

CAPÍTULO 3 - COMBUSTÍVEIS e COMBURENTE

Os motores de combustão interna podem ser operados com vários tipos diferentes de combustíveis, incluindo materiais líquidos, gasosos e mesmo sólidos. O caráter do combustível usado pode ter considerável influência sobre o projeto, potência, eficiência, consumo e, em muitos casos, confiabilidade e durabilidade do motor.

COMBUSTÍVEIS DE PETRÓLEO

Pode-se dizer que 99% dos motores de combustão interna utilizam combustíveis líquidos derivados do petróleo. Em alguns casos são produzidos combustíveis de composição características muito análogas por meio da hidrogenização do carvão.

ÓLEO CRU. É o termo usado para petróleo bruto, como sai do poço. Consiste principalmente uma mistura de vários tipos de hidrocarbonetos de pesos moleculares diferentes, além de uma parcela usualmente pequena, de componentes orgânicos contendo enxofre, nitrogênio, etc..

A composição exata do óleo cru difere bastante, dependendo de sua fonte. Em geral são consideradas três classes: os petróleos de base parafínica, base de nafta ou base mista.

O refino do óleo cru normalmente começa com a destilação à pressão atmosférica, durante o qual o produto é separado em várias frações, de acordo com a volatilidade. Os destilados resultantes são chamados produtos diretos. A seguir podem ser submetidos a tratamentos térmicos e químicos a várias pressões e temperaturas. Tais tratamentos são definidos como fracionamento, quando sua tendência principal é a redução do tamanho molecular médio, e como polimerização, quando predomina o inverso.

Os produtos resultantes do refino do petróleo são classificados por sua utilização e também por seu peso específico e sua volatilidade, conforme determinado pela destilação à pressão atmosférica ao nível do mar. Os produtos de interesse são: gás natural, gasolina, querosene, destilado (semelhante a querosene), óleos diesel, óleos combustíveis (apropriados para queimadores contínuos), óleos lubrificantes.

COMBUSTÍVEIS PARA MOTORES DE IGNIÇÃO POR CENTELHA

Quanto ao desempenho do motor de ignição por centelha, as seguintes características do combustível são importantes: volatilidade; características de detonação e pré-ignição; calor de combustão por unidade de massa e volume; calor latente de vaporização; estabilidade química, neutralidade e limpeza; segurança.

VOLATILIDADE. É a tendência de um líquido a evaporar-se. Essa qualidade é de importância básica nos motores carburados, devido a sua influência na razão vapor-ar nos cilindros no instante da admissão.

Nos motores que queimam uma mistura uniforme de A/C, a razão vapor-ar não deve ser inferior a cerca de 0.5 vezes a estequiométrica para ignição satisfatória e propagação da chama. Dessa forma, é obvio que a volatilidade do combustível deve ser suficiente para dar pelo menos essa razão vapor-ar no instante da ignição em todas as condições de operação, incluindo a partida e aquecimento de um motor frio.

A volatilidade afeta o desempenho do motor através de sua influência sobre o grau de evaporação do combustível nos coletores de admissão e nos cilindros, antes e durante a combustão. A operação será satisfatória somente se os diversos cilindros receberem uma mistura com a mesma razão A/C e se quase todo o combustível evapora-se antes da ignição.

DETONAÇÃO. Explosão da mistura por efeito da pressão. A resistência à detonação de um combustível consiste em uma característica extremamente importante se for usado em motores de ignição por centelha. A propriedade anti-detonante de um combustível aparentemente depende de suas características de ignição por meio de compressão, e estas variam muito com a composição química.

Os efeitos da detonação são nocivas para o motor. Repetidas detonações provocarão superaquecimento e a perfuração da cabeça dos êmbolos.

O poder anti-detonante é a resistência que um combustível apresenta à detonação.

ESPECIFICAÇÃO DE DETONAÇÃO (OCTANAGEM)

É reconhecida a necessidade de requisitos básicos para o estabelecimento de uma escala comparativa da tendência a detonação:

- . um motor padronizado CFR (Cooperative Fuel Research - de um cilindro de taxa de compressão variável);
- . um conjunto de condições-padrão de operação;
- . um método-padrão de medida da intensidade de detonação (indicador de detonação ASTM);
- . um par de combustíveis-padrão de referência.

Os dois combustíveis-padrão de referência são a isoctana (pouco detonante) e a heptana normal (muito detonante).

ÍNDICE DE OCTANA. Representação numérica do poder anti-detonante de um combustível. O método de ensaio consiste em operar com uma mistura de referência (isoctana mais heptana) e com o combustível a ser testado nas condições-padrão e ajustar a razão de compressão, para fornecer uma intensidade-padrão de batida. A proporção de isoctana na mistura de referência, dando as mesmas características de detonação do combustível utilizado, é indicada como índice de octana.

Dois conjuntos de condições de operação, chamados de método-motor (MON - motor octane number) e método de pesquisa (RON - reaserch octane number), são utilizados atualmente. As condições são:

FATOR	MÉTODO-MOTOR	MÉTODO DE PESQUISA
TEMPERATURA DE ADMISSÃO	423 °K (150 °C)	325 °K (52 °C)
TEMPERATURA DO CILINDRO	373 °K (100 °C)	373 °K (100 °C)
VELOCIDADE	900 rpm	600 rpm
UMIDADE	0.0036	0.0036
MASSA/MASSA DE AR SECO	0.0072	0.0072

Segundo o método de pesquisa a mistura passa pela admissão sem nenhuma preparação especial. Mantém-se, assim, as condições normais de funcionamento de um motor "em estrada". Já o método-motor a mistura é pré-aquecida aumentando a sensibilidade da mistura à detonação e permite uma maior precisão na medida. Os resultados são diferentes segundo o método utilizado. O índice de octana obtido pelo método de pesquisa é superior em 10 unidades o método-motor.

A seguinte tabela relaciona várias composições da mistura de referência com a taxa de compressão:

ISOCTANA C ₈ H ₁₈	HEPTANA C ₇ H ₁₆	OCTANAGEM	TAXA DE COMPRESSÃO
1	99	1	1.1:1
49	51	49	5:1
80	20	80	7.5:1
99	1	99	13:1
100		100	13.5:1

ADITIVOS ANTI-DETONANTES

As deficiências no número de octanas de uma gasolina refinada para determinado serviço, podem ser contornadas pela adição de agentes anti-detonantes.

Alguns componentes químicos que sabidamente têm efeito sobre a detonação destacam-se:

- . chumbo tetra-etila
- . álcool
- . MTBE - metil-tércio-butil-éter

O primeiro é um produto químico anti-detonante, mas não carburante. É misturado à gasolina na proporção de até 1 ml/l. Contudo seu emprego é bastante perigoso dado ao escape de emanações de descarga tóxicas.

A utilização de álcool (AEAC - álcool etílico anidro combustível) foi a principal opção para a eliminação do chumbo tetra-etila no Brasil. A mistura do álcool na gasolina se dá usualmente na proporção de 20% a 30% de volume. Para cada 10% de álcool adicionada à gasolina tem-se um incremento de 1 octana na mistura final.

Obs.: AEAC - 99.3° INPM (teor alcóólico)

A utilização do MTBE tem-se caracterizado como uma opção vantajosa em relação ao chumbo tetra-etila, pois não causa impacto ambiental significativo, e não diminui o poder calorífico da mistura, ao contrário do álcool. É utilizado nos EUA, e é o aditivo anti-detonante padronizado pela CEE (Comunidade Econômica Européia). É utilizado em algumas regiões do Brasil, especificamente no Rio Grande do Sul. A adição à gasolina se dá na proporção máxima de 15%.

	GASOLINA - A	GASOLINA - B	GASOLINA - C	OUTRA S
AEAC			18% min 22% máx	
MTBE				10%
CHUMBO TETRA-ETILA	0.8 ml/m máx	0.8 ml/m máx		
OCTANAGEM	80	82	80	80

ÁLCOOL ETÍLICO HIDRATADO COMBUSTÍVEL - AEHC

O primeiro motor de combustão interna, patenteado em 1861 pelo alemão Nikolaus August Otto (1832-1891), origem de todos os ciclos atuais de gasolina e a álcool, teoricamente representado pelo ciclo termodinâmico que leva o seu nome, já funcionava desde o início, a álcool, adequado na época porque era muito mais barato que o petróleo (o petróleo então era muito pouco

extraído, tendo pouca aplicação industrial), e de obtenção mais fácil. Isto perdurou até a I Guerra. Durante a II Guerra o Brasil chegou a misturar até 50% de álcool na gasolina.

Com a crise do petróleo iniciada em 1973, o Brasil buscou alternativas que pudessem libertá-lo da dependência do petróleo importado. Foi, então, em 1975 instituído o PROALCOOL - Programa Nacional do Álcool. As razões motivadoras foram:

- . grande produção de cana-de-açúcar
- . economia de divisas
- . distribuição de renda
- . crescimento da indústria nacional
- . fixação do homem no campo
- . geração de empregos

TIPOS DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL

Etanol C_2H_5-OH

O álcool foi escolhido como meio-termo ideal entre produção, comercialização e consumo: é líquido, seguro, não tóxico (em pequenas concentrações), pouco poluente, renovável, fácil transporte. A grande extensão territorial do Brasil e a boa insolação desse território permite a produção fácil e abundante.

O álcool etílico tem desvantagens em relação a gasolina, por exemplo o baixo poder calorífico, o que aumenta o seu consumo, porém devido a sua octanagem bastante alta permite a sua utilização em motores com taxa de compressão elevada, o que se traduz em aumento de potência.

Metanol CH_4-OH

Tem praticamente as mesmas propriedades do Etanol. Produzido a partir da pirólise da madeira. Por outro lado, é tóxico, devendo ser manipulado com cuidado. É bastante utilizado em motores de combustão interna nos EUA.

No Brasil o Metanol passou a ser utilizado em situações emergenciais para garantir o suprimento de álcool, misturado na seguinte proporção:

- . 33% metanol
- . 60% etanol
- . 7% gasolina

Obs.: BENZOL - Não é álcool. É obtido a partir do carvão. É um ótimo combustível, porém extremamente tóxico.

	BENZOL	ETANOL	METANOL	GASOLINA
OCTANAGEM	100	99	98	80
PODER CALORIFICO kcal/kg	9600	6550	4500	10450

ADIÇÃO DE AEAC À GASOLINA

Os motores a gasolina podem funcionar bem até com 25% de AEAC, mas isto terá suas conseqüências, se o motor não sofrer algumas alterações mínimas para ser adaptado ao novo combustível.

DESVANTAGENS

Redução da Potência. Para 25% de AEAC, 5% a menos de potência e no torque.

Consumo. Como o álcool tem baixo poder calorífico, ao ser adicionado à gasolina, o poder calorífico da mistura cai.

Corrosão. As partes metálicas sem revestimento adequado e as borrachas serão atacadas pelo álcool.

Mistura pobre. A relação A/C diminui, necessitando nova calibragem da carburação.

Poder calorífico. A explosão terá uma expansão menor dos gases, o que significa, para uma mesma potência útil desenvolvida pelo motor, um maior consumo de combustível.

VANTAGENS

- . Aumento da potência e do torque devido a maior .
- . Menor índice de poluição.

USO EXCLUSIVO DE ÁLCOOL NO MOTOR - AEHC

São necessárias algumas alterações no projeto original de um motor à gasolina para trabalhar exclusivamente com álcool:

Taxa de compressão. Deve ser aumentada entre 9 a 14:1 devido a maior octanagem do álcool em relação a gasolina. Isto pode ser obtido rebaixando o cabeçote ou utilizando desenhos especiais na cabeça do pistão, ou ainda, utilizando pistões mais altos.

Ponto de ignição. A mistura mais rica de álcool/ar queima muito mais depressa que gasolina/ar, sendo necessário atrasar o ponto de ignição.

Velas. A temperatura da câmara será mais elevada, bem como a compressão. Será necessário a utilização de velas frias (alto índice térmico).

Carburador. A mistura correta para a máxima queima da gasolina é de 15,2 partes de ar para 1 de gasolina, no AEHC é necessário 9:1. Isto é possível através das seguintes alterações:

- . altura da bóia (9% inferior)
- . difusor
- . furo de progressão
- . calibre de marcha lenta (29% maior)
- . calibre principal de combustível (26% maior)
- . calibre principal de ar
- . vazão do afogador

Coletor de admissão. O álcool exige mais calor que a gasolina para evaporar-se (menor volatilidade). Assim é necessário dotar o coletor de um sistema de pré-aquecimento.

VANTAGENS DO USO EXCLUSIVO DE ÁLCOOL

Rendimento. A maior octanagem do álcool em relação a gasolina permite uma elevação da taxa de compressão, o que resulta num aumento do rendimento total.

Num motor a gasolina, 27% da energia fornecida são aproveitados, enquanto que no motor a álcool atinge 34%.

A potência aumenta com o aumento da taxa de compressão. Para uma mesma taxa de compressão, a potência aumenta 2% porque 5% da água de composição do álcool evaporam-se dentro do cilindro, aumentando a pressão dentro dele. Um motor a AEHC terá 24% de potência a mais que o motor a gasolina.

O torque, relacionado diretamente com a potência, será correspondentemente 24% superior.

Poluição. Emite reduzido índice de monóxido de carbono, o principal poluente atmosférico oriundo da combustão da gasolina. Em torno de 66% a menos de CO que a gasolina.

Durabilidade. A queima da gasolina se dá de 40° C a 200° C, assim, durante a combustão alguns hidrocarbonetos se tornarão líquidos se juntando ao óleo na parede dos cilindros. 1% de gasolina no óleo diminui 10% da viscosidade do lubrificante. Por sua vez, o álcool queima integralmente a 70° C.

COMBUSTÍVEIS PARA MOTORES DIESEL

Os combustíveis destinados aos motores Diesel devem ser facilmente inflamáveis ao contato com o ar superaquecido. Esta facilidade de inflamação é favorável ao arranque do motor e assegura em andamento uma combustão mais completa, diminuindo assim a produção de fumaças no escape.

A facilidade de inflamação dos combustíveis Diesel é indicado pelo “**índice de cetano**”.

O índice de cetano é determinado comparando a facilidade de inflamação do combustível a testar com a facilidade de inflamação de uma mistura de base. Esta mistura de base é formada de cetano (muito inflamável) de alfa-metilo-naftalina (muito pouco inflamável). O primeiro é um hidrocarboneto derivado do petróleo e o segundo é extraído do alcatrão de hulha.

A quantidade de cetano em porcentagem na mistura da base, caso tenha as mesmas facilidades de inflamação que o combustível testado, é dada como índice. Assim, por exemplo, um combustível é de 45 cetanos quando a sua facilidade de inflamação é idêntica à de uma mistura contendo 45% de cetano e 55% de alfa-metilo-naftalina.

Os combustíveis para motores a Diesel devem possuir um índice compreendido entre 30 e 60 cetanos.

Abaixo de 30 cetanos, o combustível apresenta grandes dificuldades de inflamação; não permite bons arranques a frio e provoca grande quantidade de fumaça no escape. Acima de 60 cetanos, a inflamação demasiado fácil do combustível favorece a detonação do motor, seguindo-se uma diminuição da potência e uma fadiga exagerada dos elementos mecânicos: pistões, bielas e cabeçote. Os combustíveis mais favoráveis aos motores Diesel atuais são aqueles cujo índice se situa entre 45 e 50 cetanos.

COMBUSTÍVEIS GASOSOS

Os combustíveis gasosos mais importantes são os gases naturais e o gás liqüefeito de petróleo. O gás natural é formado principalmente de compostos parafínicos de metano, CH₄. É usado para instalações estacionárias onde o suprimento de gás é abundante, como próximo de campos ou

linhas de gás natural. As tubulações de gás natural recebem energia de motores ou turbinas que usam esse gás como combustível.

Além do metano, o gás natural pode conter etano, C_2H_6 , propano, C_3H_8 , e butano, C_4H_{10} . Os dois últimos compostos são extraídos do gás natural ou do petróleo em que estão dissolvidos, e armazenados no estado líquido sob pressão. Nessa forma, eles são conhecidos como gases liquefeitos de petróleo ou gás engarrafado. A descompressão para a pressão atmosférica transforma-o em gás. O gás de garrafa é usado de maneira limitada em veículos automotores nos locais em que o suprimento é abundante.

Gás pobre. O gás pobre é obtido pela queima de material carbonáceo (carvão, madeira, carvão vegetal, carvão de pedra, etc.) com grande deficiência de ar. Os produtos dessa combustão parcial contêm CO e H_2 em quantidades suficientes tal que eles podem ser usados como combustível em um motor. A composição varia bastante com o combustível básico e com as condições de operação do aparato. Gerado por meio de pequenas unidades que podem ser levadas na traseira de um carro ou de um reboque leve, o gás pobre foi usado na Europa, na Ásia e na América do Sul durante os períodos de guerra, quando os combustíveis líquidos eram escassos.

Gás de fornalha. Como o nome indica, o gás de fornalha é aquele que sai da fornalha durante a operação de redução do minério de ferro. Como ele contém grande quantidade de material combustível, freqüentemente é usado nos motores de combustão interna próximos da fornalha, incluindo os motores que acionam ventiladores de suprimento de ar para a fornalha..

Gás artificial. O gás artificial é feito de carvão ou petróleo, por meio de vários métodos, usualmente envolvendo a combustão para CO, juntamente com a dissociação de água para se obter hidrogênio gasoso. O gás artificial é caro e tem sido substituído pelo gás natural em muitas áreas. No passado, foi usado em motores de bombas de incêndio e estações geradoras. É um combustível satisfatório, do ponto de vista técnico.

Os combustíveis gasosos eliminam a maioria das dificuldades associados à partida com combustíveis líquidos, e jamais necessitam de aquecimento do sistema de admissão. A distribuição de uma mistura adequada de combustível e ar para diversos cilindros é conseguida mais facilmente com combustíveis gasosos do que com os líquidos.

As desvantagens dos combustíveis gasosos estão associados aos problemas de armazenamento e manuseio. Em geral, não são adequados para uso em veículos autopropelidos devido ao tamanho ou peso dos recipientes necessários. Nos motores carburados, os gases deslocam mais ar do que no caso de combustíveis líquidos e, desta forma, tendem a reduzir a máxima potência fornecida.

COMBURENTE (ar atmosférico)

COMPOSIÇÃO DO AR.

COMPONENTES	PESO MOLECULAR	%
NITROGÊNIO - N	28	78.03
OXIGÊNIO - O	32	20.99
ARGÔNIO - Ar	40	0.94
GÁS CARBÔNICO - CO ₂	44	0.03
OUTROS		0.01

REAÇÕES BÁSICAS.



RELAÇÕES A/C UTILIZADAS:

	+ Rica	+ Pobre
Motores Otto (centelha)	11:1	17:1 (gasolina)
	7:1	11:1 (álcool)
Motores Diesel (compressão)	18:1	25:1 (diesel)

Calor Desenvolvido na Combustão

$$Q = Q_1 - Q_2$$

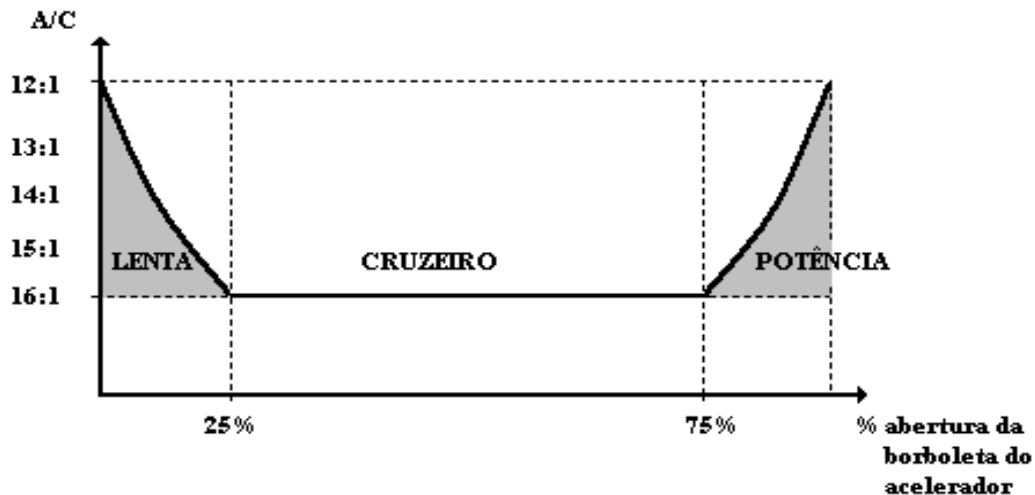
Sendo: Q_1 = Oxidação do combustível, do C e do H

Q_2 = Energia necessária para romper as ligações C, H

RELAÇÃO A/C REQUERIDAS POR UM MOTOR DE IGNIÇÃO POR CENTELHA ELÉTRICA (Motores Otto)

Carburador

- * Atomizar o combustível
- * Dosar o combustível
- * Realizar a mistura A/C



Nota: Quanto mais fechada estiver a borboleta do carburador, mais pobre será a mistura A/C.

Lenta (0 -> 25): Teor de gases residuais é bastante alto, borboleta pouco aberta, baixo enchimento do cilindro, baixas pressões, descarga não é eficiente (giro baixo).

Cruzeiro (25 -> 75): Teor de gases residuais é baixo, mistura o mais pobre possível pois não há necessidade de enriquecimento, descarga eficiente (regime de giro melhor).

Potência (75 -> 100): Necessidade de enriquecimento para compensar menor tempo para realização da mistura. O excesso auxilia a refrigerar o interior do motor e diminui a possibilidade de detonação (refrigera a válvula de descarga).

RELAÇÃO REQUERIDA POR UM MOTOR DE IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO (Motor Diesel)

Diferença em relação ao motor Otto

- * Ausência de carburador
- * Local de formação da mistura (câmara de combustão)

Requisitos:

- * Mistura enérgica para aumentar o contato (turbilhonamento, aumentar a energia cinética para promover maior contato entre o ar e o combustível)
- * Excesso de ar para aumentar o contato A/C

Relação Estequiométrica: É a relação onde se tem o mínimo de ar para oxidar completamente o combustível. No caso do motor Diesel esta relação é 15:1.