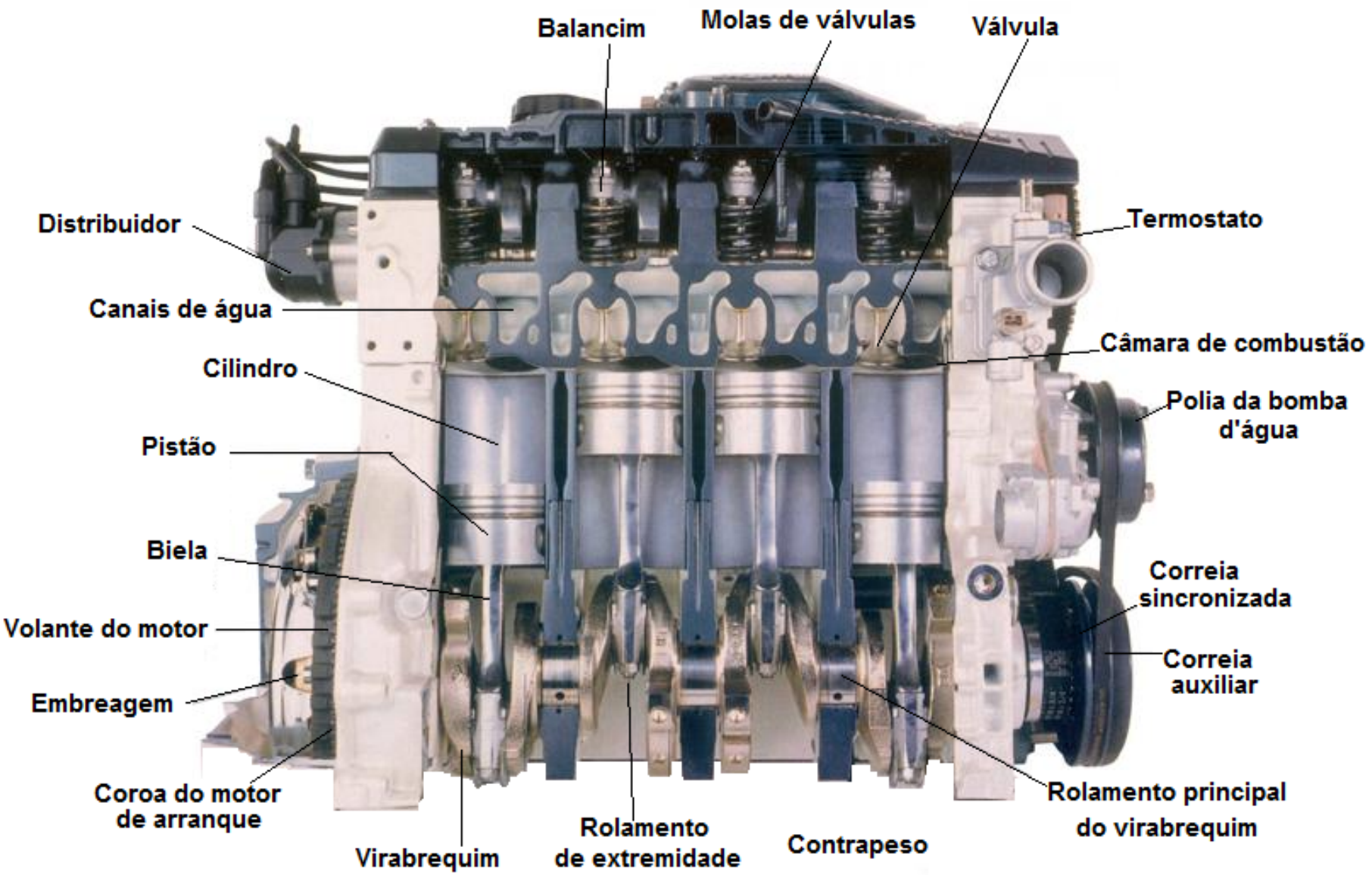
INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

MOTORES ALTERNATIVOS



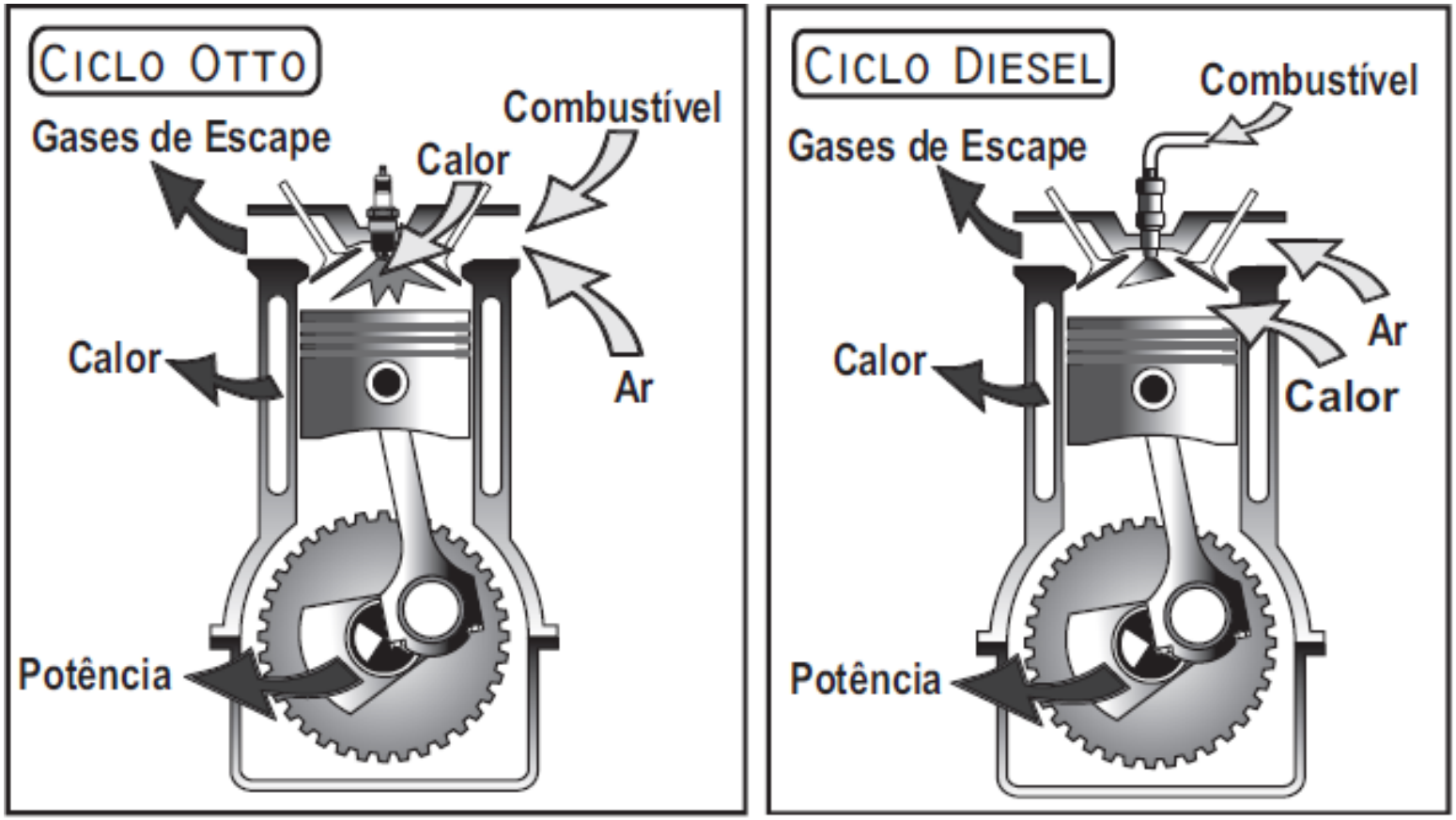
Fonte: http://www.infoescola.com/fisica/maquina-termica/

MOTORES ALTERNATIVOS



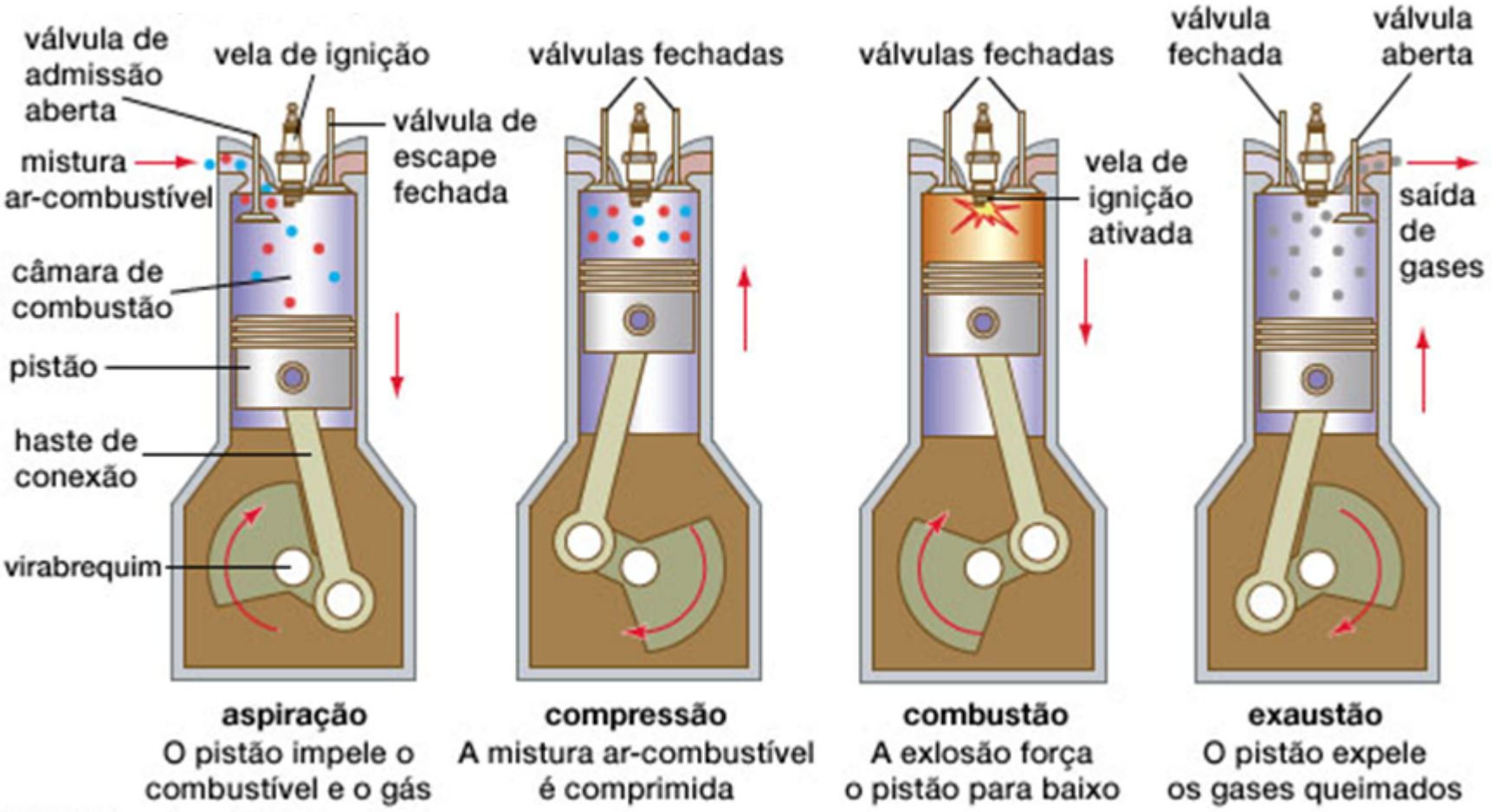
Fonte: http://www.infoescola.com/fisica/maquina-termica/

CICLOS OTTO E DIESEL



Característica	Otto	Diesel
Ignição	Centelha elétrica	Compressão
Combustíveis	Gasolina ou álcool	Óleo Diesel
Mistura	Fora da câmara de combustão	Dentro da câmara de combustão

MOTORES 4 TEMPOS



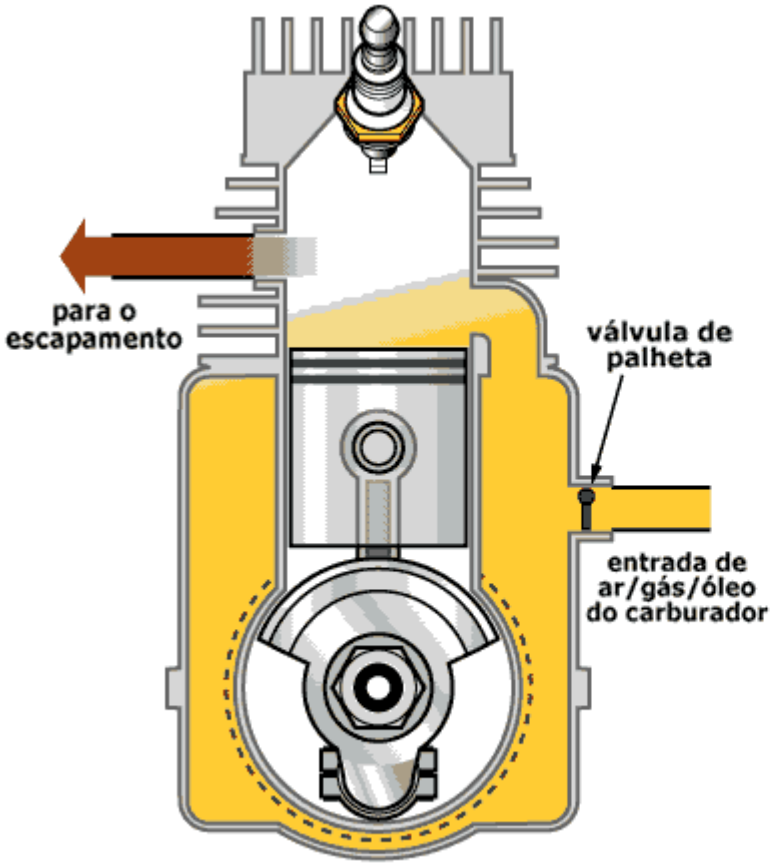
Fonte: http://escola.britannica.com.br/assembly/134581/
Um-motor-de-combustao-interna-funciona-em-quatro-tempos-aspiracao

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

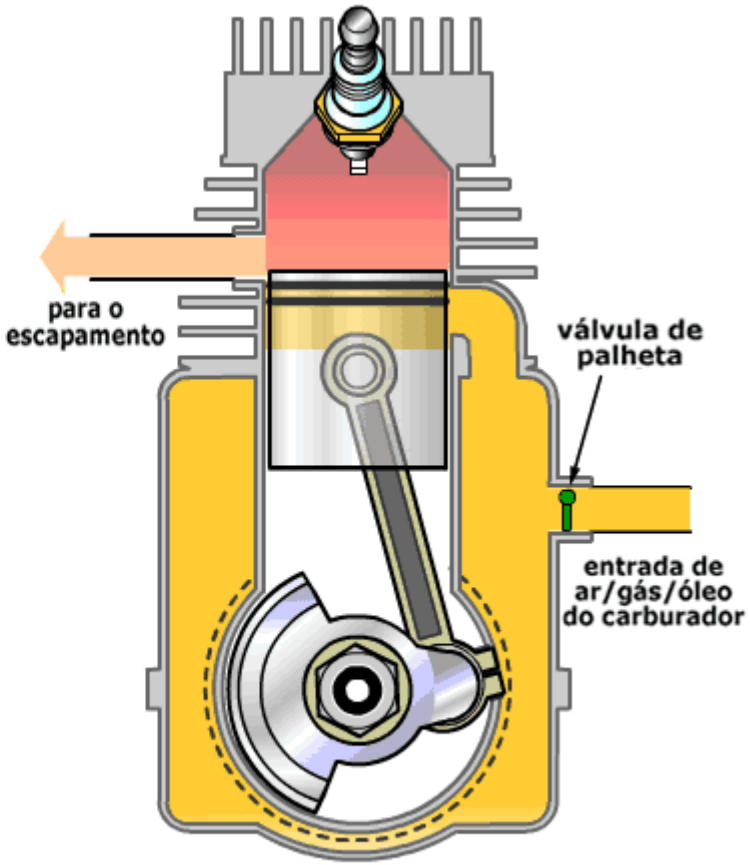
MOTORES 4 TEMPOS

Número do cilindro	Ângulo do virabrequim			
	0° - 180°	180° - 360°	360° - 540°	540° - 720°
1	Expansão	Escape	Admissão	Compressão
2	Escape	Admissão	Compressão	Expansão
3	Compressão	Expansão	Escape	Admissão
4	Admissão	Compressão	Expansão	Escape

MOTORES 2 TEMPOS



Admissão/Compressão



Expansão/Escape

Fonte: http://motor.blogs.sapo.pt/1879.html

MOTORES 2 TEMPOS

	Ângulo do virabrequim			
	0° - 90°	90° - 180°	180° - 270°	270° - 360°
Fase do ciclo	Admissão	Compressão	Expansão	Escape
Temperatura dos gases [°C]	20	200 - 400	2000 - 2800	500 - 1200
Pressão dos gases [bar]	1	5 - 8	15 - 30	1 - 3

COMPARAÇÃO ENTRE MOTORES 2 TEMPOS E 4 TEMPOS

Característica	4 tempos	2 tempos
Tempos x ciclo útil	2 voltas do virabrequim	1 volta do virabrequim
Sistema mecânico	Mais complexo	Ausência de válvulas e eixo de comando
Alimentação	Boa	Perda de mistura no escape e presença de lubrificante
Lubrificação	Boa	Presença de combustível

CICLO OTTO 4 TEMPOS

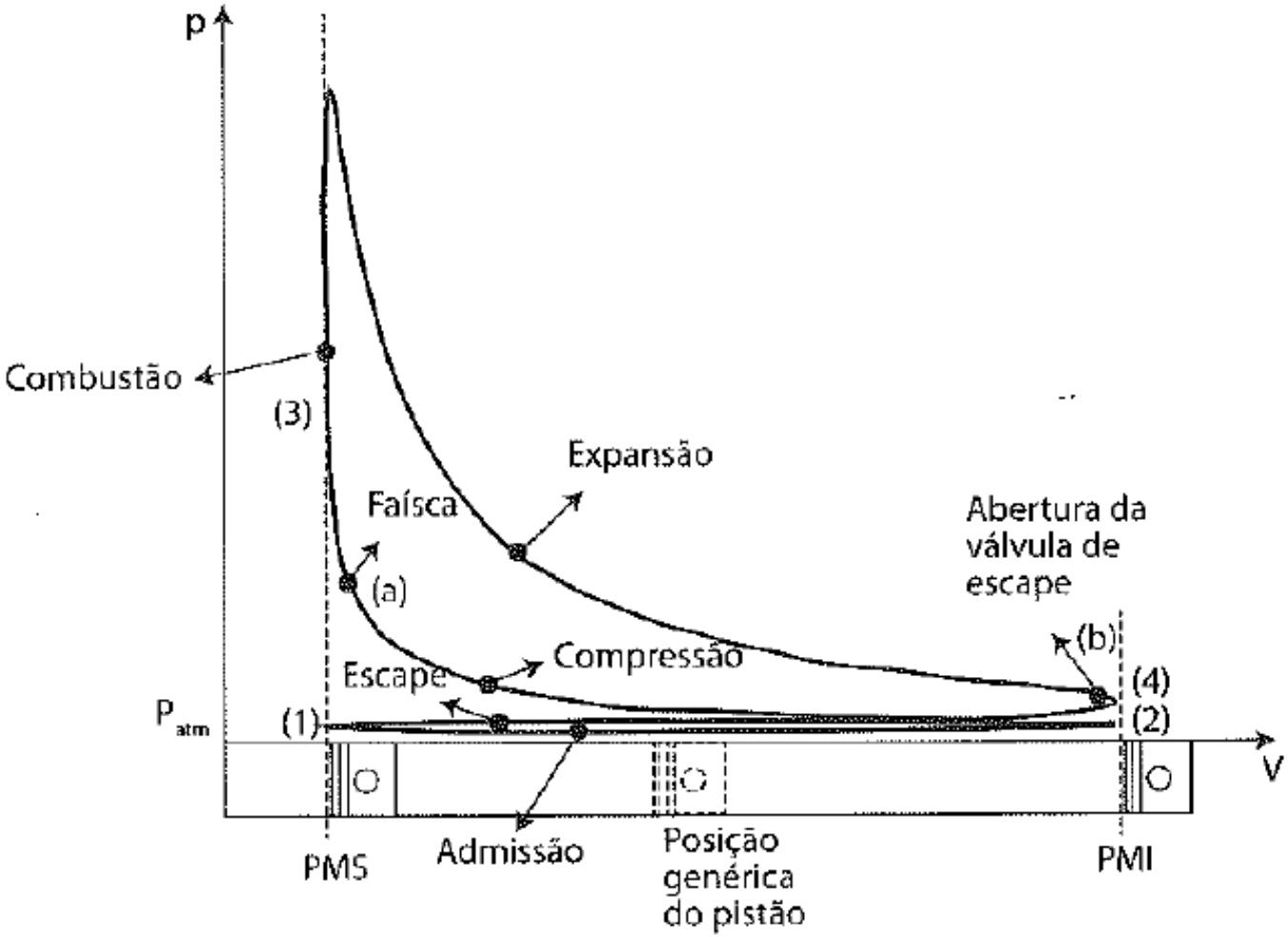


Diagrama P-V do motor Otto 4 T

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

CICLO DIESEL 4 TEMPOS

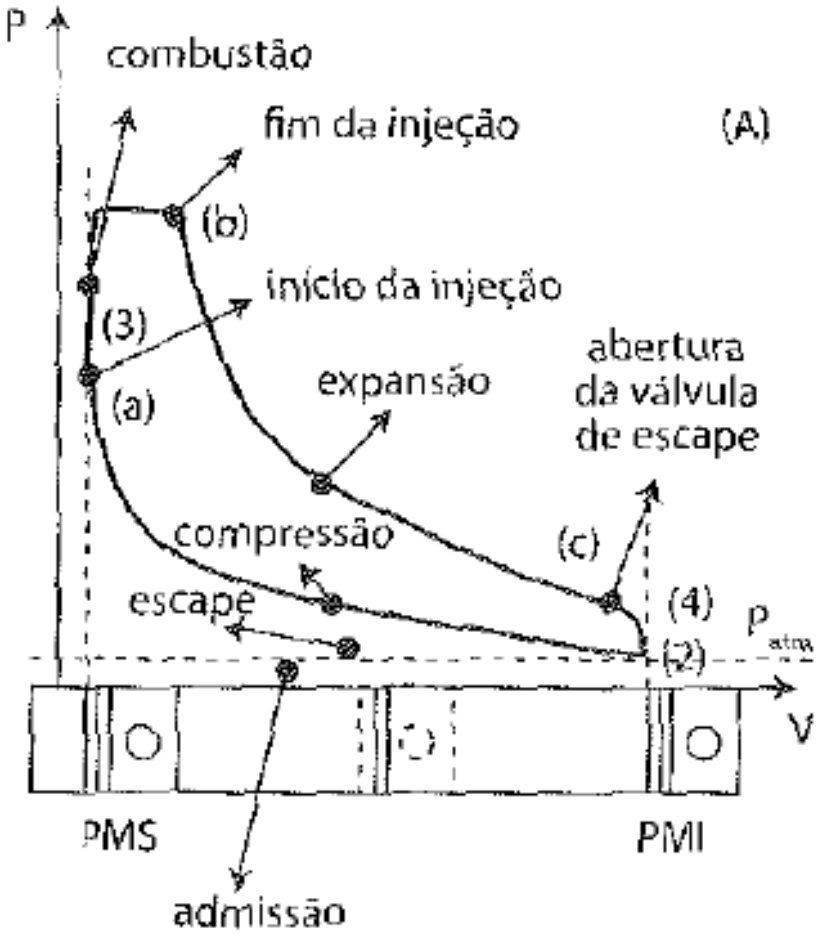
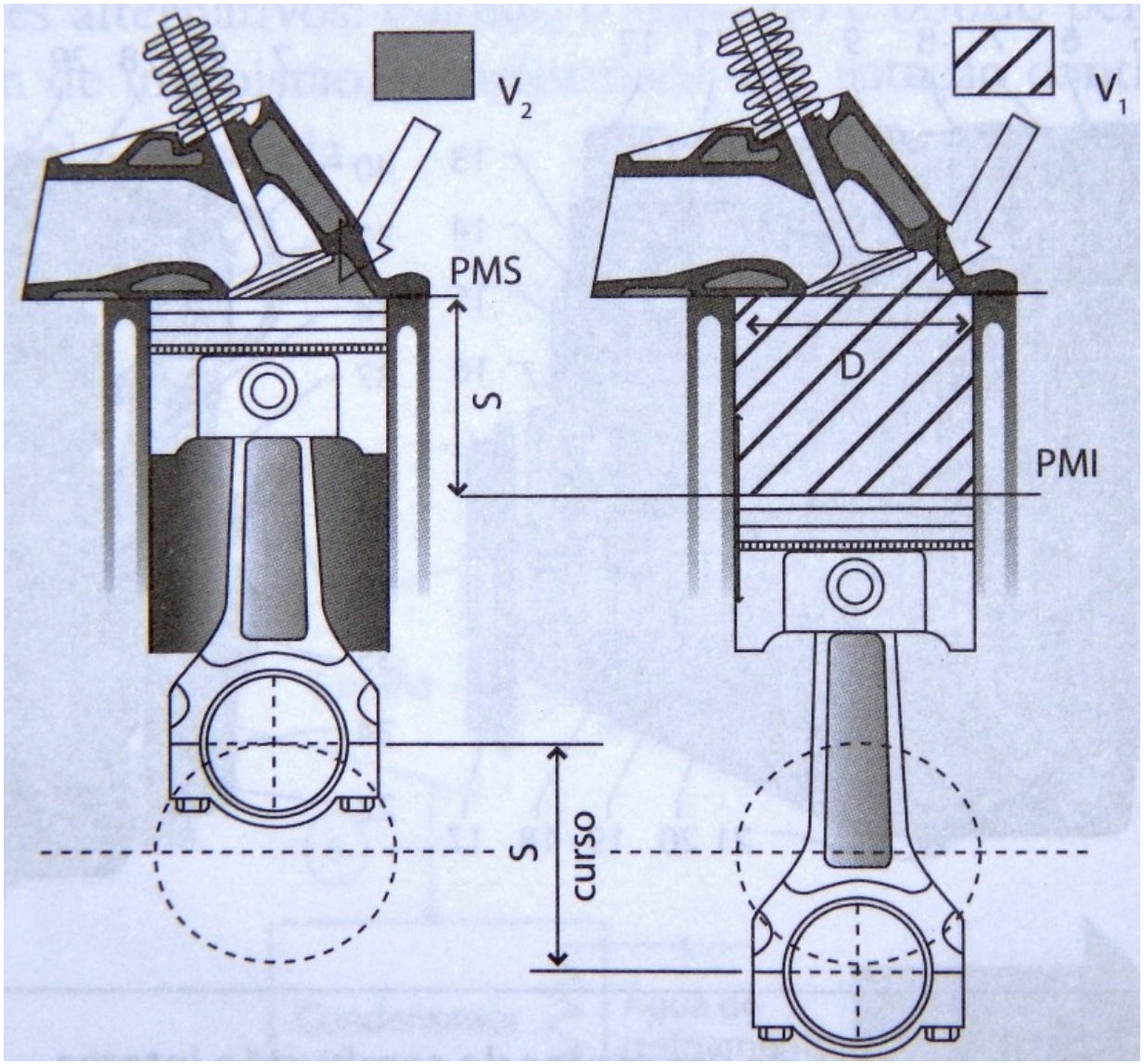


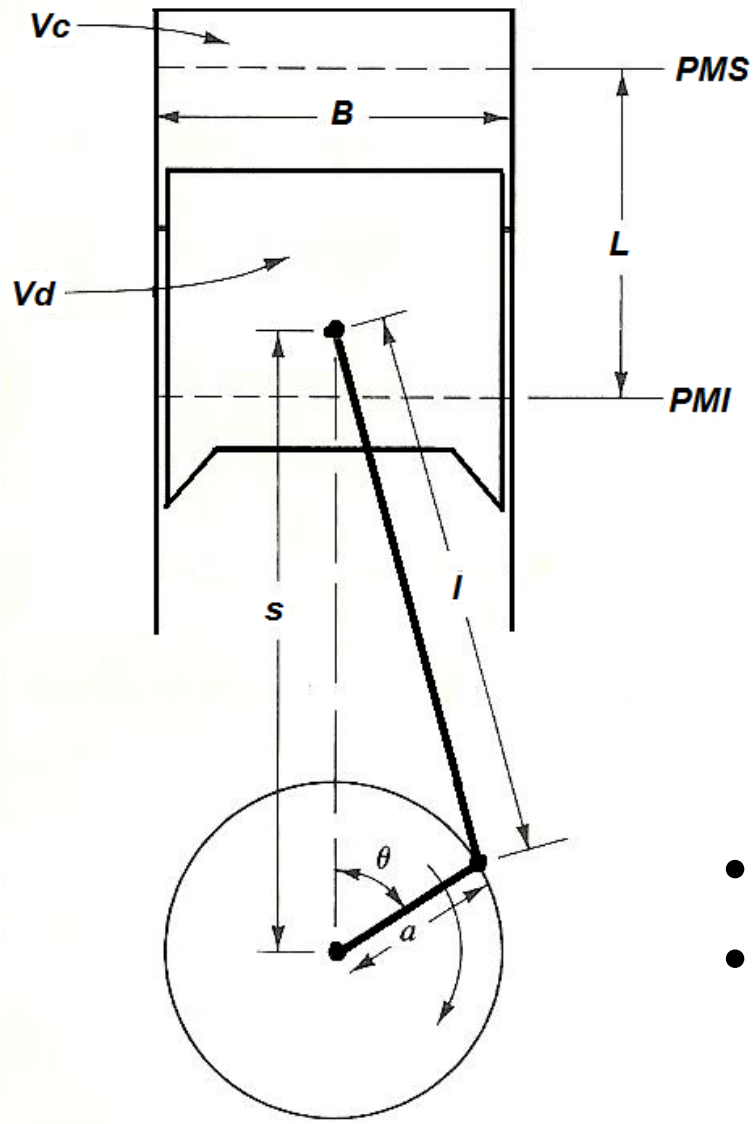
Diagrama P-V do motor Diesel 4 T

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

PARÂMETROS DE PROJETO



PARÂMETROS DE PROJETO – TAXA DE COMPRESSÃO

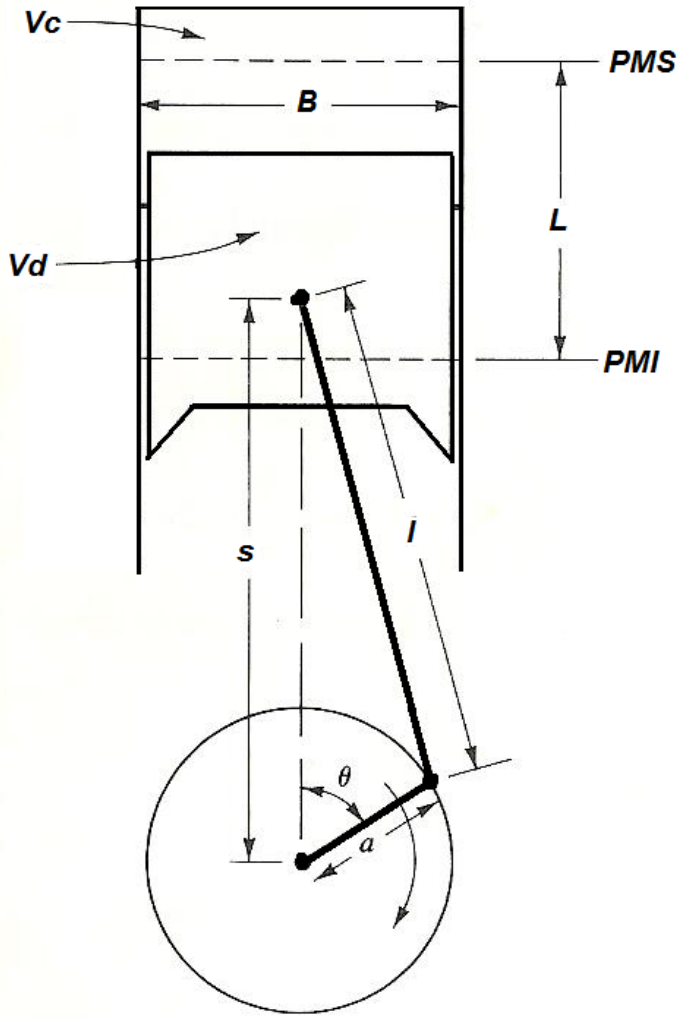


$$r_c = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

É a razão entre o volume máximo e o volume mínimo

- **8 a 12 para motores Otto**
- **12 a 24 para motores Diesel**

PARÂMETROS DE PROJETO – TAXA DE COMPRESSÃO



$$R_{dc} = \frac{B}{L}$$

$R_{dc} < 1$ => motor sub-quadrado
$R_{dc} = 1$ => motor quadrado
$R_{dc} > 1$ => motor super-quadrado

R_{dc} = 0.8 a 1.2 para motores de tamanho entre pequeno e médio, chegando até próximo de 0,5 para os enormes motores Diesel de baixa velocidade de rotação

COMPARATIVO ENTRE MOTORES

UNO

Diâmetro dos cilindros 70 mm
Curso dos pistões 64,9 mm
Cilindros 4 em linha
Válvulas por cilindro 2
Taxa de compressão 11,65:1
Cilindrada 999 cm^3
Combustível Flex
Peso/potência 12,27 kg/cv
Peso/torque 88,04 kg/kgfm
Torque específico 9,21 kgfm/litro
Potência específica 66,07 cv/litro
Potência 66 cv (A) 65 cv (G) a 6000 rpm
Torque 9,2 kgfm (A) 9,1 kgfm (G) a 2500 rpm

FERRARI

Diâmetro dos cilindros 92 mm
Curso dos pistões 75,2 mm
Cilindros 12 em V
Válvulas por cilindro 4
Taxa de compressão 11,2:1
Cilindrada 5999 cm^3
Combustível Gasolina
Peso/potência 2,07 kg/cv
Peso/torque 20,25 kg/kgfm
Torque específico 11,24 kgfm/litro
Potência específica 110,02 cv/litro
Potência 660 cv a 7800 rpm
Torque 67,4 kgfm a 5500 rpm

MOTOR DE GRANDE PORTE

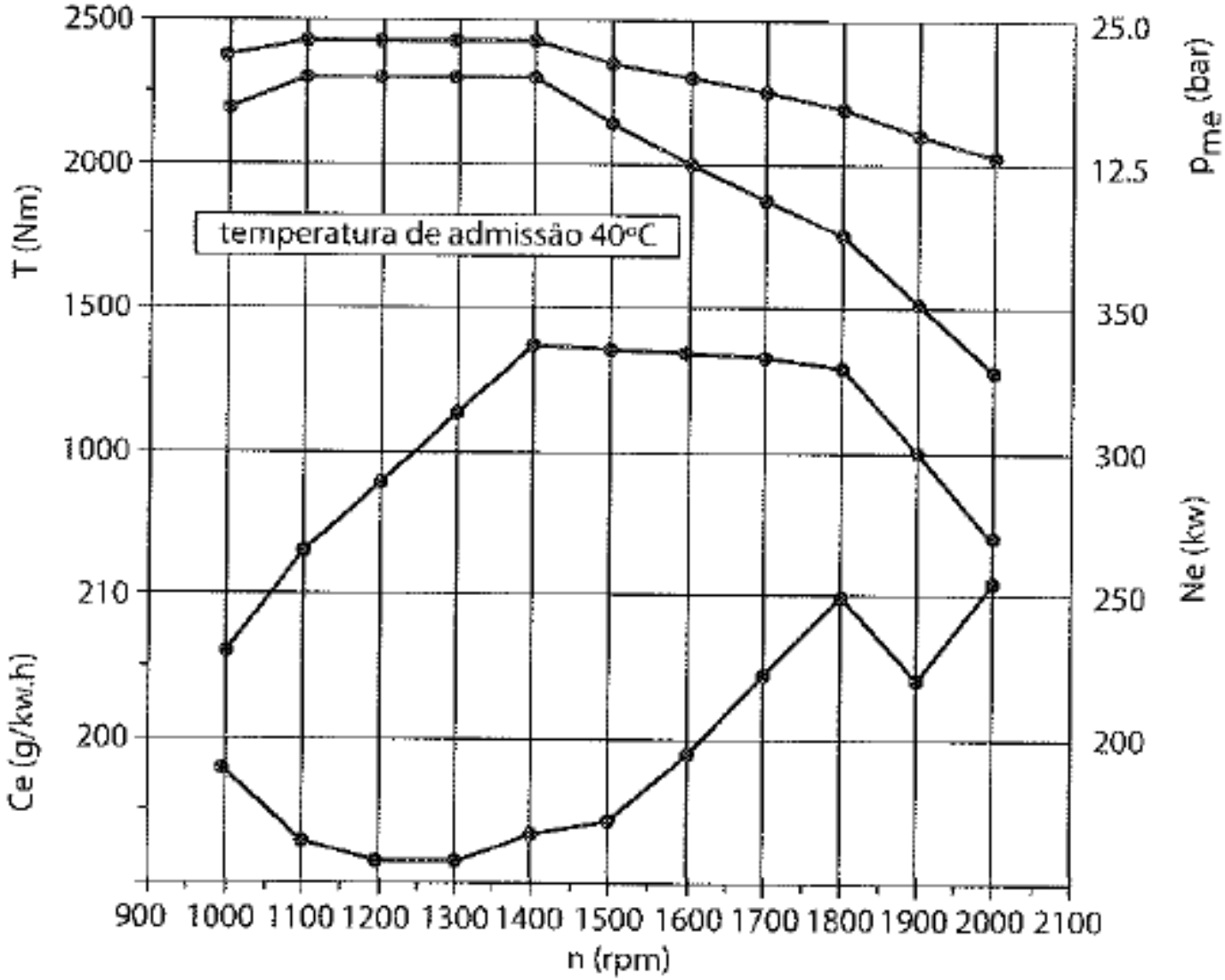
Fonte:http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/maior_motor_do_mundo.htm

MOTOR DE GRANDE PORTE

- **Diâmetro da Camisa: 960 mm**
- **Curso do Pistão: 2.500 mm**
- **Cilindrada: 25.480 litros**
- **Potência por cilindro: 7.780 HP**
- **Rotação: 92 a 102 RPM**

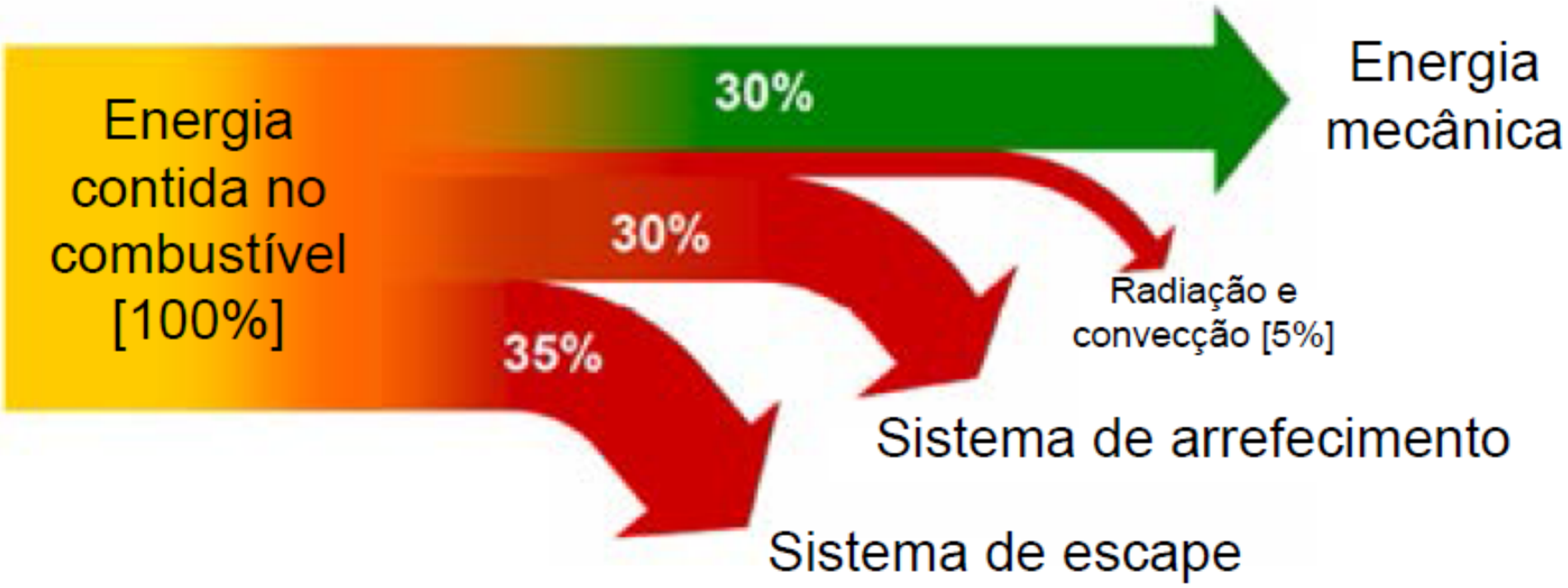
Fonte:http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/maior_motor_do_mundo.htm

CURVA CARACTERÍSTICA DE UM MOTOR



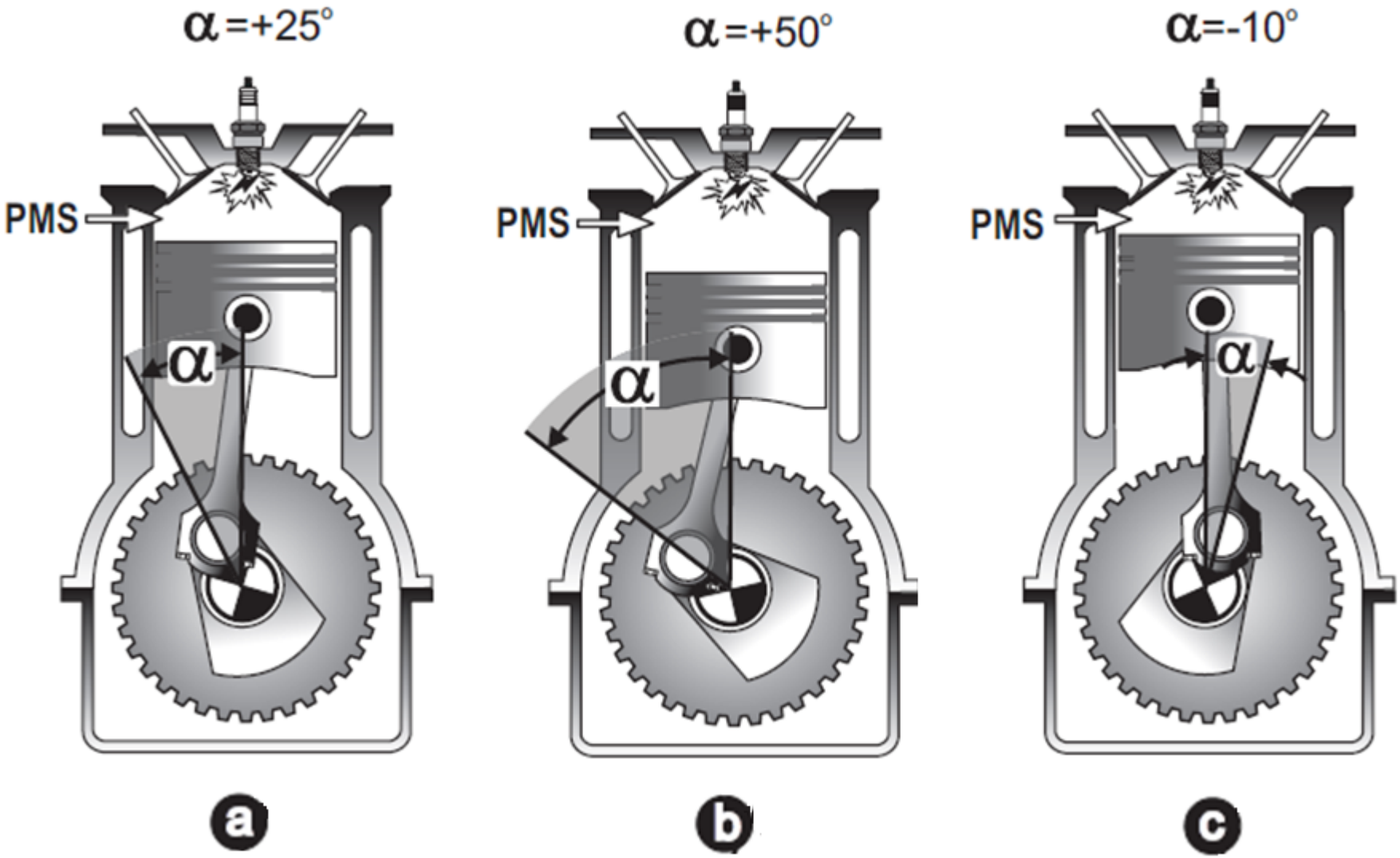
INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

ENERGIA EM UM MOTOR

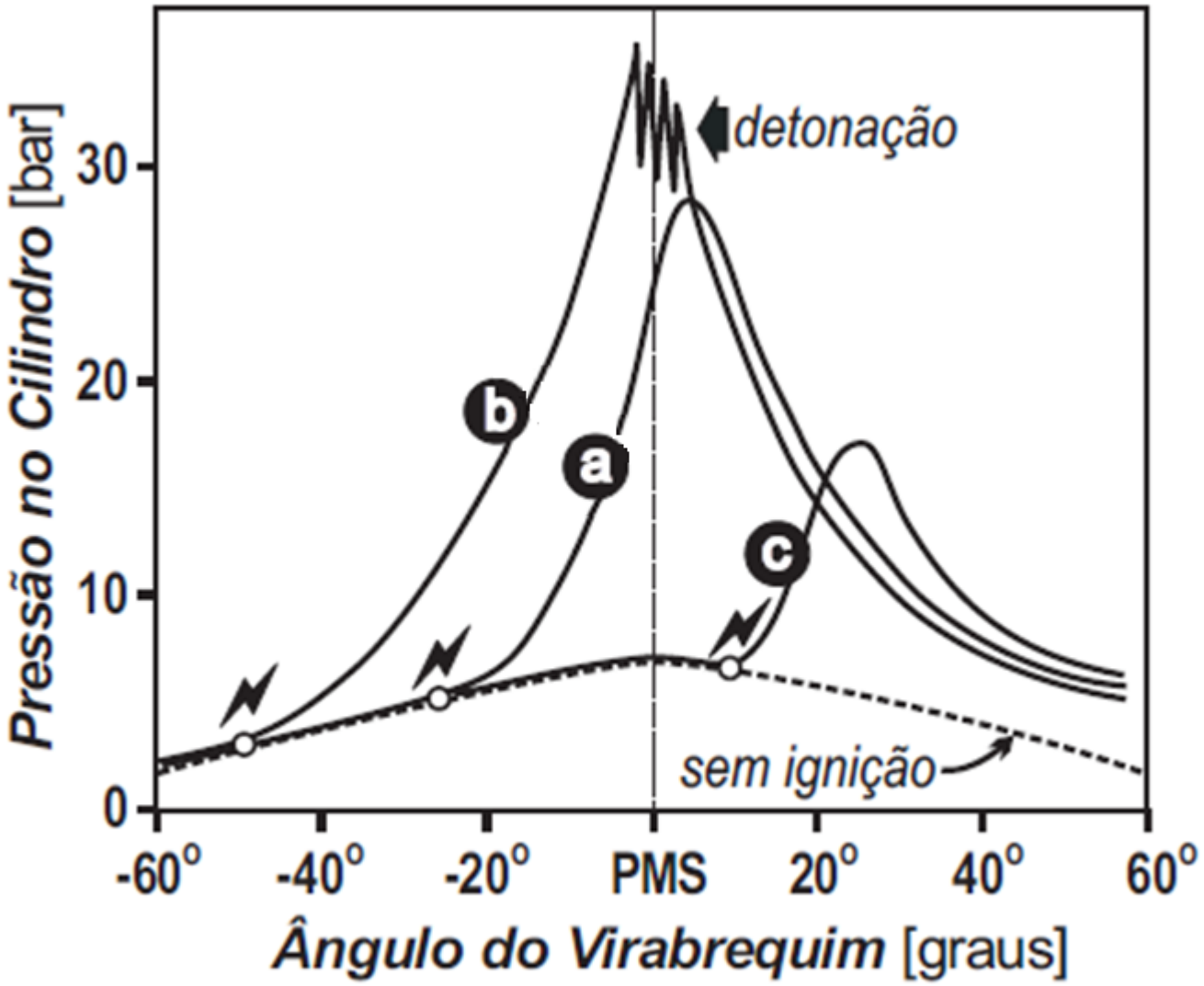


INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna

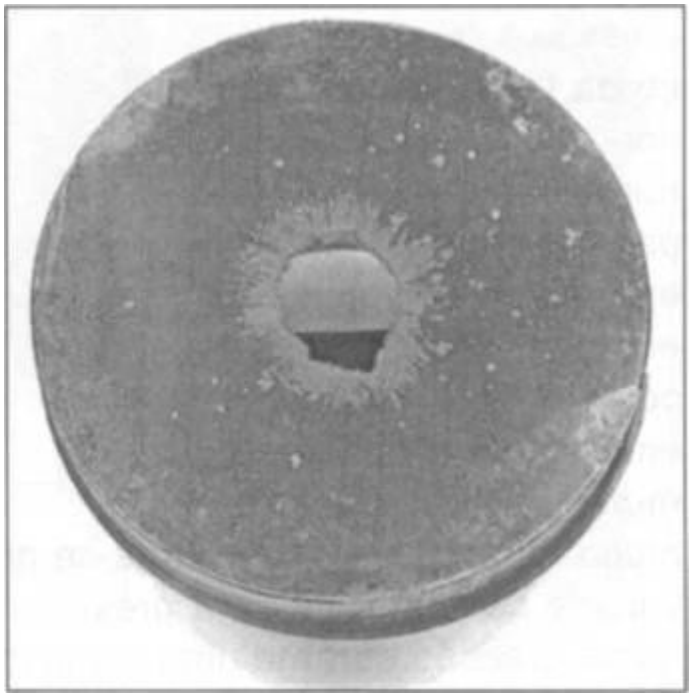
PONTO DE IGNIÇÃO



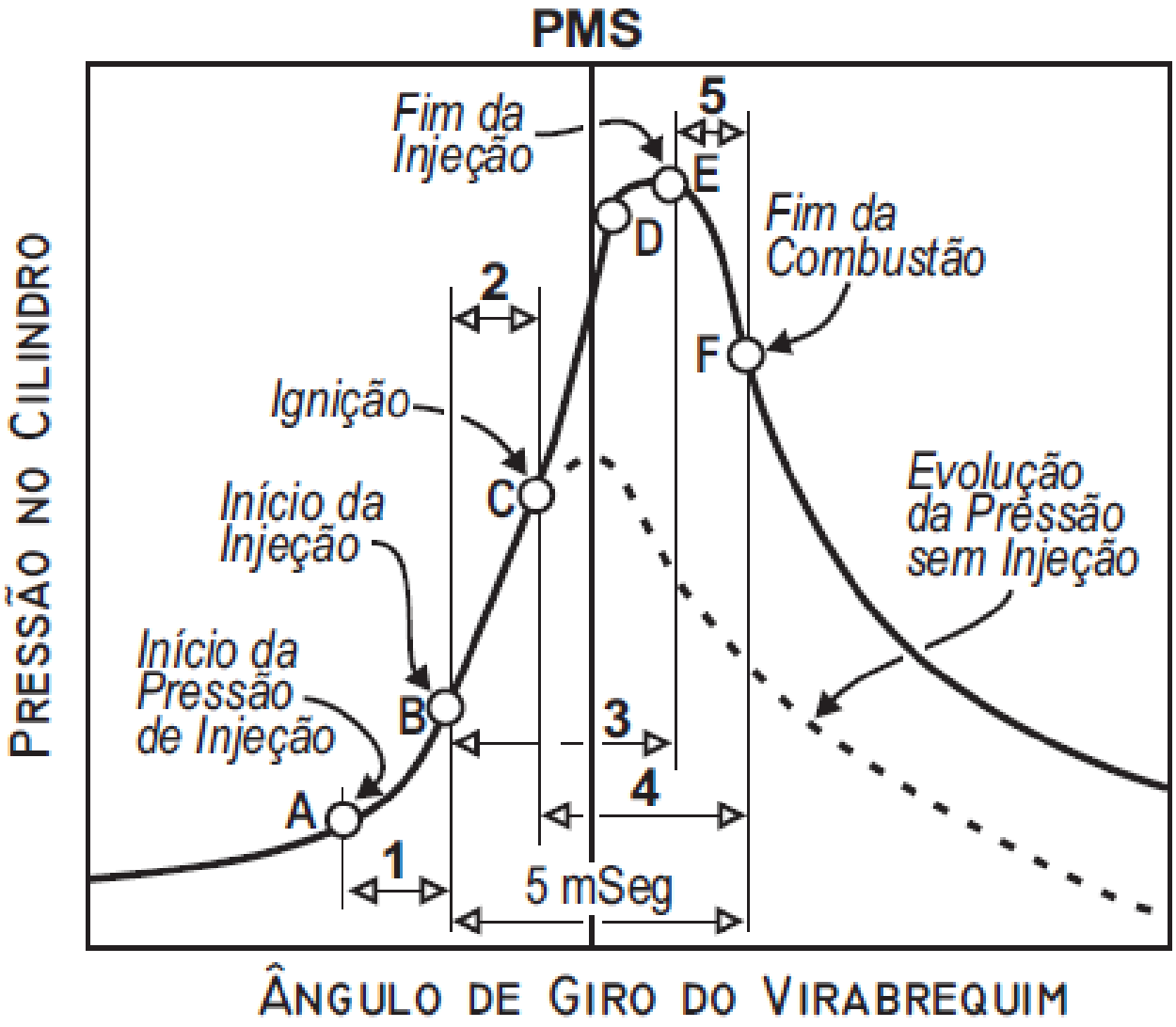
EFEITO DO PONTO DE IGNIÇÃO



EFEITOS DA DETONAÇÃO



COMBUSTÃO NO MOTOR DIESEL



A-B: *Atraso de injeção*

B-C: *Retardo de ignição*

D-E: *Combustão controlada*

E-F: *Pós-combustão*

INSTITUTO FEDERAL
Catarinense
Campus Luzerna