

## CAPÍTULO II

### 2

### **Ar condicionado automotivo.**

#### 2.1.

#### **Ar Condicionado, refrigeração e refrigerante utilizado.**

O condicionamento do ar é o processo que regula, artificialmente, a temperatura, o fluxo de ar, a umidade e a limpeza do ar de um espaço determinado a um nível desejado. O condicionamento de ar de um veículo busca oferecer um espaço confortável durante a condução do veículo, com o desempenho adequado, fruto de investigação de processos industriais ou de laboratório.

A refrigeração é um processo que controla a diminuição de temperatura de um espaço determinado e mantém esta temperatura baixa com o fim, por exemplo, de conseguir um ambiente agradável. O conceito de temperatura quente ou fria é relativo, significa apenas que um corpo tem mais ou menos calor. Assim, resfriar um determinado ambiente, significa o mesmo que transferir o calor para outra área.

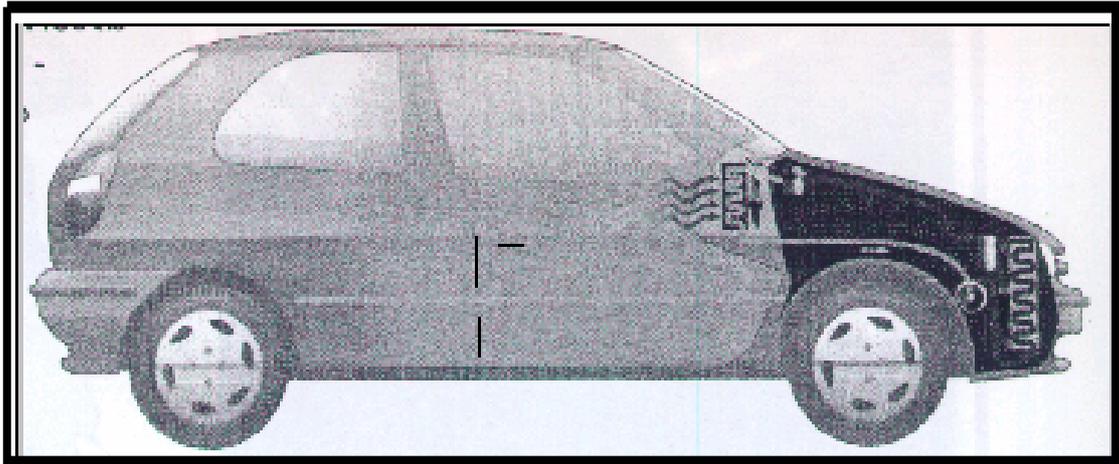


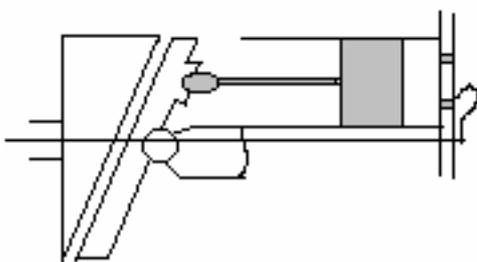
Figura 2.1. Posicionamento do sistema de condicionamento de ar no veículo.

## 2.2.

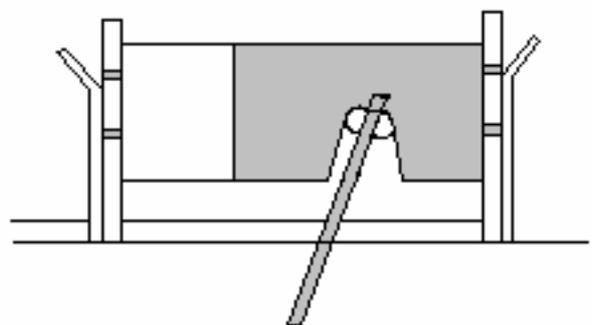
### Elementos que compõem o condicionamento de ar automotivo

#### Compressor.

É um dispositivo que, quando acionado mecanicamente, provoca um diferencial de pressão no gás, criando um fluxo de refrigerante, fazendo o mesmo circular por todo o sistema. Neste processo, face aos atritos existentes, é fundamental a presença de um óleo lubrificante. Para o presente trabalho foi escolhido um compressor, dentro da classificação usual dos compressores para condicionamento de ar, de pistão de duplo efeito.



**Pistão de efeito simple  
(WOBBLE)**



**Pistão de duplo efeito  
(SWASH PLATE)**

Figura 2.2- Compressor de disco inclinado

**Evaporador.**

Este trocador de calor, que representa o elemento de refrigeração, faz a troca térmica, entre o gás que passa por seu interior à baixa temperatura e pressão, e o ar do habitáculo do veículo. Para tal o ar do ambiente é forçado a circular através da caixa evaporadora e daí vai para os difusores.

**Condensador.**

Tem a função de retirar calor do gás refrigerante que vem do compressor na fase gasoso sob condições de alta pressão e alta temperatura. Durante o processo ocorre a mudança de fase, da fase vapor para a fase líquida do refrigerante.

**Filtro Secador**

As funções básicas do filtro secador são: filtrar, acumular e retirar a umidade do refrigerante. No sistema em estudo optou-se por um filtro secador com visor de inspeção, que permite monitorar a fase do fluido refrigerante dentro do circuito de alta pressão.

**Válvula de expansão.**

É o elemento que regula o fluxo de refrigerante em função da taxa de evaporação. É também o elemento que provoca a redução de alta para uma de baixa pressão do fluido refrigerante durante o ciclo de refrigeração.

**Eletroventiladores.**

Normalmente têm a função, principalmente, de controlar o fluxo de ar pelo condensador, auxiliando na retirada de calor do refrigerante, o que implica na redução da temperatura e condensação do refrigerante.

Atualmente os sistemas de condicionamento de ar utilizados na maioria dos veículos adotam o método de refrigeração por compressão de vapor, ilustrado na Figura 2.3 pode aí ser visto que o compressor succiona o refrigerante que sai do evaporador, na fase de vapor superaquecido a baixa pressão, comprime e recalca a alta temperatura e pressão. O refrigerante segue então pela linha de

descarga até o condensador. Neste, durante a troca de calor com o meio exterior, passa pelas fases de superaquecimento, condensação (bifásica), e subresfriamento. Escoa em seguida através da válvula de expansão, que tem por finalidade regular a vazão de refrigerante e provocar uma perda de carga (pressão), levando o refrigerante a fase bifásica, condição na qual entra no evaporador. Neste ponto ocorre, efetivamente, a troca de calor para o resfriamento do reservatório frio (ar do ambiente condicionado). Após este processo, o refrigerante, na fase de vapor superaquecido e a baixa pressão, retornam ao ponto inicial, para ser novamente succionado pelo compressor, fechando desta forma o ciclo de refrigeração.

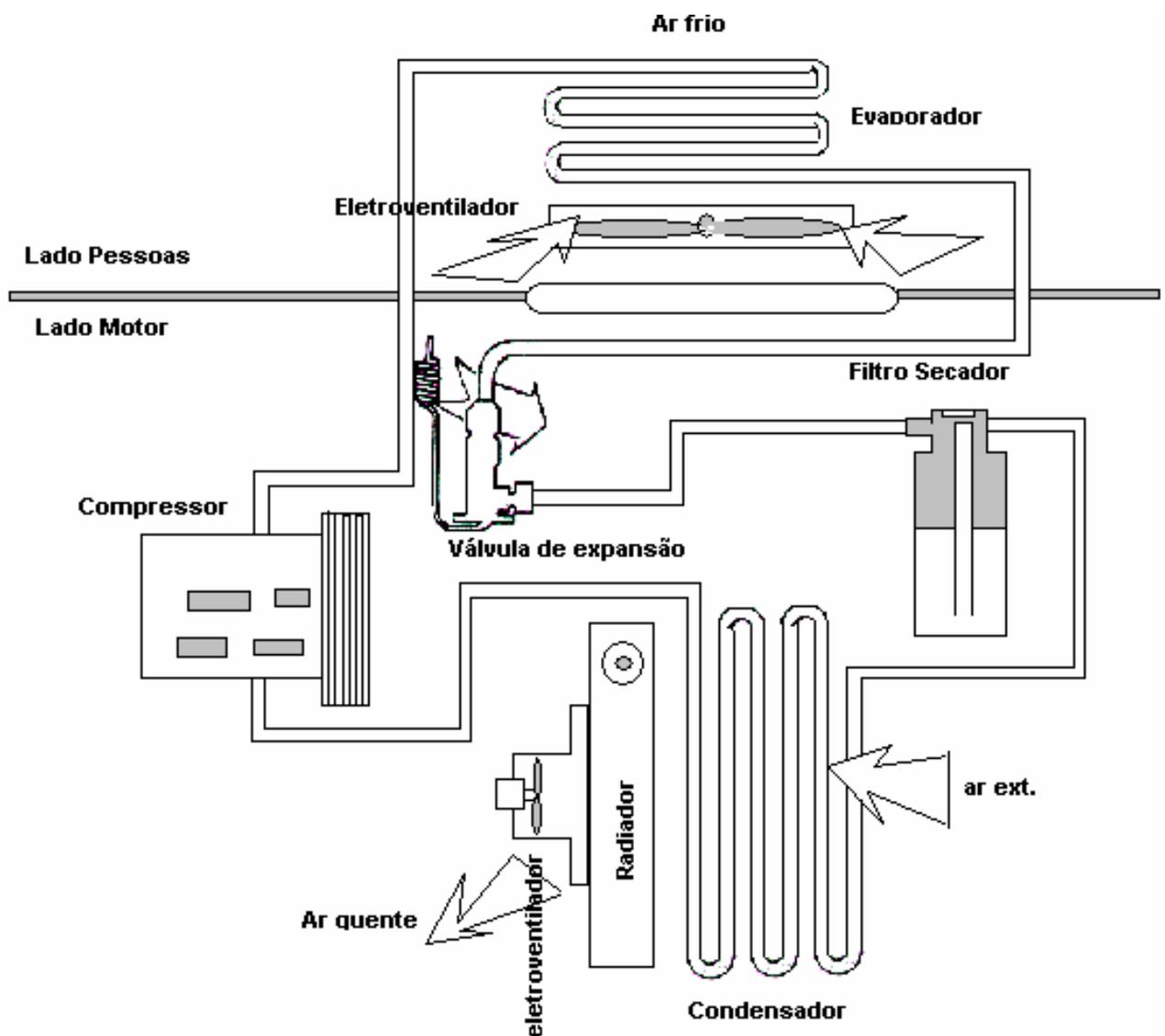


Figura 2.3- Esquema de um sistema de condicionamento de ar automotivo-típico.

No passado, a maioria dos condicionadores de automóvel operava usando o refrigerante diclorofluormetano ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ), também chamado comumente Freon 12 ou R-12. Este foi considerado o fluido ideal em termos de estabilidade e por ser miscível com determinados lubrificantes. Hoje em dia, sabe-se que o Freon 12 e os outros clorofluorcarbonetos (CFC) são prejudiciais à camada de ozônio.

Como alternativas para substituir os CFCs, as seguintes substâncias foram consideradas:

- HCFC (hidroclorofluorcarbono) contendo cloro que se quebra antes de atingir a estratosfera.
- HFC (hifrofluorcarbono) sem cloro.

Tabela 2.A.1.- Tipos alternativos de CFCs.

	Nome	Fórmula química	Ponto de ebulição (°C)	Potencial de esgotamento de ozônio (ODP)	Potencial de aquecimento global (GWP)	Aplicações				CFCs regulados correspondentes às substâncias alternativas
						Refrigerantes	Agentes espumantes	Repelentes	Solventes	
<b>HCFC</b>	HCFC22	$\text{CHClF}_2$	- 40,8	0,05	0,32 - 0,37	○	○	○	-	CFC12
	HCFC123	$\text{CHCl}_2\text{CF}_3$	27,5	0,02	0,017 ~ 0,020	○	○	○	○	CHC11,113
	HCFC124	$\text{CHClFCF}_3$	- 12,0	0,02	0,092 ~ 0,12	○	○	○	-	CFC114
	HCFC141b	$\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$	32,0	0,1	0,084 ~ 0,097	-	○	-	○	CHC11,113
	HCFC142b	$\text{CH}_3\text{CClF}_2$	- 9,7	0,06	0,34 - 0,39	○	○	○	-	CFC12
<b>HFC</b>	HCFC125	$\text{CHF}_2\text{CH}_3$	- 48,5	0	0,51 - 0,65	○	○	○	-	CFC115
	HFC134a	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$	- 26,3	0	0,24 - 0,29	○	○	○	-	CFC12
	HFC152a	$\text{CH}_3\text{CHF}_2$	- 25,0	0	0,026 ~ 0,033	○	○	○	-	CFC12
<b>CFC</b>	HFC12	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	- 29,8	1,0	2,8 - 3,4	○	○	○	-	-

O presente trabalho se desenvolve usando o refrigerante R-134a como resposta às preocupações a respeito ao meio-ambiente. Dentre as substâncias apresentadas na Tabela 2.A.1 o HFC134a foi selecionado como refrigerante alternativo para os novos sistemas A/C já que ele oferece baixo potencial de esgotamento de ozônio (ODP), baixo potencial de aquecimento global e apresenta características que são relativamente próximas daquelas do CFC12.

A Figura 2.4 mostra a disposição dos componentes principais que compõem em um sistema de condicionamento de ar automotivo.

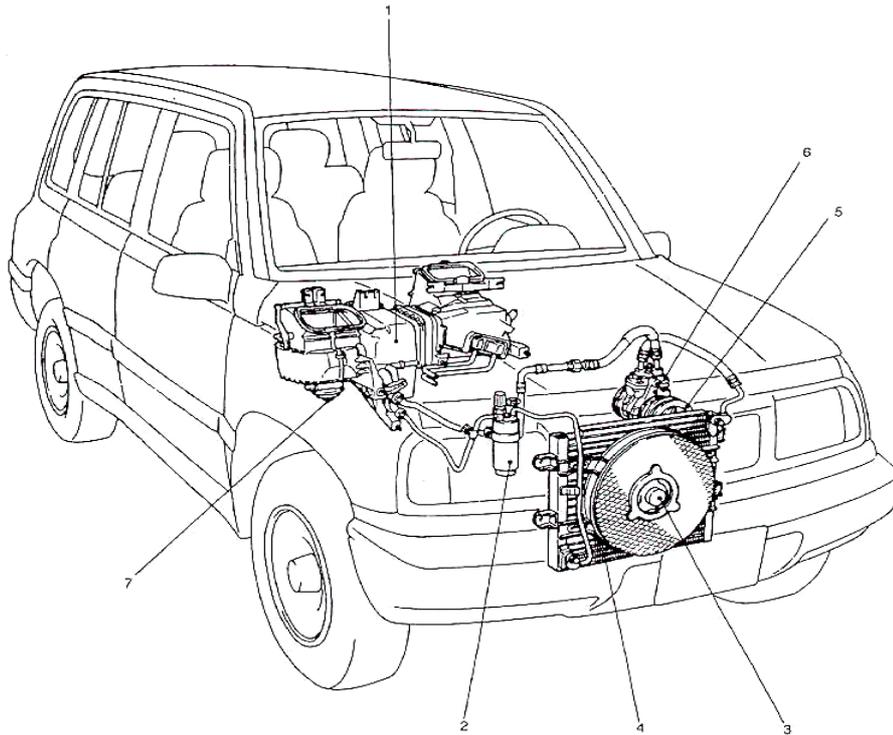


Figura 2.4- Diagrama dos componentes principais do condicionamento de ar num veículo.

- 1- Unidade de resfriamento (válvula de expansão, evaporador)
- 2- Filtro Secador
- 3- Motor do ventilador de refrigeração
- 4- Condensador
- 5- Embreagem magnética
- 6- Compressor
- 7- Motor do ventilador

### 2.3.

#### **Processos durante a troca de calor do ciclo veicular**

A Figura 2.5 ilustra os processos ocorridos no sistema de condicionamento de ar e os pontos de troca de calor.

- 1-4 : Compressão do fluido refrigerante em fase gasosa, provocando um rápido aumento da temperatura e da pressão do mesmo, através do compressor.

4-3 : O fluido cede calor  $Q_1$  ao exterior, através do condensador a pressão constante.

3-2 : Expansão através da válvula de expansão.

2-1 : O fluido absorve calor  $Q_2$  do interior do habitáculo, através do evaporador.

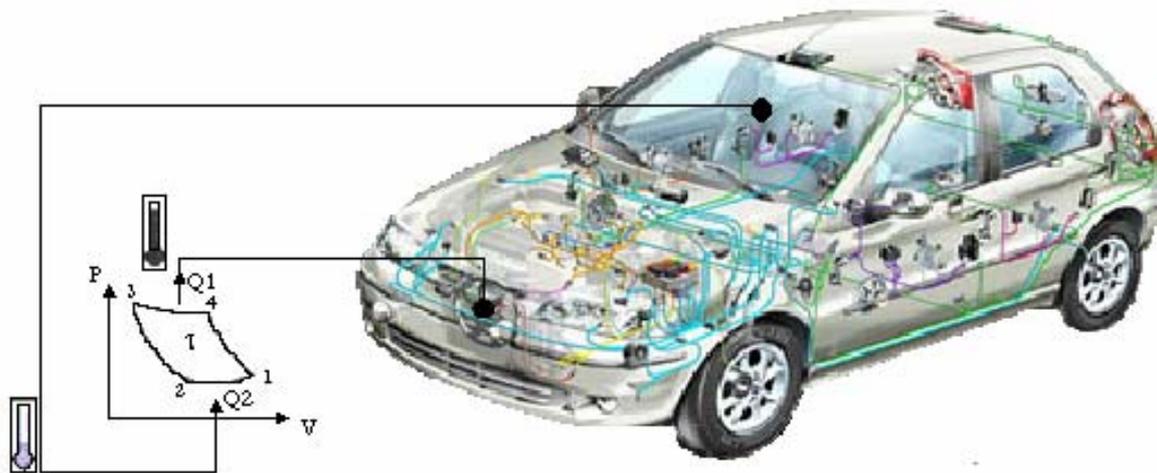


Figura 2.5- Diagrama Pressão – Volume específico do ciclo e pontos de troca de calor no veículo.

## 2.4. Determinação das potências térmicas

O evaporador absorve do meio que está sendo refrigerado a potência térmica, pela evaporação do gás refrigerante. Esta potência também é denominada como a capacidade de refrigeração do aparelho.

No condensador a potencia térmica é rejeitada pelo gás refrigerante. Esta potência é absorvida na forma de calor sensível pelo ar que resfria e condensa o gás refrigerante e se pode calcular da seguinte equação.

$$\dot{Q}_{cond} = \left| \dot{m}_c \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \right|_{ar} \quad (2.1)$$

Utilizou-se um ventilador marca VALEO para forçar a circulação do ar proveniente do umidificador e das resistências elétricas dentro das câmaras. A potencia consumida pelo ventilador é dada por:

$$P_{ventil} = \left| V \cdot I \cdot \cos \phi \right|_{ventil} \quad (2.2)$$

A potência dissipada nas resistências elétricas simula a carga térmica submetida ao aparelho. Para o presente estudo, se utilizou um conjunto de resistências elétricas com capacidade de variar a carga por meio de um variador de potência com finalidades de aquecer a câmara de teste.

$$P_{Carg\ Elet} = |V.I|_{elet} \quad (2.3)$$

Para o funcionamento em certas condições de carga térmica e estabilidade nas grandezas de contorno, se pode estabelecer um regime estável (permanente) para a aplicação da primeira lei da termodinâmica e fazer um balanço de energia nas câmaras.

$$P_{conARCOND} + P_{Carg\ Elet} + P_{ventil} = Q_{cond} \quad (2.4)$$

## 2.5. Revisão Bibliográfica.

Na área de condicionamento de ar encontra-se os trabalhos de Lee & Yoo (2000) que propõem um modelo para combinar os programas de análise de desempenho dos componentes (cada componente estudado independentemente) de um sistema de condicionamento de ar do automóvel, que simula o desempenho do sistema integrado do automóvel. Discutem-se os efeitos de tamanho do condensador e o refrigerante utilizado no desempenho do sistema. Kedzierski (2001) apresenta dados das misturas que foram projetadas para examinar os efeitos da fração, da viscosidade, e da miscibilidade da massa do lubrificante no desempenho do sistema no traspasso térmico de refrigerante R134a.

Os estudos de Jung et al (2000) apresentam desempenhos termodinâmicos das misturas refrigerantes para CFC12 usados em condicionadores de ar de automóveis. As misturas refrigerantes compuseram de HCFC22, HFC134a, HCFC142b, e outros que foram propostos para trocar o CFC12.

Carter & Haselden (2000) Propõem estudos experimentais com R407C e obterem COP de 4. Também, um programa da simulação foi utilizado para modelar o comportamento de outras misturas. Obterem um COP de cerca de 5 para a mistura R32/R134a.

Whitchurch, Dunn e Miller (1997) apresentam estudos dos efeitos da umidade em sistemas de condicionamento de ar. Um sistema de umidade foi instalado num móvel para testes do condicionamento de ar, o sistema pode produzir umidades relativas na entrada do evaporador no excesso de 95%.

No trabalho de Crawford, 1992 estabelece estudos nos efeitos do aceite nas características termodinâmicas do dichlorodifluoromethane (R-12) e de Tetrafluoroethane (R-134a). Obteve-se dados para as misturas do aceite mineral de R-12/naphthenic y do aceite mineral de R-12/paraffinic. Os dados se comparam com os resultados obtidos para as misturas do glicol de R-134a/polialquileno (PAG). Estabelecem que os efeitos da solubilidade de lubrificantes sintetizados em R-134a são menores que para R-12 e os aceites minerais.

Knobloch & Crawford, 1992 desenvolveram modelos empíricos simples para um compressor e um condensador de um condicionador de ar de automóvel. Os modelos deviam ser obtidos de dados reais do funcionamento do sistema. Os modelos foram desenvolvidos para potencia do compressor, caudal volumétrico da entrada do compressor e pressão da entrada do condensador.

Hemami & Dunn (1998) desenvolveram um modelo transitório para prever o comportamento do ciclo de compressão do vapor de um sistema de condicionamento de ar de automóvel.

Zietlow, VanderZee e Pedersen (1993) apresentam trabalhos em simulação do estado permanente de um sistema de condicionamento de ar automotivo para avaliar opções do desenho. A simulação foi validada com dados experimentais e também fizeram análise custo-energia para proporcionar uma base razoável de comparação.

Jabardo et al (2001) apresenta uma avaliação do modelo experimental de um sistema de condicionamento de ar automotor utilizando um compressor de capacidade variável.