

Capítulo VIII

Análise dos gases de escape e relação ar-combustível

A relação ar-combustível, característica do funcionamento de um motor numa certa situação, pode ser determinada em laboratório medindo-se as quantidades respectivas do ar e combustível consumidos.

O processo é porém bastante trabalhoso e difícil. A determinação de AC pode ser feita também através da análise dos gases de escapamento, o que é bastante mais fácil por um dos métodos que veremos adiante. Os resultados são bastante precisos e satisfatórios para a maioria dos problemas tratados com motores de combustão interna.

8.1 - A relação ar-combustível e performance dos motores

A relação ar-combustível de um motor é variável com seu regime de funcionamento, porém pode-se dizer que uma determinada relação é necessária para se obter a máxima potência e outra, diferente, para se obter o mínimo consumo de combustível.

Quando se abre a borboleta do carburador uma maior quantidade de combustível é arrastada para o cilindro onde queimará. Quanto maior a quantidade de combustível tanto maior a energia química liberada e portanto maior a potência desenvolvida. A potência crescerá até que todo o oxigênio do ar admitido no cilindro tenha sido utilizado pela maior quantidade de combustível. Onde se vê que, na verdade, o que limita a potência dos motores (afora considerações de resistência dos materiais) não é a quantidade de combustível admitido, mas sim a de ar, limitada que é pela cilindrada do motor. A quantidade de combustível admitida poderia ser aumentada mais, ao passo que a partir daí a quantidade de ar é fixa.

Considerando que uma parte do combustível não chega a vaporizar e que não se chega a utilizar todas as moléculas de oxigênio para a combustão, torna-se claro que há ne-

cessidade de um pequeno excesso de combustível para que se tenha a máxima potência.

O mínimo consumo de combustível se obtém quando a energia química liberada por unidade de peso de combustível é máxima. Isso acontece quando todo o combustível é queimado, o que exige um excesso de ar.

A curva de consumo específico passa por um mínimo na relação AC igual a 16:1 (esse valor depende do motor) conforme se acha representado na fig. 8.1, ao passo que o máximo de potência se dá para uma relação pouco maior que 12:1.

A relação AC para esse máximo de potência ou mínimo de consumo dependem do projeto do motor.

Para uma tubulação de admissão que aqueça pouco a mistura, a relação tenderá a ser mais rica tanto para a potência como para o consumo, porque uma parte do combustível não se vaporizará e não queimará. Se, ao contrário, a tubulação aquecer demais a mistura, uma menor quantidade de ar será aspirada, porque o ar passa a ocupar volume maior (o rendimento volumétrico diminui), e a potência diminuirá em valor; como o combustível se encontra mais vaporizado, o máximo de potência ocorrerá numa relação AC maior que o valor anterior. Por outro lado, haverá maior perda de combustível não queimado (combustível que não chegou a vaporizar) e o valor do mínimo consumo poderá corresponder a uma AC pouco maior ou igual à anterior.

É possível, ao invés de fazer a aspiração de ar e combustível, efetuar a injeção de gasolina durante o curso de aspiração. Com isso se poderia eliminar os problemas inerentes à tubulação de admissão. Porém outros são introduzi-

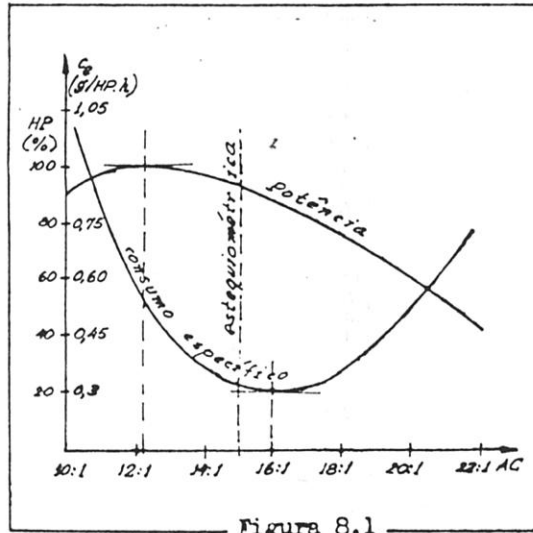


Figura 8.1

dos com a regulagem da bomba injetora afim de dosar quantida des iguais para cada cilindro e manter esta dosagem em rotações diferentes.

Nos motores Diesel os problemas são parecidos com os de explosão, porém não se pode atingir a mistura estequiométrica sem o aparecimento de fumaça. A fig. 8.2 indica que o motor não pode funcionar na máxima potência porque haverá aparecimento de fumaça (linha tracejada). Alguns motores de compressão mal projetados podem dar fumaça até em relações de.. 30:1.

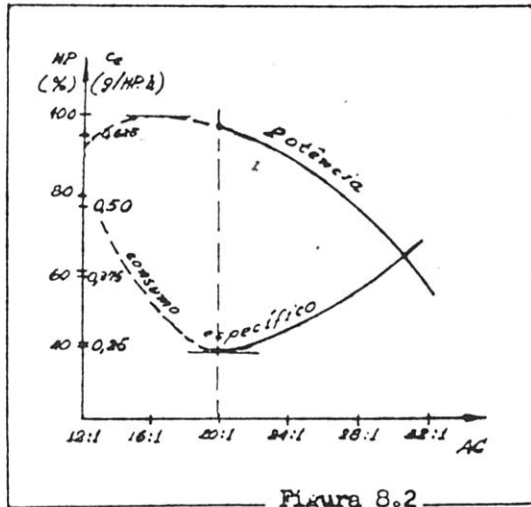


Figura 8.2

Enquanto que num motor a explosão com injeção de gasolina esta pode ser feita no início do curso de aspiração (a mistura queimará com auxílio da vela), assegurando uma boa homogeneidade, num motor por compressão a injeção é feita no instante em que se deseja aumento de pressão (a combustão é feita por auto-ignição), o que dá pouco tempo ao combustível para achar o ar. Por essa razão as bombas injetoras têm um limitador que corta o combustível nas imediações do aparecimento de fumaça.

Em conclusão, tanto para máxima potência como para o mínimo de consumo, os motores por compressão trabalham com grandes relações AC, sempre maiores que a estequiométrica.

8.2 - Análise dos gases e relação ar-combustível

A análise dos gases, a partir do aparelho de Orsat, permite a determinação da relação AC. Existem vários processos de análise de gases queimados, mas conforme o funcionamento do motor um pode ser mais indicado que o outro.

São os seguintes os métodos utilizados:

- a) balanço do carbono
- b) balanço do hidrogênio
- c) balanço do carbono e hidrogênio
 - c₁ - com combustível conhecido
 - c₂ - com combustível desconhecido
- d) método dos gases de escape oxidados.

a) Balanço do carbono

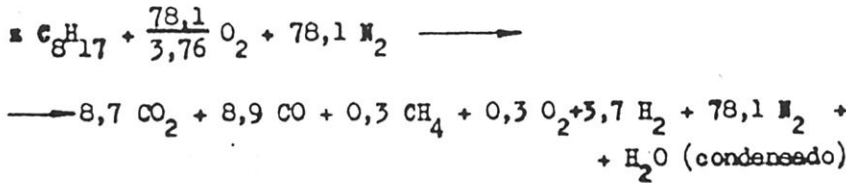
O balanço de carbono é dos processos mais convenientes e dá resultados muito precisos para misturas fracas. Não pode porém ser usado para combustíveis desconhecidos. O processo supõe que não haja carbono livre nos gases de escape.

Exemplo: A análise dos gases forneceu

CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	Total	N ₂ =100-21,9
8,7%	0,3%	8,9%	3,7%	0,3%	21,9%	78,1%

Gasolina: C₈H₁₇

Equação:



Balanço de carbono:

$$8z = 8,7 + 3,9 + 0,3$$

$$z = 2,238$$

Portanto $2,238 \text{ C}_8\text{H}_{17} + 20,8 \text{ O}_2 + 78,1 \text{ N}_2$

Relação AC:

$$\text{AC} = \frac{(20,8 + 78,1) \cdot 29}{2,238 \times 113} = 11,3$$

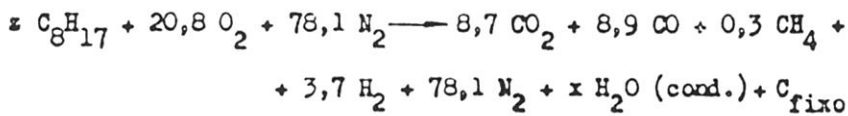
b) Balanço de hidrogênio

Algumas vezes quando há formação de carbono livre nos gases queimados (por exemplo, motores diesel em plena car

ga) pode ser conveniente fazer o balanço do hidrogênio, Como porém a quantidade de hidrogênio é pequena, o processo deve ser conduzido com cuidado.

Exemplo: A mesma análise dos gases

Equação:



Balanço de O_2 :

$$20,8 = 8,7 + \frac{8,9}{2} + 0,3 + \frac{x}{2} \longrightarrow x = 14,7$$

Balanço de H_2 :

$$17z = 0,3 \times 4 + 3,7 \times 2 + 14,7 \times 2 \longrightarrow z = 2,235$$

Portanto



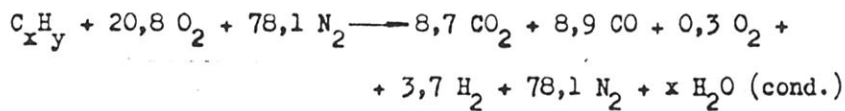
$$\text{AC} = \frac{98,9 \times 29}{2,235 \times 113} = 11,3$$

c) Balanço de carbono e hidrogênio

Quando não se conhece a composição do combustível, uma combinação dos dois processos pode ser utilizada.

Exemplo: a mesma análise dos gases

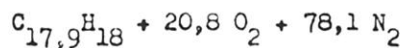
Equação:



Balanço de carbono: $x = 17,9$

Balanço de oxigênio: $y = 38$

Portanto



$$\therefore \text{AC} = \frac{98,9 \times 29}{17,9 \times 12 + 38 \times 1} = 11,3$$

d) Método dos gases de escape oxidados

Ao analisar um gás é sempre interessante que se tenha um dos componentes (de preferência um que seja fácil analisar, como o CO_2) em porcentagem elevada para diminuir os erros de leitura e imprecisão.

Neste método utiliza-se um diagrama (um para cada combustível) dando a porcentagem de CO_2 em função da relação AC, para queima completa.

Os gases de escape do motor são passados num oxidante, que na prática é constituído por um tubo de aço inoxidável de 1 polegada, dentro do qual há um fio de óxido de cobre de 0,020 polegadas de diâmetro. Coloca-se esse tubo num local onde os gases de escape tenham uma temperatura de cerca de 650°C . Os componentes como CO , H_2 e CH_4 que não chegaram a queimar são agora transformados em CO_2 e H_2O , enquanto que o O_2 é absorvido.

Medindo-se o CO_2 e entrando nos diagramas teremos a relação AC.

8.3 - Relação ar-combustível a partir de diagramas

A construção de certos diagramas permite a rápida determinação da relação AC, medindo-se dois componentes dos gases de escape. Fornecendo valores bastante próximos da realidade, sua vantagem é a não necessidade de equipamento complicado de laboratório.

Uma vez que o CO_2 comparece sempre em porcentagem grande, uma medida acurada deste componente e mais uma aproximada de O_2 ou CO ou os dois permite a determinação de AC. A medida de O_2 serve somente para se verificar se a mistura é rica ou pobre, isto é, se se está trabalhando à esquerda ou à direita do pico da curva de CO_2 (fig. 8.3).

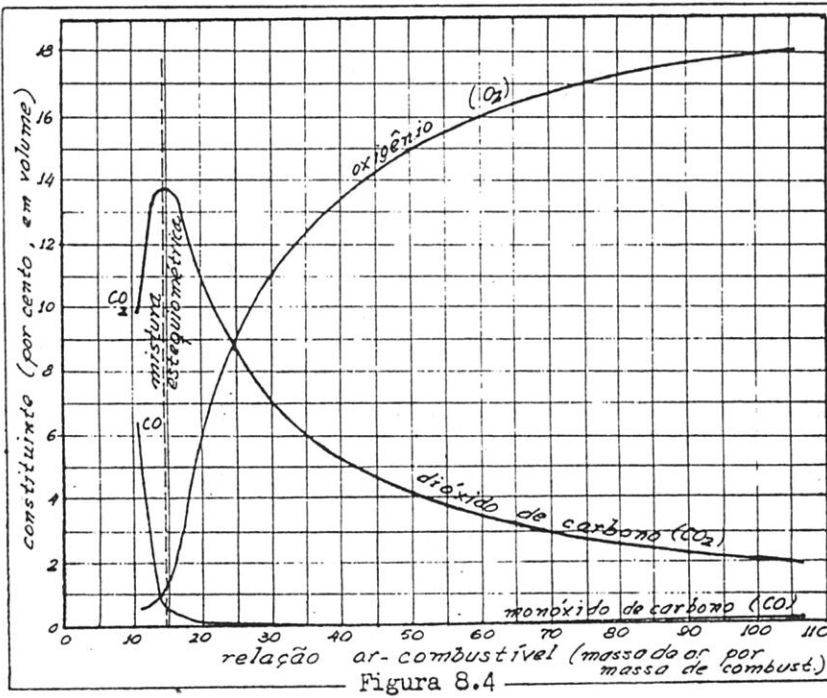
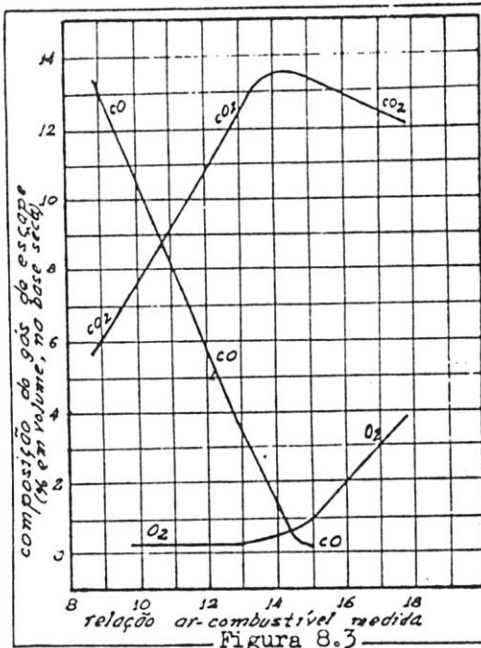
A fig. 8.3 vem a ser o diagrama referido para os gases de escape de motores a explosão sem sobrealimentação.

A combustão nunca é perfeita e uma análise bem feita poderá mostrar a presença de carbono em misturas pobres e de oxigênio nas ricas.

Com "overlaps" a presença de O_2 nos gases nunca é inferior a 1%.

Nos motores de combustão por compressão alguma dificuldade surge por causa do aparecimento de carbono nos gases de escape, mas para misturas fracas, como é a maioria dos casos, a figura 8.4 é perfeitamente utilizável.

A porcentagem de CO é sempre menor que 0,12 porque a combustão se dá sempre com excesso de ar. A menor concen-



tração de CO se dá para um AC = 30. Em misturas mais fracas a porcentagem de CO torna a crescer porque o excesso de ar faz baixar a temperatura da combustão. Essa conclusão é reforçada pelo fato de se observar aldeídos nos gases de escape quando a mistura é fraca, sinal de que a combustão foi incompleta. O CO é inodoro e os aldeídos são os responsáveis pelo odor irritante dos gases de escape dos motores diesel. Os aldeídos numa proporção de 1 parte por milhão já são suficientes para irritar o nariz e os olhos; nos motores diesel pode-se chegar a 30 ppm.

Um motor diesel pode dar fumaça tanto em plena carga quando então nem todo o carbono do combustível consegue encontrar o oxigênio do ar, bem como em misturas fracas por causa do abaixamento da temperatura de combustão provocado pelo excesso de ar.

O aparecimento de fumaça depende também de outros fatores: motor não regulado, bico do injetor sujo, uso de óleo de viscosidade não adequada, etc..

Considerando que a quantidade de carbono livre é sempre difícil de ser obtida, a análise dos gases quanto mais se aproxima da estequiométrica, tanto mais deve ser encarada como qualitativa e não quantitativa.

8.4 - Outros métodos aproximados

Com a finalidade de simplificar o trabalho de laboratório, outros métodos com resultados menos precisos podem ser utilizados.

Por exemplo, verificou-se que para uma determinada gasolina há sempre uma relação entre as proporções de CO e H₂. Apelando-se para gráficos que forneçam essa relação, pode-se na análise dos gases dispensar a determinação de um desses componentes, por exemplo o H₂.

Já nos motores diesel a determinação do H₂ pode ser dispensada porque a sua porcentagem é sempre muito pequena.

Existem também alguns aparelhos para determinação do CO₂, baseados na resistência dos gases à passagem de uma corrente elétrica. Esses aparelhos podem fornecer leituras instantâneas da proporção de CO₂.