

Motor A Combustão Interna: Transformação De Energia Química Em Energia Mecânica

Luiz Claudio Gamboa ¹
Ana Oliveira ²

RESUMO

Este presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo apresentar uma análise bibliográfica, com fundamentos em pesquisas de renomadas obras literárias sobre a evolução dos motores de combustão interna, observando a transformação de energia química em energia mecânica. O ponto principal na estruturação deste projeto é a melhor compreensão e aperfeiçoamento no tema abordado, procurando esclarecer dúvidas e melhorar o conhecimento de uma maneira geral. Para qualquer tipo de motor de combustão interna trabalhar há necessidade de algum tipo de combustível o alimentando. São apontadas características importantes dos combustíveis utilizados nos motores de combustão interna influenciando no desempenho, eficiência e emissões do motor. O objetivo geral desse trabalho é demonstrar por meio de pesquisas a evolução dos motores de combustão interna e os objetivos específicos são entender os aspectos que motivaram o desenvolvimento do motor a combustão interna; identificar as tecnologias que auxiliaram essa evolução; apontar as novas tecnologias que estão sendo pesquisadas. Este trabalho tem uma abordagem sobre conceitos de termodinâmica, primeira e segunda Leis da Termodinâmica em motores de combustão interna. Como resultado observa-se que é muito importante para um engenheiro o entendimento e funcionamento deste tipo de elemento mecânico, visando este ponto na pesquisa serão analisadas as principais literaturas que envolve o tema, com finalidade de conseguir o melhor funcionamento do motor, melhor desempenho, eficiência e menores emissões provocadas pelo mesmo.

Palavras-chave: Motor. Combustão. Interna. Transformação.

1 INTRODUÇÃO

O motor pioneiro que aproveitava a força expansiva do gás da combustão de pólvoras em cilindros fechados foi elaborado pelo Padre Hautefoille por volta de 1655, todavia não documentado foi deixado por ele sobre esse tema. Jean Etienne Lenoir em meados de 1867, começou a estudar o projeto construtivo de um motor e em 1870, realizou seu primeiro motor fixo de explosão de gás, patenteado por volta de 1875. Nesse período surgiu a ideia de transformar movimentos retilíneos em movimentos rotacionais.

¹ Acadêmico(a) do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Pitágoras.

² Orientador(a). Docente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Pitágoras.

Por volta de 1880 desenvolveu triciclos com motores a gás de hila ou leve óleo (xistos ou alcatrões) vaporizados em carburadores tipo primitivo que rendiam somente 1,6 HP. Observou a necessidade de mecanismos de ignição para dar início ao funcionamento do motor de combustão interna, devido à dificuldade encontrada para colocar seus motores em funcionamento no quais o gás era comprimido dentro dos cilindros, posteriormente a ignição era dada por faíscas elétricas.

Nesses motores não haviam misturas ar/combustíveis, apenas o combustível (gás hila) era comprimido dentro dos cilindros. Desde que foi inventado, os motores de combustão interna foram um dos motores mais utilizados pelas indústrias automobilísticas. Com o decorrer das décadas esse motor foi aprimorado com investimentos de inúmeras montadoras que desenvolveram tecnologias inovadoras.

São vários os tipos de motores térmicos, que funcionam transferindo calor entre reservatórios térmicos e realizando trabalho mecânico com parte dele. Carros, caminhões, navios, aviões, ar condicionado, usinas nucleares ou termoelétricas são exemplos. O fluido, se aquece e se expande, realizando trabalho mecânico. Os motores de combustão interna funcionam sobre o princípio de ciclos termodinâmicos, cujo se diferem por quatro tempos. O ciclo consiste em uma série de processos que ocorrem quando um determinado sistema se desloca originalmente de um estado inicial para retornar ao estado original.

Este tema foi selecionado pois guarda em si um importante aspecto relacionado aos motores alternativos utilizados nos automóveis, pois demonstra como funcionam a partir do movimento alternativo do êmbolo no interior do cilindro que transmite um movimento circular. O ciclo é composto dos seguintes processos: admissão, compressão, expansão e escape. Estes são características dos motores de quatro tempos ciclo Otto e ciclo Diesel, este último é o assunto a ser tratado assim como os tipos de combustíveis que são utilizados para este tipo de motor de combustão.

Esse trabalho mostrará tanto para estudantes e profissionais da área como ocorreu a evolução dos motores a combustão interna, contribuindo para maior compreensão do tema, incentivando para a evolução dos motores, assim como incentivo para o fabricante investir na elaboração de novas tecnologias. Para a sociedade, esse estudo significa benéficos ao produto final levado a população, de maneira que quanto menor o custo de fabricação, menor é o valor levado aos consumidores. Levando também serviços e produtos de melhor qualidade e com menos defeitos de fabricação.

Motor é uma máquina que tem como objetivo converter energia elétrica, térmica, química e dentre outras em energia mecânica. O motor de combustão interna, realiza, a priori, a transformação da energia química do combustível em energia térmica, para, logo após, transformá-lo em energia mecânica, sempre levando em conta os preceitos e princípios da termodinâmica. Qual a evolução história que o motor a combustão interna teve ao longo do tempo?

O objetivo geral desse trabalho é demonstrar por meio de pesquisas a evolução dos motores de combustão interna. Os objetivos específicos são: entender os aspectos que motivaram o desenvolvimento do motor a combustão interna; identificar as tecnologias que auxiliaram essa evolução; apontar as novas tecnologias que estão sendo pesquisadas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Durante o desenvolvimento do trabalho foi usado a metodologia de procedimento de método de pesquisa bibliográfica, sendo encontrados principalmente arquivos na internet e na biblioteca. Os Descritores (palavras-chaves) foram: motor, combustão, interna. Esse trabalho se desenvolveu por revisão de Literatura, sendo uma pesquisa qualitativa e descritiva. Os trabalhos pesquisados foram publicados nos últimos trinta anos. Esse trabalho foi feito pela técnica de documentação indireta, feita através da pesquisa documental realizada em livros, sites, normas, artigos científicos, teses e dissertações.

2.2 Resultados e Discussão

A ideia de se valer das forças expansivas dos gases que surgem das combustões nos cilindros fechados já existia desde 1654, quando o denominado Padre Hautefoille à sugeriu. Todavia, foi em 1887 que Nikolaus Otto desenvolveu os primeiros motores de ignição por centelha, que são denominados de motor Otto (FERRARI; OLIVERIA; SCABIO, 2005).

Com o decorrer dos anos, esses motores Otto foram sendo aperfeiçoados para que tivessem seu desempenho aprimorado e atendessem à necessidade da

população. Na década de 1960 o mercado se viu diante de uma crise do petróleo a qual desestimulou a utilização de motor que usava combustível derivado do petróleo. Foi nessa época que o brasileiro Urbano Ernesto Stumpf desenvolveu o primeiro motor Otto movido a etanol (LIMA, 2009).

O período do motor Otto movido à etanol não permaneceu por muito tempo. As instabilidades do mercado não asseguravam sempre vantagem do motor Otto movido à etanol em face do movido à gasolina. Em face dessas instabilidades, outra vez, foi necessária alteração no motor Otto. Foram desenvolvidos assim o motor Otto Flex, isto é, movido tanto à etanol quanto à gasolina, permitindo ao usuário escolher pelo combustível economicamente mais favorável (OLIVEIRA, 1995).

Desde a concepção dos primeiros projetos de protótipos de Motores de Combustão Interna (MCI) já havia a preocupação com a eficiência. Heywood (2008) exemplifica através de um dos primeiros trabalhos sobre motores de combustão, cuja autoria foi atribuída Beau das Rochas em 1862, onde o inventor descrevia as condições em que a máxima eficiência dos motores de combustão interna, poderia ser alcançada.

São pontos destacados no trabalho de Rochas em que a eficiência do motor pode ser maximizada pelo maior volume possível do cilindro, porém, com as menores superfícies de fronteiras; A maior velocidade de trabalho possível; A maior taxa de expansão possível e a maior pressão possível no começo do tempo de expansão (GALLO, 2003).

O primeiro motor que apareceu em cena, por volta de 1860, foi o motor inventado por J.J.E. Leonir (1822-1900). Curiosamente milhares desses motores foram vendidos após o surgimento do primeiro protótipo, em que apresentavam uma potência por volta de 4,5 kW e uma eficiência mecânica de somente cerca de 5% (FERRARI; OLIVERIA; SCABIO, 2005).

De acordo com Martins (2016), o rendimento do motor pode ser visto como um produto de vários outros rendimentos, que mostram o resultado específico a cada parâmetro, tais como as perdas de atrito, a eficiência do enchimento dos cilindros por ar, a eficiência da combustão, etc.

A principal razão para a diminuição da eficiência em cargas parciais é a restrição do fluxo na seção de área transversal do sistema de admissão devido à borboleta parcialmente fechada. O autor estudou alguns métodos para otimizar a

eficiência e o consumo de combustível em cargas parciais de motores de quatro tempos ciclo Otto (FERRARI; OLIVERIA; SCABIO, 2005).

Entre as propostas, estão o sistema de variação do tempo de abertura e cruzamentos das válvulas de admissão e escapamento, sistema de taxa de compressão variável, sistema de sobre alimentação, sistema de carga estratificada, desativação ou corte de injeção de cilindros e aplicação de alguns desses sistemas combinados (OLIVEIRA, 1995).

A busca por MCI mais eficientes é uma necessidade não somente do ponto de vista econômico e tecnológico, mas, também do ponto de vista da sustentabilidade do meio ambiente. Dessa forma, na maioria dos países os índices de emissões veiculares são regulamentados, exigindo que os fabricantes de veículos cumpram os limites normatizados para obterem o direito de comercializar os veículos.

O motor de combustão interna ciclo Otto criado pelo Engenheiro alemão O Otto, consiste em processos que são fundamentais para o seu funcionamento. Motores de combustão interna são máquinas térmicas ou mecanismos capazes de transformar energia térmica em energia mecânica, isto é a energia que provem da combustão dos componentes em um movimento rotativo sobre um eixo no qual é ligado por diversos componentes até as rodas, proporcionando com que o carro se movimente (BRUNETTI, 2012).

Tempo de compressão, a válvula de admissão é fechada e o pistão desloca-se do PMI ao PMS, comprimindo a mistura. No tempo de compressão fecha-se a válvula de admissão e o pistão se desloca do PMI ao PMS, comprimindo a mistura ou apenas ar, dependendo respectivamente se o motor é um MIF ou MIE (BRUNETTI, 2012).

No tempo de expansão idealmente, a combustão deve-se desenrolar a volume constante, no PMS, sendo seguida pela expansão dos gases a elevada pressão. Na prática, isto não acontece, pois a ignição e a combustão não são instantâneas (MARTINS, 2016).

No tempo de escape a abertura da válvula dá-se muito antes do pistão chegar ao PMI. Este avanço à abertura do escape tem a função de permitir que grandes partes dos gases queimados se escapem do cilindro o mais cedo possível, fazendo com que o pistão não encontre muita resistência durante o curso ascendente de escape e assim não incorra em muitas perdas por bombagem (MARTINS, 2016).

A autonomia do motor também está ligada diretamente ao poder calorífico do combustível, ou seja, quanto maior o poder calorífico do combustível inferior, maior a

autonomia do motor. A maioria dos combustíveis tem em sua composição hidrogênio, em virtude disso ocorre a formação da água, quando o hidrogênio é queimado, desta forma os valores do poder calorífico podem ser alterados em função do estado da água (líquido ou vapor) presente nos produtos da combustão (CARVALHO, 2003).

O poder calorífico dos combustíveis pode ser classificado como superior ou inferior. O poder calorífico superior é dado por um processo de combustão sob um volume constante, onde a água formada neste processo é condensada e o calor provido dessa condensação é recuperado, o poder calorífico inferior é dado quando o processo de combustão se efetua a pressão constante, logo a água de combustão não é condensada (OWEN; COLEY, 2005).

As propriedades de um combustível, pode ser dividida de 2 formas, corrigível e não corrigível. Na propriedade corrigível, pode ocorrer alteração durante o momento de preparação do combustível, como exemplo podemos levar em consideração a massa específica, viscosidade e teor de umidade. Na propriedade não corrigível, não se pode alterar como exemplo o teor de cinzas, ponto de fluidez e de fulgor (VARELLA, 2010).

Segundo Martins (2016), um índice alto de cetano, facilita a combustão em um ciclo diesel e reduz a inércia da combustão, mas com o aumento do cetano em um derivado de petróleo ocorre uma diminuição no poder calorífico, uma perda de energia do combustível, causando assim um aumento no consumo de combustível para o motor.

O gás natural veicular, é uma forma de mistura de hidrocarbonetos leves onde a temperatura e pressão ambiente apresentam em estado gasoso. É armazenado em cilindros fabricados conforme normas específicas e geralmente dentro de pressões de 200 a 250 bar (ROSA, 2014). Conforme a Tabela 1 a seguir, pode-se identificar os integrantes típicos do gás natural comercializado no sudeste e sul do Brasil.

Tabela 1 – Composição do gás natural

Características Típicas do Gás Natural		
Composição Típica		Segurança
Metano	89%	Baixa densidade, menor que a do ar, dispersando-se rapidamente na atmosfera em caso de vazamento
Etano	6%	Não tóxico
Propano	0,4%	Não explosivo
C ₄	+0,6%	Inflamabilidade reduzida
CO ₂	1,4%	
N ₂	0,8%	

Fonte: Rosa (2014).

A maior parte do gás natural é o metano, que é uma baixa relação entre C / H. Deve-se notar que a composição do GNV varia em cada local de extração. Pode-se analisar pela Tabela 1, que quase 98% dos componentes do gás natural são hidrocarbonetos deixando de fora apenas o nitrogênio e o dióxido de carbono. O nitrogênio é um gás considerado inerte na combustão em um motor, mas com temperaturas pode formar óxidos de nitrogênio.

Dentre as vantagens da utilização do GNV em motores de combustão interna está o alto rendimento e redução de emissão de gases para o meio ambiente em relação aos combustíveis convencionais. O principal componente, o metano, por possuir baixa relação C/H tende a emitir menores porções de CO₂ em relação a água em seus produtos de combustão interna (MARTINS, 2011).

Embora considerado como limpo, todo combustível fóssil é poluente. Porém, a conversão para utilização em motores Diesel vem apresentando vantagens econômicas devido ao baixo custo (OLIVEIRA, 1995). A Tabela 2 a seguir nos apresenta algumas propriedades do gás natural.

Tabela 2 – Propriedades do gás natural

Propriedade do Gás Natural	
Incolor	
Sem cheiro	
Não tóxico	
Densidade relativa	0,6425, mais leve do que o ar. Eleva-se rapidamente
Limite de explosividade	5% - 15%
Temperatura de ignição	629° C

Fonte: Rosa (2014).

O gás natural apresenta-se no estado gasoso, a mistura do mesmo ao ar admitido pelo processo é facilitada, onde diferente do diesel ou óleo de soja, que devem ser atomizados para uma melhor mistura. Com esta facilidade na mistura com o ar, ajuda na redução de emissões de hidrocarbonetos e monóxidos de carbono, podendo também ser ainda menores através de um uso de mistura pobre.

Em motor Diesel, o óleo diesel é o mais utilizado, sendo obtido da destilação do petróleo bruto. É formado por carbono, hidrogênio e em baixas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio (ROSA, 2014).

O nitrogênio e o enxofre podem ser oxidados a NO, NO₂ e SO₂ durante a combustão. Apresenta características específicas como: tóxico, pouco inflamável, pouco volátil, límpido, isenta de materiais em suspensão e com odor forte (VARELLA, 2010).

No Brasil, o óleo diesel é a fonte de energia mais utilizada, sendo de 19,1% do total consumido no país, segundo o Balanço Energético Nacional no ano de 2012 (ROSA, 2014). Apesar disso, o diesel é um grave problema em relação a saúde como também ambiental (VARELLA, 2010).

Por apresentar uma combustão incompleta, o diesel acaba gerando gases e resíduos particulados que saem livremente pelo escapamento, trata-se da fuligem preta. Esta última, é de fácil inalação e penetra nos pulmões (VARELLA, 2010). Na Tabela 3 a seguir apresenta-se algumas propriedades do óleo diesel.

Tabela 3 – Propriedade óleo diesel

Propriedades	Óleo diesel	Mistura	Variação(%)
Cor ASTM	2,5	2,0	-20
Viscosidade cSt à 37,8 °C	3,58	2,98	-16,8
Ponto de névoa, °C	6	7	16,6
Destilação 85% evaporado, °C	356	350	-1,6
Resíduo de carbono 10% do fundo de destilação, % em peso	0,13	0,11	-15,4
Enxofre, % em peso	0,80	0,68	-15
Água e sedimentos, % em volume	0,1	0,1	0
Índice de cetano calculado	53,5	46,5	-13,1
Densidade à 20 °C	0,8486	0,8230	-3,0
Poder calorífico superior, cal/g	10828	10311	-4,8

Fonte: Rosa (2014).

A Agência Nacional de Petróleo, no ano de 2013, fez a publicação da resolução 50, na qual, determina que a partir de 01/01/2014 estaria permitido o comércio apenas do diesel S10, com 10mg de enxofre, e S500, com 500mg de enxofre por Kg de óleo diesel. Para motor Diesel, o uso de óleo de soja é ainda um objeto de estudo, devido às suas características dificultarem seu uso. Além disso, existe a preocupação com a segurança alimentar (ROSA, 2014).

O principal problema encontrado para a utilização do óleo de soja foi à viscosidade elevada do óleo vegetal cru em temperatura ambiente, e chega a ser dez vezes maior à do óleo diesel derivado do petróleo, onde acarreta em uma grande dificuldade quanto partidas a frio. Para reduzir essa viscosidade, o combustível tem que ser pré-aquecido, podendo utilizar o aquecimento elétrico, fluido de arrefecimento do motor, trocadores de calor ou os gases do escapamento (DELGADO, 1994).

Como a viscosidade elevada do óleo vegetal danifica o motor, vem sendo feitos estudos para identificar qual a temperatura e quais misturas ideais que possam ser feitas para que tal óleo sirva de fonte alternativa de combustível. Com o aquecimento, a viscosidade é reduzida a níveis próximos do diesel convencional (GALLO, 2003).

Procurando acabar com o problema da partida a frio, em testes realizados os motores são colocados em operação utilizando óleo diesel convencional, e posteriormente após o funcionamento é realizada a troca para o óleo vegetal sem desligar o motor (ROSA, 2014).

Tabela 4 – Propriedades do óleo de soja

Propriedade	Unidade	Valor
Densidade (20 °C)	-	0.9138
Ponto de fulgor	°C	254
Ponto de fluidez	°C	-12,2
Viscosidade cinemática	mm ² /s	32,6
Poder calorífico superior	MJ/kg	39,2
Poder calorífico inferior	MJ/kg	36,9
Número de cetano	-	37,9

Fonte: Rosa (2014)

Com relação às propriedades do óleo diesel apresentado na Tabela 4, pode-se verificar que o óleo de soja possui uma viscosidade e densidade maiores, e número de cetano menor, onde altera a queima do combustível. Isso significa que haverá uma maior dificuldade para entrar em combustão ao entrar em contato com o ar quente

dentro da câmara de combustão, sendo assim, havendo um atraso na ignição do motor. A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, uma fonte limitada, finita e não renovável. A cada ano que passa, aumenta o consumo de combustíveis derivados do petróleo e, conseqüentemente, o aumento da poluição atmosférica e da ocorrência de chuvas ácidas (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Oliveira (2008) a principal utilização dos óleos vegetais, agora e no futuro será como biodiesel, que é uma alternativa ao diesel derivado do petróleo. O Biodiesel tem propriedades físicas muito semelhantes ao diesel. As emissões, no entanto, são menores.

Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, onde pode ser obtido através de diversos processos, tais como, o craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação. Esta última, muito utilizada, significa uma reação química de óleos vegetais ou de gorduras animais com o etanol ou o metanol, agem através de um catalisador (FERRARI, 2005). A Tabela 5 a seguir nos apresenta algumas das propriedades do biodiesel.

Tabela 5 – Propriedades do Biodiesel

Propriedades	Obtido	Literatura
Densidade (Kg/m ³)	864	850 a 900
Viscosidade dinâmica (cP)	5,34	-
Viscosidade Cinemática (mm ² /s)	6.181	3,0 a 6,0
Umidade (mg/Kg)	1000	200
Acidez (mg KOH/g)	0,20	Máx. 0,50

Fonte: Rosa (2014).

Conforme as propriedades na Tabela 5, pode-se fazer uma comparação junto ao óleo diesel convencional, e nota-se que as propriedades estão bem próximas, no entanto com o uso do biodiesel puro (B100), sem haver muitas mudanças no motor, consegue-se obter grande diminuição na emissão dos gases providos da combustão. (APROBIO, 2017).

A maior desvantagem do biodiesel é o seu custo de geração, que é maior que o do diesel, analisados mais adiante neste artigo. Os subsídios do governo seriam essenciais para permitir produção de biodiesel. O potencial de substituição do diesel convencional ainda é pequeno, uma vez que a quantidade necessária de óleo vegetal

para servir a produção de biodiesel teria que ser suplementar ao utilizado para a indústria alimentar e exigiria grandes volumes de colheita para o mercado (GALLO, 2003).

Por se tratar de fonte de energia renovável, e não afetar o meio ambiente o biodiesel tem sido estudado nos últimos tempos, pois se trata de energia limpa, traz um grande apoio à agricultura, e cria uma melhor infraestrutura em regiões carentes, oferecendo alternativas aos problemas econômicos (OWEN; COLEY 2005).

Entretanto, segundo Ghassan (2003), o mesmo traz algumas desvantagens no uso direto do combustível como: depósito sucessivos de carbono no motor, a obstrução nos filtros de óleo e bicos injetores, a diluição parcial do combustível no lubrificante, compromete a durabilidade do motor um aumento nos custos de manutenção, acarretando problemas no funcionamento do motor.

Para que o combustível não atrapalhasse o funcionamento do motor, foi desenvolvida uma tecnologia de transformação química, a transesterificação, e os seus objetivos eram de melhorar a sua qualidade de ignição, reduzir o seu ponto de fluidez, adaptar viscosidade e densidade específica (BRUNETTI, 2012).

O biodiesel é um substituto natural do diesel, o qual é um derivado do petróleo, que é uma fonte limitada, ao contrário do biodiesel que é uma fonte renovável e provém de óleos vegetais e gorduras animais. Para que haja compatibilidade dos combustíveis, requer um grande investimento tecnológico, para que não atrapalhe o funcionamento do motor. Para que haja uma redução significativa dos gases poluentes como o óxido de enxofre, o biodiesel vem sendo adicionado em pequenas porcentagens no diesel convencional, de 2% a 5%. (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006).

Com as vantagens que o combustível traz para o meio ambiente, ele traz maior expectativa de vida para a população, uma vez que diminui a poluição em todas as regiões (GALLO, 2003).

Nos últimos tempos, vem sendo estudado por vários países como aumentar o a porcentagem do biodiesel no diesel convencional, para que o motor funcione normalmente. Perante a Portaria Nº 310 da ANP, a adição de um biodiesel de qualidade ao diesel, até um limite de 20% (B20), não modifica drasticamente as suas propriedades. Os gases de escape do motor são compostos por componentes redutores (H₂, hidrocarbonetos e CO), oxidantes (O₂, NO₂, SO₂) e inertes (CO₂, N₂, H₂O) e os particulados CO, NO_x, SO₂, hidrocarbonetos são consideradas poluentes (GALLO, 2003).

Dependendo do tipo de motor e combustível, os componentes mencionados acima e suas concentrações podem variar. Um motor a diesel exibe valores de emissões de produto particulado altos, por exemplo, enquanto um combustível gasoso tem valores baixos ou nenhum material particulado (DAVIS, 2000).

O monóxido de carbono é um gás que tem uma característica incolor e tóxica para o corpo humano. Davis (2000) cita que este componente resulta de uma baixa residência do combustível sob a condição de alta temperatura, não completando sua oxidação ao dióxido de carbono. Nos motores de combustão interna, o tempo de queima do combustível é muito baixo, portanto, não há tempo suficiente para que toda a reação de combustão ocorra. Isso implica em reduzir a eficiência da combustão.

O mecanismo de formação, segundo Martins (2011), consiste primeiro em quebrar a molécula do combustível, seguida da reação com o oxigênio, formando o CO. Se houver oxigênio suficiente, o CO será oxidado a CO₂. Sua formação também pode ocorrer pela extinção da combustão nas paredes do cilindro forçada pela baixa temperatura nessa região, ou pela dissociação do CO₂ em altas temperaturas.

Os óxidos de nitrogênio que são produzidos no motor são NO e NO₂, geralmente analisados por sua soma, identificados como NO_x. São gases que contribuem para a formação de chuva ácida devido a sua reação subsequente com a água contida no ar ou na emissão do motor. O NO₂ representa aproximadamente 90% do NO_x total, porque ao sair da câmara de combustão e encontrar na atmosfera contendo oxigênio, o NO rapidamente oxida o NO₂ (CORREIA, 2011).

A formação de óxidos de nitrogênio a partir do combustível é predominante no motor, uma vez que sua ocorrência se inicia em temperaturas próximas a 1000 K. Para temperaturas acima de 2000 K, ocorre a formação do nitrogênio contido no ar (BRUNETTI, 2012).

De modo a reduzir as emissões de óxidos de azoto, existe, portanto, uma necessidade de controlar o rácio de equivalência dentro da câmara de combustão, e pode haver formação de discontinuidades na mistura que irá gerar pontos de alta temperatura. As tecnologias usadas para controlar esses parâmetros envolvem a redução da temperatura da chama e o controle da razão de equivalência, como o sistema EGR, encaminha uma parte do escape para o motor, reduzindo a quantidade de oxigênio disponível para oxidar o nitrogênio. Hidrocarbonetos são resíduos combustíveis que não foram queimados durante a combustão e são liberados na forma líquida ou gasosa (ROSA, 2014).

Uma boa mistura de combustível e ar pode reduzir a emissão de hidrocarbonetos do motor. No caso dos motores de ciclo Diesel, é necessário que a atomização do combustível forneça pequenas gotas de combustível, a fim de aumentar a área de contato entre o ar e o combustível. Davis (2000) afirma ainda que na região adjacente à parede do cilindro, a temperatura mais baixa é insuficiente para a queima. Carvalho e Junior (2003) também mencionam que a existência de hidrocarbonetos nos produtos de combustão está associada à capacidade de mistura entre os reagentes e o tempo de permanência na câmara.

Como os óxidos de nitrogênio, os hidrocarbonetos também são lançados em baixas concentrações nos motores ciclo diesel devido à operação com excesso de ar. Brunetti (2012) afirma que sofre uma redução de 10 vezes em relação aos motores do ciclo Otto.

Assim, um aumento na eficiência de combustão significa menos emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, ou seja, combustão mais completa. Também se deve notar que os motores de combustão que operam com sistemas bicomcombustíveis de diesel e gás natural geralmente têm altos valores de emissões de hidrocarbonetos em comparados com a operação somente a diesel (CORREIA, 2011).

Para compostos de enxofre (SO_2 e H_2S), eles são formados em motores de combustão a diesel, dependendo do enxofre contido neste combustível. De acordo com Brunetti (2012) a baixas temperaturas, o SO_2 é oxidado a SO_3 , reagindo com vapor de água e finalmente formando ácido sulfúrico (H_2SO_4). O H_2S (sulfeto de hidrogênio) causa corrosão nos motores, reduzindo sua vida útil.

Carvalho e Júnior (2003) citam que perante o gás natural, a emissão de SO_2 em sua combustão é 98% menor que na combustão de óleos. Busca-se reduzir a concentração de enxofre nos combustíveis como método de redução de emissões desse elemento.

O material particulado ou a fumaça são definidos como partículas sólidas ou líquidas, geralmente com dimensões inferiores a $1 \mu\text{m}$, suspensas no ar e que obstruem, refletem ou difundem a luz (MARTINS, 2011).

A legislação prevê o controle do escurecimento de fumaça para motores a diesel, que podem apresentar esse tipo de emissão devido a falhas no sistema de injeção de combustível levando a uma queima rica. O controle do fumo é efetuado medindo a opacidade (expressa em%) ou o coeficiente de absorção de luz (expresso em $1/\text{m}$) com um aparelho chamado opacímetro. Neste equipamento, um feixe de luz

é emitido de uma fonte e passa através da fumaça e deve ser absorvido por um receptor. Se nenhum brilho for detectado pelo receptor, a opacidade será igual a 100% e, se a mesma intensidade luminosa for detectada pelo receptor, a opacidade será igual a 0% (ROSA, 2014).

O dióxido de carbono não é considerado poluente porque é um produto natural de qualquer combustão completa. Entretanto, sua contribuição para o aumento do efeito estufa tem sido atestada por diversas pesquisas, tornando-se, portanto, indesejável. A redução de CO₂ só é possível com o uso de combustíveis com menos carbono na composição, usando combustíveis de H / C ou a aplicação de combustíveis renováveis (MARTINS, 2011).

3 CONCLUSÃO

O trabalho alcançou seu objetivo apresentando através de uma pesquisa bibliográfica, o funcionamento e desempenho de um motor de combustão interna. Como visto, tem-se diversos tipos de combustíveis, onde devem ser mais estudados e testados, para que possa ter no futuro estes motores operando com combustíveis menos poluentes e com baixo custo, preservando assim nosso sistema global com uso de fontes renováveis.

A evolução história que o motor a combustão interna teve ao longo do tempo é notável, observa-se a melhoria nas questões de consumo, eficiência e poluição. Percebe-se que a busca por MCI mais eficientes é uma necessidade não somente do ponto de vista econômico e tecnológico, mas, também do ponto de vista da sustentabilidade do meio ambiente. Dessa forma, na maioria dos países os índices de emissões veiculares são regulamentados, exigindo que os fabricantes de veículos cumpram os limites normatizados para obterem o direito de comercializar os veículos.

Os principais aspectos que motivaram o desenvolvimento do motor a combustão interna são as questões de viabilidade, funcionalidade, investimento, retorno financeiro e sustentabilidade. Observou-se que as propriedades dos combustíveis influenciam nas características do processo de combustão do motor. Entre as mais importantes propriedades, estão: Poder calorífico, índice anti detonação do combustível, pressão de vapor, temperatura de ignição, densidade, energia de ativação e entalpia de formação. As tecnologias que auxiliaram essa evolução são a

informática, automação, protótipos em desenvolvimento, diversos ensaios relacionando melhorias nos modelos existentes.

Conclui-se que as novas tecnologias que estão sendo pesquisadas estão ligadas as fontes alternativas, como o hidrogênio e por fontes renováveis, como o álcool, com o intuito de substituir a gasolina em sua função. Mesmo sendo um combustível que fornece uma energia potencial ao motor ciclo Otto muito boa, tem o fato de ser um combustível sujo que prejudica o meio ambiente, além do fato de ter um custo final bem mais elevado em relação aos outros combustíveis. Para um melhor esclarecimento deve-se procurar aprofundar mais os estudos, fazer testes práticos, visando eficiência nos motores e uma menor emissão de poluentes na nossa atmosfera. Podendo ser tema para novas pesquisas e testes.

REFERÊNCIAS

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna**. Primeira edição. São Paulo: 2012.

CARVALHO, João Andrade de; JUNIOR, Pedro Teixeira Lacava. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: UNESP, 2003.

CORREIA, Pedro Miguel Cerqueira. **Desenvolvimento de Motor de Combustível Dual**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade do Minho, Lisboa, 2011.

DAVIS, Wayne T. **Air pollution engineering manual**. New York: Air & Waste Management Association, 2000.

DELGADO, L.M. **Los cultivos no alimentarios como alternativa al abandono de tierras**. Madrid, España: AgrícolaEspañola, 1994. p.111-125.

FERRARI, R.A.; OLIVERIA, V.S. e SCABIO, O.A. **Biodieselde soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia**. Química Nova, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.

GALLO, W. L. R. **Especificações de novos combustíveis: o papel da ANP**. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE BIODIESEL, 1, 2003, Londrina. Anais eletrônicos... Disponível em: <<http://www.tecpar.br/cerbio/Seminario-palestras.htm>> Acesso em: 23 agosto 2022.

HEYWOOD, J. B. **Internal Combustion Engine Fundamentals**, McGraw-Hill International, 2008.

LIMA, Francisco Lorenzo Magalhães. **Motores de combustão interna**. Faculdade de engenharia Universidade do Porto, 2009.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. Terceira edição. Universidade do Minho, 2016.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. Terceira edição. Universidade do Minho, 2011.

OLIVEIRA, F.C.C.; SUAREZ, P.A.Z.e SANTOS, W.L.P. **Biodiesel: possibilidades e desafios**. Química Nova na Escola, n. 8, maio, p. 3-8, 2008.

OLIVEIRA, Jorge Luiz Fernandes. **Gás natural uma alternativa energética à redução de poluentes veiculares**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1995.

OWEN, K, COLEY, T **Automotive Fuels Reference**. Book 2nd ed. SAE, 2005.

ROSA, Josimar Souza. **Estudo de um motor ciclo Diesel monocilindro bi-combustível**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2014.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Noções Básicas de Motores Diesel**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2010.