

TECNOLOGIA DE MOTORES FLEXÍVEIS

Henry Joseph Junior¹

Do início do século XVIII a meados do século XIX, o motor a vapor reinou absoluto como a melhor invenção do homem para produzir força útil, em substituição não apenas aos animais, usados, por milhares de anos, na moagem, transporte e indústria, como também à força do vento, utilizada no transporte marítimo. A inovação foi tão importante, que era exibida, com orgulho, como símbolo do progresso e do avanço econômico. Com a máquina a vapor, a navegação comercial passou a ser mais rápida e eficiente; o transporte ferroviário, popular; e a industrialização, almejada pelos mais diversos governos. Até hoje, ao referirmo-nos à era industrial, vem-nos à mente a imagem do famoso “fog londrino”, ícone do uso desenfreado de motores a vapor e resultado da mistura de fumaça de carvão com vapor emitido por milhares de caldeiras. Também conhecido como “máquina a vapor”, esse motor de combustão externa, inventado, em 1698, pelo inglês Thomas Savery, usava carvão ou lenha para superaquecer a água contida num recipiente fechado. Foi produzido em diversos modelos e tamanhos, mas sempre

¹Presidente da Comissão de Energia e Meio Ambiente da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea).

Todas as ilustrações deste texto foram fornecidas pelo autor.

limitado ao fato de que a força obtida era diretamente proporcional ao tamanho da caldeira que, quanto maior, mais aquecimento necessitava. Por outro lado, para manter a elevada temperatura, era necessário constante abastecimento da fornalha com carvão ou lenha. Devido a essas limitações, a máquina a vapor nunca conseguiu substituir o uso de animais no transporte individual, no coletivo urbano ou mesmo no de carga de pequena distância. Sua aplicação, apesar de intensa, sempre limitou-se ao uso como motor estacionário na indústria e na agricultura ou como motor móvel em fumarentas locomotivas, barcos a vapor ou navios. Experimentos em tratores ou mesmo em veículos terrestres chegaram a ser feitos, mas essas aplicações foram muito poucas e limitadas, quando comparadas às inúmeras utilizações citadas.

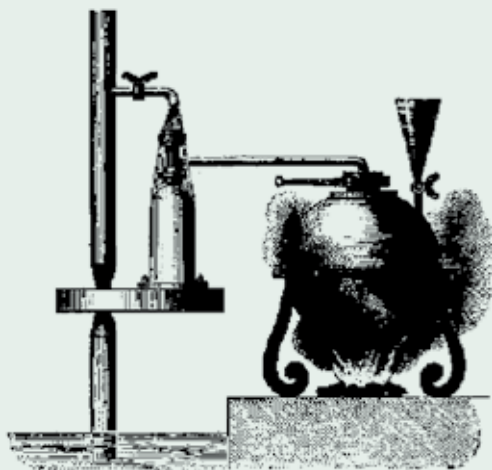
O primeiro motor de combustão interna foi inventado e construído por Jean Joseph Étienne Lenoir. Engenheiro belga, nascido em 1822, em Luxemburgo, emigrou para a França em

Evolução dos Motores

Thomas Savery

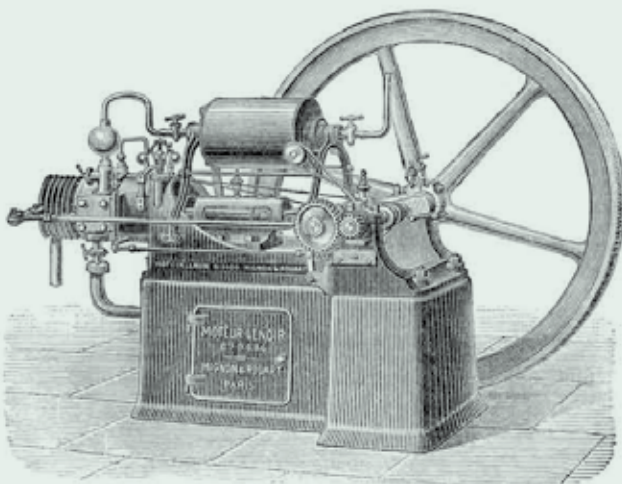


Inventor da Máquina a Vapor



Máquina a Vapor de Savery

1838, onde se ocupou como garçom em Paris. Em 1852, começou a trabalhar como mecânico. Seis anos depois, tentou seu primeiro motor fixo de explosão, movido a uma mistura gás de carvão e ar. Dois anos depois, patenteou a chamada “máquina de gás de Lenoir”, o primeiro motor de aplicação prática de combustão interna, alimentado por gás de iluminação e com ignição promovida por uma bateria elétrica. Foram fabricados cerca de 400 desses motores, principalmente para equipar tornos mecânicos e máquinas de impressão. Em seguida, Lenoir pensou em usar o motor em um veículo, transformando o movimento retilíneo em movimento de rotação. Em 1860, conseguiu montar um triciclo motorizado, cujo combustível era gás de hulha ou óleo leve (proveniente de xisto ou alcatrão) vaporizado em primitivo antepassado do carburador. Entretanto, seu veículo foi um fracasso, pois o motor não fazia a compressão da mistura de ar com combustível, e a potência atingiu apenas 1,5 HP. Considerado o inventor do motor a explosão, morreu em 1900, na França.



Motor de Lenoir

Jean Joseph Étienne
Lenoir



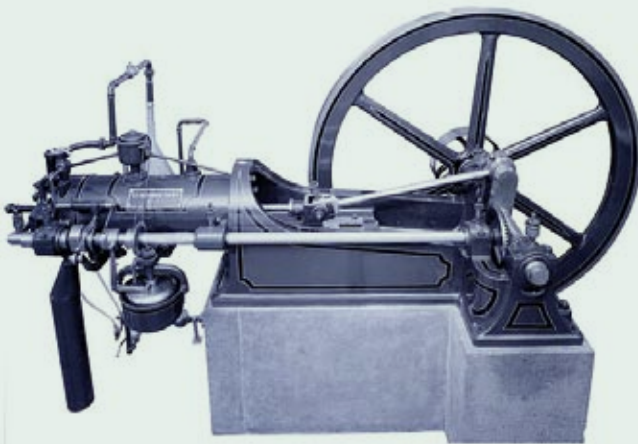
Inventor do Motor de
Combustão Interna

APESAR DO FRACASSO
DE ÉTIENNE LENOIR
EM APLICAR O MOTOR
DE COMBUSTÃO
INTERNA EM UM
VEÍCULO, A IDÉIA
EM SI TEVE VÁRIOS
SEGUIDORES.

Apesar do fracasso de Étienne Lenoir em aplicar o motor de combustão interna em um veículo, a idéia em si teve vários seguidores. As vantagens desse tipo de motor frente aos de combustão externa são enormes e numerosas. O aproveitamento da energia, ao queimar o combustível num ambiente fechado, é muito maior. O uso de líquido vaporizado ou de gás permite que a diluição com o ar seja rápida e eficaz, aumentando a eficiência. Usar a energia desprendida pela queima do combustível diretamente como energia mecânica, sem precisar usar a transformação da água líquida para vapor e desse para energia mecânica, faz o aproveitamento térmico ser muitas vezes superior e a relação do tamanho do motor com a potência obtida ser muito mais favorável. A queima de combustível fluido em ambiente fechado facilita o controle do processo, permitindo gerenciar o número de combustões e, conseqüentemente, o de ciclos do motor; viabiliza, ademais, que o início e o término do funcionamento do motor possam ser mais bem controlados, assim como que a força gerada possa ser dosada. A combinação de todos esses fatores faz que a aplicação de um motor de combustão interna em um veículo seja muito facilitada, o que não passou despercebido pelos melhores tecnólogos do final do século XIX.

Uma dessas pessoas entusiasmadas com a idéia de empregar um motor de combustão interna num veículo com rodas foi Nikolaus August Otto. Nascido em 1832, na Alemanha, era um caixeiro-viajante que percorria diversas cidades de seu país e de países vizinhos vendendo açúcar, chá e materiais de cozinha. Numa viagem a Paris, conheceu o motor de combustão interna de Étienne Lenoir e o esforço do engenheiro francês para aplicá-lo num triciclo. Apesar do pouco sucesso

do pioneiro na aplicação veicular, Otto acreditava que poderia melhorar aquela invenção e começou a fazer diversos experimentos. Por um feliz acidente, o alemão descobriu o valor da compressão da mistura de combustível e ar, antes de queimar na câmara de combustão, o que aumentava significativamente a força gerada. A partir daí, a idéia do ciclo de quatro tempos de movimento do êmbolo (ou pistão) – o Ciclo Otto – nasceu. Ele construiu seu primeiro motor a gás em 1861 e formou uma sociedade com o industrial alemão Eugen Langen. Começou sua primeira fábrica em Deutz, subúrbio de Colônia, na Alemanha, e lá, com capital aumentado e pessoal especializado, graças a prêmios ganhos em feiras de tecnologia, contratou os serviços e a capacidade técnica de um senhor chamado Gottlieb Daimler, que seria, pouco tempo depois, uma das estrelas no firmamento do automobilismo. Mais tarde, estabeleceu outra fábrica na Filadélfia, EUA. Originalmente conhecido como N.A. Otto & Cia, a empresa ainda existe com o nome de Deutz AG. A partir de 1876, incorporando tecnologia trazida



Motor Otto

Nikolaus A. Otto



Inventor do Motor de 4 Tempos

por Daimler e aplicando o conceito dos quatro tempos, começou a construção, em ritmo industrial, do novo motor de Otto. Sua patente de número DRP 532, tornou-se a mais contestada do mundo e a patente-base do motor moderno.

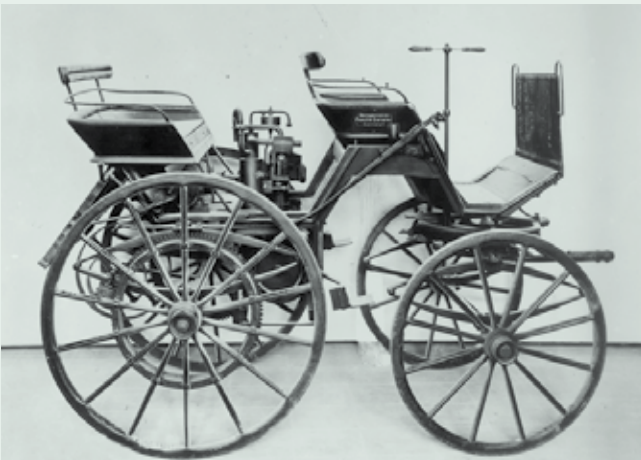
Gottlieb Daimler nasceu em 1834, também na Alemanha. Depois de uma temporada na França, onde adquiriu experiência na construção de máquinas, freqüentou a Escola Politécnica de Stuttgart. No fim de 1863, começou a trabalhar como inspetor numa fábrica de máquinas, onde conheceria Wilhelm Maybach. Em 1872, transferiu-se para a Otto & Langen, na qual tomou conhecimento do motor Otto de quatro tempos. Depois de divergências com a direção da empresa, deixou a Deutz em 1882. Pouco depois, comprou uma vila em Cannstatt, onde havia uma estufa no jardim, que Daimler mandou ampliar para

A PROPOSTA DE
DAIMLER ERA UTILIZAR
GASOLINA COMO
COMBUSTÍVEL DOS
MOTORES, MONTANDO-
OS EM TODOS OS
VEÍCULOS POSSÍVEIS
- NA TERRA, NA ÁGUA
E NO AR.

montar uma oficina de testes, e convidou Maybach para trabalhar com ele. A proposta de Daimler era utilizar gasolina como combustível dos motores, montando-os em todos os veículos possíveis - na terra, na água e no ar. Ele utilizava o princípio Otto de quatro tempos, que, devido ao complicado mecanismo de ignição, não permitia grandes rotações. Depois de intensivos testes, Daimler resolveu patentear um motor com sistema de ignição por aquecimento elétrico, controlado por uma resistência. Essa patente foi uma obra-prima na arte da formulação, já que ela continha os princípios de quatro tempos do motor Otto, e transformou-se numa grande disputa judicial de patentes com a Deutz. Contudo, a Corte Federal aceitou a argumentação de Daimler de tecnologia própria e, assim, no fim de 1883, funcionou o primeiro motor de testes, fundido por uma fábrica de sinos. Graças à ignição incandescente e à válvula de descarga, o motor atingiu 600 rotações por minuto,

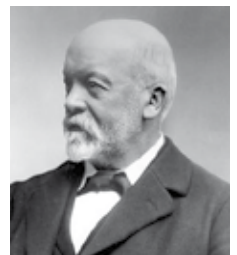
o que superava qualquer motor construído até então. O próximo motor recebeu o nome de “Standuhr” (“relógio de pé”) e seu desempenho, em 1884, era de 1HP. Com essa construção, com grande economia de peso e altamente compacto, Daimler e Maybach tinham chegado à condição básica para conseguir montá-lo em um veículo. O primeiro teste foi com uma motocicleta com quadro de madeira. O motor de um cilindro foi montado embaixo do assento do motorista. No início de 1886, Daimler encomendou uma carruagem, fabricada em Hamburgo e montada em Stuttgart. Secretamente, o veículo foi entregue na noite de 28 de agosto como presente para a senhora Daimler. O motor, que eles montaram perto da direção giratória, tinha 1,5 HP e foi montado conforme o modelo do “relógio de pé”, sendo que a transmissão de potência era executada por correias. A estranha carruagem motorizada, portanto, foi o primeiro automóvel de quatro rodas do mundo.

A adequação entre motores e combustíveis foi um dos fatores de grande importância na evolução e afirmação de mer-



1º Automóvel de Daimler

Gottlieb Daimler



Inventor do
Automóvel

cado do motor de combustão interna. Nos projetos pioneiros, o combustível utilizado era o gás de iluminação. A farta disponibilidade, gerada graças aos sistemas de iluminação pública da época, tornava o gás bastante oportuno para aplicações em motores estacionários. Contudo, as características do motor a explosão de baixo peso era um grande atrativo para que fosse aplicado em veículos de pequeno porte que servissem ao transporte individual. O uso do gás de iluminação como combustível tornava-se, assim, inadequado.

Entretanto, a visão da oportunidade de aplicar motores à explosão em veículos leves fez que vários inventores se pusessem a trabalhar no desenvolvimento de sistemas para adequar o motor de combustão interna aos combustíveis líquidos. A maior densidade energética e a maior facilidade de transporte tornavam evidentes as vantagens do uso desse tipo de combustível em pequenos veículos. A descoberta de poços de petróleo, por volta de 1854, nos EUA, com boas reservas e relativa facilidade de exploração, era outro fator motivador para esse desenvolvimento.

John D. Rockefeller, americano nascido em 1839, foi um dos primeiros visionários a perceber a importância comercial que os derivados do petróleo teriam como combustível líquido para aqueles veículos motorizados que estavam surgindo. Tendo 22 anos e somente formação escolar básica, adquiriu uma pequena empresa com a qual passou a fazer parte do setor da refinação, transporte e venda de produtos petrolíferos. Em 1863, fundou sua primeira refinaria, a que se seguiu a segunda, em 1866. Rapidamente, assegurou o monopólio do negócio, construindo os próprios oleodutos, comprando numerosas empresas, criando redes de distribuição e utilizando métodos rápidos de nego-

ciação. Em 1879, a sua Standard Oil Company controlava 95% do mercado do petróleo. Contudo, seus esforços para inserir-se no mundo da política foram mal recebidos e, em 1892, com a Lei Antitruste, sua empresa teve que ser dividida em empreendimentos menores, dos quais Rockefeller detinha apenas uma participação minoritária. Esse industrial personificou o modelo do grande capitalista, tendo estilo de vida puritano e investindo seus lucros no mecenato artístico e científico.

Siegfried Marcus, austríaco, é tido como o inventor do carburador, peça essencial para a utilização de combustíveis líquidos em motores de combustão interna. Devido à dificuldade em promover uma boa mistura do líquido com ar, essa invenção trouxe enorme avanço na aplicação da gasolina como combustível. Todavia, a afirmação final do motor a gasolina ocorreu apenas em 1883, com o trabalho de Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach, que construíram um carburador de funcionamento convincente e o associaram a um sistema de ignição também desenvolvido por eles. O resultado



Automóvel de Marcus

Siegfried Marcus



Inventor do
carburador

alcançado foi um grande salto na evolução dos motores de combustão interna. O de Daimler chegava a 900 RPM, enquanto os a gás da época mal atingiam as 200 rotações. Com isso, conseguiu-se a união do motor de combustão com os derivados de petróleo, ao mesmo tempo em que se criava a condição para o desenvolvimento do automóvel.

Na mesma época, Rudolf Diesel, engenheiro de nacionalidade alemã, embora nascido em Paris, em 1858, buscou desenvolver um motor de combustão interna que tivesse o maior rendimento possível. Utilizou, para isso, uma configuração mecânica similar à de Otto: ciclo de quatro tempos e mecanismos de válvulas de admissão e escape. No entanto, no motor de Diesel, a combustão era provocada pela injeção de combustível na câmara de combustão, no final da fase de compressão. A temperatura elevada do ar no cilindro, devido à alta compressão a que era submetido, provocava a auto-combustão do combustível injetado. A idéia não era original, mas Diesel foi o primeiro a conceber um motor prático e de

Rudolf Diesel



Inventor do Motor
Diesel



Motor Diesel

alto rendimento, que foi patenteado em 1892. O rendimento térmico alcançado por esse motor atingia o triplo da máquina a vapor e mais de uma vez e meia o dos motores a gasolina da época. Do jeito como foi concebido, o motor diesel tinha características que o indicavam para aplicações pesadas e, desde logo, foi visto como um forte sucessor do motor a vapor. Em comparação com o motor a gasolina, conseguia destacar-se nas instalações de grande porte, mas era pesado demais para competir no transporte rodoviário e em aplicações leves.

De certa forma, os dois tipos de motor de combustão interna, o Diesel e o Otto, tornaram-se complementares para uma grande faixa de aplicações, cada qual dominando uma fatia distinta. O binômio leveza-economia seria o parâmetro de maior peso na escolha. Além das vantagens singulares de cada um, um fator importante ajudaria a manter o equilíbrio nessa queda de braço: os dois haviam passado a beber na mesma fonte, o petróleo.

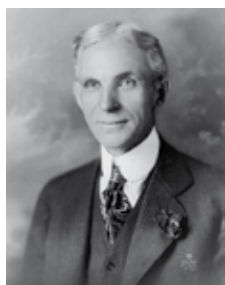
Como o óleo diesel e a gasolina são obtidos por destilação fracionada do petróleo, a oferta de um estava ligada ao consumo do outro. Essa “simbiose” fez com que os dois encontrassem o equilíbrio na disputa e continuassem a evoluir em aplicações cada vez mais diversas, ao mesmo tempo em que, na prática, punham fim ao domínio da máquina a vapor. O novo reinado das máquinas térmicas estava dividido entre os motores do ciclo Otto e os do ciclo Diesel.

Porém, esse predomínio estaria acessível somente a poucas pessoas multimilionárias, se não fosse o espírito empreendedor do americano Henry Ford. Nascido em 1863, no norte dos Estados Unidos, o engenheiro entendeu que o automóvel

DO JEITO COMO FOI CONCEBIDO, O MOTOR DIESEL TINHA CARACTERÍSTICAS QUE O INDICAVAM PARA APLICAÇÕES PESADAS E, DESDE LOGO, FOI VISTO COMO UM FORTE SUCESSOR DO MOTOR A VAPOR.

poderia ser do interesse de todos, caso pudesse ser adquirido por um preço razoável. Para ter um produto mais barato, Ford inventou a famosa “linha de montagem”, na qual as várias etapas de fabricação foram distribuídas ao longo de uma esteira rolante e cada empregado ficou encarregado de acoplar um componente padronizado. A idéia era evitar que houvesse hesitações e perda de tempo dos funcionários durante a construção dos veículos. Lançado em 1908, por 850 dólares cada unidade, o Modelo Ford T foi um sucesso. Foram vendidos 15 milhões de unidades em cerca de 20 anos. Ao contrário dos oferecidos por outros fabricantes, os veículos produzidos por Ford não eram brinquedos quase artesanais para ricos se exibirem. Era um bem produzido em série, para ser usado todo dia por cidadãos comuns. Apesar de ser um empresário genial, Henry Ford era péssimo administrador: gostava da fábrica, mas não do escritório. Não tinha paciência para balanços, detestava banqueiros e sempre mantinha dinheiro vivo no cofre. Tampouco era muito bom em marketing, pois, por 19 anos,

Henry Ford



Inventor da Produção
em Série



Ford T 1908

produziu apenas o Modelo T preto. Aliás, um dos slogans da campanha de vendas era exatamente esse: você pode ter o Ford que quiser, desde que seja na cor preta. Somente em 1927, Ford lançou o Modelo A com mais cores, mas, naquela altura, já estava sendo ultrapassado pela General Motors.

Com o avanço de Ford e de seus inúmeros concorrentes, fornecedores de peças, revendedores, oficinas de reparos, postos de gasolina e estradas multiplicaram-se. Com o carro, as pessoas puderam viajar mais e morar longe das áreas centrais. A poluição, o barulho, os acidentes e os congestionamentos substituíram outros problemas urbanos e associaram-se, a partir daí, à imagem de urbanização e desenvolvimento.

Assim, no início do século XX, com a introdução dos conceitos trazidos por Henry Ford de linha de montagem e de produção em série, a indústria automobilística começou a crescer enormemente, não só nos Estados Unidos mas também na Inglaterra, Alemanha, Itália e França. Em 1919, já se contabilizava o incrível número de 186 fabricantes de veículos automotores rodoviários no mundo, o que permitiu a produção de 11 milhões de unidades somente naquele ano.

A eclosão da Primeira Guerra Mundial na Europa trouxe dois aspectos importantíssimos para o setor. Por um lado, veio frear a expansão que essa indústria vinha tendo em termos de crescimento de volume de produção, principalmente na Europa. Por outro, graças aos esforços de guerra e à disseminação do uso do motor de combustão interna, alimentado por combustíveis derivados do petróleo, em automóveis e caminhões de usos militares, bem como em motocicletas, aviões, barcos, navios e qualquer coisa que se locomovesse, trouxe enormes avanços tecnológicos que per-

EM 1919, JÁ SE
CONTABILIZAVA O
INCRÍVEL NÚMERO DE
186 FABRICANTES DE
VEÍCULOS AUTOMOTORES
RODOVIÁRIOS NO MUNDO.

mitiram aumentar sua eficiência e desempenho, diminuir seu tamanho e baixar seu custo.

NO PERÍODO ENTRE
A 1ª E A 2ª GUERRA
MUNDIAL, O NÚMERO
DE FABRICANTES DE
VEÍCULOS DIMINUIU,
MAS A QUANTIDADE
DE FUSÕES E
INCORPORAÇÕES
FORTALECEU
AS EMPRESAS
REMANESCENTES.

No período entre a Primeira e a Segunda Guerra Mundial, o número de fabricantes de veículos diminuiu, mas a quantidade de fusões e incorporações fortaleceu as empresas remanescentes, que, adotando tecnologias mais avançadas, voltaram a produzir em grande escala, popularizando, ainda mais, o uso do automóvel e levando esse produto a todos recantos do planeta. Intensamente divulgado pela indústria cinematográfica, o uso individual do automóvel firmou-se em todos os continentes e países, transformando cidades, abrindo estradas e incentivando a prospecção de petróleo, a construção de refinarias e a distribuição de derivados.

Quando a Segunda Guerra Mundial explodiu, o automóvel e seus congêneres já estavam presentes nos quatro cantos do mundo, sendo a demanda por combustível, componentes e peças de manutenção também significativa. Devido às dificuldades de transporte e ao racionamento, a interrupção no fornecimento desses produtos em países que não os produziam tornou-se sério problema, levando à procura de combustíveis alternativos e ao surgimento de um novo tipo de indústria, a de produção de peças não-originais, que, mais tarde, foi o embrião de novos parques de produção de veículos em países da Ásia, Oceania e América do Sul, os quais, até então, não tinham tido produção local.

Com o fim da guerra, os esforços de restabelecimento econômico dos países afetados, o posicionamento dos Estados Unidos como nova potência mundial e os planos de reconstrução dos países derrotados, a indústria automobilística viveu seu apogeu. O parque industrial automobilístico

internacionalizou-se. Fábricas de automóveis, caminhões e autopeças foram implantadas em dezenas de países, fazendo a frota mundial de veículos atingir 200 milhões de unidades em 1960. Conseqüentemente, na medida em que todos esses veículos eram movidos a gasolina ou óleo diesel, o consumo de petróleo chegou a 8 milhões de barris por dia naquele ano, com um preço médio, em valores da época, de cerca de 2 dólares por barril. Era muito barato o que se pagava pelo combustível usado nesses veículos maravilhosos, que traziam status, liberdade e progresso.

Entretanto, ainda na década de 1960, os primeiros sinais de que nem tudo era cor-de-rosa com os automóveis movidos a derivados de petróleo começaram a surgir. Problemas crônicos de visibilidade em 1962, na aproximação para pouso de aviões no aeroporto de Los Angeles, EUA, levaram à descoberta da enorme complexidade da questão da poluição causada pela emissão dos gases de exaustão

dos veículos automotores nas regiões urbanas densamente povoadas. Ao estudar-se as causas desse fenômeno, verificou-se que o dano causado pela queima dos combustíveis veiculares ia muito além da simples emissão de monóxido de carbono (CO), até então tido como perigoso pelas mortes de motoristas incautos em garagens fechadas, onde o motor do veículo era aquecido antes de sair. Descobriu-se complexa série de reações químicas entre os óxidos de nitrogênio (NOx) e os hidrocarbonetos (HC) emitidos pelo veículos. Na presença da energia fornecida pela luz ultra-violeta solar, formam-se diversos compostos químicos capazes de afetar seriamente a saúde de homens, de animais e mesmo de plantas. Esse foi o início da enorme preocupação com a poluição urbana causada pelos veículos, o que, em seguida, levou à adoção de

NA DÉCADA DE 1960,
OS PRIMEIROS SINAIS
DE QUE NEM TUDO ERA
COR-DE-ROSA COM OS
AUTOMÓVEIS MOVIDOS A
DERIVADOS DE PETRÓLEO.

regulamentação de controle das emissões de gases, iniciada na Califórnia, estendida para todo EUA e, mais tarde, adotada por dezenas de outros países. Mesmo com algumas diferenças de procedimentos de medição, de limites permitidos ou de poluentes regulamentados, todos os países desenvolvidos do mundo adotam, atualmente, restrições à poluição veicular, incluindo a sonora.

Os conflitos no Oriente Médio, iniciados com a Guerra de Suez (1956) e profundamente agravados com a Guerra dos Seis Dias (1967), foram os primeiros sinais de alarme que os países consumidores de petróleo sentiram em relação à grave possibilidade de escassez de petróleo e aumento de preço, fazendo-os refletir o quanto estavam dependentes dessa fonte de energia.

OS PAÍSES PRODUTORES
DE PETRÓLEO DO
ORIENTE MÉDIO
RAPIDAMENTE
SENTIRAM TER EM MÃOS
UMA VALIOSÍSSIMA
MOEDA DE TROCA
PARA IMPOR SEUS
INTERESSES POLÍTICOS.

Por outro lado, os países produtores de petróleo da região em conflito rapidamente sentiram ter em mãos uma valiosíssima moeda de troca, para impor seus interesses políticos perante a comunidade econômica internacional. Detinham, na época, mais de 70% do comércio mundial de petróleo, visto que: a produção americana era insuficiente para sua própria demanda; o óleo do Atlântico Norte era caríssimo, devido à extração em águas profundas; a Rússia, Estado-chefe da então União Soviética, não comercializava seu petróleo com os países do ocidente em razão da guerra fria;

o México e a Venezuela estavam satisfeitos em suprir parte da carência produtiva americana; e outros países produtores eram muito pouco relevantes no comércio de petróleo existente. Os países do Oriente Médio, nesse contexto, perceberam que tinham o abastecimento da Europa Ocidental, Ásia, Oceania e grande parte das Américas em suas mãos. Assumindo posições de peso na Organização dos Países Exportadores

de Petróleo (OPEP), uma até então inexpressiva entidade internacional, conseguiram enquadrar os países produtores em regimes de cotas de produção e de tabelamento conjunto de preços. Os resultados dessa união estratégica logo fizeram-se sentir. Em 1973, em resposta ao apoio internacional dado a Israel na guerra do Yom Kippur, o mundo foi submetido àquilo que ficou conhecido como “Primeiro Choque do Petróleo”. Em conjunto, os países exportadores cortaram o volume de produção e elevaram o preço do petróleo a valores absurdamente altos. Em três meses, o barril, em valores da época, passou de US\$ 2,90 para US\$ 11,65. Essas medidas desestabilizam a economia mundial e provocaram severa recessão nos EUA e na Europa, com grande repercussão internacional. Donos de dois terços das reservas de petróleo do mundo, países como Arábia Saudita, Irã, Iraque e Kuwait controlaram o volume de produção e o preço do produto.

EM TRÊS MESES, O BARRIL, EM VALORES DA ÉPOCA, PASSOU DE US\$ 2,90 PARA US\$ 11,65.

O Segundo Choque do Petróleo aconteceu, em 1979, causado pela revolução iraniana, que derrubou Reza Pahlevi e instalou uma república islâmica. A produção de petróleo do país foi gravemente afetada, e a nação não conseguiu atender nem mesmo a suas necessidades internas. O Irã, que era o segundo maior exportador da OPEP, atrás apenas da Arábia Saudita, ficou praticamente fora do mercado. Com a diminuição da oferta, o preço do barril de petróleo atingiu níveis recordes e agravou a recessão econômica mundial no início da década de 80. Com exceção dos países da Cortina de Ferro (União Soviética e aliados), que dispunham do abundante óleo russo, todas as demais, tanto desenvolvidos como em desenvolvimento, foram gravemente afetados pelo impacto do choque.

O patamar de preço do petróleo alcançado após dois choques e pela ação conjunta dos países produtores reunidos

na OPEP trouxe, entretanto, conseqüências não esperadas. Pressionados pelos altos preços, os países produtores saíram em busca de novos fornecedores ou retomaram a extração em bacias petrolíferas conhecidas, mas, até então, inviáveis economicamente. A extração em águas profundas, no Mar do Norte, no Golfo do México, no Caribe e na costa do Brasil, e a extração terrestre, na África, no Alasca e na América do Sul, foram, então, retomadas e trouxeram considerável aumento

O USO EXCLUSIVO
DE PETRÓLEO COMO
MATÉRIA-PRIMA
PARA A PRODUÇÃO
DE COMBUSTÍVEIS
VEICULARES PRECISAVA
SER REPENSADO.

na oferta de petróleo. Por outro lado, tornou-se inequívoco, para a comunidade internacional, que o uso exclusivo de petróleo como matéria-prima para a produção de combustíveis veiculares precisava ser repensado. Diversos experimentos começaram a ser feitos em vários países. Metanol, etanol, óleos vegetais, gás natural, MTBE, ETBE, FAME, FAEE, DME e outras substâncias começaram a ser mencionadas e experimentadas.

Porém, o aspecto mais grave do uso intensivo de combustíveis derivados do petróleo - não somente no uso veicular mas também na extensa gama de utilização que o petróleo e o carvão mineral têm - foi a constatação de que os gases gerados pela sua queima estão diretamente relacionados com o surgimento do grave problema do aquecimento global. Desde a década de 1970, essa questão já vinha sendo apontada por diversos cientistas, mas, na década de 1990, foi que se firmou a convicção da urgente necessidade de alteração da matriz energética mundial, para enfrentar-se o problema.

Em poucas palavras, verificou-se que a queima do petróleo e do carvão mineral faz com que a substância carbono, que forma esses produtos e está depositada nas profundezas

da terra, reaja com o oxigênio da atmosfera e forme o gás anidrido carbônico (CO₂). A substância, que é inerte, não-tóxica, também é expelida pela respiração dos seres vivos. Em condições naturais, seria absorvido pela própria natureza. Mas, dada a elevadíssima quantidade emitida pela ação do homem, está acumulando-se na atmosfera a um ritmo superior à capacidade de absorção natural, criando uma camada que atrapalha a reflexão da luz solar incidente, aumentando a temperatura da superfície, resultando um fenômeno conhecido como efeito estufa. Caso não se aja no sentido de impedir o aquecimento global, as consequências serão trágicas, visto que a própria vida humana está em risco.

Além dos problemas já apontados relacionados à poluição urbana, aumento de custo, insegurança de fornecimento e aquecimento global, o uso intensivo do petróleo tem mais um agravante: na medida em que é um recurso finito, a quantidade disponível está diminuindo. O consumo mundial atual de petróleo é da ordem de 85 milhões de barris por dia, havendo reservas estimadas de 1,4 trilhões de barris. Mantida essa situação, teremos petróleo disponível somente por mais 45 anos. Essa não é uma questão de fácil solução.

Atualmente, a frota mundial de veículos aproxima-se da fantástica quantia de 1 bilhão de unidades. Há 1 bilhão de automóveis, furgões, caminhonetas, peruas, caminhões e ônibus rodando por todos os países do planeta. Há 1 bilhão de veículos dotados de motor de combustão interna, do tipo Otto ou do tipo Diesel, consumindo gasolina, gás natural ou óleo diesel. Diariamente, mais de 165 mil veículos são produzidos e acrescentados a essa frota, o que significa mais dois

CASO NÃO SE AJA NO SENTIDO DE IMPEDIR O AQUECIMENTO GLOBAL, AS CONSEQÜÊNCIAS SERÃO TRÁGICAS, VISTO QUE A PRÓPRIA VIDA HUMANA ESTÁ EM RISCO.

SÃO 18 BILHÕES
DE PASSAGEIROS
E 30 BILHÕES DE
TONELADAS DE CARGA
TRANSPORTADOS POR
DIA POR VEÍCULOS
AUTOMOTORES
RODOVIÁRIOS.

veículos por segundo. São 18 bilhões de passageiros e 30 bilhões de toneladas de carga transportados por dia por veículos automotores rodoviários.

Como mudar esse quadro? Como substituir essa frota? Como substituir o combustível que move essa frota? E, substituir por o quê?

Diversos estudos em andamento apontam para um mesmo caminho, que é o da substituição do motor de combustão interna pelo motor elétrico, que é eficiente, silencioso, potente, não emite poluentes e é tecnologicamente simples. Porém, existem dois pontos ainda em aberto: como gerar a energia elétrica para movimentar o motor de modo seguro e não poluente e como levar a energia à bordo em quantidade suficiente para o veículo ter uma boa autonomia. Gerar energia de modo seguro e não-poluente passa pela análise dos riscos que envolvem usinas nucleares ou térmicas, e levar quantidade suficiente de energia a bordo significa qualquer coisa que não seja a poluente bateria a base de chumbo ou de outros metais pesados. Atualmente, acredita-se que o meio mais adequado de gerar a energia elétrica seria pela troca iônica obtida na passagem de hidrogênio por um conjunto de membranas eletrolíticas (a chamada célula de combustível ou *fuel cell*), acrescida de um reformador catalítico que possa extrair o hidrogênio de uma substância rica nesse gás - tal como o gás natural (rico em metano) - ou, preferencialmente, de um líquido - tal como um álcool (metanol ou etanol) -, mais fácil de abastecer e transportar. Devido a sua explosividade e baixíssima densidade, procura-se evitar o transtorno de ter que transportar o próprio gás hidrogênio em cilindros no veículo.

Essas questões não são de fácil solução. Centenas de pesquisadores vêm trabalhando no conceito de “veículo elétrico

+ célula de combustível” há duas décadas, e os resultados obtidos ainda são pífios. O conjunto, quando comparado aos veículos convencionais dotados de motor de combustão interna, ainda tem pouca autonomia, o desempenho é baixo, a capacidade de carga é pequena, a tecnologia é complexa e o resultado é caro demais para produção em série. Apesar de vários protótipos já apresentados, nenhum fabricante de veículos passou a ofertar essa tecnologia em algum modelo de produção seriada.

Tudo o que se viu, até agora, na direção da utilização comercial dos motores elétricos, sem considerar os veículos para trabalho especiais (carrinhos de golfe e frotas privadas, p. e.) ou para trabalho em recintos fechados (empilhadeiras e tratores, p. e.), foi o aparecimento dos chamados veículos híbridos dotados de dois motores, um de combustão interna e outro elétrico, cujo uso combinado permite o acionamento elétrico enquanto o motor convencional reabastece as baterias. As primeiras motorizações híbridas foram usadas em veículos pesados (ônibus, caminhões de lixo, etc.) e eram formadas por dois motores distintos. Mais recentemente, têm aparecido veículos híbridos leves, nos quais os dois conceitos são combinados num único motor, o que torna o conjunto bem mais compacto e eficiente. Entretanto, ainda se trata de uma tecnologia complexa e cara, o que limita sua comercialização a poucas unidades e a países com alto poder aquisitivo.

Mas não há mais dúvida de que, no futuro, todos os veículos terrestres deixarão de usar motores de combustão interna e serão elétricos. As únicas dúvidas são: quanto tempo isso ainda vai levar e o que fazer nesse ínterim.

NÃO HÁ MAIS DÚVIDA
DE QUE, NO FUTURO,
TODOS OS VEÍCULOS
TERRESTRES DEIXARÃO
DE USAR MOTORES DE
COMBUSTÃO INTERNA
E SERÃO ELÉTRICOS.

O Brasil adotou um caminho próprio e, hoje, colhe bons frutos.

Anualmente, a indústria automobilística brasileira produz para o mercado interno cerca de 1,5 milhão de veículos leves que são dotados de motores de combustão interna, como os dos outros países, mas que estão adaptados para queimar etanol puro ou uma gasolina misturada com 20 a 25% de etanol. Assim, apesar de estarmos fabricando veículos convencionais, na realidade, estamos criando uma frota mais independente da necessidade de petróleo, o que tem permitido ao país, além de fazer significativa economia de divisas, melhor preparar-se para o futuro. Enquanto a comunidade científica internacional trabalha para desenvolver e produzir o veículo do futuro, o Brasil vai investindo no uso de combustíveis derivados da biomassa.

Nossa posição favorável não foi alcançada de graça nem de imediato. Há trinta anos, frente a uma situação internacional de forte redução da oferta de petróleo, optamos por uma alteração profunda de nossa matriz energética e, desde então, mesmo com a alternância de momentos positivos e negativos, frente a cenários promissores e a outros nem tanto, pesquisadores, produtores de álcool, indústria automobilística, de componentes etc. vêm trabalhando para atingir nossa posição atual.

A introdução do álcool etílico (etanol) em nossa matriz energética, de modo responsável, padronizado, consistente e sistemático, começou nos anos 70, por meio do Proálcool I (Decreto Federal nº 76.593, 1975) e do Proálcool II (Decreto Federal nº 83.700, 1979). Mas, antes disto, desde o início do século XX, uma vez que o etanol é um sub-produto da produção de açúcar, a adição à gasolina já era feita, sendo que, durante a 2ª Guerra Mundial, devido à dificuldade de im-

portação e ao racionamento, a mistura de álcool na gasolina intensificou-se, rendendo bons resultados.

A indústria automobilística brasileira, com o advento do Proálcool, começou a trabalhar no desenvolvimento de uma tecnologia adequada ao novo combustível. Como não havia experiência internacional de uso do etanol, as montadoras decidiram fazer no Brasil o desenvolvimento, o que foi, sem dúvida, grande impulso para o crescimento de uma engenharia automotiva nacional.

Com apoio de setores dos governos federal e estaduais, de diversos institutos e centros de pesquisa, de várias universidades, de empresas fornecedoras de peças e componentes e dos próprios produtores de combustíveis, as montadoras conseguiram, em pouco tempo, modificar os veículos a gasolina para uma gasolina com alto teor de etanol (20 a 25%) e projetar motores e veículos aptos a usar 100% de álcool combustível, contornando as dificuldades referentes à corrosão de materiais, ao ataque a materiais plásticos e borrachas, à dificuldade de partida do motor em dias frios, à perda de dirigibilidade e ao consumo de combustível exagerado.

Após vários anos de sucesso, com mais de cinco milhões de veículos a álcool produzidos no período de 1979 a 1993, sendo que, em 1986, as vendas de 700 mil unidades significou 89% do total de veículos leves comercializados, o interesse dos consumidores por esse combustível diminuiu. Em 1995, foram vendidos menos de 50 mil unidades e, em 1997, responderam por somente 0,1% das vendas totais de veículos leves.

Não houve única causa. Vários fatores somaram-se para o desinteresse do consumidor pelo veículo a etanol: o preço internacional do petróleo diminuiu, permitindo uma redução nos preços dos derivados; o preço internacional do açúcar

aumentou, levando os produtores a preferir produzir açúcar para exportação; o governo brasileiro passou a incentivar a produção dos veículos populares, sem criar isenções para que motor fosse a etanol, levando as montadoras a lançar somente veículos a gasolina.

Porém, o lançamento dos veículos flexíveis, em março de 2003, foi um marco histórico e um ponto de inflexão no mercado de combustíveis alternativos de nosso país. Com o lançamento dos veículos *flex-fuel*, popularmente chamados de bi-combustíveis, a indústria automobilística brasileira produziu, em quatro anos, de março de 2003 a março de 2007, 3 milhões de veículos flexíveis. Hoje, nove fabricantes estão oferecendo mais de 60 modelos de veículos *flex* no mercado brasileiro, com preço equivalente aos dos veículos similares convencionais.

Na verdade, os veículos *flex-fuel* não foram inventados no Brasil. Os primeiros veículos com tecnologia para serem abastecidos com combustíveis diferentes foram apresentados nos Estados Unidos, na década de 1980. Porém, a tecnologia usada pelos fabricantes americanos é baseada num sensor de identificação, que analisa qual combustível está sendo usado e informa ao computador de bordo, que ajusta o sistema de injeção e o sistema de ignição para as melhores condições de queima daquele combustível. Apesar de eficiente, essa tecnologia é cara, complicada e totalmente dependente da vida útil do sensor de identificação. Nos Estados Unidos, esse conceito tecnológico somente vingou devido ao interesse dos fabricantes em oferecer veículos movidos a combustível alternativo, para poder se beneficiar de exceções tributárias.

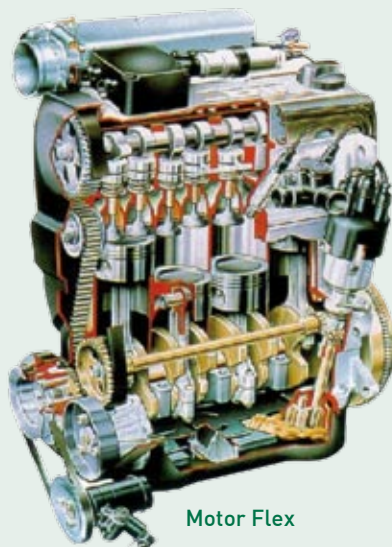
Uma vez que o mercado brasileiro de automóveis é dominado por veículos compactos e de baixo custo, é impensável

HOJE, NOVE
FABRICANTES ESTÃO
OFERECENDO MAIS
DE 60 MODELOS DE
VEÍCULOS FLEX NO
MERCADO BRASILEIRO.

adotar a cara tecnologia *flex-fuel* americana no país. Portanto, quando as montadoras nacionais começaram a discutir a possibilidade de lançar localmente esse modelo de veículo, o pré-requisito foi o de desenvolver-se um novo conceito que evitasse o uso do sensor de identificação de combustível.

Nesse ponto, a criatividade brasileira e a enorme experiência adquirida após 25 anos produzindo veículos movidos a álcool manifestaram-se.

Baseando-se nas diferenças existentes em duas das características físico-químicas do álcool e da gasolina (octanagem e relação estequiométrica) e usando os mesmos diversos sensores funcionais que todos os veículos modernos já têm (sensores de pressão e temperatura do ar, de vazão do combustível, de carga, rotação e de detonação do motor e de oxigênio do gás de escapamento), os engenheiros brasileiros desenvolveram um sistema *flex-fuel* completamente novo. Pelo sistema brasileiro, o combustível é primeiro queimado na câmara de combustão. Uma fração de segundo depois, avaliando-se as consequên-



Motor Flex

GOL TOTAL FLEX



1º Veículo Flex
Brasileiro

cias daquela queima por meio de sensores e comparando-se com um banco de dados existente na memória do computador de bordo, já é possível identificá-lo e ajustar o motor, sem a necessidade do sensor de identificação de combustível. Desse modo, tem-se um veículo *flex-fuel* pelo mesmo preço de um veículo a álcool, que nós já sabíamos fazer tão bem.

Foi graças à aceitação desses veículos e ao preço competitivo frente à gasolina que a produção brasileira de álcool, que vinha diminuindo 11% ao ano, tomou um violento impulso e passou a crescer a mais de 10% ao ano.

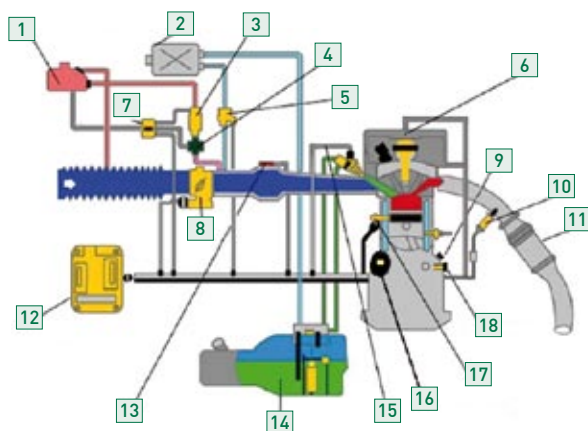
A expressão “combustíveis renováveis” é usada para referir-se àqueles feitos a partir de produtos agrícolas ou da fermentação de matéria orgânica. Ao contrário do fóssil (petróleo ou gás natural) cujas reservas são finitas, mais combustível renovável sempre poderá ser produzido pelo homem, de acordo com suas necessidades. Basta plantar ou fermentar.

Todavia, há outra particularidade que torna a expressão “renovável” mais significativa e que tem apontado os combustíveis renováveis como salvadora solução para o aquecimento global. É o fato de que o gás CO₂, emitido pela queima

Legenda:

- 1-Reservatório de gasolina para partidas a frio
- 2-Canister
- 3-Bomba elétrica de combustível
- 4-Válvula solenóide
- 5-Válvula de Purga do canister
- 6-Vela de ignição
- 7-Relé
- 8-Corpo de borboleta
- 9-Bobina
- 10-Sonda Lambda
- 11-Pré-catalizador
- 12-Módulo de controle
- 13-Sensor de pressão/temperatura do ar
- 14-Módulo de Bomba de combustível em tanque
- 15-Galeria de combustível/válvula de injeção
- 16-Sensor de rotação
- 17-Sensor de detonação
- 18-Sensor de fase

Esquema do Motor Flex



de qualquer combustível e principal causa do aquecimento atmosférico, é reabsorvido por fotossíntese pelas plantas usadas para produzir os combustíveis renováveis, tornando neutro seu uso. Assim, o CO₂ emitido na queima renova-se, sem agredir o ambiente.

Por essas características de facilidade de uso em tecnologias veiculares existentes, substituição do moribundo e caro petróleo e redução do impacto ambiental, é que os combustíveis renováveis feitos a partir da biomassa têm obtido espaço e têm levado outros países a interessar-se por sua aplicação.

Do mesmo modo que existem países interessados em usar os combustíveis renováveis, também existem países interessados em sua produção para exportação, uma vez que, por razões climáticas e geográficas, possuem inclinação agrícola e encaram essa produção como uma oportunidade econômica.

Portanto, pode-se imaginar o surgimento de um mercado internacional de combustíveis renováveis brevemente, criando alternativas socioeconômicas para muitos países e alternativas energéticas para outros, pelo menos até que se desenvolva um novo conceito de veículo, mais limpo, acessível, confiável, para ser produzido em larga escala e substituir os atuais automóveis com motor de combustão interna.