

MOTORES TÉRMICOS

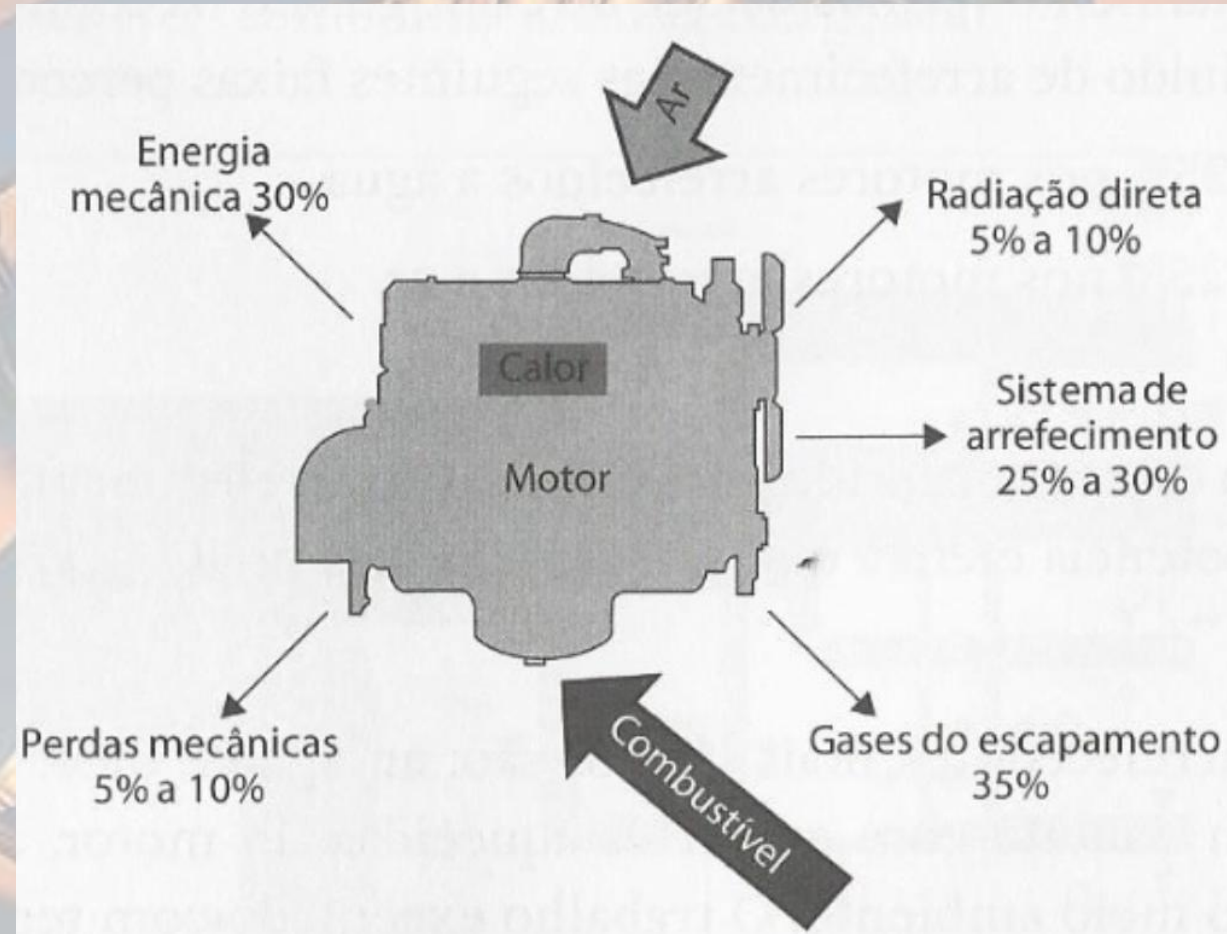
AULA 29 – SISTEMA DE ARREFECIMENTO

PROF.: KAIO DUTRA



Sistema de Arrefecimento

- O processo de **combustão** produz **grande diferença de temperatura** entre os gases e as paredes da câmara além de promover a transferência de parte do calor gerador para as paredes do cilindro e, conseqüentemente,, do cabeçote.
- O **sistema de arrefecimento** deve **manter os componentes do motor em temperaturas médias compatíveis** com as características dos materiais.



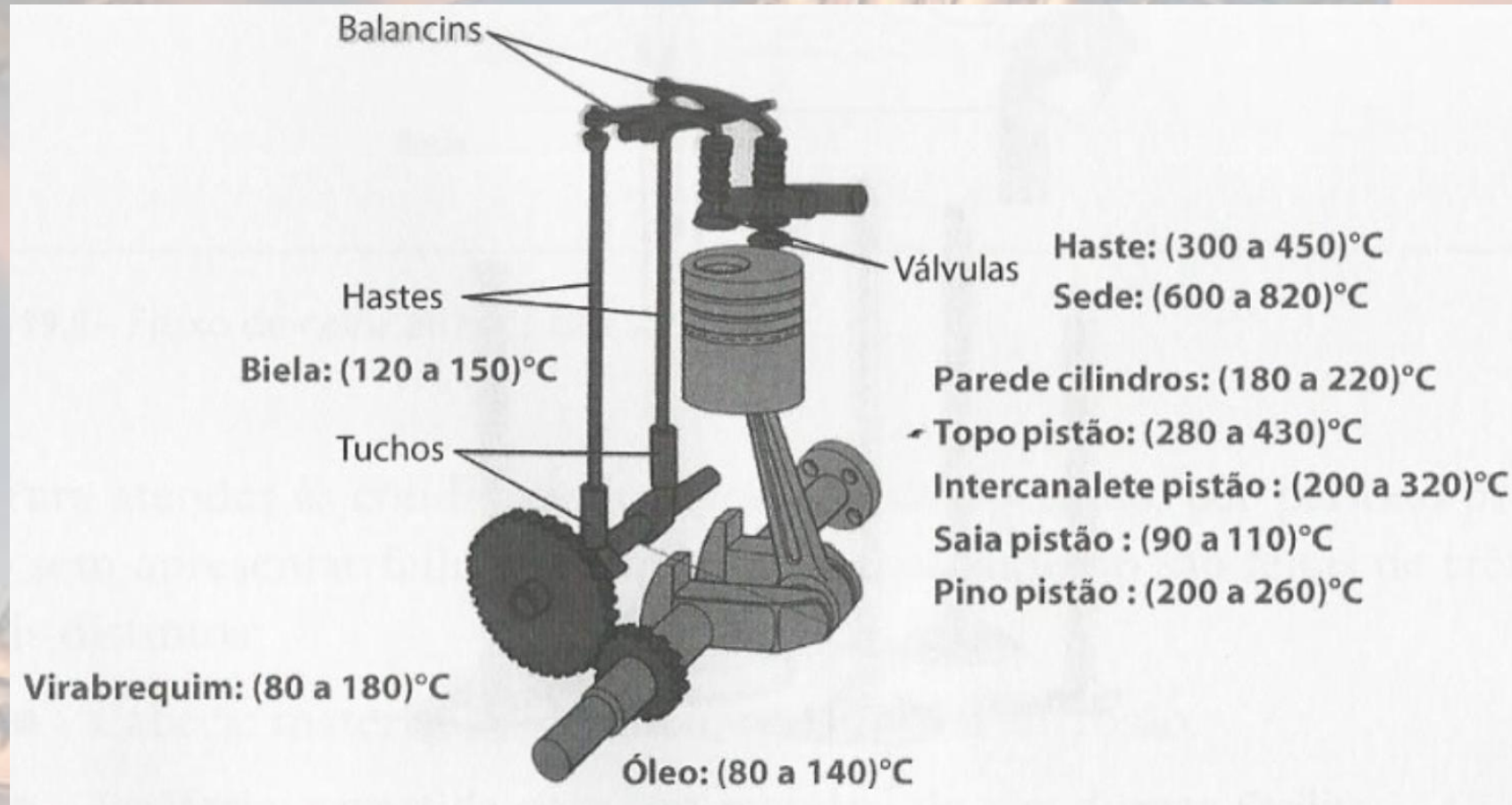
Sistema de Arrefecimento

- O **calor liberado pelo combustível** em um cilindro varia entre **1500 e 2500Kcal/cv.h**, dependendo do consumo específico (C_e). Caso este calor não seja retirado, as paredes do cilindro, cabeçote e a cabeça do pistão tenderão a atingir **temperaturas iguais à média** da temperatura do ciclo, ou seja entre **600 e 800°C**.
- O trabalho executado com temperaturas elevadas promove deformações, corrosão, desgaste, degradação do óleo e engripamento do motor.
- **Os meios arrefecedores mais usados são: ar, água e óleo.** O meio arrefecedor entra em contato com as partes aquecidas do motor, absorve calor e transfere para o meio ambiente.



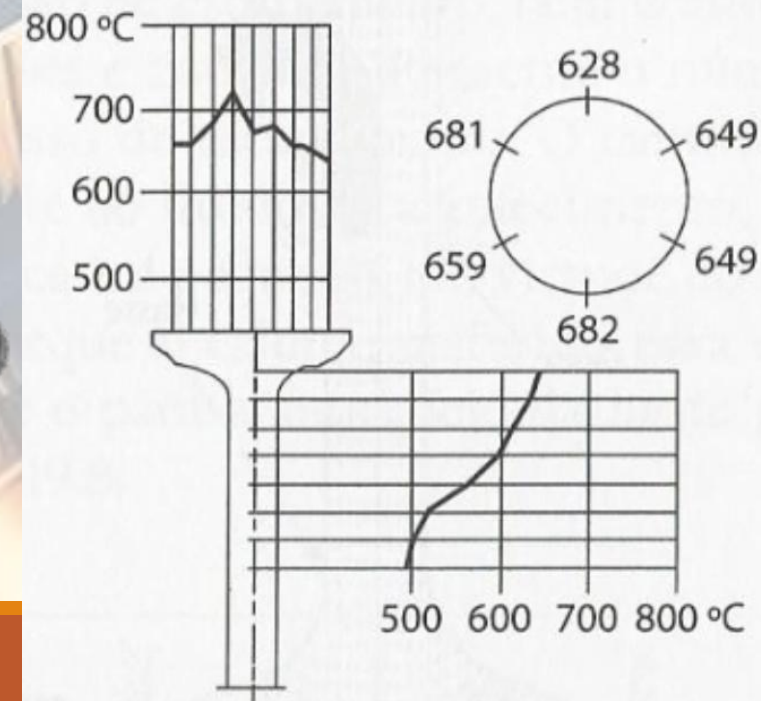
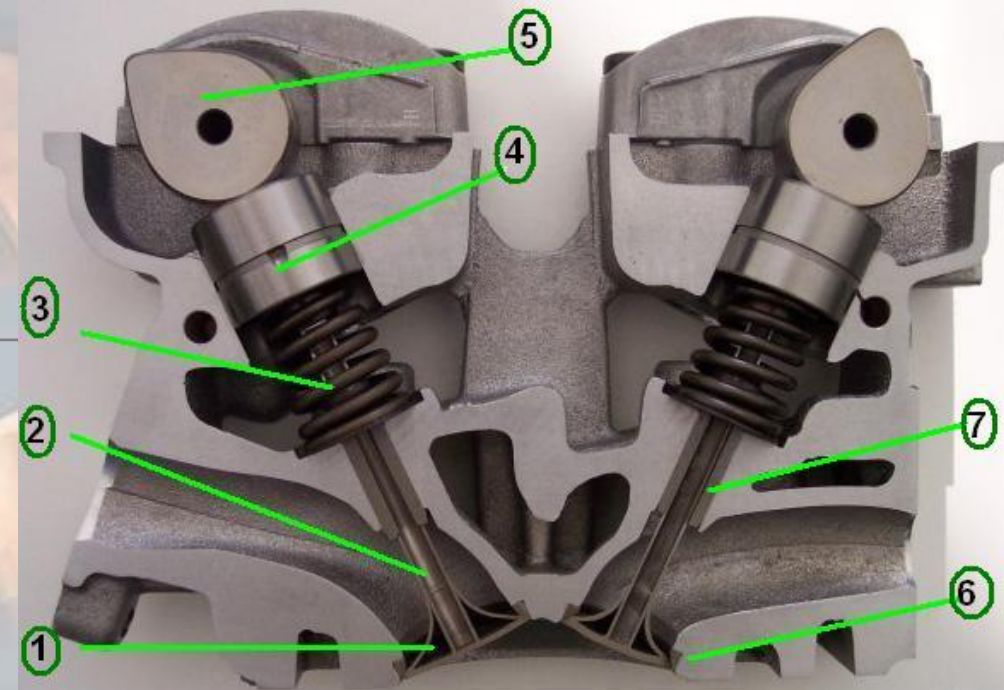
Limites de Temperatura

◦ A figura apresenta as temperaturas a que são submetidos os componentes internos do motor de combustão interna.



Limites de Temperatura Válvulas

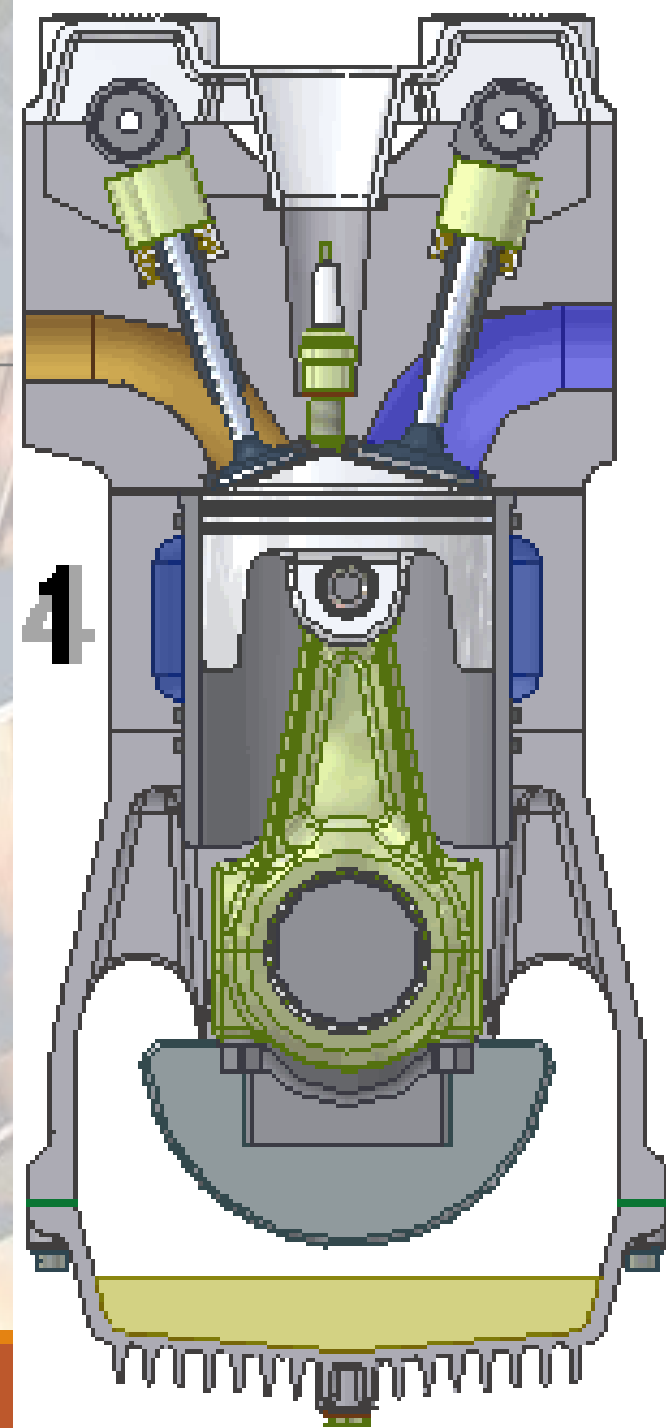
- As válvulas de admissão e escapamento, por estarem em contato direto com a combustão, são bastante solicitadas. O valor médios para as válvulas de escapamento são:
 - Haste: 300 a 450°C;
 - Sede: 600 a 820°C.
- Na maioria das vezes, os materiais constituintes dessas válvulas são ligadas CrNi que suportam temperaturas em torno de 800°C.



Limites de Temperatura

Válvulas

- As **válvulas de admissão** são resfriadas pelo ar de admissão e beneficiadas pela área de contato maior com este fluxo, enquanto a temperatura da **válvula de escapamento** é alta, pois maior parte de sua superfície está **exposta aos gases quentes** durante o processo de escapamento, bem como, na combustão e expansão.



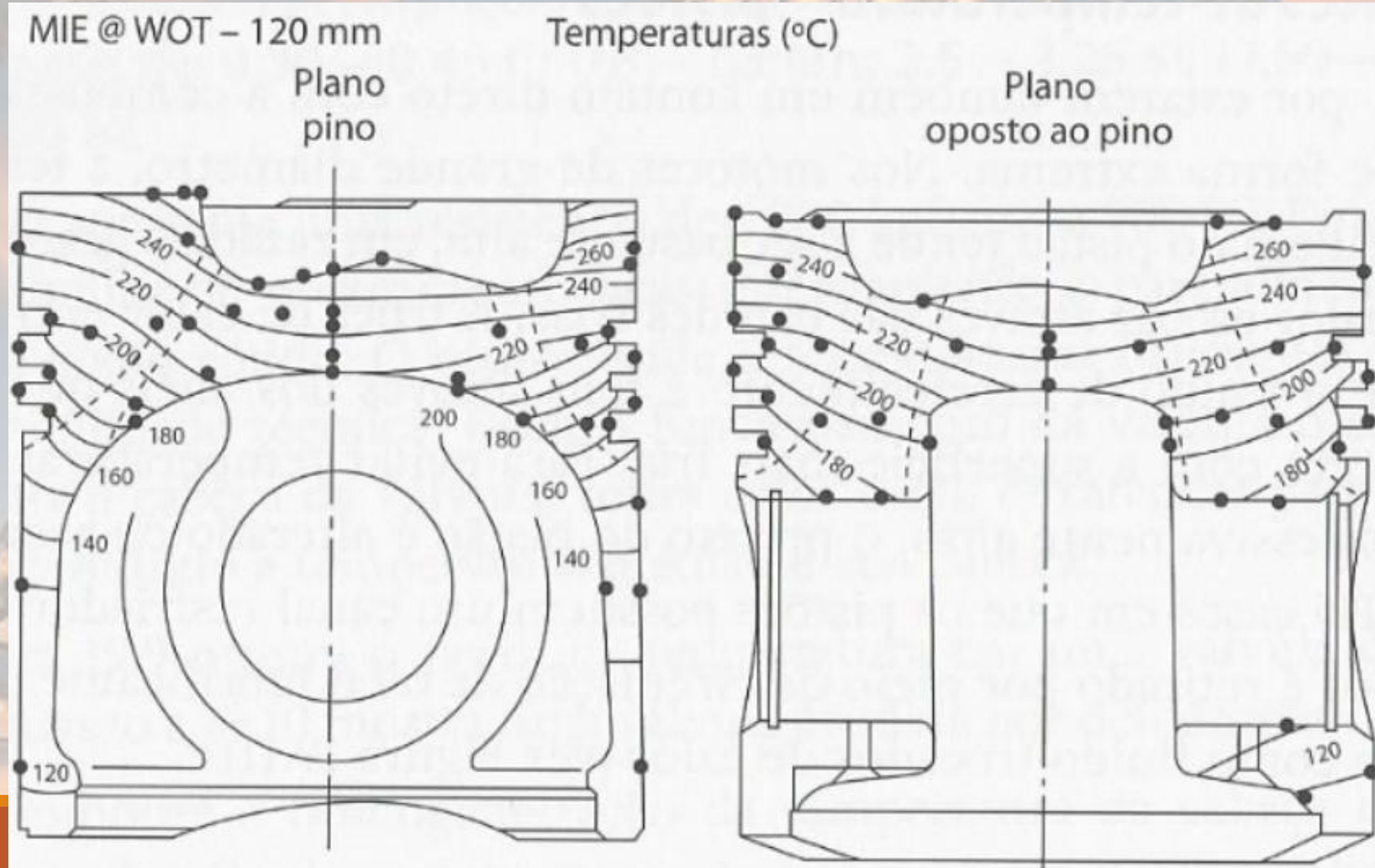
Limites de Temperatura Pistões

- **Os pistões**, por estarem em contato direto com a combustão, **são solicitados de forma extrema**. Nos motores de grande diâmetro, a temperatura média da cabeça do pistão tende a ser bastante alta.
- A **troca de calor** entre a cabeça do pistão e o fluido de arrefecimento é feita **através dos anéis de segmento** que estão em contato direto com a superfície mais fria.
- Há casos em que os pistões possuem um canal resfriador na cabeça, onde o calor é rejeitado por meio de circulação de **óleo lubrificante**.



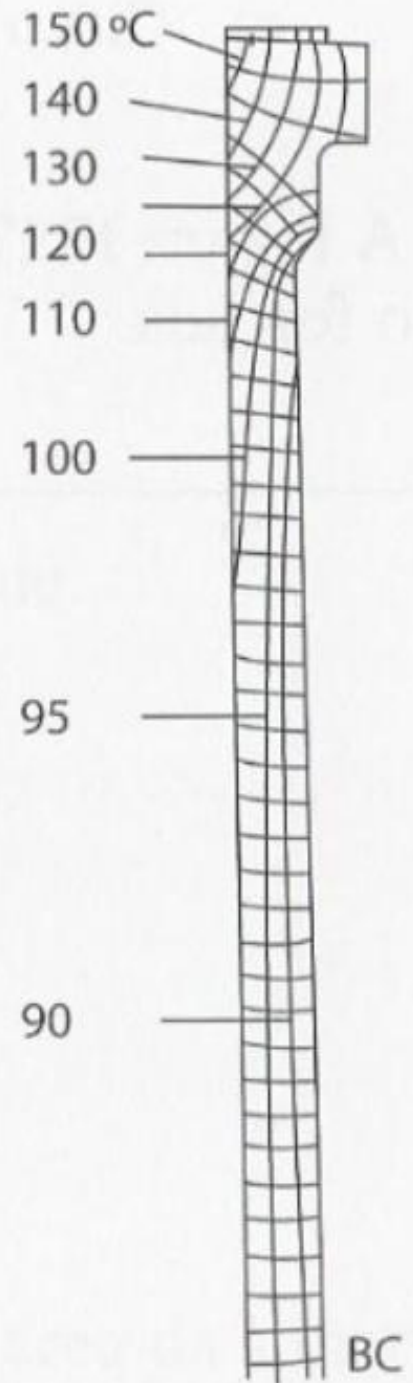
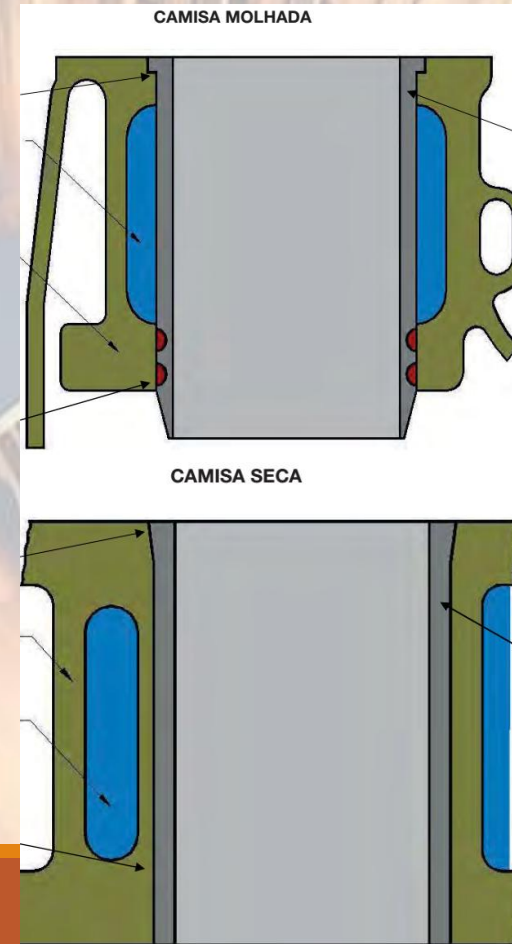
Limites de Temperatura Pistões

- A figura apresenta o perfil de temperatura no pistão de MIE a plena carga.



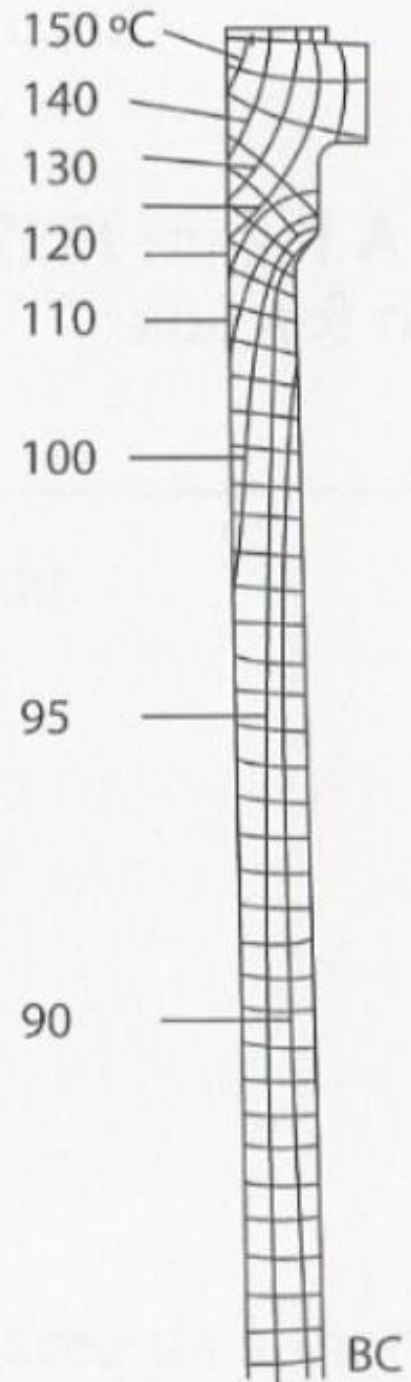
Limites de Temperatura Cilindros

- As camisas ou os cilindros também são **solicitados de forma extrema**. A temperatura de pico do gás queimado pode atingir 2200°C , enquanto a temperatura máxima de operação do material da parede do cilindro, quando em ferro fundido é em torno de 400°C e em alumínio em torno de 300°C .



Limites de Temperatura Cilindros

- Estas condições podem **levar às seguintes consequências:**
 - **Aquecimento da vela:** pré-ignição nos MIF;
 - Variação da temperatura de exaustão, interferindo diretamente nas **emissões gasosas;**
 - Temperatura máxima na parede do cilindro requisitando maior **potência nas bombas ou ventiladores;**
 - **Alta temperatura** dos gases queimados, necessitando de materiais superiores para as **válvulas de exaustão.**



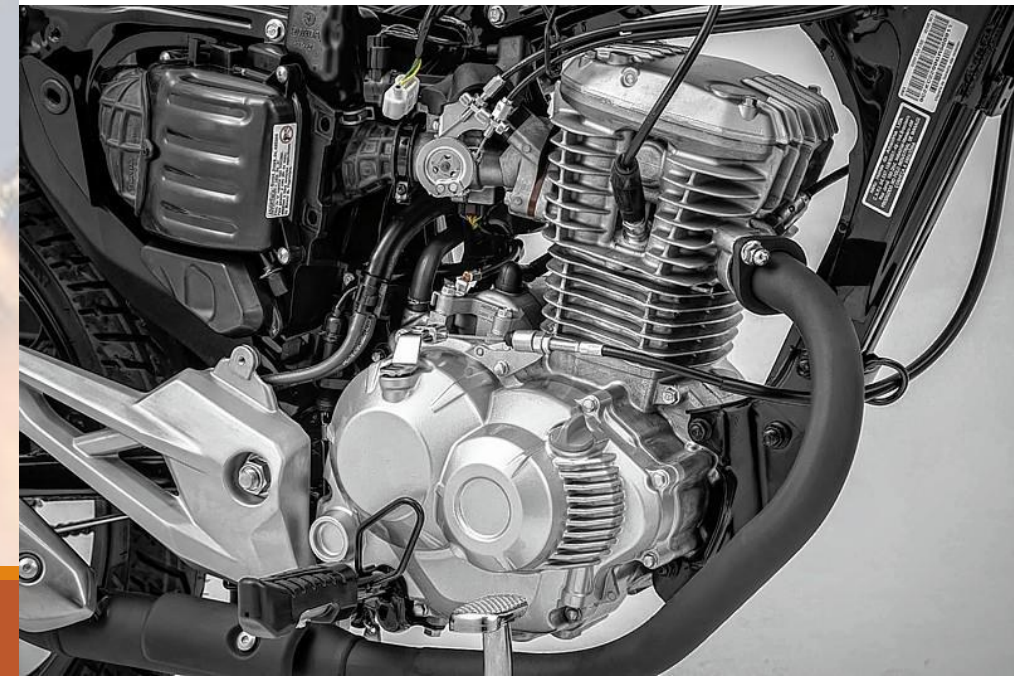
Processos de Arrefecimento

- Os **processos empregados** atualmente para retirar calor dos motores são:
 - Circulação de água:
 - Circulação fechada com torre de arrefecimento;
 - Circulação aberta com reservatório;
 - Termossifão;
 - Circulação fechada.
 - Circulação de ar:
 - Livre;
 - Forçada.
 - Circulação de óleo:
 - Forçada;
 - Complementar a circulação de ar.



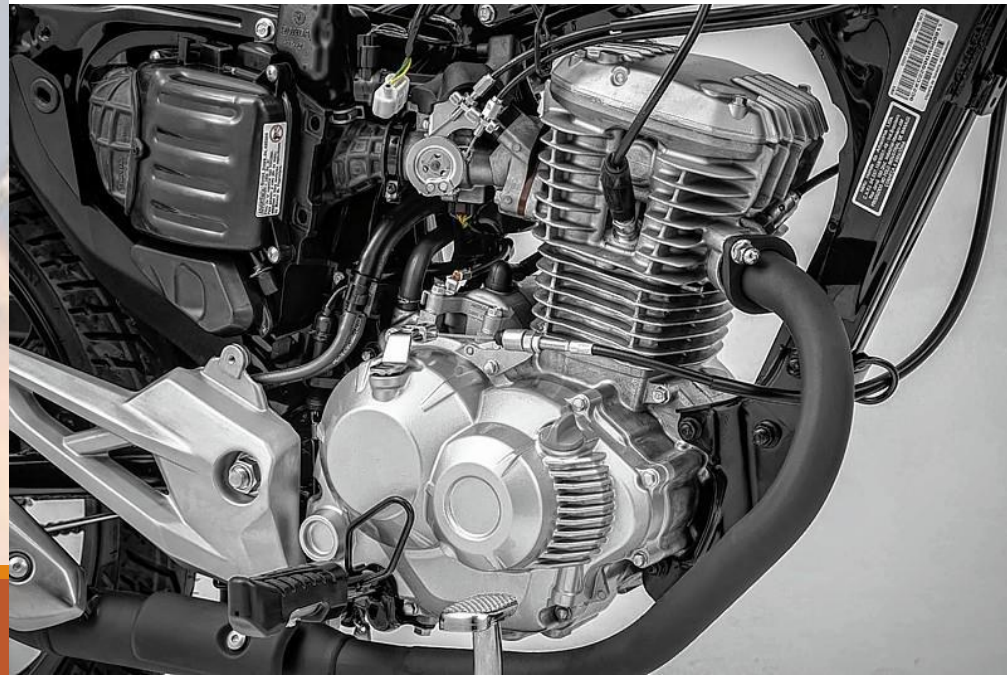
Processos de Arrefecimento Resfriamento Por Circulação de Ar

- Este processo torna mais **simples o projeto** e a construção do sistema, sendo **mais leve**, o meio é facilmente disponível, **não quer reservatórios** e tubulações fechadas para sua condução, não é corrosivo e não deixa incrustações, não evapora e não congela para as mais severas condições de funcionamento.
- Porém, a **baixa massa específica** promove a necessidade de um volume muito maior de ar do que a água para retirar uma unidade de calor do motor.



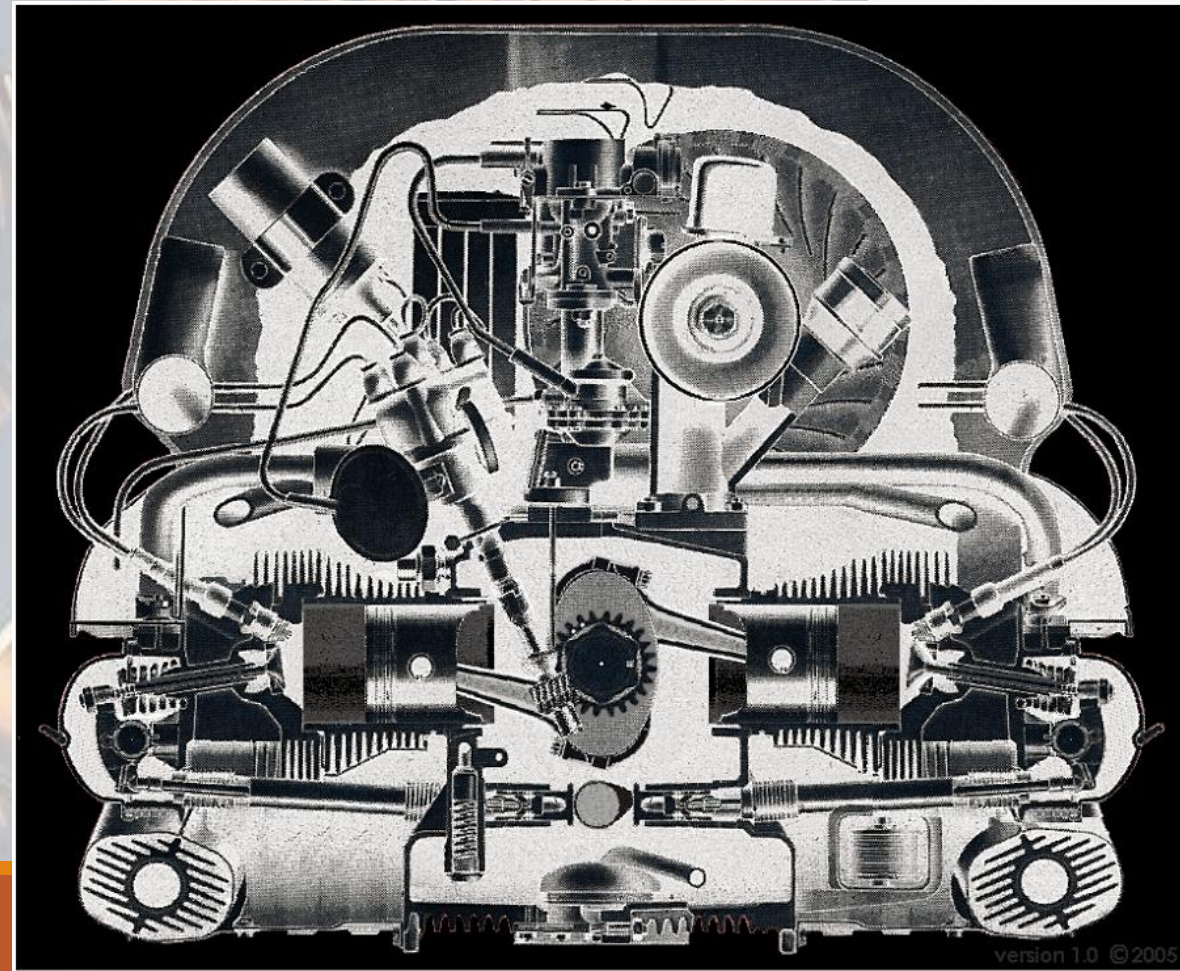
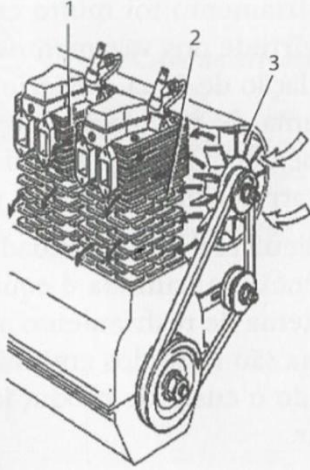
Processos de Arrefecimento Resfriamento Por Circulação de Ar

- Nessa aplicação, **não existem um dispositivo para controlar a temperatura do motor nas diversas rotações e cargas. Nestes sistemas é possível ter os seguintes componentes:**
 - **Aletas;**
 - **Ventoinha;**
 - **Dutos;**
 - **Defletores.**



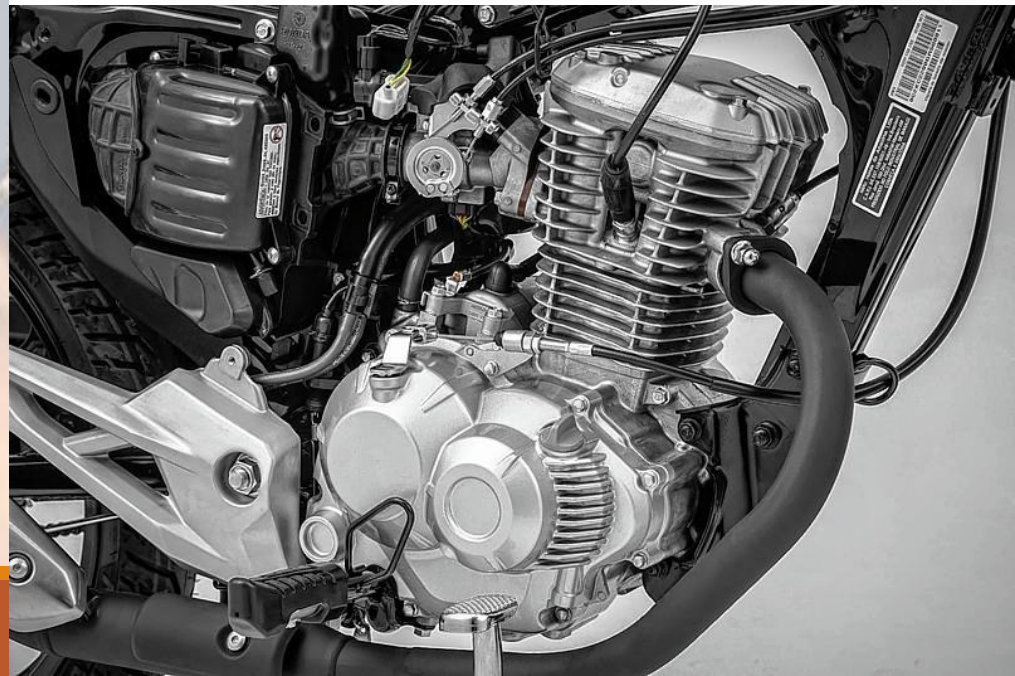
Processos de Arrefecimento Resfriamento Por Circulação de Ar

- As **aletas** pode ser localizadas no cabeçote e nas partes externas dos cilindros com a finalidade de **aumentar a superfície de contato** entre o motor e ao meio arrefecedor.
- A **ventoinha** é responsável pela **produção de uma corrente de ar** entre o meio ambiente e o motor.
- **Dutos e defletores** promovem a **condução e orientação da corrente de ar** na direção das aletas de arrefecimento.



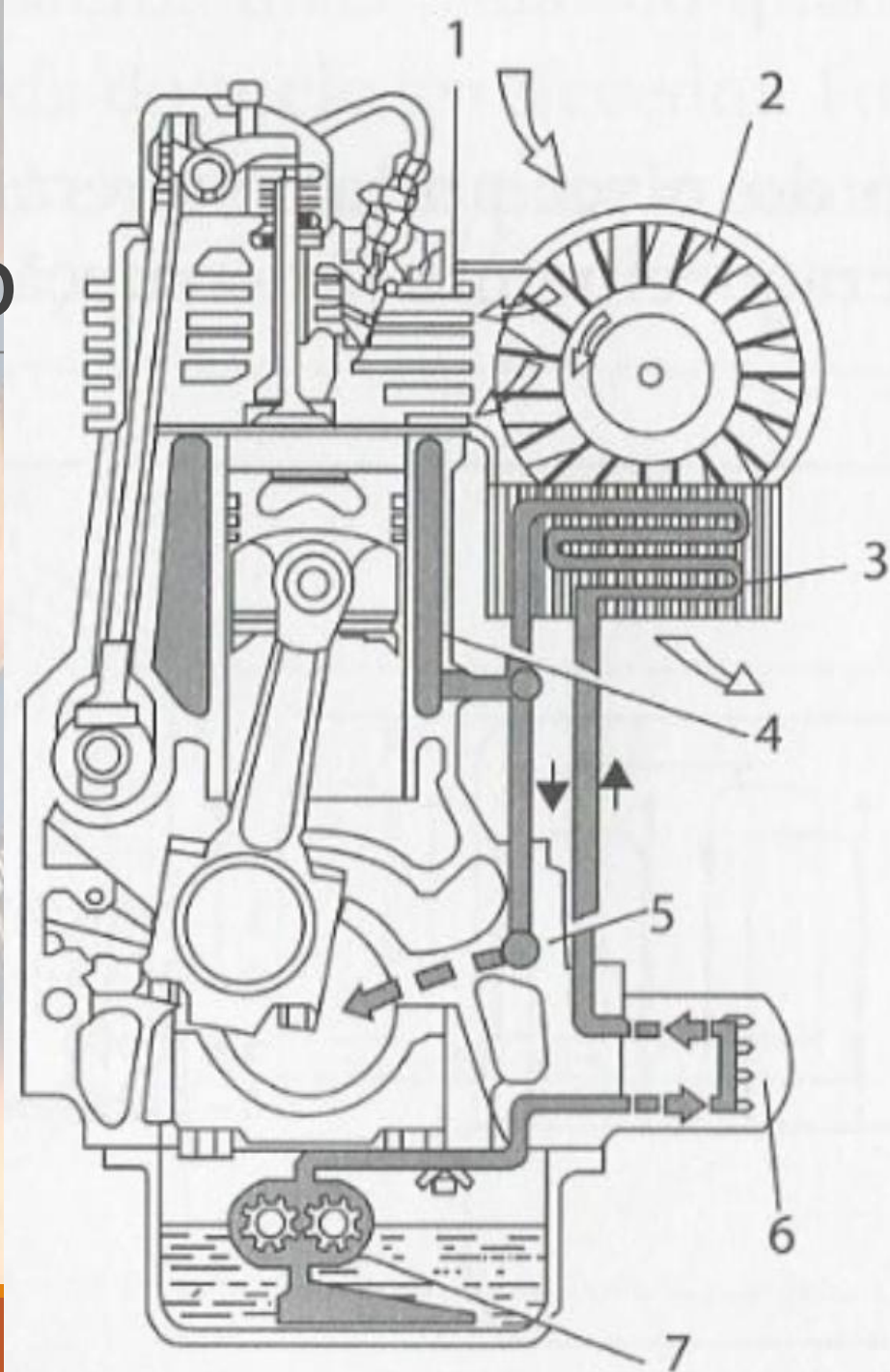
Processos de Arrefecimento Resfriamento Por Circulação de Ar

- **Vantagens** do sistema a ar:
 - Construção simples;
 - Menor relação peso-potência;
 - Manutenção simples.
- **Desvantagens** do sistema a ar:
 - Difícil controle de temperatura;
 - Falta de uniformidade de temperatura;
 - Facilmente susceptíveis a superaquecimento;
 - Constante limpeza das aletas.



Processos de Arrefecimento Resfriamento Por Circulação de Óleo

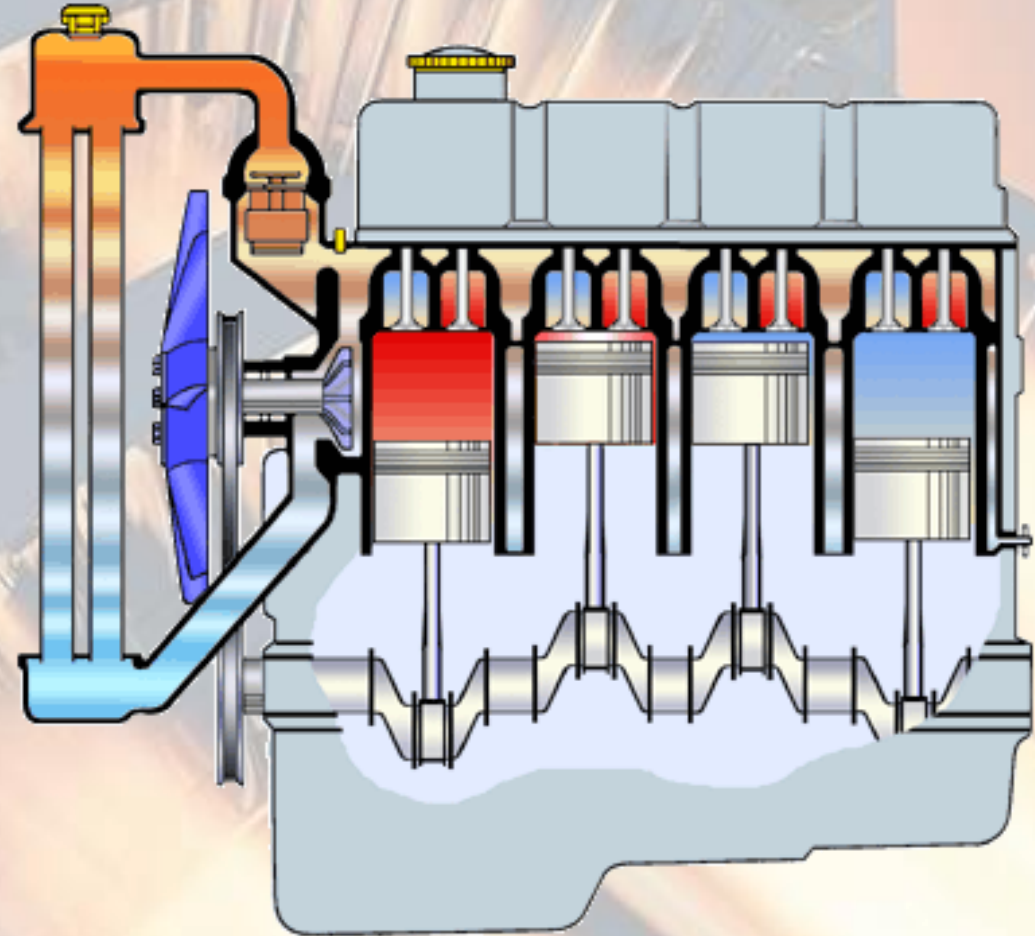
◦ Já este processo é utilizado geralmente para complementar o arrefecimento por ar. Embora o circuito de lubrificação já contribua significativamente para o arrefecimento do motor, este pode ser melhorado caso se faça circular o óleo em torno dos cilindros.



Processos de Arrefecimento

Resfriamento Por Circulação de Água

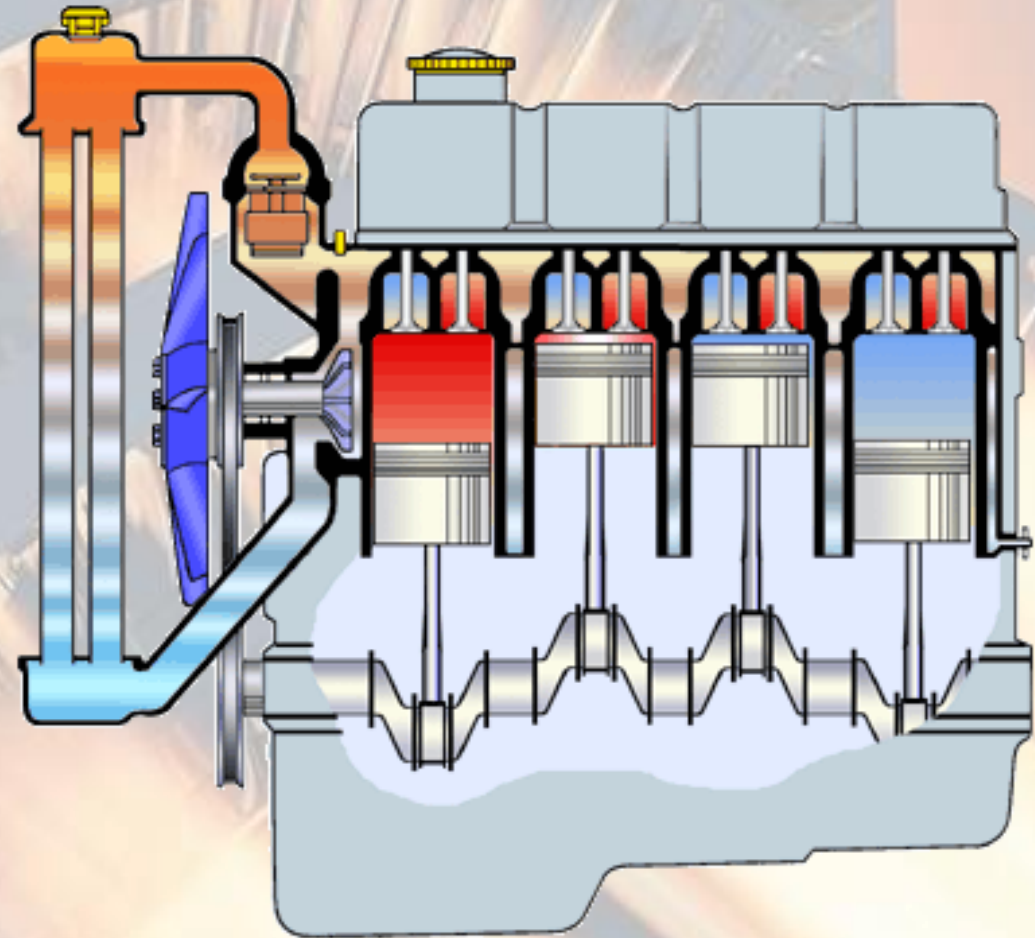
- Trata-se do **processo mais empregado para o resfriamento**, pois permite o **melhor controle de temperatura média** dos componentes mais solicitados termicamente, além de manter essa temperatura **média em valores mais baixos**, proporcionando bom desempenho com relações de compressão mais altas, beneficiando a eficiência térmica do motor, sem ocorrência de detonação.



Processos de Arrefecimento

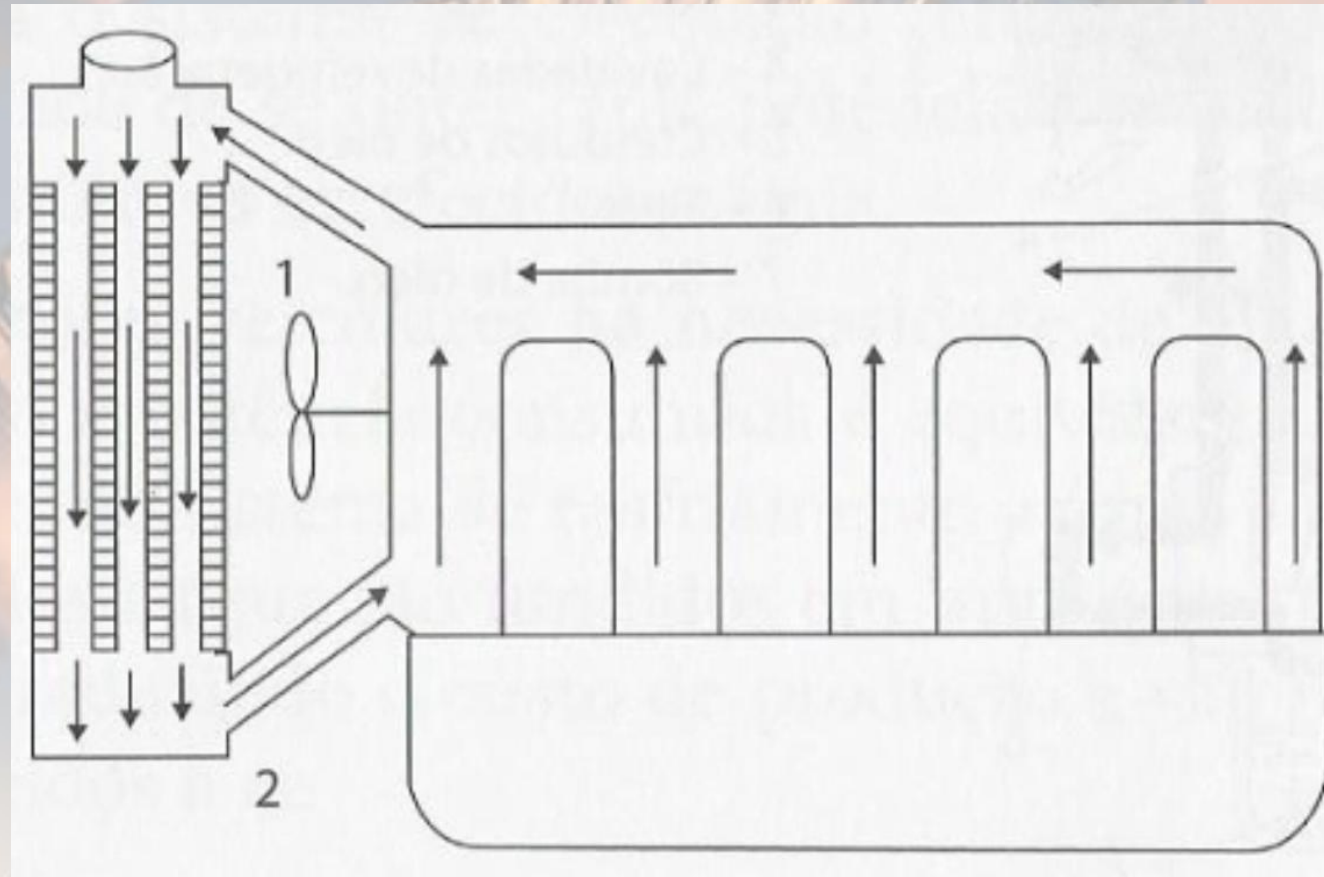
Resfriamento Por Circulação de Água

- A **temperatura da água** deve ser mantida em torno de **90°C**, em todos os regimes de trabalho, e essa temperatura deve ser atingida no **menor tempo possível**. Este controle é exercido por uma **válvula termostática** colocada entre a saída da água do motor no cabeçote e o radiador.



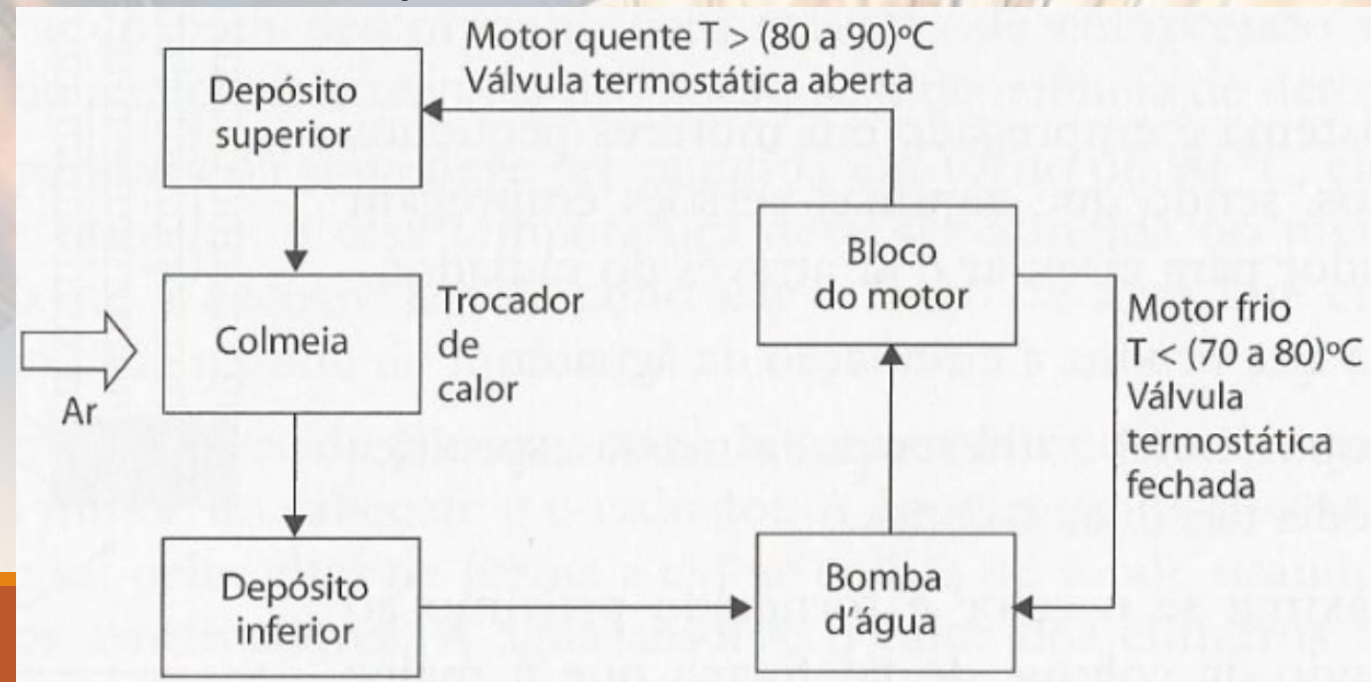
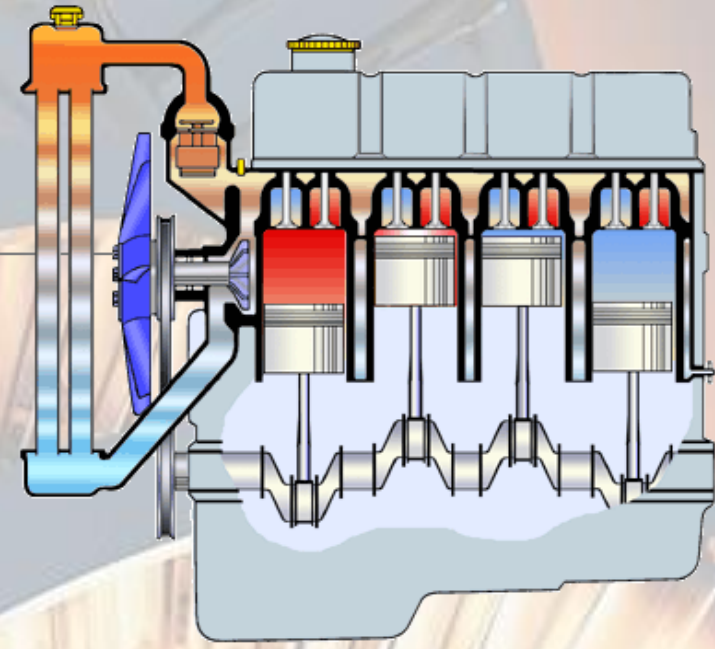
Resfriamento Por Circulação de Água Termossifão

- Nestes casos, **não existe a bomba** forçando a circulação. **O fluxo ocorre pelo gradiente de temperatura da água.** O sistema deve apresentar reduzida perda de carga e, nesses casos, o resfriamento continua mesmo com o motor desligado.
- Esse sistema é empregado em motores pequenos e compactos, sendo que algumas versões empregam um ventilador para circular o ar através do radiador.



Resfriamento Por Circulação de Água Forçada

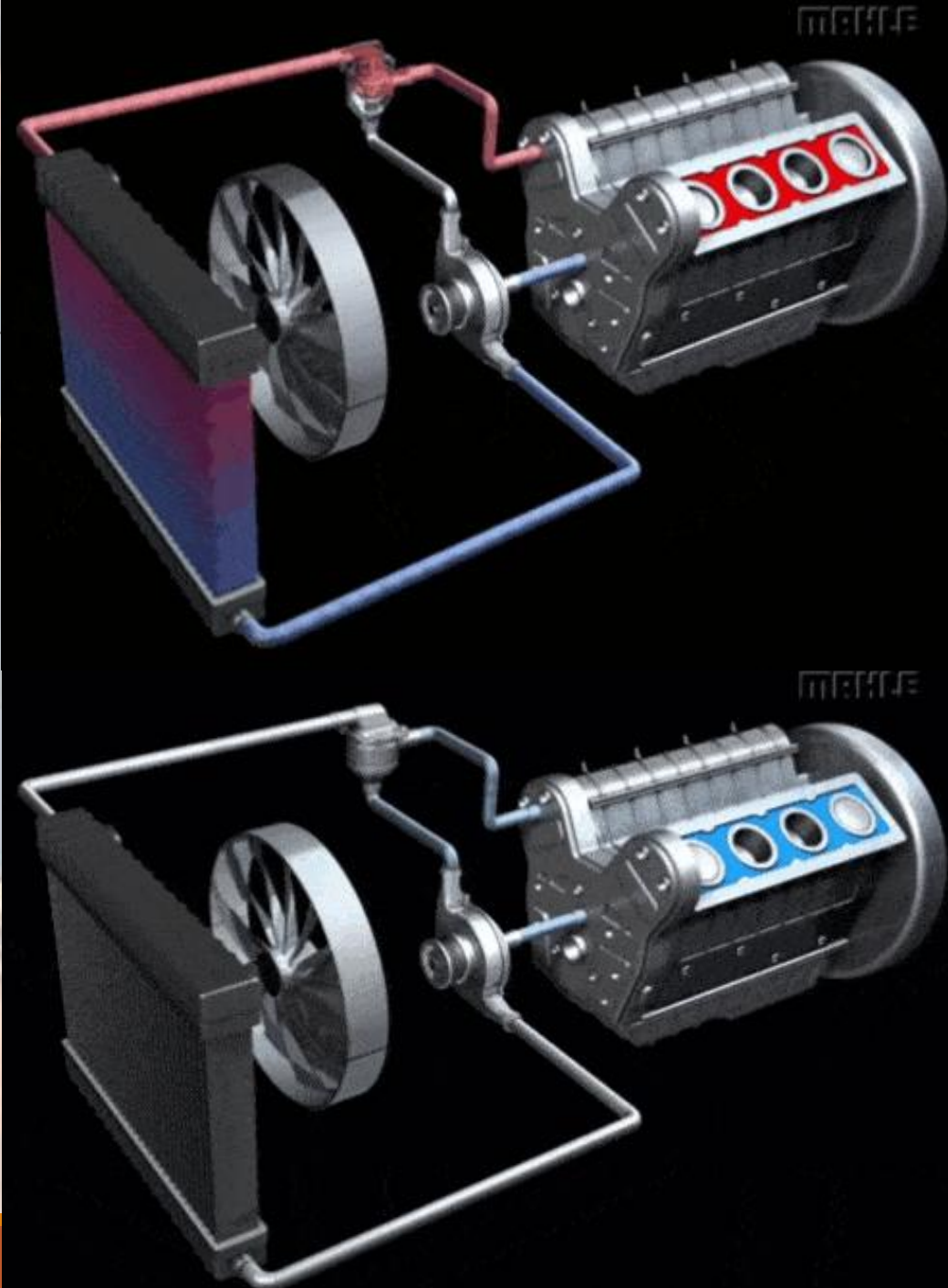
- Trata-se do sistema mais usual no qual uma **bomba centrífuga promove a circulação forçada** do meio arrefecedor. Possui válvula termostática e entre o cabeçote do motor e o radiado para o controle da temperatura.



Resfriamento Por Circulação de Água

Válvula Termostática

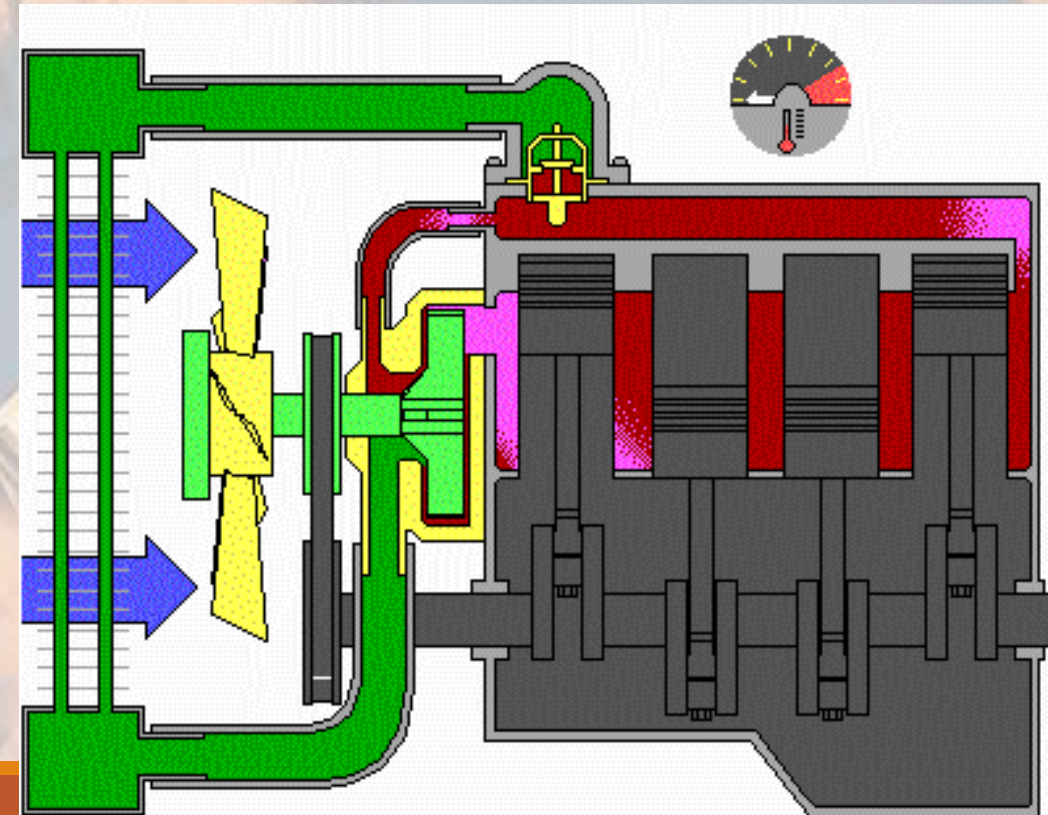
- A **válvula termostática** se faz presente graças à necessidade de **controlar o fluxo de água que circula pelo radiador em cada regime do motor**. Encontra-se instalada entre a saída da água do motor no cabeçote e o radiador.
- Quando o motor está frio, a válvula está totalmente fechada impedindo a circulação de água pelo radiador.
- A temperatura da água nos motores Otto fica compreendida entre 75 a 90°C para gasolina e 85 a 95°C para etanol.



Resfriamento Por Circulação de Água

Válvula Termostática

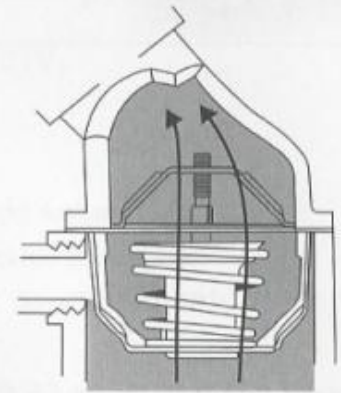
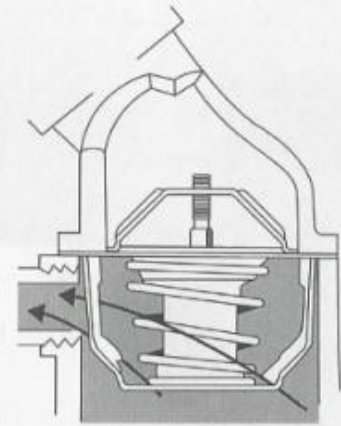
- A válvula termostática é importante para o desempenho do motor, pois este não deve trabalhar frio por muito tempo pois teria os **seguintes inconvenientes**:
 - **Condensação do vapor de combustível** devido às baixas temperaturas das paredes da câmara;
 - Combustível condensado provoca **lavamento do lubrificante** das paredes do cilindros acelerando o desgaste do motor;
 - **Formação de vernizes** e gomas que prendem os anéis de pistão;
 - **Combustão incompleta**, aumentando o consumo de combustível;
 - Promoção da **contaminação do óleo** lubrificante com prejuízo de suas propriedades e conseqüentemente do motor.



Resfriamento Por Circulação de Água

Válvula Termostática

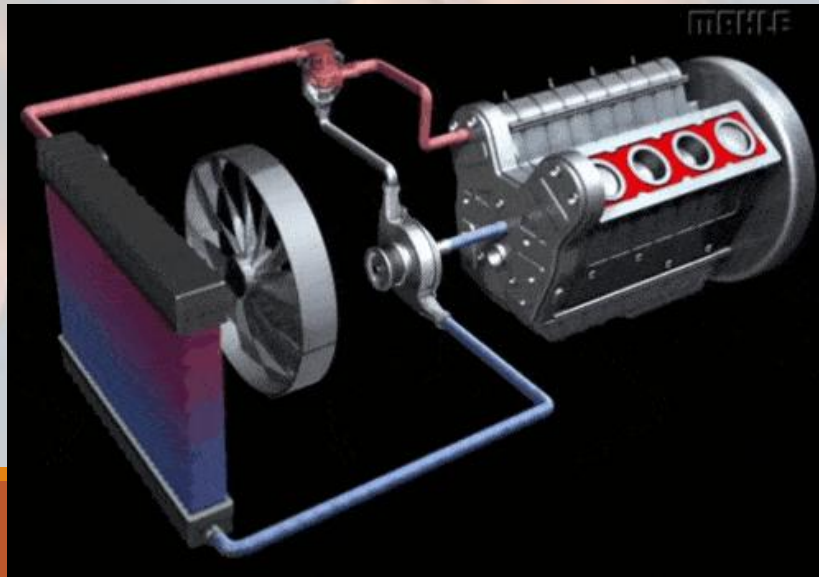
- As válvulas termostáticas podem ser de **estrangulamento ou de passo**.
- Quando de estrangulamento, alcançada a temperatura desejada, permite a passagem do fluxo de água em direção ao radiador. O controle é realizado através de bulbo metálico com parafina ou éter ou uma mola bimetálica.
- No caso de passo, permitem a seleção entre o radiador e uma nova passagem pelo motor.



Resfriamento Por Circulação de Água

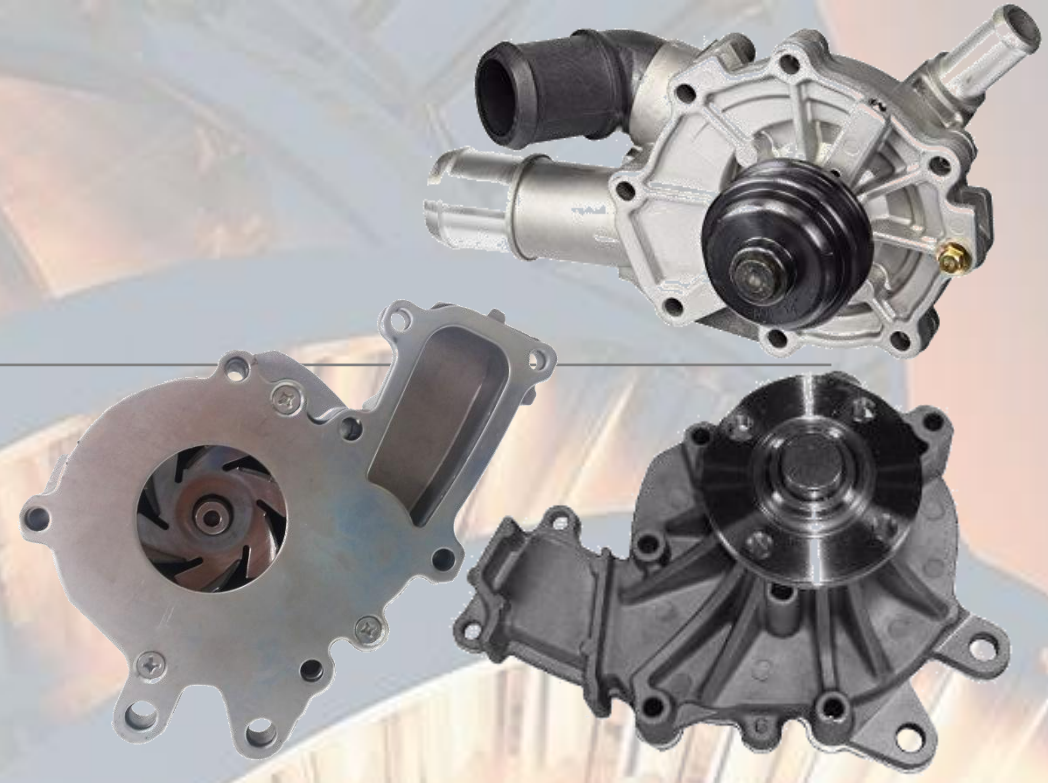
Válvula Termostática

- A restrição na válvula provoca perdas de bombeamento substanciais e o tempo de aquecimento do motor está diretamente relacionado com a capacidade de controle desta válvula.



Bomba D'água

- **Promove a circulação da água** no interior do motor. Normalmente o acionamento é realizado por correia ou engrenagem a partir do eixo virabrequim.
- A **carga manométrica** destas bombas está em torno de **10mca** o que corresponde a **20% acima** da perda de carga do motor, de forma a permitir o adequado escoamento ao longo da vida deste.



Bomba D'água

- Admitindo que a quantidade de calor transferida para a água de resfriamento seja igual ao calor equivalente à potência efetiva do motor, pode-se usar as equações para o cálculo da vazão e potência da bomba.

$$\dot{V}_B = \frac{632 \cdot Ne \cdot fs}{\Delta T}$$

\dot{V}_B : vazão de água (L / min)

ΔT : queda de temperatura do radiador (°C)

Ne : potência efetiva do motor (cv)

fs: (fator de segurança): recomendado 1,05%

$$N_B = \frac{\gamma \dot{V}_B \Delta p}{\eta_B}$$

Onde:

γ : peso específico do fluido.

η_B : eficiência da bomba.

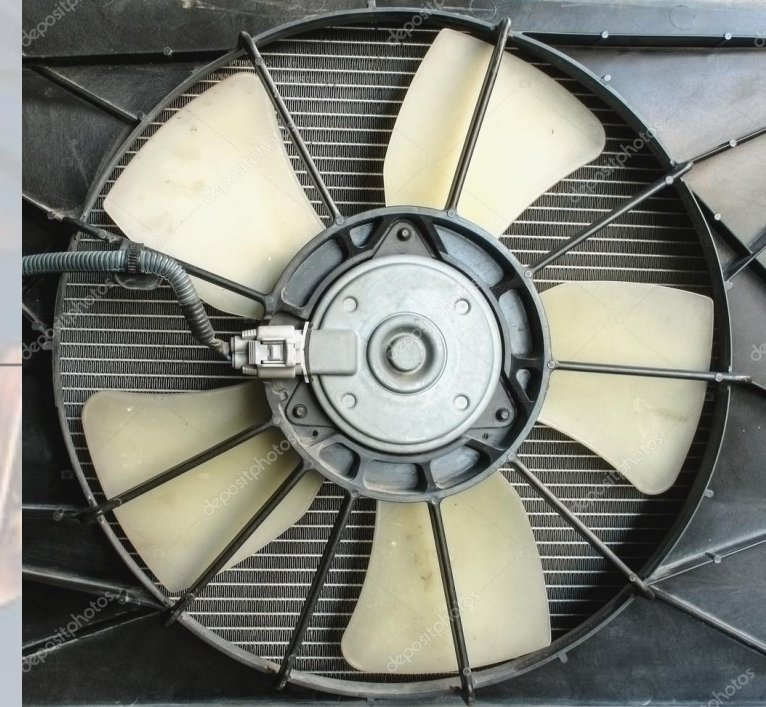
Bomba D'água Elétrica

- Tem como objetivo a redução no consumo de combustível, é **operada pela ECU** quando da necessidade do motor, variando rotação e vazão. Proporciona a **redução do tamanho do radiador em até 30%**.
- **Benefícios** da bomba elétrica:
 - Operação é **independente da rotação** do motor;
 - **Não há perdas pelo acionamento**;
 - **Velocidade** de bombeamento pode ser **função de qualquer variável do sistema**;
 - **Vazão mínima** de fluido é assegurada em todos os regimes;
 - **Radiação de trocador** de calor pode ser maximizada antes do preenchimento com fluido.



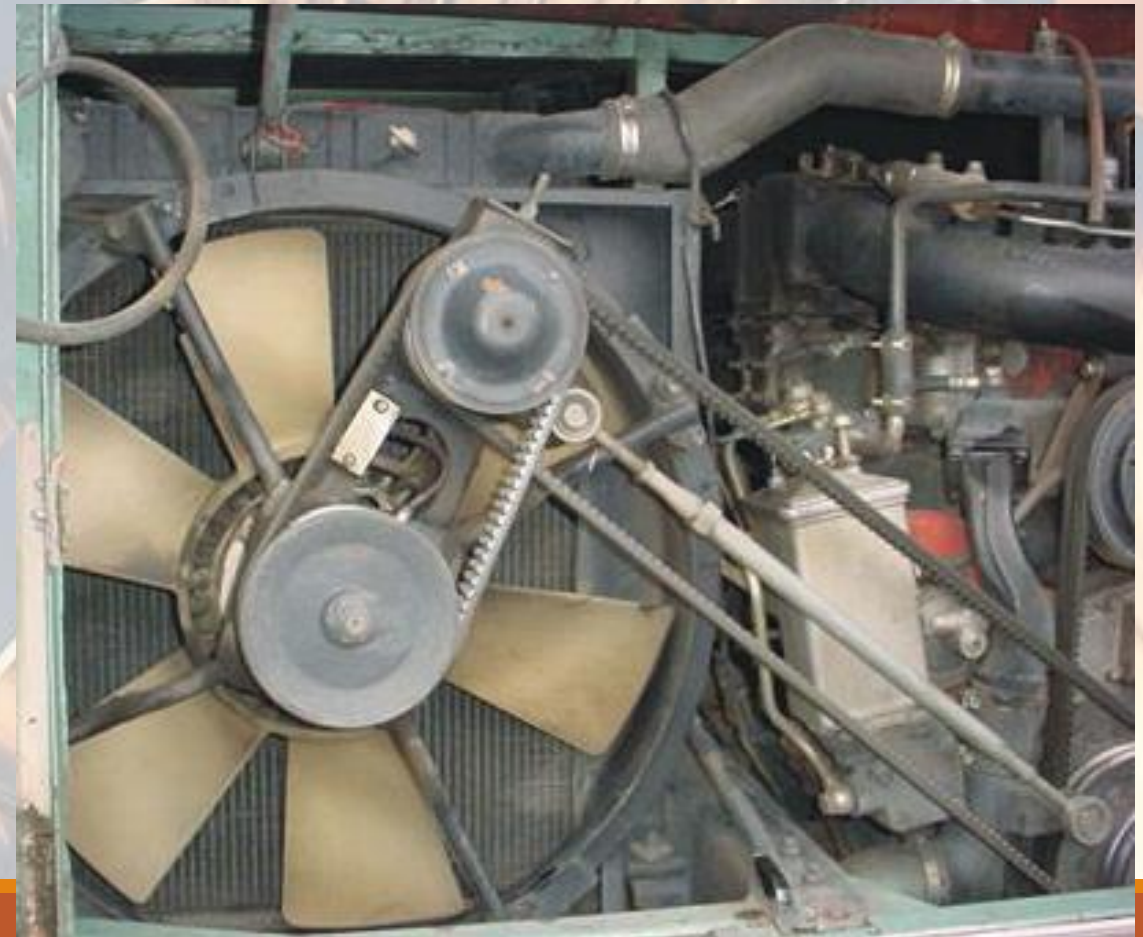
Ventiladores

- Os **sistemas de ventilação** estão divididos pelo tipo de acionamento:
 - **Mecânico;**
 - **Elétrico;**
 - **Viscoso.**
- Um defletor pode ser instalador entre o radiador e o ventilador com um afastamento mínimo de 10cm. A folga entre o ventilador e o defletor deve variar entre 0,6 e 1,25cm.



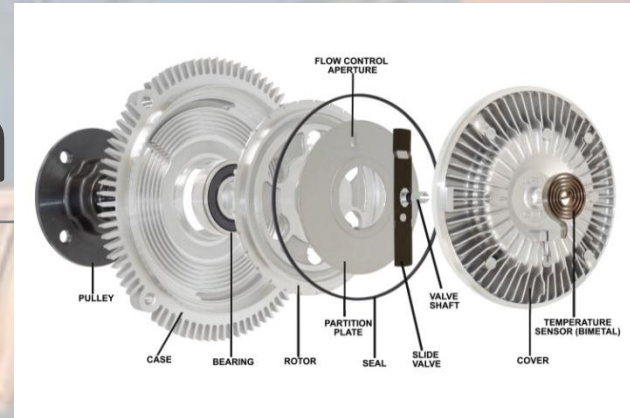
Ventiladores Mecânicos

- Estes ventiladores **são acionados por correias** e montados na bomba d'água. Estes **ficam permanentemente ligados**, de modo independente da carga térmica, consumindo potência do motor.



Ventiladores Mecânicos Com Embreagem Viscosa

- A embreagem permite o uso de um ventilador de grande porte que pode ser acionado em velocidades mais baixas. A embreagem térmica irá acionar o ventilador somente quando se tornar necessário.



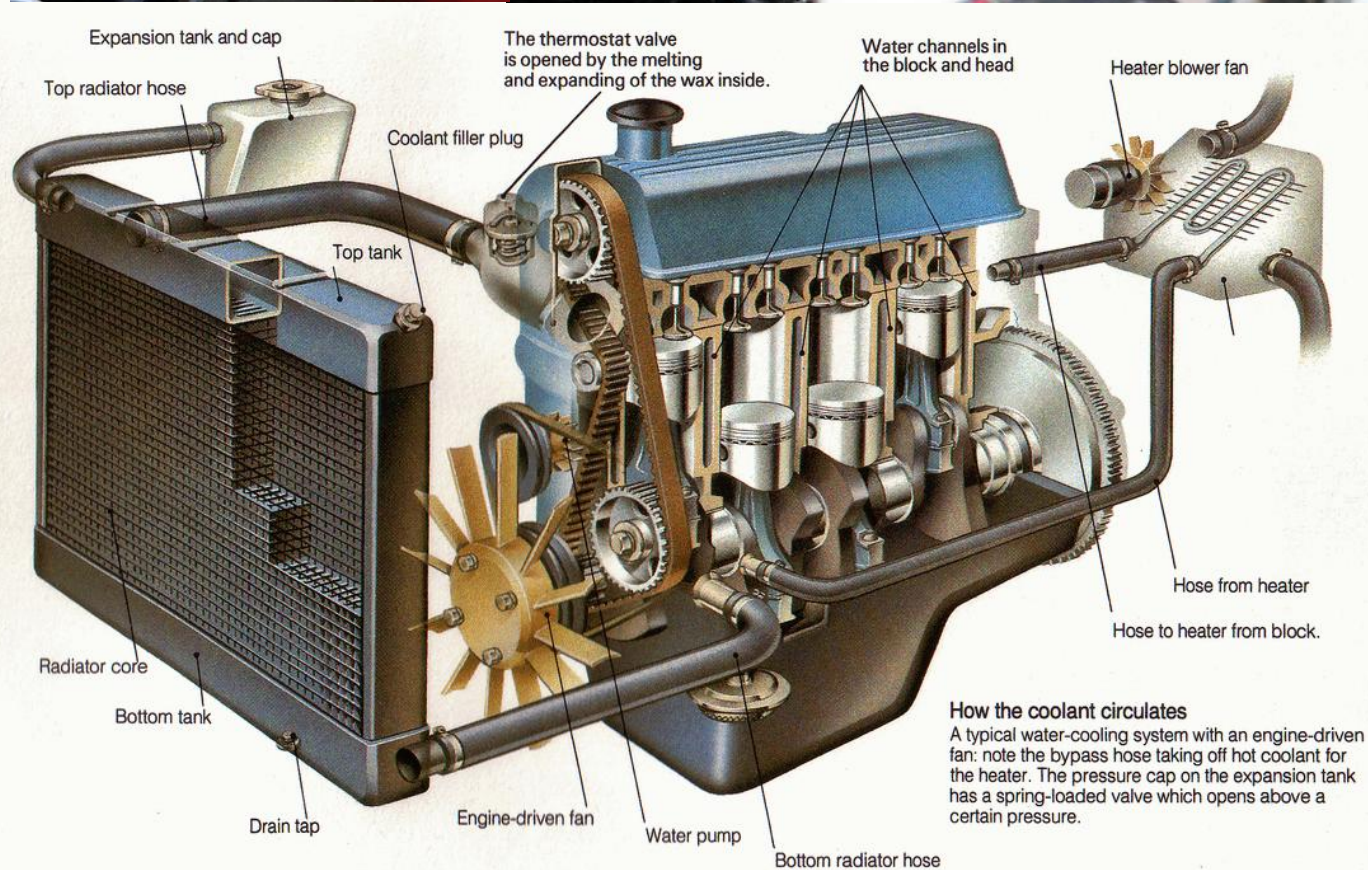
Ventiladores Elétricos

- Com grande aplicação em veículos de passageiros, utiliza um **ventilador acionado por um motor elétrico**. Esse conjunto inclui o motor do ventilador, ventilador e defletor sendo que algumas montagens fazem uso de dois ventiladores.
- Esses ventiladores são **acionados apenas quando a temperatura atinge um limite calibrado**, podendo ter duas ou mais velocidades. Neste caso não há consumo direto da potência do motor, porém há um consumo da carga de uma fonte elétrica (bateria).



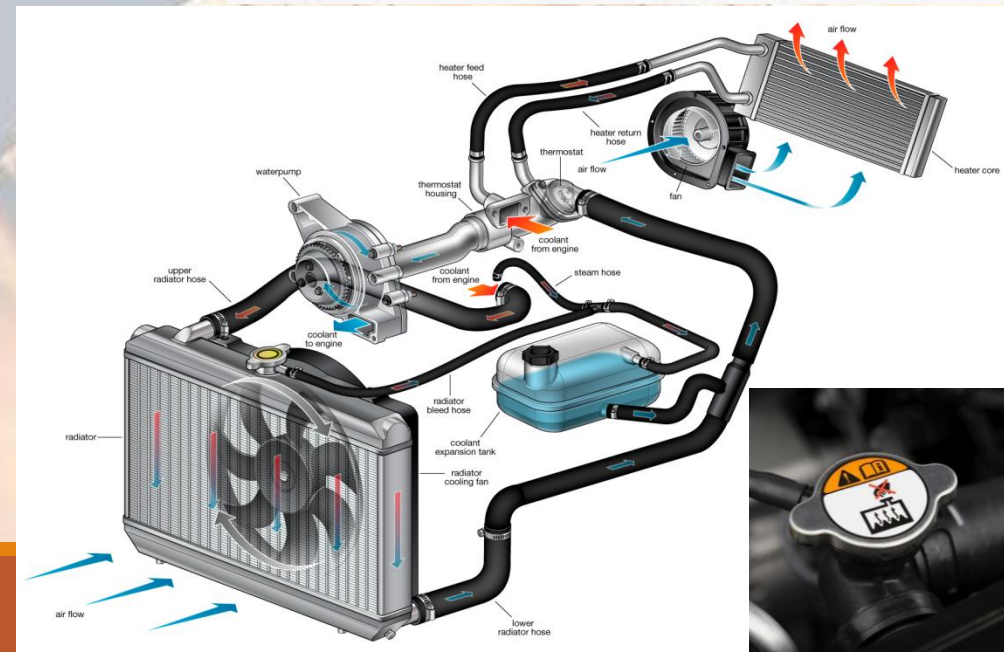
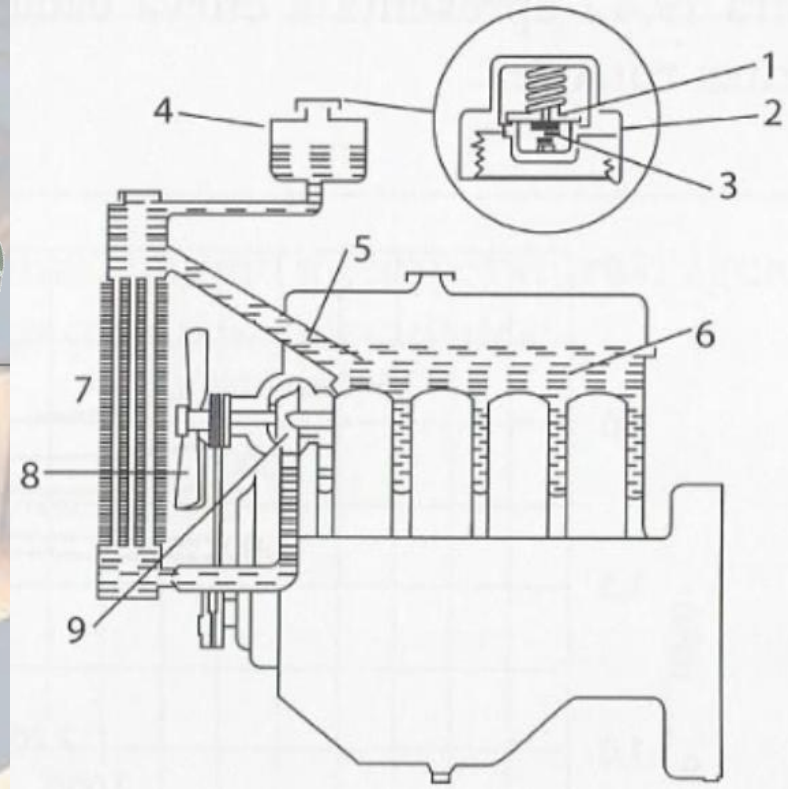
Vaso de Expansão

- Trata-se de um **recipiente suplementar destinado a recolher o excesso de volume de água que sofreu expansão ao esquentar**. É um compensador para as dilatações que a solução arrefecedora sofre, isto é, quando a temperatura da solução sobe, fazendo-a expandir-se no sistema, o excesso é conduzido ao vaso de expansão.
- Esse vaso possibilita visualizar o **nível do líquido arrefecedor**, não permitindo perdas por evaporação, pois a água se encontra sob pressão, o que torna seguro o funcionamento do motor a 100°C.



Vaso de Expansão

- Os vasos de expansão têm uma **válvula que funciona como segurança no caso de uma sobrepressão** no sistema e de respiração do ar para compensar a contração da água quando do resfriamento.
- Quando a pressão do sistema de arrefecimento atinge o ponto onde a tampa deve liberar esse excesso de pressão, uma pequena quantidade de refrigerante é sangrada fora. Existe um sistema para capturar o refrigerante liberados e armazená-lo em um recipiente de plástico. Quando o motor estiver em temperatura normal de funcionamento, o refrigerante retorna ao sistema.



Aditivos



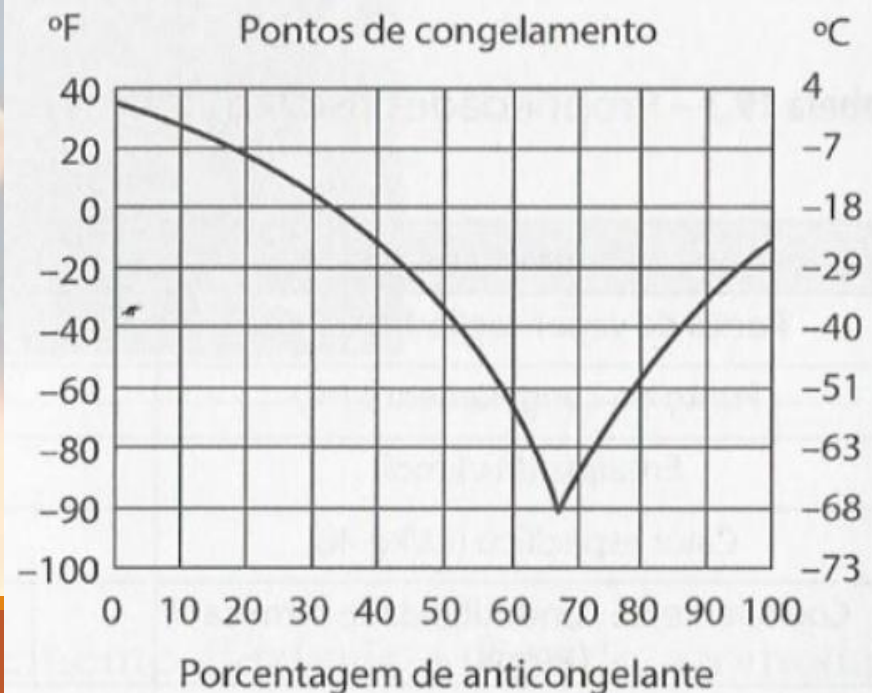
- O **líquido arrefecedor**, que percorre o interior das canalizações do motor e equipamentos deve ser capaz de **resistir a temperaturas** bem abaixo de zero, sem congelamento, também deve ser capaz de lidar com as temperaturas do motor acima de 120°C sem gerar fervura. O fluido deve conter **inibidores de ferrugem e um lubrificante**.

Propriedade	Fluido		
	Água	água +EG 50/50	EG
Ponto de vaporização 1 bar ($^{\circ}\text{C}$)	100	111	197
Ponto de congelamento ($^{\circ}\text{C}$)	0	-37	-9
Entalpia (MJ/kmol)	44,0	41,2	52,6
Calor específico (kJ/kg-K)	4,25	3,74	2,38
Coefficiente de condutibilidade térmica (W/mK)	0,69	0,47	0,33
Densidade 20°C (kg/m^3)	998	1.057	1.117
Viscosidade 20°C (cSt, $10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)	0,89	4,0	20



Aditivos

- O líquido de arrefecimento em veículos é uma mistura de etileno glicol (anticongelante) e água, em igual proporção. Em determinados climas onde as temperaturas podem ir abaixo de zero, é permitido até 75% de anticongelante e 25% de água.
- O etileno glicol na proporção de 50/50 **eleva o ponto de ebulição** para 108°C e protege contra corrosão. Quando o sistema estiver pressurizado a **15psi** essa temperatura sobe para **129°C**.
- Outro aditivo que pode ser utilizado é o propileno glicol que proporciona os mesmo parâmetros de operação do etileno glicol, mas é menos tóxico.



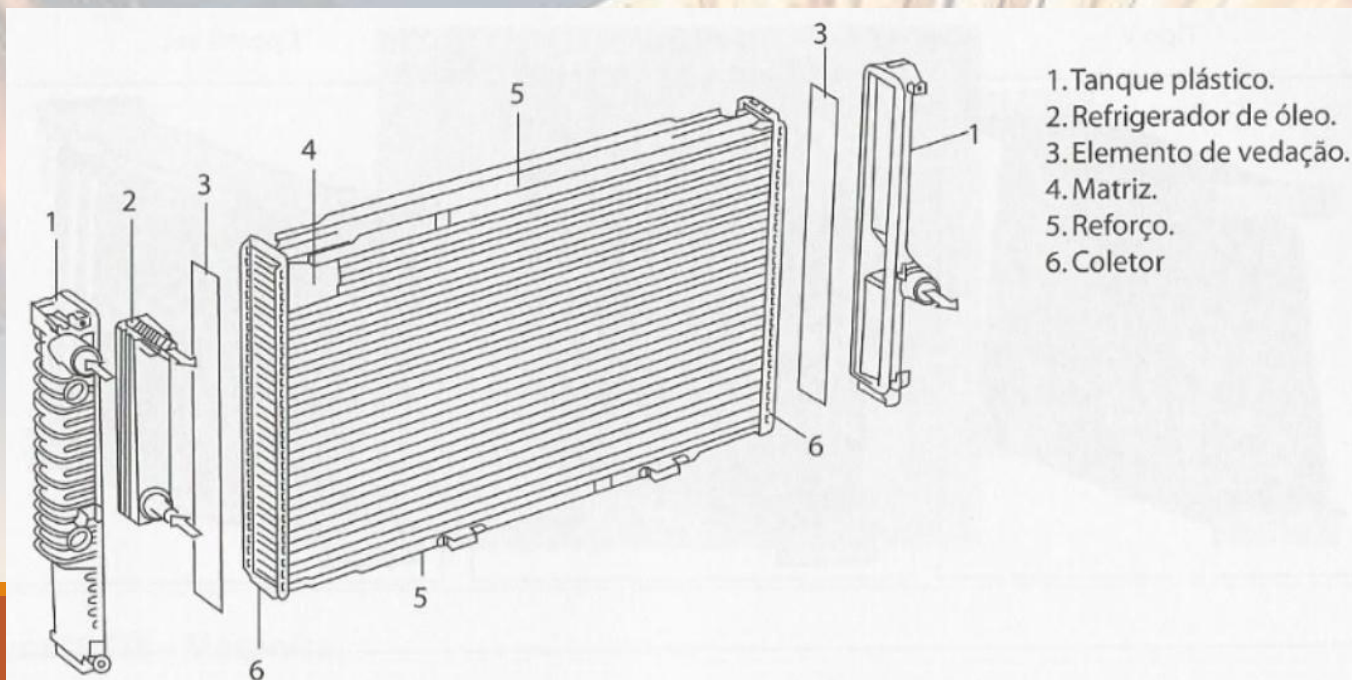
Mangueiras

- Existem várias mangueiras de borracha para conectar os componentes do sistema de arrefecimento. As principais são: as mangueiras do radiador superior e inferior.
- Essas mangueiras são **projetadas para suportar a pressão dentro do sistema de arrefecimento**.
- As mangueiras devem ser suficientemente flexíveis a fim de acomodar movimentos relativos entre componentes, em alguns caso é necessário utilizar reforços e amarras em mangueiras muito longas.



Objetivo e Requisitos Dos Radiadores

- Os radiadores devem transferir o calor rejeitado do motor, da transmissão e outros componentes.
- Atualmente, os radiadores são normalmente **construídos por uma matriz de tubos e aletas de ligas de alumínio**, montadas na sua extremidade em coletores que têm a função de alojar uma guarnição (elemento de vedação) e os tanques que fazem a interface com as mangueiras do veículo.



Objetivo e Requisitos Dos Radiadores

- O desempenho de um radiador específico é normalmente representado graficamente em um diagrama da razão da troca térmica (Q) pelo diferencial de temperatura de entrada pela vazão em massa de ar externo para diversas curvas de vazão do fluido de arrefecimento.

