

TECNOLOGIAS E ESTRATÉGIAS PARA REDUZIR EMISSÕES DE POLUENTES EM VEÍCULOS A GASOLINA E DIESEL

Ezequiel Barreto de Matos Nascimento¹, Pedro Henrique Almeida da Silva¹,
Arthur Farias Silva², Josete Pertel³

¹Acadêmicos de Engenharia Mecânica - Mutivix São Mateus (ES)

²Engenheiro Mecânico/ Docente - Mutivix São Mateus (ES)

³Doutora/Docente - Mutivix São Mateus (ES)

RESUMO

Este trabalho investiga as principais tecnologias e estratégias para reduzir as emissões de poluentes em veículos movidos a gasolina e diesel, destacando as alternativas tecnológicas e normas que orientam o setor automotivo para uma operação mais sustentável. O objetivo é identificar métodos eficazes de controle de emissões e analisar a relevância das regulamentações, como o PROCONVE no Brasil e o CAFE nos Estados Unidos, que estabelecem limites e incentivam o uso de tecnologias menos poluentes. A metodologia baseia-se em revisão bibliográfica e análise de dados, explorando tecnologias como ARLA 32, catalisadores, filtros de partículas e sistemas de recirculação de gases (EGR). Os resultados indicam que essas tecnologias são eficazes na redução de emissões. Conclui-se que a adoção dessas soluções, aliada a regulamentações rigorosas, contribuem para amenizar os impactos ambientais dos veículos e aponta para a necessidade de inovação contínua e adaptação às exigências regulatórias.

Palavras-chave: veículos; emissões de poluentes; normas ambientais; PROCONVE; ARLA 32.

ABSTRACT

This paper investigates the main technologies and strategies for reducing pollutant emissions in gasoline and diesel-powered vehicles, highlighting the technological alternatives and standards that guide the automotive sector towards more sustainable operations. The objective is to identify effective methods for controlling emissions and analyze the relevance of regulations, such as PROCONVE in Brazil

and CAFE in the United States, which establish limits and encourage the use of less polluting technologies. The methodology is based on a literature review and data analysis, exploring technologies such as ARLA 32, catalysts, particle filters and exhaust gas recirculation (EGR) systems. The results indicate that these technologies are effective in reducing emissions. It is concluded that the adoption of these solutions, combined with strict regulations, contributes to mitigating the environmental impacts of vehicles and highlights the need for continuous innovation and adaptation to regulatory requirements.

Keywords: emissions; technologies; environmental standards; PROCONVE; ARLA 32.

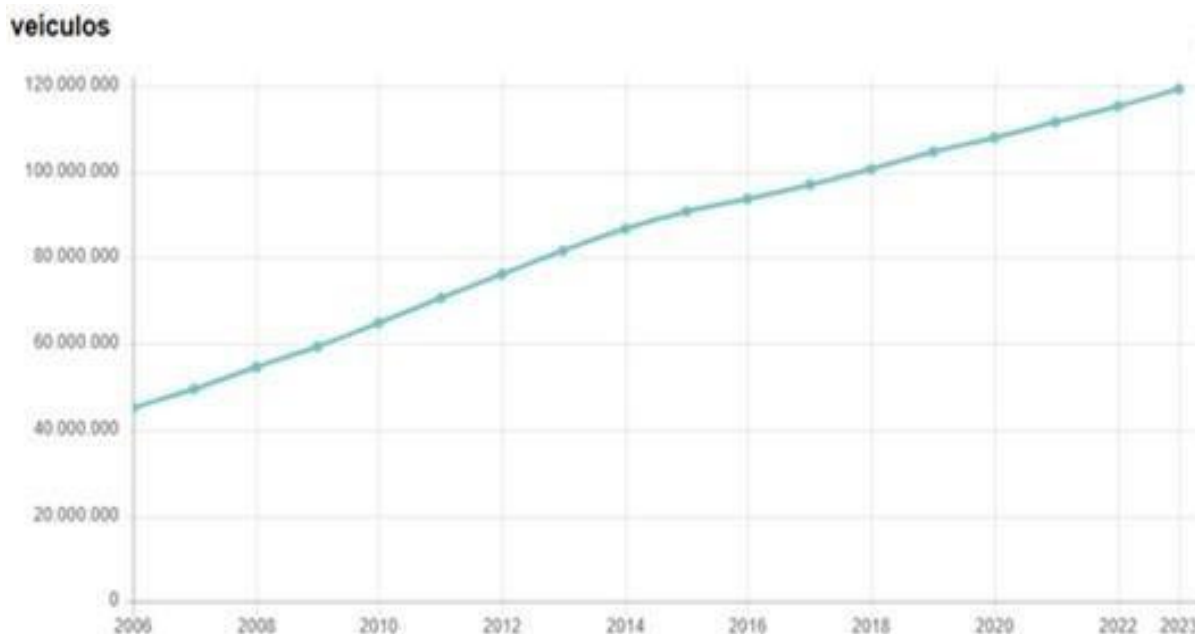
1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento de motores de combustão interna, sempre foi priorizado a potência e o torque do motor, deixando de lado o ponto crucial a eficiência e sustentabilidade que são importantes para o meio ambiente, onde as emissões de gases poluentes tornaram-se uma grande preocupação. À medida que os motores de combustão interna evoluíram para oferecer maior potência e eficiência, a crescente poluição do ar e o aquecimento global passaram a ser questões a serem questionadas pelo governo.

Segundo Brunetti (2012), os motores de combustão interna expõem produtos nocivos para o homem e o meio ambiente. Entre os principais poluentes se destacam: Monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrogênio (NOx), Hidrocarbonetos (HC), Compostos de enxofre (SO_2 H_2S). Esses gases podem ser letais causando: dores de cabeça, náuseas e câncer. Se for respirado em um ambiente concentrado, pode levar à morte. Já ao ambiente, várias catástrofes como chuva ácida, aumento da temperatura, condições de clima adversas e o aquecimento global.

Segundo o IBGE (2023), o Brasil já tem uma frota de 120 milhões de veículos conforme a Imagem 1, sendo a maioria deles movido a combustão proveniente de combustíveis fósseis, que são essenciais para a logística como os caminhões para a produção de alimentos e meio de transportes, mas a dependência dessas máquinas traz uma grande consequência.

Imagem 1 – Quantidade de veículos no Brasil



Fonte: IBGE, 2023.

As mudanças climáticas são uma questão ambiental da atualidade, com impactos consideráveis para a biodiversidade e vida. A principal evidência dessa mudança atual do clima é o aquecimento global, que foi detectado no aumento da temperatura média global do ar e dos oceanos, no derretimento generalizado da neve e do gelo, e na elevação do nível do mar, não podendo mais ser negada. (Ministério Do Meio Ambiente, 2024). Com esses sinais evidenciam a necessidade de intervenções para mitigar as emissões dos gases de efeito estufa e sinais adversos que já estão sendo observados ao redor do mundo.

O Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA), cria um Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores - PROCONVE, a fim de reduzir as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, fuligem e aldeídos, presentes na exaustão nos escapamentos de veículos movidos a diesel e gasolina. Considerando a emissão desses poluentes uma forte contribuição para a degradação da qualidade do ar, particularmente nas principais capitais dos estados. Com isso, o PROCONVE tem como objetivo regularizar as tecnologias de forma adequada, com uso comprovado, para atender

às necessidades de controle de poluição, em contrapartida, economia de combustíveis de fonte não renovável.

Diante dessa realidade, os governos por meio de leis obrigam a indústria automotiva a buscar alternativas para mitigar o impacto desses veículos. Tecnologias como ARLA 32, catalisadores, entre outras surgem como soluções promissoras. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo geral apresentar as tecnologias empregadas para a redução de emissões de poluentes e normas regulamentares.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TECNOLOGIAS DE CONTROLE DE EMISSÕES

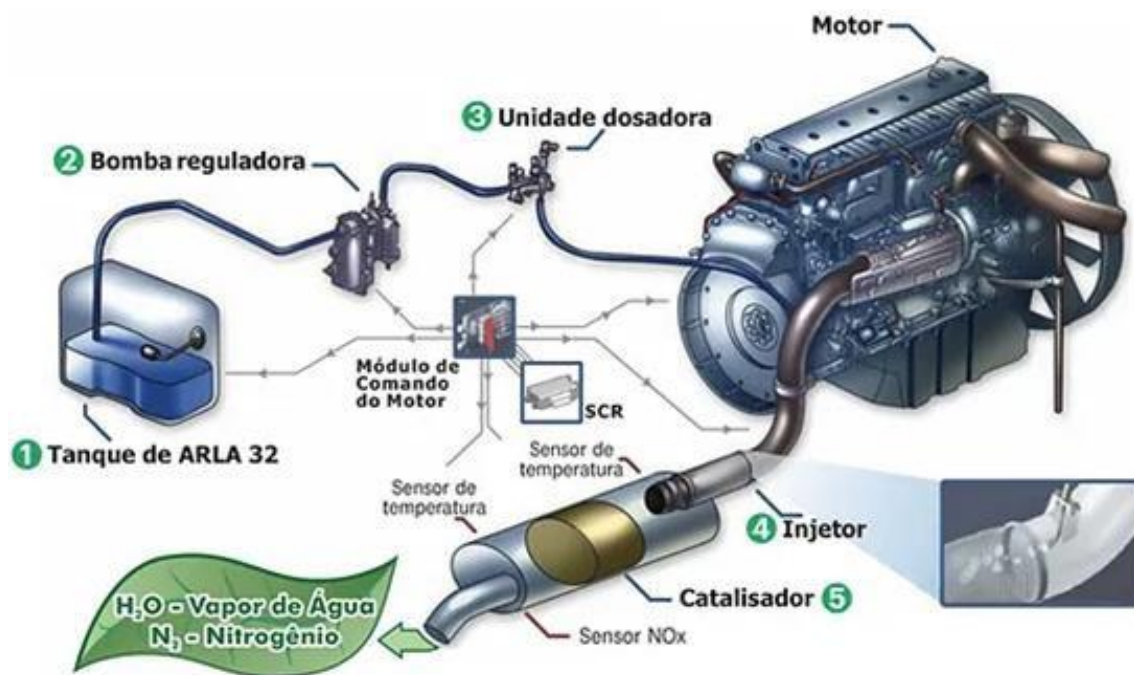
O controle de emissões em veículos a combustão envolve tanto a melhoria dos motores quanto a implementação de dispositivos de controle de emissões em sistemas de combustão.

O ARLA 32 é uma solução transparente de ureia em água desmineralizada, não tóxica e de segurança específica. Ele não é explosivo, inflamável ou prejudicial ao meio ambiente, sendo classificado como produto de categoria de risco mínimo no transporte de fluidos. O número 32 consulte-se ao nível de concentração da solução de uréia (32,5%) em água desmineralizada" (AEA, 2015, p. 7)(cartilha-arla-32).

Agente Redutor Líquido de Óxidos de Nitrogênio Automotivo conhecido como ARLA é uma solução úmida composta por 32,5% de ureia de alta pureza e 67,5% de água desmineralizada. É tecnologia utilizada em sistemas de controle de emissões de veículos a diesel equipados com a SCR (Redução Catalítica Seletiva), uma das principais estratégias para a redução de emissões.

O ARLA 32 é armazenado em um tanque específico no veículo movido a Diesel, separado do tanque de combustível. Este tanque geralmente possui sensores que monitoram o nível e a qualidade do ARLA 32 conforme a Imagem 2, alertando o motorista caso seja necessário reabastecer.

Imagem 2 – Princípio de funcionamento do ARLA 32



Fonte: Emiteco, 2021.

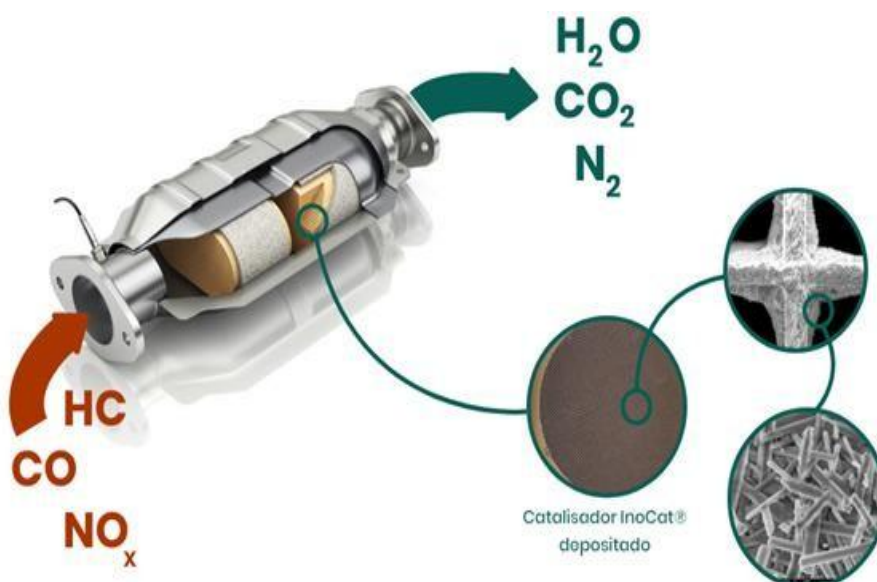
Durante a operação normal do motor, o sistema SCR detecta quanto de emissão de NO_x e gerada pela combustão, uma bomba puxa o ARLA 32 do tanque sendo injetado diretamente no sistema de escape do caminhão, quando o líquido entra no sistema de escape, ele fica exposto às altas temperaturas dos gases de combustão. Nessas condições, o ARLA 32 se decompõe em amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂). Essa colocação ocorre antes dos gases de escape passarem pelo SCR. A amônia (NH₃) gerada pela degradação é o agente responsável por reagir com os óxidos de nitrogênio (NO_x) presentes nos gases de exaustão, convertendo-os em nitrogênio (N₂) e vapor de água (H₂O), que são liberados de maneira segura pelo escape.

2.2 CATALISADORES

Projetado para reduzir a emissão de gases poluentes gerados pela queima de combustível. Ele atua promovendo reações químicas que convertem gases tóxicos em substâncias menos químicas ao meio ambiente. É uma tecnologia essencial para atender às normas ambientais de controle de emissões. “As indústrias de desenvolvimento se desenvolveram ao longo dos anos, novas tecnologias de catálise, aumentando consideravelmente a eficiência de conversão bem como a temperatura máxima de trabalho” (Paixão, 2013, p.36).

O funcionamento do catalisador é baseado em reações químicas que transformam os gases tóxicos em substâncias menos nocivas ao meio ambiente, conforme a Imagem 3. Dentro dele, há uma estrutura em formato de colmeia feita de material cerâmico ou metálico, que é revestida com metais nobres, como platina, paládio e ródio. Esses metais são responsáveis por catalisar (acelerar) as reações químicas.

Imagem 3 – Catalisador InoCat® e processo de redução de emissões



Fonte: InoCat, 2024.

As reações que ocorrem dentro dos acontecimentos são:

- Oxidação de monóxido de carbono (CO): O monóxido de carbono, um gás tóxico, é transformado em dióxido de carbono (CO₂), um gás inofensivo.
- Oxidação de hidrocarbonetos (HC): Os hidrocarbonetos, que são resíduos de combustível não queimados, são convertidos em dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O).
- Redução de óxidos de nitrogênio (NOx): Os óxidos de nitrogênio, que são importantes para a poluição atmosférica e chuva ácida, são decompostos em nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂).

2.3 FILTROS DE PARTÍCULAS (DPF)

Os Filtros de Partículas Diesel (DPF) são dispositivos essenciais usados em veículos movidos a diesel para reduzir a emissão de partículas sólidas (fuligem e outras partículas finas) que resultam da combustão incompleta do combustível. Esses filtros desempenham um papel crucial na diminuição da poluição atmosférica, especialmente na redução de material particulado (MP), que é prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente.

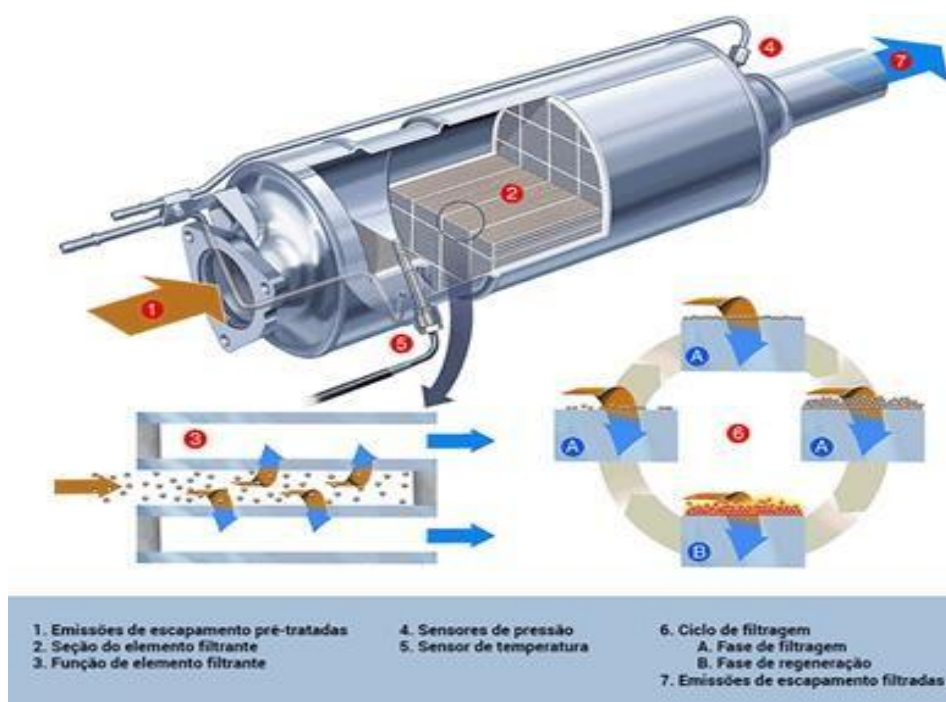
Os DPFs são projetados para capturar e armazenar partículas de fuligem e outras impurezas presentes nos gases de escape do motor diesel. O filtro é composto por uma estrutura porosa (geralmente feita de cerâmica ou metais especiais) que retém as partículas. “O filtro de partículas é um elemento filtrante que se encontra dentro da carcaça do sistema catalítico” (Mecânico, 2023, p.19).

Periodicamente, o DPF passa por um processo de regeneração, que queima essas partículas acumuladas, convertendo-as em dióxido de carbono (CO₂) e eliminando o acúmulo de fuligem. Existem dois tipos principais de regeneração:

Regeneração Passiva: Ocorre naturalmente durante a condução em condições de alta temperatura, como rodovias. A temperatura dos gases de escape é suficiente para queimar a fuligem sem intervenção do motor.

Regeneração Ativa: Ocorre quando o sistema detecta que o DPF está saturado, mas as condições de condução não permitem a queima natural das partículas. Nesse caso, o motor aumenta temporariamente a temperatura dos gases de escape injetando combustível adicional, o que promove a queima da fuligem conforme a Imagem 4.

Imagem 4 – Princípio de Funcionamento do Filtro de Partícula



Fonte: Tudauto, 2019.

2.4 SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO DE GASES DE ESCAPE (EGR)

O Sistema de Recirculação de Gases de Escape (EGR) é uma tecnologia essencial para reduzir as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) em motores de combustão interna, particularmente em veículos movidos a diesel e gasolina. Os NOx são formados em altas temperaturas de combustão, que ocorrem principalmente quando há excesso de oxigênio na câmara de combustão.

Os sistemas de EGR reduzem a formação de NOx (óxidos de nitrogênio) entre 25% e 40%, por meio da reintrodução de parte dos gases da exaustão do motor na câmara de combustão. No entanto, tal estratégia faz com que os índices de MP se elevem acima do tolerado. Para reduzir o MP, os gases de escapeamento passam pelo filtro de partículas de motores diesel (DPF) e são então filtrados antes de serem lançados à atmosfera.

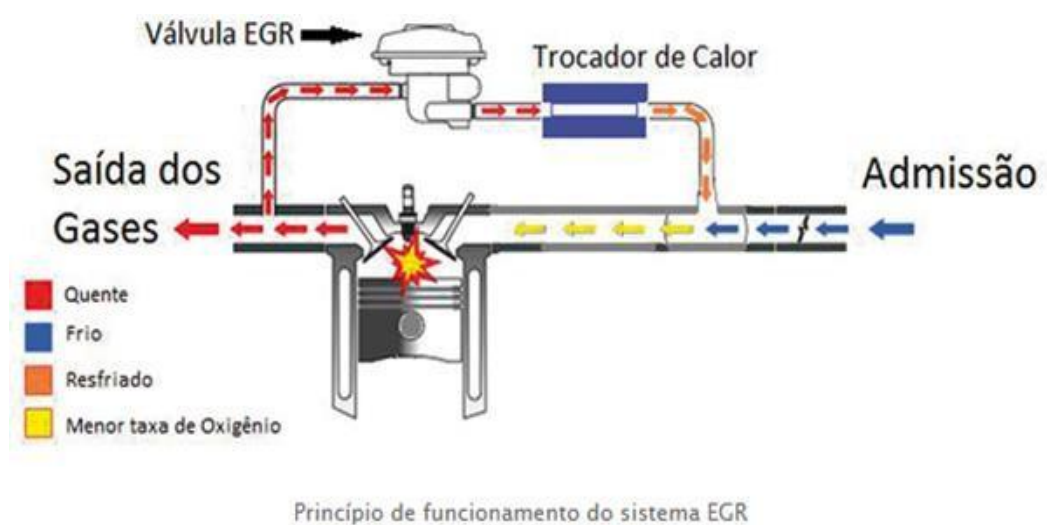
Conforme o tipo de motor, os gases podem ser tratados por um catalisador de oxidação (DOC) reduzindo o tamanho das partículas, atingindo, assim, padrões de emissão aceitáveis pela fase P7. Os motores fase P7 equipados somente com sistema EGR não utilizam o ARLA 32. (Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, 2015, p.5).

O EGR atua reintroduzindo uma parte dos gases de escape de volta para o motor, diluindo a mistura ar-combustível. Isso reduz a temperatura de combustão e, consequentemente, a formação de NOx.

Os principais componentes do sistema de EGR são a válvula de controle de fluxo dos gases, o resfriador, o turbo compressor, a válvula de restrição (throttle) e o misturador de EGR, dimensionados em função do fluxo dos gases recirculados e a aplicação para que se Por exemplo, as aplicações industriais utilizam um sistema mais simples que os veiculares, pois normalmente trabalham em regimes constantes com poucas variações de rotação e carga" (Squaiella, 2010, p 55).

O sistema é composto por uma válvula que regula a quantidade de gases de escape, ajustando a proporção de acordo com as condições de operação do motor, como carga e rotação, conforme a Imagem 5. Nos motores diesel, o EGR é muitas vezes combinado com outras tecnologias de controle de emissões, como o sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR), que reduz ainda mais as emissões emitidas. O sistema não apenas reduz as emissões de NOx, como também melhora a eficiência do motor ao evitar a pré-ignição, que pode causar danos e diminuir o rendimento.

Imagem 5 – Princípio de funcionamento do sistema EGR



Fonte: Sindicato da Indústria, 2017.

Uma evolução importante do EGR é o uso de sistemas de recirculação refrigerados, onde os gases de escape passam por um trocador de calor antes de serem reintroduzidos no motor. Isso permite um controle mais eficaz da temperatura da combustão, ampliando a eficiência do sistema e mantendo o motor operando nas condições ideais. Além disso, as versões mais modernas do EGR utilizam válvulas eletrônicas que fornecem um controle mais preciso e adaptativo, minimizando os impactos negativos como o acúmulo de carbonização em componentes do motor, que ocasiona a perda de desempenho podendo também comprometer a durabilidade. No entanto, esse problema tem sido mitigado com melhorias nas tecnologias e nas manutenções preventivas. Sendo desempenhado um papel crucial na redução de emissões poluentes, contribuindo para que os motores atendam às normas ambientais cada vez mais rigorosas, sem comprometer significativamente o desempenho.

2.5 NORMAS

2.5.1 CAFE - Corporate Average Fuel Economy

O CAFE define metas de eficiência para diferentes categorias de veículos, como carros de passeio, caminhonetes e Veículo Utilitário Esportivo conhecidos como SUV. Essas metas variam de acordo com o tipo e tamanho dos veículos, sendo calculadas com base no consumo de combustível expresso pelo país de origem como MPG milhas por galão.

Em meados da década de 80, a maior parte dos veículos comercializados nos Estados Unidos era dotada de carburadores que levavam a gasolina até os motores. Atualmente, os veículos são equipados com sistemas de injeção eletrônica de combustível e quase um quarto dos veículos ano-modelo 2012 já são equipados com sistemas de injeção direta ainda mais sofisticados. Como os veículos à gasolina ainda são maioria nas vendas nos mercados dos EUA, tais tecnologias respondem pela maior parte da economia de combustível e das reduções de emissões de gases de efeito estufa já obtidas, sendo ainda pequena a contribuição das tecnologias alternativas. (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2013, p. 4)

O programa exige que a média de consumo de combustível de todos os veículos fabricados pelas montadoras esteja dentro dos limites estabelecidos pelo governo. Caso a média da frota de uma empresa não atinja o padrão exigido, o fabricante está sujeito a multas.

De fato, a maior força motriz para a redução do consumo de derivados de petróleo (notadamente óleo diesel e gasolina), assim como das emissões veiculares de gases de efeito estufa verificados nos últimos anos, foram os avanços tecnológicos. Não apenas em termos da introdução de motorizações alternativas, mas especialmente em função de inovações como injeção eletrônica, injeção eletrônica multiválvulas, injeção direta de combustível, turbochargers, entre outras." (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2013, p. 9)

Sendo o principal objetivo do CAFE é incentivar a produção de veículos mais eficientes, que consumam menos combustível inevitavelmente emitindo menos poluentes. Para cumprir os objetivos, os fabricantes de automóveis têm investido em tecnologias avançadas, como motores mais eficientes, materiais leves e, cada vez mais, em veículos híbridos e elétricos. Essa pressão regulatória tem impulsionado inovações no setor automotivo, contribuindo para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que equilibram eficiência e desempenho.

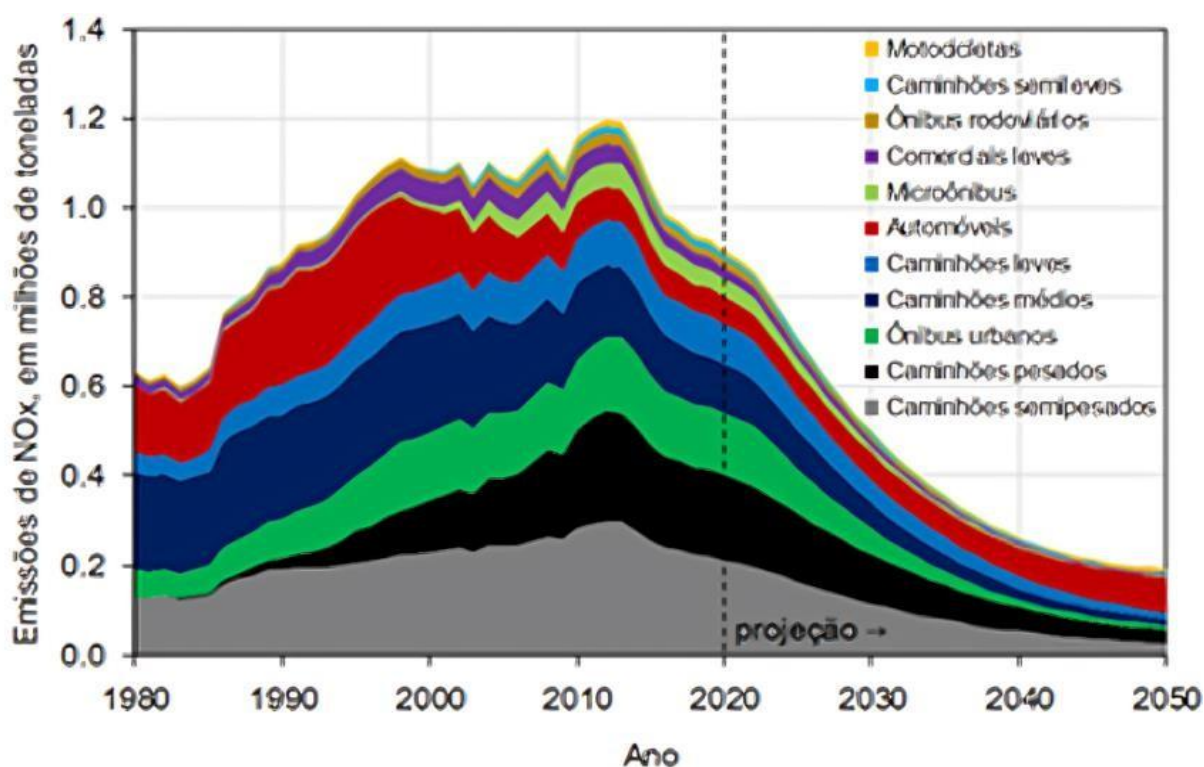
Além de promover medidas de redução de gases do efeito estufa, o CAFE desempenha um papel crucial na economia de combustível, alinhando-se aos esforços globais de combate às mudanças climáticas. A cada nova atualização das normas CAFE, as metas de economia de combustível se tornam mais rigorosas, assim como a EURO e o PROCONVE, sendo uma política vista como essencial para reduzir a dependência do petróleo, proteger os consumidores dos altos custos dos combustíveis e, ao mesmo tempo, garantir um futuro mais sustentável para a próxima geração. Portanto, o CAFE não apenas influencia o mercado automotivo dos Estados Unidos, mas também estabelece um padrão que impacta as políticas globais de sustentabilidade e inovação no setor, promovendo veículos que atendam às demandas ambientais e econômicas de um mundo.

2.5.2 PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do ar por Veículos Automotores

Segundo Miller e Posada (2019, p. 3), "o Brasil tem controlado as emissões de veículos pesados por meio do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) desde 1990". Inspirado em programas internacionais como o CAFE, o PROCONVE foi criado para controlar a poluição causada por veículos leves e pesados, tanto movidos a gasolina quanto a diesel.

O programa é dividido em fases, cada uma sendo mais rígidas em relação às emissões de gases, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx). Para cumprir com as exigências do PROCONVE, as montadoras adotaram diversas soluções tecnológicas, como o uso de estudos nos escapamentos dos veículos, que ajudam a converter gases tóxicos em substâncias menos nocivas, além de sistemas de controle de injeção de combustível que melhoram a eficiência da queima do combustível. No caso dos motores a diesel, o programa incentivou o uso de tecnologias como filtros de partículas e sistemas de redução catalítica seletiva. Com base na Imagem 6 pode-se observar a evolução do programa e o que implica pelo atraso da fase P8 nas emissões anuais, entre 2025 e 2037, que serão próximas a 20% maiores em comparação com a implementação no prazo.

Imagem 6 - Evolução histórica e projeção das emissões de NOx no cenário Conama 490/2018



Fonte: IEMA, 2020.

O PROCONVE é composto por diferentes fases, que abrangem tantos veículos leves quanto pesados. Para veículos leves, o programa começou com a fase L-1 e já alcançou a fase L-7, que entrou em vigor nos últimos anos e exige limites ainda mais baixos de emissões de poluentes. Para veículos pesados, as fases do PROCONVE são denominadas P, sendo a fase P-8 a mais recente, com padrões mais rigorosos para motores de caminhões e ônibus.

Além de reduzir a poluição atmosférica, o PROCONVE também impacta positivamente a saúde pública, pois a exposição prolongada às toxinas emitidas por veículos está associada a problemas de infecções, doenças cardiovasculares e até ao aumento da mortalidade. Ao longo dos anos, o programa tem contribuído para a redução significativa das emissões de gases poluentes conforme a Imagem 7, principalmente nos grandes centros urbanos, onde o trânsito intenso de veículos é uma das principais fontes de poluição.

Imagem 7 - Limite máximo de emissões para veículos pesados de uso rodoviário nas normas do PROCONVE P-8

Ciclo	CO (mg/kWh)	THC ¹ (mg/kWh)	NMHC ² (mg/kWh)	CH ₄ ² (mg/kWh)	NO _x (mg/kWh)	NH ₃ ³ (ppm)	MP (mg/kWh)	NP (#/kWh)
WHSC ¹	1.500	130	-	-	400	10	10	8,0 × 10 ¹¹
WHTC ¹	4.000	160	-	-	460	10	10	6,0 × 10 ¹¹
WHTC ¹	4.000	-	160	500	460	10	10	-
OCE (WNTÉ)	2.000	220	-	-	600	-	16	-
ISC	6.000	240	240	750	690	-	-	-

¹ Aplicável apenas a motores de ignição por compressão (diesel)

² Aplicável apenas a motores de ignição por centelha (gasolina e gás)

³ Aplicável a veículos equipados com sistemas de pós-tratamento com agentes redutores (SCR) ou veículos abastecidos a gás

Fonte: ICCT, 2019.

3 METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre as principais tecnologias de controle de emissões em veículos de combustão interna. Para isso, foram consultadas fontes acadêmicas, como livros, artigos científicos e publicações de órgãos reguladores. Essa etapa foi essencial para a fundamentação teórica do trabalho, permitindo identificar as tecnologias disponíveis, como o uso de ARLA 32, catalisadores, filtros de partículas e sistemas de recirculação de gases de escape (EGR), e compreender o impacto dessas tecnologias na redução de emissões poluentes.

Souza e Kerbaui (2017, p. 34) discutem que “o debate entre as abordagens quantitativa e qualitativa visa esclarecer os contextos apropriados para cada uma, com a primeira envolvendo análise estatística dos dados e a segunda focada na interpretação das realidades sociais”. Este trabalho utilizou uma abordagem qualitativa e quantitativa para analisar e comparar as tecnologias e estratégias disponíveis para a redução das emissões em motores de combustão interna, com foco em veículos a gasolina e diesel. A metodologia é composta por três etapas principais: revisão bibliográfica, coleta de dados e análise dos resultados.

Barbosa (1998, p. 1) destaca que

o estudo de métodos e técnicas de coleta de dados qualitativos nas disciplinas de avaliação e gerência de projetos abrange uma ampla gama de aspectos, incluindo o desenvolvimento de instrumentos de coleta, estimativas de custo, controle de qualidade, confiabilidade, validação, seleção de amostras, além de métodos de processamento, análise e apresentação de relatórios.

Em seguida, foi realizada a coleta de dados, com base em relatórios técnicos de instituições como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Esses dados possibilitaram uma análise quantitativa das emissões veiculares no Brasil, considerando a frota de veículos e as políticas públicas implementadas para a redução das emissões, como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE).

A terceira etapa da metodologia consistiu na análise das tecnologias mencionadas. Essa análise teve como base tanto a literatura técnica quanto estudos de caso sobre a aplicação dessas tecnologias, foram realizadas uma avaliação dos resultados obtidos, com foco em discutir cada estratégia de controle de emissões. Essa etapa envolveu a interpretação dos dados coletados e a correlação com os objetivos de sustentabilidade e redução de impactos ambientais. As conclusões foram baseadas na eficiência energética proporcionada pelas tecnologias analisadas e na sua viabilidade para atender às regulamentações ambientais em vigor.

Com essa metodologia, o trabalho buscou fornecer uma visão detalhada e fundamentada sobre o estado atual das tecnologias de controle de emissões, além de contribuir para a discussão sobre o futuro das políticas ambientais no setor automotivo, considerando a transição para veículos mais sustentáveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ARLA 32, uma solução de ureia em água desmineralizada, é utilizado em veículos a diesel com o objetivo de reduzir as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) por meio do sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR). O ARLA funciona convertendo o NOx em nitrogênio e água, elementos inofensivos para o meio ambiente, pois é um fluido não tóxico, não inflamável e de baixo risco ambiental, o que facilita seu transporte e armazenamento sem comprometer a segurança.

O uso do ARLA 32 permite que os veículos estejam de acordo com as regulamentações ambientais rigorosas, como o PROCONVE no Brasil. Essas normas exigem que os veículos a diesel adotem tecnologias de controle de emissões, e o ARLA 32, em combinação com filtros de partículas, reduzindo as emissões consideravelmente.

No entanto, o uso do ARLA 32 traz desafios. Em primeiro lugar, seu sistema exige a instalação de um tanque dedicado e a integração de um sistema SCR nos veículos, onde caminhões e ônibus sem esse sistema encontra dificuldades, pois o custo para implementação é caro tornando um desafio para os donos andar de acordo com as normas do PROCONVE.

É necessário um monitoramento constante do nível e da qualidade do fluido, que depende de sensores específicos para garantir a eficiência do sistema. Esse monitoramento constante requer mais manutenção, o que eleva os custos operacionais ao longo do tempo. A dependência do reabastecimento frequente do ARLA 32 também pode ser inconveniente, especialmente em viagens longas, onde a disponibilidade do fluido pode ser pouca.

Para Galdino (2021) quando o sistema SCR que é responsável por injetar o ARLA 32 está apresentando falhas ao módulo de comando do motor, quando notificado ao motorista e nenhum reparo for feito no período de 48 horas o veículo mesmo tendo ou não passado dos valores estipulados de emissão, o limitador de torque ativado, reduzindo a potência do motor em até 60%. Essa limitação pode ser inconveniente ao motorista em momentos em que o desempenho total do veículo é necessário, como subir uma serra carregado.

Segundo Simon (2017) o ARLA representa um aumento nos custos dos transportes de carga, ocasionado um aumento no frete ao destinatário final, onde muitas vezes para representar esse acréscimo pedem aos caminhoneiros que viagem com excesso de peso.

De acordo com Simon (2017) existe meios para burlar, onde empresas compram o ARLA certificado de outras indústrias, trocam a embalagem para conseguir o certificado pelo INMETRO. Quando essas empresas conseguem ser homologadas pelo INMETRO, compram ureia agrícola com um preço inferior, adiciona água e vendem o produto adulterado. Outro tipo de adulteração comum é que alguns postos comprem a embalagem do ARLA utilizados pelos motoristas, sendo essa com o nome da empresa e dados certificados, encaminha para fábricas clandestinas, que encher a embalagem com ARLA adulterado, voltando para os postos lacrados e pronto para vender como se fossem a empresa fabricante.

Os catalisadores são fundamentais para o controle de emissões, onde eles transformam gases tóxicos em substâncias menos agressivas ao meio ambiente. No processo, eles desempenham reações químicas que convertem monóxido de carbono em dióxido de carbono, hidrocarbonetos em dióxido de carbono e água, e óxidos de nitrogênio em nitrogênio e oxigênio, reduz a liberação de substâncias tóxicas, especialmente em áreas urbanas.

De acordo Gomes (2022), sem a presença do catalisador a fuligem inicia a sua combustão a 600°C, com o catalisador a fuligem se decompõe entre 370°C à 460°C. Reduzindo drasticamente o ponto de combustão, com isso a maioria dos caminhões não irá apresentar aquela fumaça preta.

Segundo Paixão (2013), os catalisadores fabricados a partir de cerâmica têm seu custo baixo, facilitando a produção. Porém, tem uma contrapressão maior ao sistema de exaustão do veículo, possuindo uma menor resistência a choques mecânicos. O catalisador metálico tem um custo elevado, pois é utilizado metais nobres de alta qualidade, esse tipo de catalisador tem como prioridade o desempenho do veículo, onde a contrapressão é minimizada no sistema de exaustão, devido a maior vazão do sistema.

Para Packs (2023) o catalisador metálico pode ser encontrado a partir de R\$ 500,00, dependendo do veículo pode ter aumento e chegar até R\$ 5000,00.

O catalisador tem a necessidade de atingir temperaturas altas para que as ocorrências funcionem de forma eficiente. Em trajetórias curtas ou em climas frios, a eficiência do fato pode ser reduzida, e as emissões não são convertidas de forma ideal. Com o tempo, o acúmulo de partículas no interior do catalisador pode reduzir sua eficiência, exigindo substituições ou manutenção periódica para garantir seu desempenho. Isso implica um custo adicional e pode gerar problemas para veículos de alta quilometragem.

Quirino (2020) afirma que o sistema DPF e o EGR são sistemas que trabalham em conjunto quando o DPF é focado em reduzir o material particulado e hidrocarbonetos, o EGR se concentra nos óxidos de nitrogênio. Essa operação combinada gera melhoria na redução de um poluente e piora a redução de outro por estarem realizando operações simultâneas, como isso o aumento ou diminuição da temperatura é responsável pela recirculação de gases, onde leva a queima precipitada do combustível ou uma queima incompleta que acarreta o excesso de poluição atmosférica, dificultando a calibração correta do funcionamento dos dispositivos.

Segundo Porto *et al.* (2023), os fabricantes de veículos culpam a pandemia por não atender as mudanças necessárias para se encaixar nas Fases L7 e P8 do PROCONVE. Com o início dessa nova fase e as montadoras sendo pressionadas a produzirem seus veículos atendendo os novos padrões das fases, as fabricantes optaram em retirar de linha vários modelos, sendo os carros com recordes de vendas no Brasil, sendo comercializado apenas no exterior.

Para Domingues e Reis (2022), para as emissões de nitrogênio e material particulado pela PROCONVE P7, o EGR em conjunto com o DOC é o suficiente para o veículo consiga ficar dentro da legalidade, permanecendo as emissões do necessário em um ciclo estacionário.

O aumento da produção de veículos no Brasil é um reflexo de vários fatores econômicos, sociais e de políticas públicas que estimularam a expansão da indústria automotiva nacional.

Dados recentes revelam que comparado a 2023 houve um crescimento na produção de veículos, sendo no comércio de automóveis leves, conforme a Imagem 8, de quase 5% na produção de caminhões e ônibus comparado a julho de 2023, especialmente em resposta à crescente procura doméstica e à melhoria das condições econômicas, como o aumento da renda da população e a disponibilidade de crédito.

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), houve um crescimento significativo no número de veículos fabricados, mesmo após as dificuldades enfrentadas pela indústria nos anos de crise econômica e durante a pandemia de COVID-19 (Imagem 9). Além disso, a introdução de novas tecnologias e modelos, incluindo veículos elétricos e híbridos, têm sido uma resposta às mudanças nas demandas globais e às políticas ambientais que buscam reduzir as emissões de carbono.

Imagem 8 – Produção de Veículos Leves

Unidades Units/Unidades		JAN JAN/ENE	FEV FEB/FEB	MAR MAR/MAR	ABR APR/ABR	MAI MAY/MAY	JUN JUN/JUN	JUL JUL/JUL	AGO AUG/AGO	SET SEP/SET	OUT OCT/OCT	NOV NOV/NOV	DEZ DEC/DIC	TOTAL
2023	Gasolina / Gasoline / Gasolina	2.848	3.056	4.928	3.858	5.052	4.711	4.671	5.113	4.975	6.473	6.648	8.236	60.569
	Elétrico / Electric / Eléctrico	754	638	584	558	610	618	946	1.167	1.827	2.370	3.196	6.009	19.277
	Híbrido/ Hybrid / Híbrido	2.129	2.448	3.365	3.115	3.423	3.229	3.974	4.579	3.728	3.865	3.505	5.080	42.440
	Híbrido Plugin/ Hybrid Plugin / Híbrido Plugin	1.610	1.214	2.037	1.113	2.396	2.377	2.538	3.605	2.905	3.317	3.899	5.180	32.191
	Flex fuel	108.447	99.362	155.004	126.298	136.099	151.901	186.803	163.365	156.962	170.742	165.439	189.442	1.809.864
	Diesel / Diesel / Diesel	14.893	13.188	20.435	16.555	18.801	17.034	16.790	19.139	17.067	20.052	19.147	22.788	215.889
2024	Gasolina / Gasoline / Gasolina	6.687	7.099	7.776	7.581	7.816	8.334							45.293
	Elétrico / Electric / Eléctrico	4.354	3.632	6.132	6.699	5.170	5.182							31.169
	Híbrido/ Hybrid / Híbrido	3.879	3.304	4.454	4.893	4.717	4.396							25.642
	Híbrido Plugin/ Hybrid Plugin / Híbrido Plugin	3.789	3.509	3.022	3.608	3.720	4.809							22.458
	Flex fuel	117.776	121.596	138.786	165.610	144.744	160.682							849.194
	Diesel / Diesel / Diesel	15.762	16.371	16.060	19.957	17.259	19.181							104.590

Fonte: Anfavea, 2024.

Imagem 9 – Produção de caminhões e ônibus

Unidades Units/Unidades		JAN JAN/ENE	FEV FEB/FEB	MAR MAR/MAR	ABR APR/ABR	MAI MAY/MAY	JUN JUN/JUN	JUL JUL/JUL	AGO AUG/AGO	SET SEP/SET	OUT OCT/OCT	NOV NOV/NOV	DEZ DEC/DIC	TOTAL
2023	Elétrico / Electric / Eléctrico	19	67	41	56	22	14	15	21	76	37	64	33	465
	Gás / Gas / Gas	16	23	3	0	2	6	4	7	7	11	46	24	149
	Diesel / Diesel / Diesel	12.136	9.953	12.577	9.177	10.119	9.638	9.853	10.747	10.192	10.981	10.705	11.767	127.845
2024	Elétrico / Electric / Eléctrico	68	31	74	102	43	96							414
	Gás / Gas / Gas	6	6	8	14	17	18							69
	Diesel / Diesel / Diesel	9.294	9.677	11.419	12.378	10.770	11.606							65.144

Fonte: Anfavea, 2024.

Com base nas análises realizadas sobre as tecnologias de controle de emissões e nas regulamentações discutidas, o estudo conclui que a redução de poluentes emitidos por veículos a combustão, está sendo tratado de forma severa pelas autoridades responsáveis como o PROCONVE e o CAFÉ, assumindo a responsabilidade de cobrança para as empresas se regularizarem as novas normas

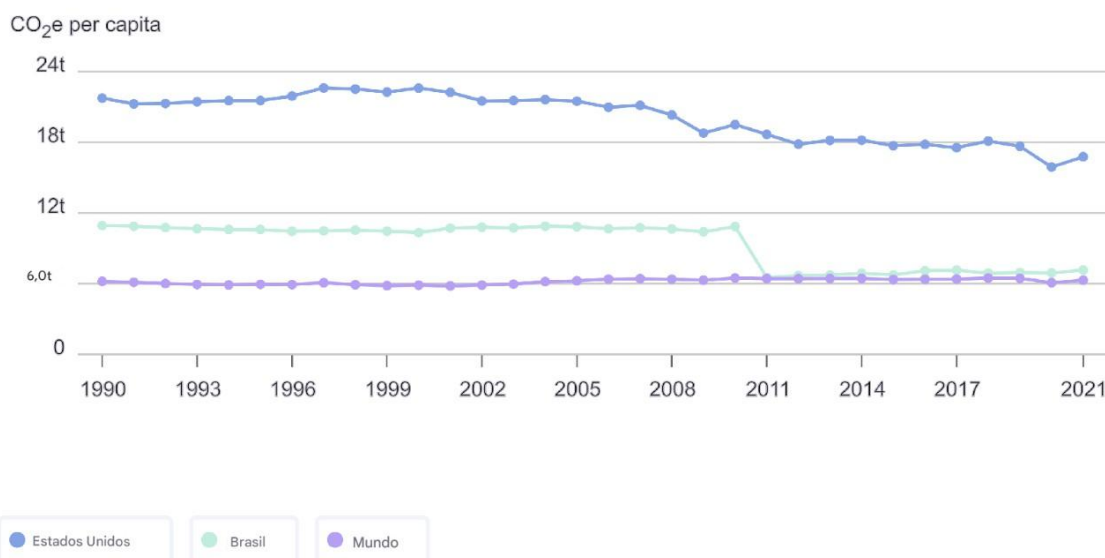
de emissão de poluição, conforme a Imagem 10, mostrando os resultados da redução de emissões nos últimos 31 anos no Brasil comparado com o Estados Unidos em toneladas por ano dos gases.

Imagem 10 - Redução de poluentes

Emissões históricas de GEE

RELÓGIO CLIMÁTICO

Fonte de dados: Climate Watch; Localização: Mundo, Brasil, Estados Unidos; Setores/Subsetores: Total incluindo LUCF; Gases: Todos os GEE;
Cálculo: per capita; Mostrar dados por regiões.



Fonte: WRI BRASIL, 2020.

A implementação de tecnologias como ARLA 32, catalisadores, filtros de partículas diesel (DPF) e sistemas de recirculação de gases de escape (EGR) tem se mostrado eficaz para mitigar as emissões, porém é uma tecnologia nova e apresentam falhas, onde existem poucas empresas com profissionais qualificados para a manutenção preventiva, além dos custos elevados das peças para substituição caso venha a fraturar.

Além disso, a importância da conscientização do consumidor e do investimento contínuo em inovação, uma vez que a evolução constante das regulamentações exigirá tecnologias mais eficientes. A tendência futura aponta para uma transição gradual para veículos híbridos e elétricos, que oferecem uma alternativa ainda mais sustentável e de baixa emissão de poluentes, alinhada com os compromissos globais de sustentabilidade.

A necessidade de uma abordagem integrada e colaborativa entre o setor automotivo, órgãos reguladores e a sociedade para alcançar um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental. As tecnologias de controle de emissões, embora já avançadas, devem continuar evoluindo para atender às demandas ambientais emergentes e contribuir para um futuro mais saudável e sustentável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma análise sobre as principais tecnologias e estratégias para a redução de emissões poluentes em veículos movidos a combustíveis fósseis, com foco nas regulamentações vigentes e nas inovações tecnológicas implementadas no setor automotivo. Constatou-se que a aplicação de sistemas como ARLA 32, catalisadores, filtros de partículas e a recirculação de gases de escape (EGR) tem contribuído significativamente para minimizar o impacto ambiental dos veículos de combustão interna, especialmente nas áreas urbanas onde a poluição atmosférica é uma preocupação crescente.

As políticas regulatórias, como o PROCONVE no Brasil e o CAFE nos Estados Unidos, desempenham papel fundamental na promoção de veículos mais eficientes e menos poluentes. Essas regulamentações não apenas estimulam a inovação tecnológica, mas também impõem desafios à indústria automotiva, que precisa equilibrar eficiência, custo e sustentabilidade. A tendência futura aponta para a crescente adoção de veículos híbridos e elétricos, em linha com os compromissos globais de redução de emissões e de combate às mudanças climáticas.

Diante dos resultados, é evidente a importância de uma abordagem integrada entre governo, indústria e consumidores para atingir as metas ambientais. Além disso, o investimento contínuo em pesquisa e desenvolvimento é essencial para a criação de soluções ainda mais eficazes e sustentáveis. Conclui-se, portanto, que, apesar dos avanços alcançados, ainda há um longo caminho a ser percorrido para que o setor automotivo atinja um modelo completamente sustentável. O compromisso coletivo será determinante para promover um futuro mais saudável, com ar limpo e menor impacto ambiental para as próximas gerações.

REFERÊNCIAS

AEA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA. **Cartilha de conscientização pública do uso do ARLA 32**. São Paulo: AEA, 2015. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes_e_residuos/emissoes/arquivos/cartilha-arla-32.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Penetração de novas tecnologias automotivas nos Estados Unidos**. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico. Estudo Temático 07/2013/SPD. Rio de Janeiro: ANP, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/notas-e-estudos-tecnicos/estudos-tecnicos/arquivos/2013/estudo-tematico-7-2013-spd.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2024.

ALIANÇA PELA MOBILIDADE SUSTENTÁVEL: CONHEÇA A INICIATIVA. Disponível em: <https://99app.com/blog/motorista/ali-sustentavel-pele-mobilidade-co-a-iniciativa/>. Acesso em: 08 out. 2024

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/07/carta-anfavea-julho-2024.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024

BARBOSA, Eduardo F. **Instrumentos de coleta de dados em pesquisas educacionais**. Educativa, out, 1998.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Editora Blucher, 2012. E-book. Pág.138. ISBN 9788521218142. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521218142/>. Acesso em: 08 out. 2024.

DESPACHANTE DOK. **Catalisador**. Disponível em: <https://www.despachantedok.c.br/blog/veiculo/catalisador/>. Acesso em: 08 nov. 2024.

DOMINGUES, Alan Martins; REIS, Haila Cândido dos. **Engenharia mecânica aliada à sustentabilidade**: estudo de caso comparativo das atualizações em um sistema de exaustão de um veículo pesado devido à transição da Norma PROCONVE P-7 para P-8. 2022. Disponível em: <https://repositorio.aedb.br/jspui/bitstream/123456789/97/1/Engenharia%20mecânica%20aliada%20à%20sustentabilidade.pdf> Acesso em: 06 nov. 2024.

GALDINO, Tevenilson Gustavo de Medeiros. **Tecnologias para controle das emissões de NOx em motores Diesel–PROCONVE P7. 2021**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/38076/3/TecnologiasParaControle_Galdino_2021.pdf. Acesso em: 06 nov. 2024.

GOMES, Viviane de Carvalho. **Redução de fuligem por ceria obtida na decomposição térmica de polímeros inorgânicos**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/59/59138/tde-01032023-074513/publico/Dissertacaocorrigida_VivianedeCarvalhoGomes.pdf .Acesso em: 06 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Frotas de veículos**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/0>. Acesso em: 25 out. 2024.

INOCAT. **Catalisador InoCat® e processo de redução de emissões**. Disponível em: <https://inocat.com.br> . Acesso em: 16 out. 2024.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Adiamento do Proconve pode lançar na atmosfera até 20% a mais de poluentes**. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/adiamento-do-proconve-pode-lancar-na-atmosfera-ate-20-a-mais-de-poluente-20201005>. Acesso em: 28 out. 2024.

KOHL-SANTOS, Pricila; MOROSINI, Marília Costa. O revisitar da metodologia do estado do conhecimento para além de uma revisão bibliográfica. **Revista Panorâmica**, ISSN 2238-9210, v.33, maio/Ago, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/revistapanoramica/index.php/revistapanoramica/article/view/1318>. Acesso em: 06 nov. 2024.

MILLER, Josh; POSADA, Francisco. **Norma PROCONVE P-8 de emissões no Brasil**. ICCT-The International Council on Clean Transportation, p. 1-8, 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Efeito estufa e aquecimento global**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global.html>. Acesso em: 2 nov. 2024.

PAIXÃO, Edson Vieira. **Inspeção Veicular: Contribuição do Catalisador**. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas. Campinas. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=474201> Acesso em: 06 nov. 2024.

PORTO, Leandro Luiz; SANTOS, Thales Fernandes Ferreira dos; PEREIRA NETO, Hamilton dos Santos. **Proconve. O que muda?** 2023. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/21427/1/tecnologiaemlogistica_2024_1%20_%20leandro%20luiz%20porto_%20proconve.pdf Acesso em :06 nov. 2024.

QUIRINO, Felipe Pereira. **Modelagem das emissões de poluentes atmosféricos oriundos da atividade de transporte coletivo por ônibus: Estudo de caso**. São Paulo, SP. 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/218388/TCC_Felipe_Quirino_2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y Acesso em: 06 nov. 2024.

SIMON, Melina Nunes. **O agente redutor líquido de óxido de nitrogênio (ARLA 32) sob a ótica da análise econômica do direito ambiental**. 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/179107/001065818.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 06 nov. 2024.

SISTEMA ARLA. Disponível em: <https://www.emiteco.pentear/si-ar>. Acesso em: 02 nov. 2024.

SOUZA, Kellcia Rezende; KERBAUY, Maria Teresa Miceli. Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. **Educação e Filosofia**, v. 31, n. 61, p. 21-44, 2017.

SQUAIELLA, Lucas L. F., **Efeitos do sistema de recirculação dos gases de escape no controle de emissões de NOx em motores a Diesel**. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas; 2010. 159p. Dissertação de Mestrado Profissional em Engenharia Automobilística. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1612560>. <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2010.771845>. Acesso em: 06 nov. 2024.

TUDAUTO. **O que é um filtro de partículas (DPF)**. Disponível em: <https://www.tudauto.pt/pos/o-qu-e-hum--filtro-de--par-dpf> . Acesso em: 02 nov. 2024.

UBER. **Nossa jornada até o fim das emissões de carbono**. Disponível em: <https://www.uber.com/br/pt-br/sobre/sustentabilidade/> . Acesso em: 08 out. 2024.

WRI Brasil. **4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor**. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/4-graficos-para-entender-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor>. Acesso em: 11 nov. 2024.