



# MÁQUINAS TÉRMICAS I

Motores de Combustão Interna

Prof. Eduardo C. M. Loureiro, DSc.

# Ementa

- **Tipos de motores e operação**
  - Introdução
  - Histórico
  - Classificação dos motores
  - Ciclos operativos
  - Componentes
  - Operação dos motores de ignição por centelha, exemplos.
  - Operação dos motores de ignição por compressão, exemplos.
  - Motores de carga estratificada.
- **Ciclos ideais**
  - Otto
  - Diesel
  - Misto
- **Parâmetros de projeto e operação**
  - Propriedades geométricas de motores alternativos
  - Potência e torque de frenagem
  - Trabalho indicado por ciclo
  - Eficiência mecânica
  - Pressão Média Efetiva
  - Consumo específico de combustível e eficiência
  - Razões ar/combustível e Combustível/ar
  - Eficiência volumétrica
  - Potência específica
  - Relações entre parâmetros de performance

# Ementa

- **Termoquímica da mistura ar-combustível**
  - Caracterização das chamas
  - Composição do ar e dos combustíveis
  - Razão de equivalência combustível/ar
  - Estequiometria da combustão
  - Poder calorífico
- **Processos de admissão e escape**
  - Carburação
  - Injeção eletrônica de combustível
  - Eficiência volumétrica
  - “Timing” das válvulas
    - Efeito aríete
    - Fluxo reverso
  - Turbo-compressão
- **Sistema de ignição**
  - Convencional/eletrônico
- **Características operacionais dos motores**
  - Parâmetros de performance
  - Potência indicada, potência de frenagem e PME
  - Variáveis que afetam Performance, Eficiência e emissões
    - Tempo de ignição
    - Composição da mistura
    - Carga e velocidade
    - Taxa de compressão
    - Projeto das câmaras de combustão.

# Bibliografia

## LIVRO TEXTO:

- HEYWOOD, J. B., ***Internal combustion engine fundamentals***, McGraw-Hill series in mechanical engineering, New York, 1988.
- PULKRABEK, W.W., ***Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engines***, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2004.

## BIBLIOGRAFIA AUXILIAR:

- LUMLEY, J. L., ***Engines, an introduction***, Cambridge University Press, New York, 1999.
- TAYLOR, C. F., ***The internal combustion engine in theory and practice, Volume 2, Combustion, fuels , materials, design***. Revised Edition, The M.I.T.Press, Cambridge, 1985.
- ***BOSCH Automotive Handbook***, 7th Edition, Robert Bosch GmbH, 2007.

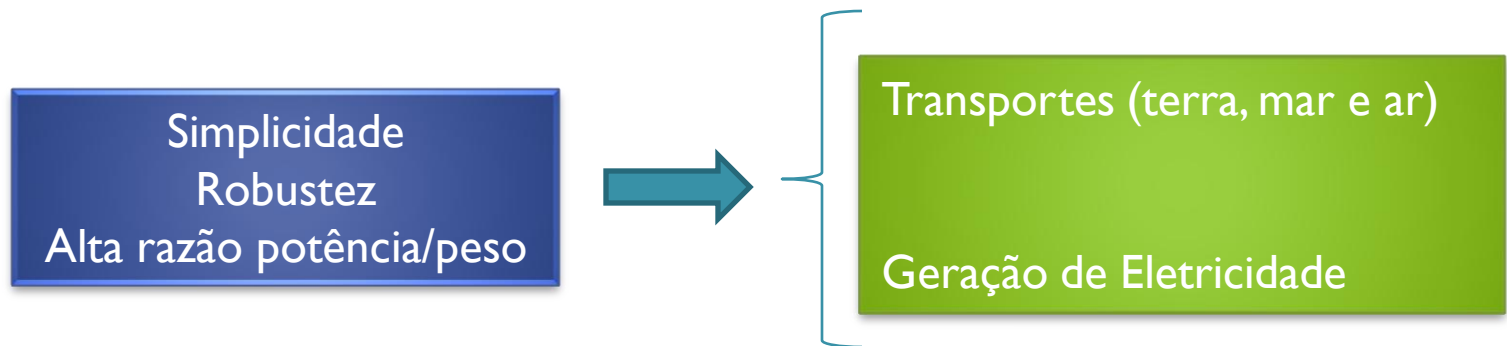
## MATERIAL AUXILIAR:

- Notas de aula e listas de exercícios disponíveis no site:

[www.eduloureiro.com.br](http://www.eduloureiro.com.br)

# Introdução

- **Motor de combustão interna:** máquina térmica que converte energia química contida no combustível em energia mecânica.
- Esta energia é liberada pela queima ou oxidação do combustível *dentro* do motor.
- A mistura ar-combustível antes da queima e os produtos da combustão são os fluidos de trabalho.
- A transformação em energia mecânica ocorre diretamente entre os fluidos de trabalho e os componentes mecânicos do motor.
- Neste curso serão estudados:
  - Motores a ignição por centelha (Otto).
  - Motores a ignição por compressão (Diesel).



# Histórico

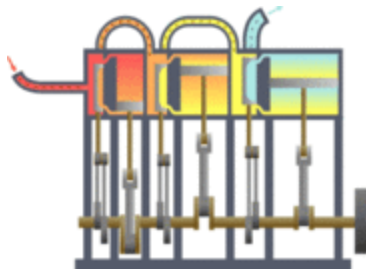
Os motores térmicos servem o homem há cerca de **250 anos**.

Nos primeiros 150 anos foram as **MÁQUINAS A VAPOR**:

- Água, transformada em vapor, foi interposta entre os gases de combustão produzidos pela queima de combustível e o sistema pistão cilindro.



Motor naval de tripla expansão usado para propulsionar o *SS Christopher Columbus*, por volta de 1890.



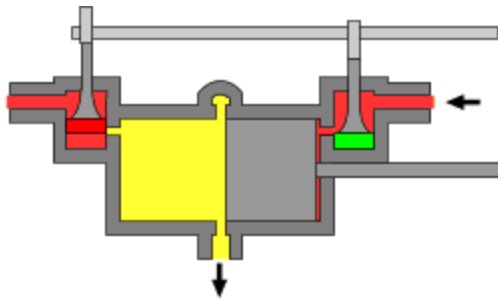
Animação de um motor de tripla expansão, vapor a alta pressão (vermelho), vindo da caldeira, passa através do motor e sai a baixa pressão (azul) para o condensador.

# Histórico

Os motores térmicos servem o homem há cerca de **250 anos**.

Nos primeiros 150 anos foram as MÁQUINAS A VAPOR:

- Água, transformada em vapor, foi interposta entre os gases de combustão produzidos pela queima de combustível e o sistema pistão cilindro.



Animação de um *uniflow steam engine*. As válvulas são controladas pelo eixo de cames na parte de cima. Vapor a alta pressão entra (vermelho), e sai a baixa pressão (amarelo).

# Histórico

Apenas nos anos 1860 os motores de combustão interna começaram a surgir.

- 1860.

- Não havia compressão antes da combustão. J.J.E. Lenoir (1822-1900) construiu o primeiro motor comercializado deste tipo. Foram vendidas cerca de 5.000 unidades de até 6HP. As melhores eficiências giravam em torno de 5%.

- 1867

- Otto (1832-1891) e Langen (1833-1895) conseguiram implementar melhoramentos nos motores a pressão atmosférica e também conseguiram vender cerca de 5.000 unidades agora com eficiência em torno de 11%.

- 1876

- Neste ano, Otto tornou-se o inventor do moderno motor de combustão interna, por ter conseguido por em prática um motor de quatro tempos: um curso de admissão, um de compressão antes da combustão, um curso de expansão, quando trabalho é realizado sobre o pistão e finalmente um tempo de exaustão dos gases queimados. Foram vendidos cerca de 50.000 motores com eficiência de cerca de 14%. A enorme redução de peso e volume conseguida nestes novos motores explica o seu sucesso.



# Histórico

- 1884.

- Neste ano foi descoberta uma patente francesa, não registrada, de 1862, onde Alphonse Beau de Rochas (1815-1893) descrevia os princípios de funcionamento do motor de quatro tempos. Porém, não conseguiu colocá-lo em funcionamento.

- 1880

- Surgem os motores de 2 tempos. Clerk e Robson na Inglaterra e Karl Benz na Alemanha, desenvolveram com sucesso motores de combustão interna onde os processos de exaustão e admissão ocorrem no final do curso de expansão e no começo do tempo de compressão.

- ...

- As taxas de compressão eram limitadas a menores do que 4:1, para evitar problemas de detonação devido à qualidade dos combustíveis.

- Substanciais melhoras nos sistemas de carburação e ignição.

- 1892

- O engenheiro alemão, Rudolf Diesel, (1858-1913) lançou uma patente de um novo tipo de motor de combustão interna. Sua intenção de iniciar a combustão pela injeção de um combustível líquido no ar aquecido apenas por compressão permitiu dobrar a eficiência dos motores de então. Muito maiores taxas de compressão, sem detonação, eram agora possíveis. Após muito esforço, Diesel levou cinco anos para conseguir por em prática um motor de ignição por compressão.

# Histórico

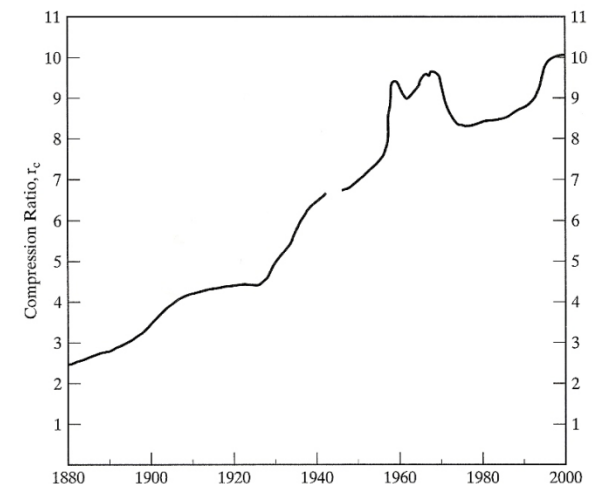
• ...

- Os combustíveis sempre tiveram maior impacto no desenvolvimento dos motores de combustão interna. Antes de 1905, embora as taxas de compressão fossem baixas (4:1 ou menores) para evitar problemas de detonação, o combustível muito volátil proporcionava fácil partida e boa performance em climas frios.
- Para suprir a grande demanda por combustível entre 1907 e 1915, novos processos de refino de petróleo foram realizados agora produzindo gasolina com alto ponto de fulgor, causando problemas de performance no tempo frio. Felizmente, os motores de partida elétricos surgiram no tempo certo, por volta de 1912.
- Após a I Guerra Mundial, houve um grande avanço na produção de combustíveis. A GM descobre o efeito antidetonante do Pb tetraetil e já em 1923 era disponível como aditivo. E também o processo de refino produzia gasolina de melhor qualidade.

Aumento na  
taxa de  
compressão



Mais potência  
e eficiência



# Histórico

- 1957

- Um mais recente desenvolvimento foi a construção de um motor de combustão interna rotativo: o motor Wankel. Este motor, fruto de vários anos de pesquisa e desenvolvimento foi baseado no projeto do engenheiro alemão Felix Wankel.

- ...

- Durante as últimas três décadas, novos fatores de mudança tornaram-se importantes e influenciaram no projeto e operação dos motores de combustão:

- Necessidade de controlar as emissões dos motores
    - Otimizar o consumo de combustível.

- Por que estas demandas e quais os avanços alcançados nestas áreas



# Perspectivas

Busca por novos materiais



Redução de peso

Redução de custo

Redução de perdas térmicas

Tipos alternativos



Carga estratificada

Bicombustíveis

# Classificação

Aplicação



Automóvel

Caminhão

Locomotiva

Aeronaves leves

Naval

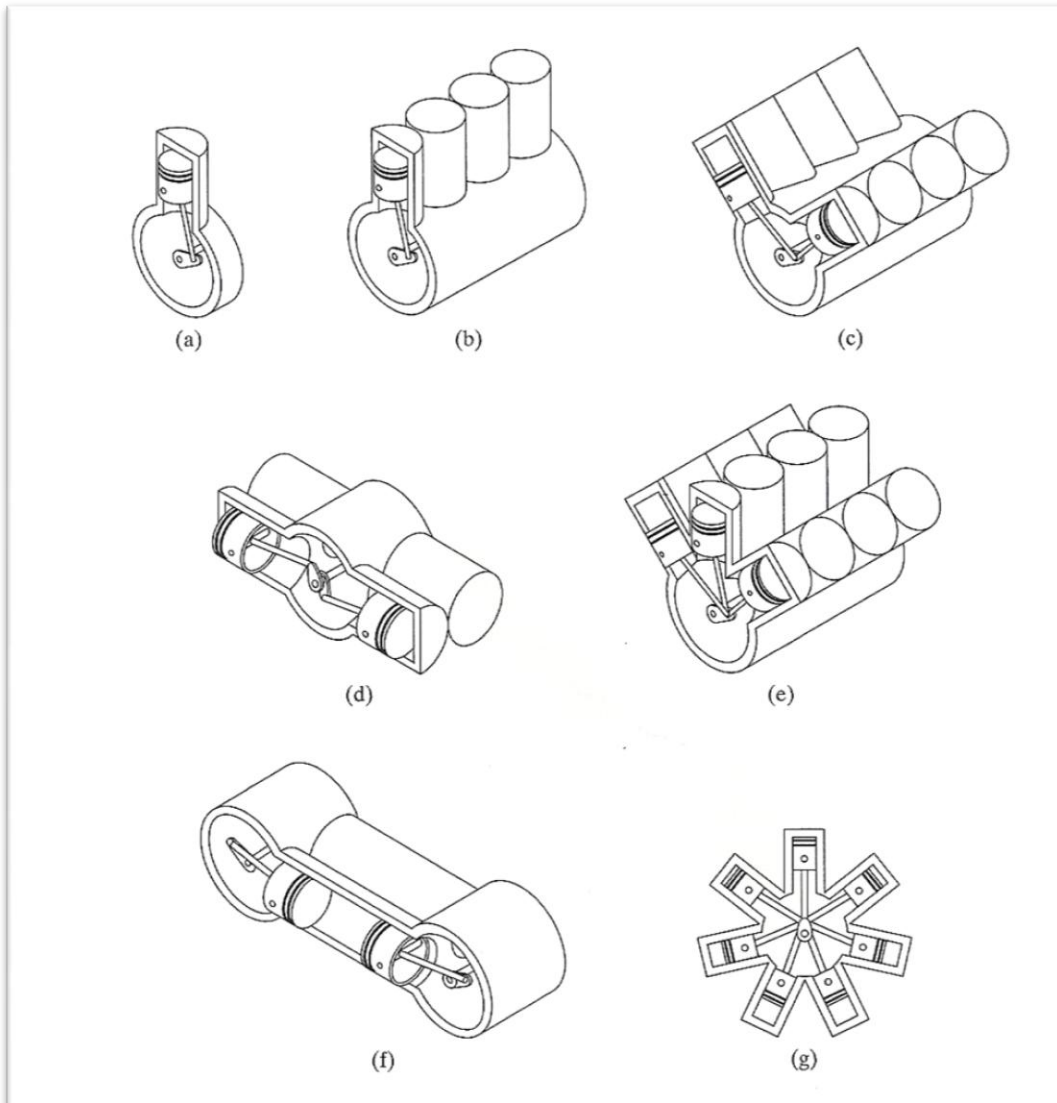
Geração elétrica

Geradores Portáteis

# Classificação



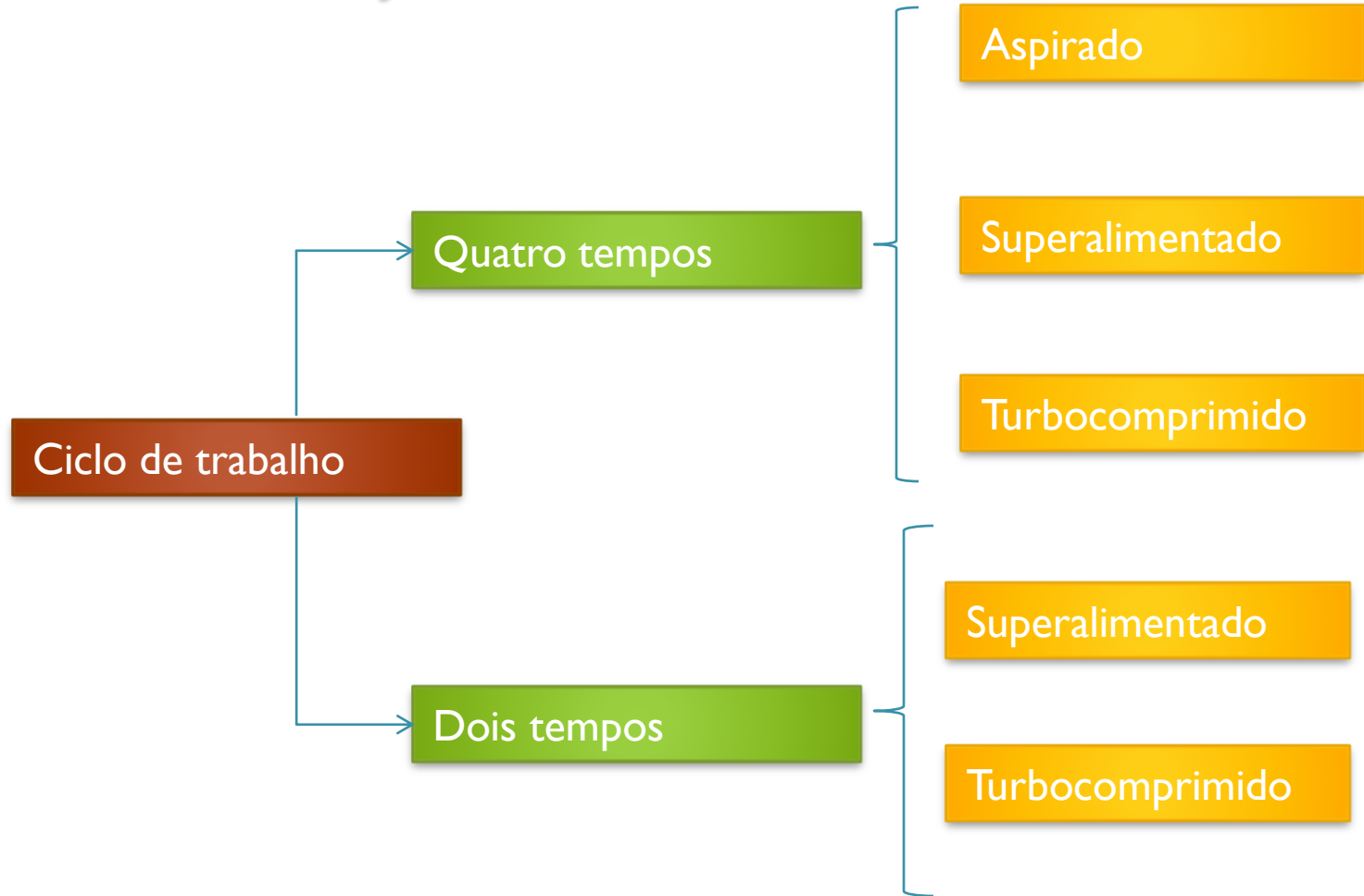
# Classificação



## Cilindros:

- (a) Monocilíndrico
- (b) Em linha
- (c) Em V
- (d) Cilindros opostos
- (e) Em W
- (f) Pistões opostos
- (g) Radial.

# Classificação





# Classificação

Combustível

Gasolina

Diesel

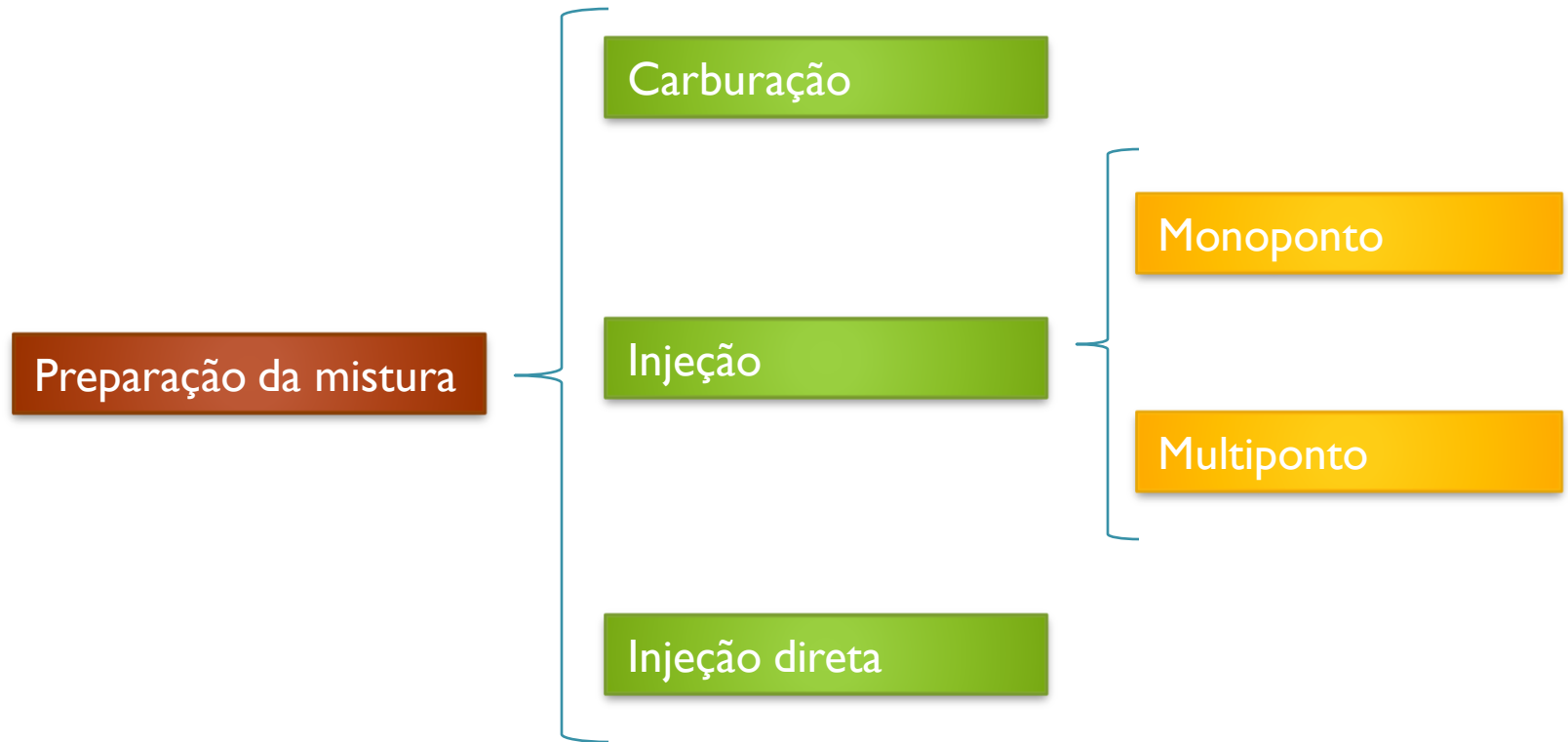
Gás natural

GLP

Álcool

Bicombustível

# Classificação



# Classificação

