



## ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DOS POLUENTES EMITIDOS POR MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

### ANALYSIS OF STRATEGIES FOR REDUCING POLLUTANTS EMITTED BY INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Breno Souza de Oliveira<sup>1</sup>

Matheus Campos Ribeiro<sup>2</sup>

Vagner Souza da Silva<sup>3</sup>

Walter Gonçalves de Souza Filho<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Discente do curso de Engenharia Mecânica da Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana (UNEF/BA), e-mail: [xbrenooliveiraa@hotmail.com](mailto:xbrenooliveiraa@hotmail.com)

<sup>2</sup> Discente do curso de Engenharia Mecânica da Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana (UNEF/BA), e-mail: [matheuscamrib@gmail.com](mailto:matheuscamrib@gmail.com)

<sup>3</sup> Discente do curso de Engenharia Mecânica da Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana (UNEF/BA), e-mail: [vagner.vssilva@gmail.com](mailto:vagner.vssilva@gmail.com)

#### RESUMO

O presente estudo tem por objetivo identificar e analisar as estratégias usadas pelas indústrias para diminuir as emissões geradas por motores a combustão interna. Além de conhecer quais os poluentes emitidos por motores a combustão interna, entendendo os impactos e consequências de diferentes tipos de combustíveis para o meio ambiente e investigando sobre as tecnologias e estratégias usadas atualmente para diminuir a emissão de poluentes sem que isso comprometa o desempenho do motor. A metodologia utilizada foi uma pesquisa bibliográfica de abordagem descritiva e exploratória. Por meio dos resultados pôde-se observar que são muitos os poluentes gerados pelos motores a combustão interna, como: emissões de CO<sub>2</sub>, partículas, óxidos de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC). Quanto às alternativas para redução dos poluentes, se destacaram: veículos elétricos a bateria (BEVs); modificação de veículos particulares com baixo nível de hibridização (sistema start-stop); recirculação do gás de escapamento; outros combustíveis, como biocombustíveis e hidrogênio.

**Palavras-chave:** Motores a combustão interna. Meio ambiente. Emissões de gases. Veículos.

#### ABSTRACT

The present study aims to identify and analyze the strategies used by industries to reduce emissions generated by internal combustion engines. In addition to knowing which pollutants are emitted by internal combustion engines, understanding the impacts and consequences of different types of fuels for the environment and investigating the technologies and strategies currently used to reduce the emission of

pollutants without compromising engine performance. The methodology used was a bibliographic research with a descriptive and exploratory approach. Through the results it was possible to observe that there are many pollutants generated by internal combustion engines, such as: CO<sub>2</sub> emissions, particles, nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC). As for the alternatives to reduce pollutants, the following stand out: battery electric vehicles (BEVs); modification of private vehicles with a low level of hybridization (start-stop system); exhaust gas recirculation; other fuels, such as biofuels and hydrogen.

**Keywords:** Internal combustion engines. Environment. Gas emissions. Vehicles.

## INTRODUÇÃO

A população mundial aumentou bastante nas últimas décadas, devido ao desenvolvimento das cidades. Com isso, a demanda de veículos automotivos também cresceu, segundo a ANFAVEA (2019), só no ano de 2018 mais de 97 milhões de veículos foram fabricados mundialmente, isso representou um crescimento de 2,36% ao ano anterior. Conforme Drumm *et al.* (2014), entre os países que tiveram um grande crescimento na motorização individual, o Brasil tem lugar de destaque, fato observado pelo intenso tráfego de carros nas cidades e os congestionamentos frequentes. Desse modo, o crescimento das emissões de poluentes gerados por eles se torna cada vez mais preocupante.

Atualmente, a preocupação com os impactos causados por motores a combustão interna é um pré-requisito ligado ao seu projeto e também a razão para pesquisas diversas e constantes, busca-se cada vez mais alternativas viáveis que apresentem resultados significativos, pois, hoje já se tem a consciência de que os recursos naturais são esgotáveis, logo, para preservar as próximas gerações de uma maneira saudável e sustentável se faz necessário medidas preventivas quanto a exploração desses recursos (ARAÚJO, 2019).

O tipo de combustível utilizado para alimentar os veículos é um dos fatores mais importantes que necessitam ser controlados para se ter uma menor emissão de poluentes. A utilização de combustíveis fósseis como a gasolina e o diesel cada vez mais está sendo limitado por conta da sua composição química que vem causando efeitos negativos no meio ambiente. O SO<sub>2</sub>, que é formado no processo de combustão contém enxofre, grande poluente da atmosfera, é responsável até

mesmo por tornar a chuva mais ácida e pode causar algumas doenças respiratórias em humanos (EVANS *et al.*, 2001 *apud* SILVA, 2020).

Tendo em vista essa preocupação ambiental, nota-se que as indústrias estão se empenhando cada vez mais no desenvolvimento de estratégias e tecnologias que possam reduzir as emissões de poluentes sem que isso comprometa a performance dos automóveis. De acordo com Costa (2018), uma vez que o processo fundamental para o desempenho de um veículo comum é a combustão, fazer com que estes veículos parem de emitir poluentes e ao mesmo tempo mantenha um bom rendimento, se torna uma tarefa muito difícil. Nesse sentido, o grande desafio é conseguir alcançar objetivos sustentáveis com a menor perda possível em performance e economia.

Diante disso, surge o seguinte questionamento: Quais estratégias estão sendo utilizadas nos últimos anos para reduzir a emissão de poluentes através dos motores a combustão interna?

Percebe-se que a indústria automotiva esteja passando constantemente por muitas mudanças devido aos avanços das tecnologias disponíveis. Assim, acredita-se que algumas alternativas, como: carros elétricos; utilização de aditivos ou de combustíveis mistos; melhorias feitas nos óleos diesel e lubrificantes; tratamento dos compostos de exaustão, entre outros, entejam entre as estratégias utilizadas para tentar reduzir a emissão de poluentes dos motores a combustão interna.

É de extrema importância conhecer as tecnologias usadas e o que está sendo criado de novo no âmbito dos motores a combustão interna. Quando se fala na redução de poluentes, redução do efeito estufa e dos problemas respiratórios por ela causados, não há outra forma de solucionar tal problema a não ser inovar as tecnologias existentes com métodos inovadores desenvolvidos por pesquisadores de todo o mundo.

Diante desta realidade, têm-se como principal motivação para este estudo a necessidade de conhecimento das estratégias utilizadas atualmente para redução dos poluentes advindos dos motores a combustão interna, uma vez que, as emissões de poluentes para a atmosfera é, sem dúvidas, um dos maiores vilões

para a sustentabilidade, causando a degradação do meio ambiente e diversas complicações para a saúde da população.

Nesse sentido o presente estudo tem por objetivo identificar e analisar as estratégias usadas pelas indústrias para diminuir as emissões geradas por motores a combustão interna. Além de conhecer quais os poluentes emitidos por motores a combustão interna, entendendo os impactos e consequências de diferentes tipos de combustíveis para o meio ambiente e investigando sobre as tecnologias e estratégias usadas atualmente para diminuir a emissão de poluentes sem que isso comprometa o desempenho do motor.

Para atingir aos objetivos propostos o presente estudo irá realizar uma pesquisa bibliográfica de abordagem descritiva e exploratória sobre os motores a combustão interna. Será realizada uma busca pelas principais bases de dados do Google Acadêmico, no Portal de periódicos da CAPES e no site Scielo. Os critérios de inclusão serão artigos disponíveis nas bases de dados de circulação brasileira, textos completos e que respondam a problemática deste estudo, quanto aos critérios de exclusão serão excluídos textos incompletos, ou que não respondam aos objetivos deste trabalho.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA**

A combustão, também conhecida como queima, é o processo químico básico de liberação de energia de uma mistura de combustível e ar. Em um motor de combustão interna, a ignição e a combustão do combustível ocorrem dentro do próprio motor. O motor então converte parcialmente a energia da combustão em trabalho. O motor consiste em um cilindro fixo e um pistão móvel. Os gases de combustão em expansão empurram o pistão, que por sua vez gira o virabrequim. Por fim, por meio de um sistema de engrenagens no trem de força, esse movimento aciona as rodas do veículo (FOGAÇA, 2020).

**Figura 1** - motor de explosão interna com quatro pistões.



Fonte: Fogaça, 2020.

Existem dois tipos de motores de combustão interna atualmente em produção: o motor a gasolina de ignição por centelha e o motor a diesel de ignição por compressão. A maioria deles são motores de ciclo de quatro tempos, o que significa que quatro tempos de pistão são necessários para completar um ciclo. O ciclo inclui quatro processos distintos: admissão, compressão, combustão e curso de potência e exaustão (COSTA, 2018).

Cabe destacar que os motores a gasolina de ignição por faísca e os motores a diesel de ignição por compressão diferem na forma como fornecem e inflamam o combustível. Em um motor de ignição por centelha, o combustível é misturado com ar e então induzido no cilindro durante o processo de admissão. Depois que o pistão comprime a mistura ar-combustível, a faísca a acende, causando a combustão. A expansão dos gases de combustão empurra o pistão durante o curso de força. Em um motor a diesel, apenas o ar é introduzido no motor e depois comprimido. Os motores a diesel então pulverizam o combustível no ar comprimido quente a uma taxa adequada e medida, causando a ignição.

Os motores alternativos têm componentes rotativos e estáticos. O elemento principal de um motor de combustão interna é seu conjunto de pistões, unidos mediante mecanismo de biela e manivela ao sistema exterior de transmissão do trabalho mecânico por meio de um eixo. Os pistões se deslocam em seu movimento alternado associados às camisas do pistão entre o ponto mais elevado alcançado

pela superfície do pistão, o ponto morto superior (PMS) e o ponto mais baixo, o ponto morto inferior (PMI) (FOGAÇA, 2020).

Cabe enfatizar sobre os motores de ciclo Otto que são aqueles que aspiram a mistura de ar e combustível preparada antes de ser comprimida no interior dos cilindros. A combustão dessa mistura é provocada por centelhas produzidas numa vela de ignição. Este é o caso de todos os motores a gasolina, álcool, gás ou metanol. É o tipo de motor geralmente utilizado nos automóveis. Neles, o combustível é injetado na válvula de admissão ou diretamente na tomada de ar do cilindro antes do término da compressão. Um motor Otto se baseia nos princípios da termodinâmica e da compressão e expansão de gases, usando-os para gerar força e movimentos rotativos. Também chamado de “Ciclo de Quatro Tempos” (ALUGAGERA, 2017).

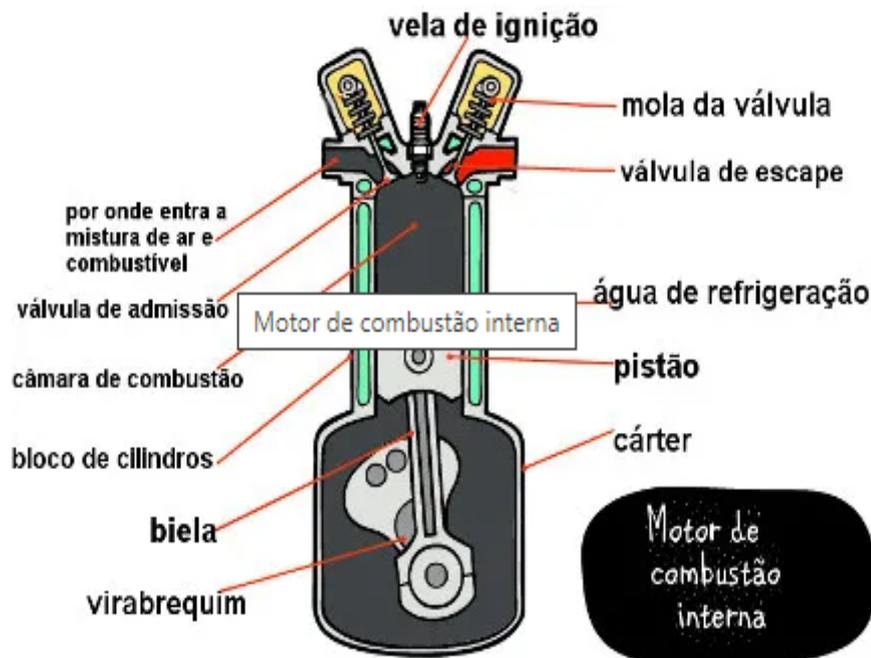
Já os motores do ciclo diesel, são aqueles que aspiram o ar que, após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível sob pressão superior àquela em que o ar se encontra. A combustão ocorre por auto-ignição, quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. O processo diesel não se limita a combustíveis líquidos. Nos motores diesel, podem ser utilizados também carvão em pó, gás e produtos vegetais (ALUGAGERA, 2017).

Os motores ainda se dividem em quatro tempos e dois tempos. Na maior parte, os veículos usam o motor cíclico de 4t. O pistão desce, no tempo de admissão e absorve uma mistura de combustível e ar, por meio da válvula de admissão. Na compressão, ambas as válvulas ficam fechadas, e a mistura fica comprimida. Quando o pistão se aproxima do topo da câmara, a faísca da vela incendeia a mistura, que impede o pistão e faz girar o eixo de manivela. A válvula de exaustão abre-se no quarto tempo (tempo de escape), e os gases queimados são expulsos, deixando o cilindro livre para a admissão do ciclo seguinte (COFAP, 1997).

Nos motores dois tempos 2T mistura-se óleo com o combustível para que o motor seja lubrificado, pois não possui cárter. Seu ciclo é feito por admissão e explosão. No tempo de admissão admite ar e combustível e no tempo de explosão, ocorre explosão por faísca elétrica, os gases saem por um orifício localizado na camisa do motor e o pistão desce para a admissão do novo ciclo.

Na Figura 2 é demonstrado os nomes das principais partes do motor.

**Figura 2** - Partes de um moto de combustão interna.



Fonte: Fogaça, 2020.

É importante entender também o que ocorre em cada tempo. No 1º tempo: admissão, inicialmente o pistão está em cima, isto é, no chamado ponto morto superior. Nesse primeiro estágio, a válvula de admissão abre e o pistão desce, sendo puxado pelo eixo virabrequim. Uma mistura de ar e vapor de gasolina entra pela válvula para ser “aspirada” para dentro da câmara de combustão, que está a baixa pressão. O pistão chega ao ponto morto inferior, e a válvula de admissão fecha, completando o primeiro tempo do motor.

No 2º tempo ocorre a compressão, o pistão sobe e comprime a mistura de ar e vapor de gasolina. O tempo de compressão fecha quando o pistão sobe totalmente. No 3º tempo ocorre a explosão ou combustão, para dar início à combustão da mistura combustível que está comprimida, solta-se uma descarga

elétrica entre dois pontos da vela de ignição. Essa faísca da vela detona a mistura e empurra o pistão para baixo, fazendo com que ele atinja o ponto morto inferior. E no 4º tempo têm-se o escape, mistura de ar e combustível foi queimada, mas ficaram alguns resíduos dessa combustão que precisam ser retirados de dentro do motor. Isso é feito quando o pistão sobe, a válvula de escape abre, e os gases residuais são expulsos (FOGAÇA, 2020; COFAP, 1997).

Sobre como ocorre a queima de combustível, é por meio de explosões ocorridas dentro dos cilindros e transformam o combustível líquido em energia cinética que move as rodas. Para que essas explosões ocorram, é necessário combustível, oxigênio e eletricidade. Cabe destacar que durante a reação de combustão são formados diversos produtos resultantes da combinação dos átomos dos reagentes. Reações de combustão e as reações de oxidação, que deveriam combinar oxigênio e carbono, gerando dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), não se completam, resultando na formação de monóxido de carbono (CO), um poluente tóxico. Um exemplo é o enxofre, presente na gasolina, que reage com o oxigênio ou hidrogênio formando  $\text{SO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$  (GUARIEIRO, et al., 2011).

Quanto ao resultado da queima de combustíveis orgânicos, é o aumento da poluição atmosférica. Gases como o SO,  $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_3$  combinam-se com o vapor de água presente na atmosfera, resultando em ácido sulfúrico e ácido nítrico, que retornam para a superfície da Terra em forma de chuva ácida.

## EMISSÕES DE POLUENTES GERADAS POR MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

Estudos apontam que os poluentes mais comuns lançados pelos veículos na atmosfera são advindos de um processo chamado de combustão incompleta, esse processo ocorre quando o combustível introduzido no cilindro não consegue encontrar a quantidade de ar precisa para a queima. Estes poluentes são denominados primários, pois são diretamente emitidos pelo escapamento automotivo, entre estes poluentes, estão: óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ); óxidos de carbono e enxofre ( $\text{SO}_x$ ). Além dos ácidos orgânicos, aldeídos, alcoóis,

hidrocarbonetos não queimados (HC) e material particulado (GUARIEIRO *et al.*, 2011).

Nesse sentido, os poluentes primários podem sofrer fotólise ou podem também interagir entre si, formando assim os poluentes intitulados como secundários, que é o ozônio, o nitrato de peroxiacetila, entre outros. Estes poluentes secundários podem ser nocivos ao meio ambiente da mesma forma que os poluentes primários são.

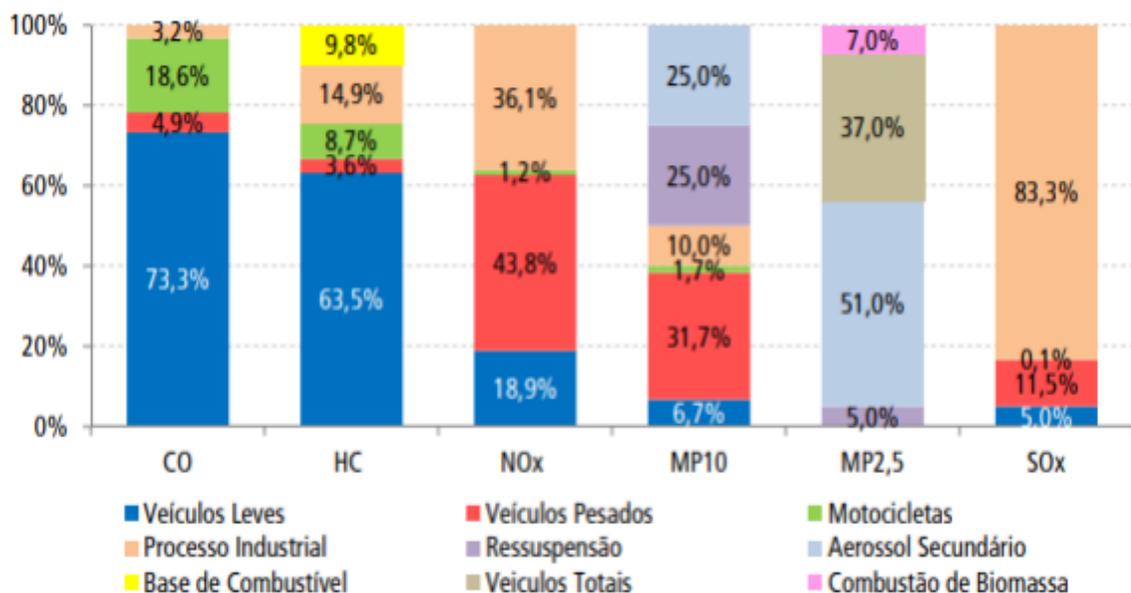
Já o CO<sub>2</sub> é fabricado pelo carbono presente nos combustíveis em conjunto com o oxigênio no ar. O mesmo é resultado da combustão completa de combustíveis de hidrocarboneto, como o diesel, a gasolina e o combustível de jato. O CO<sub>2</sub> também é emitido pelos principais motores das aeronaves e pelas Auxiliary Power Units (APU), que são pequenos motores a reação também presentes nas aeronaves para gerar energia elétrica e pneumática auxiliar (NETO, 2020).

Além do CO<sub>2</sub>, a queima do combustível para geração de energia cria outros produtos da combustão completa como o nitrogênio (N<sub>2</sub>) e o vapor d'água (H<sub>2</sub>O). Entretanto, de acordo com o Inventário de Emissões de Fontes Veiculares do Rio de Janeiro (2016, p. 17):

A relação combustível/ar na prática, não é a ideal para proporcionar somente a combustão completa, pois são formados também produtos da combustão incompleta, tais como: Monóxido de carbono (CO); Óxidos de nitrogênio (NOx); Óxidos de enxofre (SOx); Aldeídos (C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>O ou RCHO); Material Particulado (MP); Carbono elementar (C); Hidrocarbonetos Totais (HCT); Metano (CH<sub>4</sub>) e Hidrocarboneto não metano (NMHC).

Desse modo, observa-se que as emissões veiculares se mostram como as responsáveis principais pela poluição atmosférica. Conforme a CETESB (2019), essa é uma realidade presente nos grandes centros urbanos brasileiros. A companhia indica na Figura 3, as emissões relativas por tipo de fonte na Região Metropolitana de São Paulo. Pode-se notar que, embora a grande emissão de enxofre seja consequência de processos industriais, a grande porcentagem das emissões de CO, HC, NOx e material particulado (MP<sub>10</sub> E MP<sub>2,5</sub>) são principalmente realizadas através dos processos de combustão em veículos leves e pesados.

**Figura 3:** Emissões relativas por tipos de fontes.



Fonte: CETESB, 2019.

O CETESB indica também quais são os principais poluentes na atmosfera, seus efeitos e suas características. Sendo a maior parte dos poluentes indicados advindos de processos de combustão e os seus efeitos afetam o meio ambiente por meio do efeito estufa, das chuvas ácidas, deterioração da visibilidade, contaminação da água e do solo, danos a vegetação e à colheita, entre outros. Os danos ainda se estendem à população, através de doenças respiratórias.

Guarieiro (2011) chama a atenção para o chumbo, que é um dos poluentes dos motores a combustão. Foi banido o uso do chumbo na gasolina em diversos países por conta da sua toxicidade, então alguns países trocaram o chumbo utilizado como aditivo na gasolina por alquilados ramificados ou por compostos aromáticos, estes também podem acarretar problemas, ainda mais quando emitidos por carros que possuem sistemas de exaustão sem catalisadores. O chumbo pode afetar a saúde humana de variadas formas, podendo aumentar o nível de enzimas, pode também causar carcinogênico, problemas renais, entre outros.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **ALTERNATIVAS PARA REDUÇÃO DOS POLUENTES**

Atualmente, 99,8% do transporte global é movido por motores de combustão interna e cerca de 95% da energia do transporte vem de combustíveis líquidos feitos de petróleo. Muitas alternativas, incluindo veículos elétricos a bateria (BEVs) e outros combustíveis, como biocombustíveis e hidrogênio, estão sendo consideradas. No entanto, todas essas alternativas partem de uma base muito baixa e enfrentam barreiras muito significativas para expansão ilimitada, de modo que 85-90% da energia de transporte deve vir de combustíveis líquidos convencionais que alimentam motores de combustão até 2040 (MILES, et al., 2020). Portanto, é de grande importância que os motores sejam melhorados a fim de reduzir o impacto ambiental local e global do transporte.

De acordo com Mendes (2004, apud PEREIRA, 2019), na América do Sul o Brasil foi o primeiro país a adotar uma legislação que fosse totalmente designada a reduzir as emissões dos motores a combustão. As primeiras discussões sobre a importância da implantação de um programa nacional de controle de emissões veiculares ocorreram no país em 1977. O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, foi criado em seguida no ano de 1981, que busca entre outras coisas, “estabelecer, de forma privada os padrões e normas nacionais de controle de poluição por veículos automotores, embarcações e aeronaves mediante audiência dos Ministérios competentes”.

Nesse sentido, o frequente crescimento das emissões veiculares levou o Governo a implementar regulamentações e medidas ambientais no país. Um foco especial é dado ao PROCONVE - Programa Nacional de Controle da Poluição Veicular, que atua no Brasil a partir da definição de limites de emissões máximas para veículos novos vendidos (SILVA, et al., 2020).

Kalghatgi (2015) esclarece em seu estudo que nos últimos 30 anos, a pesquisa e o desenvolvimento ajudaram os fabricantes a reduzir as emissões de poluentes da atmosfera como óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP) em mais de 99% para cumprir os padrões de emissões. A pesquisa também levou a melhorias no desempenho da potência e tempo de aceleração de 0-60 mph, e eficiência, ajudando os fabricantes a manter ou aumentar a economia de combustível.

Atualmente, diversas mudanças estão ocorrendo em todo o mundo devido a restrições impostas pelos governos e pela indústria. Recentemente em 2017, foram lançadas metas por alguns países para a extinção dos motores a combustão interna da sua frota de veículos. Este foi o caso do conselho federal alemão, segundo o Jornal The Economist (2017), o país almeja até o ano 2030 reduzir a zero a venda e produção de veículos com motor a combustão interna. Inglaterra e França decidiram proibir por completo até o ano de 2040, e a China também já discute quando deve proibir o uso de motores a combustão interna (TEIXEIRA; 2013, FORBES, 2016).

Miles et al. (2020) e Kalghatgi (2015) concordam que a grande margem para a melhoria da emissão de poluentes pelos motores é ilustrada considerando várias abordagens práticas já existentes no mercado. Por exemplo, os melhores motores SI da classe nos EUA têm um consumo de combustível 14% menor em comparação com a média. Os desenvolvimentos do motor e do trem de força convencional sozinhos poderiam reduzir o consumo de combustível em mais de 30% para veículos leves (LDVs).

Os autores ainda destacam que a implementação de outras tecnologias, como hibridização e peso leve, poderia reduzir o consumo de combustível em 50% em comparação com a média atual para LDVs. A tecnologia atual de pós-tratamento pode garantir que os níveis de poluentes de exaustão atendam aos mais rigorosos

requisitos atuais de emissões. De fato, com os veículos a diesel mais modernos, o escapamento pode ser mais limpo que o ar de admissão nos centros urbanos.

De acordo com dados fornecidos pela ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) e pelo Ministério do Meio Ambiente, Pereira (2019) apresenta na Figura 4 a evolução das estratégias de controle de emissões de poluentes dos veículos pesados no decorrer dos anos (1994 a 2022), avaliando alguns dos seus principais aspectos tecnológicos no Brasil.

**Figura 4:** Evolução das fases “P” (veículos pesados) de emissões.

<b>Fase:</b>	<b>Implantação:</b>	<b>Características / Inovações:</b>
<b>P-3</b>	1994-1997	Os desenvolvimentos de novos modelos de motores visaram a redução do consumo de combustível, aumento da potência e redução das emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) por meio da adoção de intercooler e motores turbo. Nesta fase se deu uma redução drástica das emissões de CO (43%) e HC (50%).
<b>P-4</b>	1998-2002	Reduziu ainda mais os limites criados pela fase P-3.
<b>P-5</b>	2003-2008	Teve como objetivo a redução de emissões de material particulado (MP), NOx e HC. Implantação dos sistemas de gerenciamento eletrônico nos motores Diesel.
<b>P-6</b>	2009-2011	Em janeiro de 2009 deveria ter se dado o início à fase P-6, conforme Resolução CONAMA nº 315/2002, e cujo objetivo principal, assim como na fase cinco, era a redução de emissões de material particulado (MP), NOx e HC.
<b>P-7</b>	2012 -2022	Modificações nos motores (Exhaust Gas Recirculation), novos sistemas de pós-tratamento dos gases de escapamento (SCR: Selective Catalytic Reduction) e óleo diesel com reduzido teor de enxofre.

**Fonte:** Pereira, 2019.

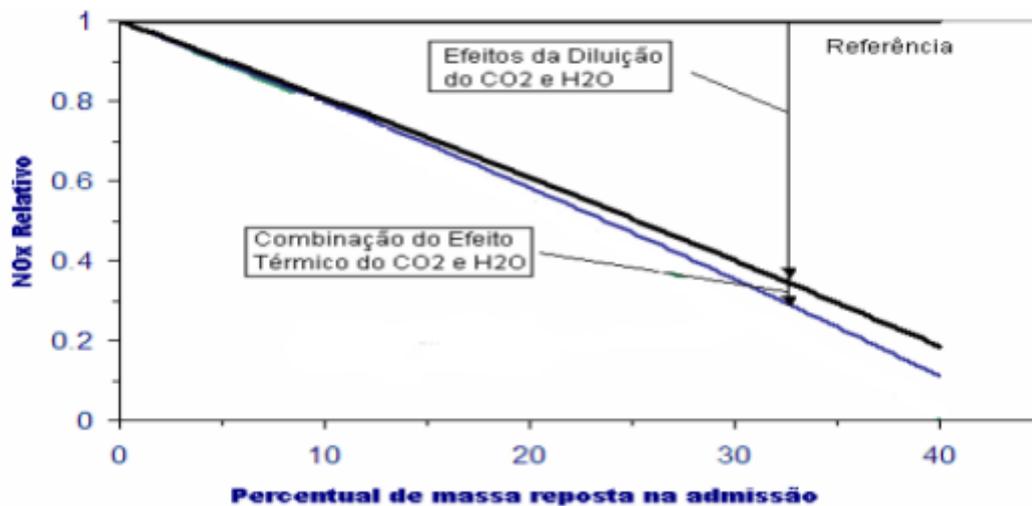
De acordo com Pereira (2019), a PROCONVE exigiu várias novas tecnologias para veículos no Brasil. A recirculação do gás de escapamento é uma dessas tecnologias, conhecida como EGR (Exhaust Gas Recirculation). Este método proporciona o retorno do gás de escape à admissão, diminuindo bastante a temperatura da combustão e reduzindo a emissão do óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

A PROCONVE criou uma legislação entrada em vigor no Brasil em janeiro de 2012, visando atender todos os limites novos de emissões da P7 (Figura 2), essa legislação exige, além de mudanças nos motores, sistemas novos de pós-tratamento do diesel e dos gases de escapamento com redução no teor de enxofre. O segundo método de controle, que é a recirculação dos gases de escape (EGR), consiste na modificação da combustão e exige um tempo maior de desenvolvimento; entretanto, os custos de execução são bem menores do que alguns sistemas de pós-tratamento (PEREIRA, 2019).

De acordo com Squaiella (2010), a tecnologia de recirculação é uma alternativa bastante viável para reduzir a emissão de poluentes, pois os principais fatores externos que influenciam a combustão são pressão, temperatura, massa de ar e o combustível; assim quando alternado um destes componentes a combustão resultante será modificada. Dessa forma, o principal efeito da tecnologia de recirculação dos gases de escape é a diluição parcial dos gases de admissão com os gases do escape originários da queima do combustível, que possibilita um atraso no início da ignição, reduzindo a temperatura de chama, sendo este o principal agente que interfere na produção do NO<sub>x</sub>.

Squaiella (2010) também verificou em seu estudo os efeitos da mistura de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O na reposição da massa de ar de admissão. Como nos casos das avaliações individuais do CO<sub>2</sub> e do vapor de água, o efeito da diluição mostrou-se como o principal responsável pela redução do NO<sub>x</sub> na atmosfera, como mostra a Figura 5.

**Figura 5:** Efeitos do EGR na redução da formação de NO<sub>x</sub> com a diluição de H<sub>2</sub>O puro.



Fonte: Squaiella, 2010.

No estudo de Jeremias (2018) foi concluído que a modificação de veículos particulares com baixo nível de hibridização (sistema start-stop), se mostra como uma boa estratégia com ótimo potencial de redução das emissões veiculares. Considerando-se que o setor de transportes contribui grandemente nas emissões globais de CO<sub>2</sub>, a eficiência de suas operações é um fator crítico no alcance das metas de diminuição das emissões de gases de efeito estufa e dos demais poluentes atmosféricos considerados.

Segundo Venditti (2021) uma das estratégias mais bem vistas para redução dos poluentes são os veículos elétricos, estudos indicam que na Europa até o ano 2030 esses veículos reduzirão quatro vezes as emissões de CO<sub>2</sub>, por conta da expansão das energias renováveis. Estudos realizados pela organização Transport and Environment (T&E), enfatizam que os modelos elétricos emitem quase três vezes menos CO<sub>2</sub> que similares a gasolina ou diesel, seus motores não produzem ruídos, o que reduz a poluição sonora, além disso, eles também não causam a poluição atmosférica nem o calor da combustão e, portanto, contribuem para reduzir as chamadas “ilhas de calor” nas metrópoles.

Desse modo, pode-se observar que existem iniciativas e estratégias que visam reduzir a emissão de poluentes dos motores a combustão interna. Ficando evidente, portanto, a possibilidade de conciliar os interesses da indústria

automobilística e de combustíveis com o interesse da sociedade de reduzir este problema ambiental.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo teve por objetivo identificar e analisar as estratégias usadas pelas indústrias para diminuir as emissões geradas por motores a combustão interna. Além de conhecer quais os poluentes emitidos por motores a combustão interna, entendendo os impactos e consequências de diferentes tipos de combustíveis para o meio ambiente. Por meio dos resultados pôde-se observar que são muitos os poluentes gerados pelos motores a combustão interna, como: emissões de CO<sub>2</sub>, partículas, óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC).

Notou-se que atualmente, existem muitas iniciativas em todo o mundo para desenvolver alternativas para melhoria dos motores e dos combustíveis convencionais à base de petróleo, impulsionadas pelas preocupações com as mudanças climáticas e a qualidade do ar local associada ao transporte. De fato, as críticas aos impactos gerados pelos motores são comuns nos meios de comunicação e entre os governos de muitos países e levaram a uma crença de que a eliminação dos poluentes é desejável e iminente.

Quanto às alternativas para redução dos poluentes, se destacaram: veículos elétricos a bateria (BEVs); modificação de veículos particulares com baixo nível de hibridização (sistema start-stop); recirculação do gás de escapamento; outros combustíveis, como biocombustíveis e hidrogênio, todas essas alternativas estão sendo consideradas atualmente. Lembrando que as tecnologias disponíveis precisam ser implantadas para mitigar o impacto ambiental dos motores a combustão interna.

## **REFERÊNCIAS**

**ALUGAGERA. Você sabe qual a diferença entre os motores do ciclo Otto e os motores do ciclo Diesel?** São Paulo, dezembro de 2017. Disponível em:

<https://alugagera.com.br/noticias/diferencas-entre-motores-do-ciclo-otto-e-ciclo-diese>  
| Acesso em: 20 de junho de 2022.

ARAÚJO, Ludmila M. **Análise de desempenho e emissões de um motor de ignição por compressão utilizando várias proporções de biodiesel.** Dissertação. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2019. 48 p.

ANFAVEA. **Autoveículos – Produção, licenciamento, exportação em unidades de montados e ckd, exportação em valor e emprego.** 2017.

COSTA JÚNIOR, F. L. **Análise Computacional de Emissão de Poluentes em Motores de Combustão Interna usando Diferentes Misturas entre Etanol e Gasolina.** 2018, 81 p. Universidade Federal de Uberlândia – MG.

CETESB. **Plano de Controle de Poluição Veicular.** Disponível em:  
<https://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve> Acesso em: 10 de nov. 2021.

COFAP. **Manual de serviços para mecânicos.** 5.ed., Santo André - São Paulo. 1997.

DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E; FERNANDES, G.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M, S.; KEMERICH; **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo e veículos automotores.** Artigo. 2014.

FORBES. **Germany's Bundesrat Resolves End of Internal Combustion Engine.** Disponível em:  
<https://www.forbes.com/sites/bertelschmitt/2016/10/08/germanys-bundesrat-resolves-end-of-internal-combustion-engine/?sh=5643f49f60bd> Acesso em: 10 de nov. 2021.

FOGAÇA, Jennifer R. V. **Funcionamento do Motor de Combustão Interna.** Artigo. Mundo Educação, janeiro de 2020.

GUARIEIRO, Lilian L. N.; VASCONCELLOS, Pérola C.; SOLCI, Maria C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química.** v. 3, n. 5, p. 434-445.

JEREMIAS, Paulo H. F. **Avaliação do potencial de redução das emissões de poluentes por meio da implementação do sistema START-STOP em veículos a combustão interna da frota da cidade de São Paulo.** Artigo. Universidade Federal de Santa Catarina. Araranguá/SC, 2018. 32 p.

KALGHATGI, G. T. Developments in internal combustion engines and implications for combustion science and future transport fuels. **Journal Science Direct.** v. 35, n. 1, p. 101-115, 2015.

MENDES, Eduardo. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. COPPE/UFRJ, D. Sc. Planejamento Energético, p. 35-41, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa de Controle de emissões veiculares**. Disponível em:  
<https://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>. Acesso em: 10 de nov. 2021.

NETO, Wilson C. **A evolução dos motores a reação e seu impacto no meio ambiente**. Artigo. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2020. 20 p.

OLIVEIRA, Adriana R. M.; AMORIM, José C.; PEREIRA, Carlos R. **Análise das Principais Estratégias Brasileiras para Redução da Emissão de Poluentes Atmosféricos Gerados pelo Setor de Transportes**. Artigo. Exposição Internacional de Transporte e Trânsito. Rio de Janeiro. 2011. 9 p.

PEREIRA, David T. P. **Análise dos métodos de controle e redução dos poluentes emitidos pelos motores de combustão interna no Brasil**. Artigo. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2019. 64 p.

SILVA, Humbervânia R. G.; QUINTELLA, Cristina M. **Estudo Prospectivo das Tecnologias Utilizadas para Redução das Emissões de Poluentes Causadas pelos Veículos a Diesel**. Artigo. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2020. 15 p.

SQUAIELLA, Lucas. **Efeito do sistema de recirculação dos gases de escape no controle de emissões de NOx em motores a Diesel**. Universidade Estadual de Campinas, p. 34, 2010.

TEIXEIRA, Isabela Grespan da Rocha; CALIA, Rogério Ceravolo. Gestão da inovação, desenvolvimento e difusão de veículos híbridos e elétricos mitigadores da poluição urbana: um estudo de caso múltiplo. **Review of Administration and Innovation** - Rai, [s.l.], v. 10, n. 2, 2013. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade.

THE ECONOMIST Journal. **China moves towards banning the internal combustion engine**. Agosto, 2017. (online). Disponível em:  
<https://www.economist.com/business/2017/09/14/china-moves-towards-banning-the-internal-combustion-engine> Acesso em: 12 de nov. 2021.

VENDITTI, Mário S. Porque o carro elétrico polui menos que os modelos a combustão? **Jornal Estadão**. 2021. Disponível em:  
<https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/por-que-o-carro-eletrico-polui-menos-que-os-modelos-a-combustao/> Acesso em: 15 de nov. 2021.