

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ

EVOLUÇÃO DO MOTOR CICLO OTTO PARA CONTROLE DE
EMISSÕES E AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

SANTO ANDRÉ
2018

GABRIEL BARTOLO SOBRINHO
MARCOS FELIPE OGUSKU MONTEIRO
PEDRO ALAOR RIBEIRO

EVOLUÇÃO DO MOTOR CICLO OTTO PARA CONTROLE DE
EMISSIONES E AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de
Tecnólogo em Mecânica
Automobilística da FATEC Santo
André orientado pelo Prof. Orlando de
Salvo Junior como requisito parcial
para obtenção do título em tecnólogo

SANTO ANDRÉ
2018

S677e

Sobrinho, Gabriel Bartolo

Evolução do motor Ciclo Otto para controle de emissões e aumento da eficiência energética / Gabriel Bartolo Sobrinho, Marcos Felipe Ogusku Monteiro, Pedro Alaor Ribeiro. - Santo André, 2018. – 40f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2018.

Orientador: Prof. Orlando de Salvo Junior

1. Mecânica. 2. Evolução. 3. Veículos. 4. Motores. 5. Ciclo Otto. 6. Emissões. 7. Eficiência energética. 8. Downsizing. I. Monteiro, Marcos Felipe Ogusku II. Ribeiro, Pedro Alaor III. Evolução do motor Ciclo Otto para controle de emissões e aumento da eficiência energética.

621.43

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 27 DE JUNHO DE 2018

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA
“EVOLUÇÃO DO MOTOR CICLO OTTO PARA CONTROLE DE
EMISSIONES E AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA” DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR _____

MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO _____

PROF. LUIS ROBERTO KANASHIRO _____

ALUNOS:

GABRIEL BARTOLO SOBRINHO _____

MARCOS FELIPE OGUSKU _____

PEDRO ALAOR RIBEIRO _____

Dedicamos este trabalho
à nossa família e amigos por
todo apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a nossa família, aos nossos amigos que nos incentivaram e finalmente, aos professores da FATEC Santo André que proporcionaram conhecimento suficiente para conclusão deste trabalho, em especial nosso orientador Orlando de Salvo Junior

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.”

Marcel Proust

RESUMO

Devido ao aumento contínuo do número de veículos automotores e ao consequente aumento de emissões de poluentes, combinado a contínua preocupação com o meio ambiente, foram necessárias mudanças nos sistemas que compõem o motor ciclo Otto .

Diante disso, este tem por objetivo analisar a evolução tecnológica dos sistemas utilizados nos motores ciclo Otto baseado nos fatores principais que motivaram estas mudanças, além de uma comparação entre duas gerações diferentes de tecnologias relacionando todos os seus benefícios e efeitos.

Foi apresentado que o principal fator para a realização esta evolução foi a criação de leis e regulamentações para redução de emissões do automóvel, forçando assim as montadoras a realizarem mudanças de projeto no motor para atendê-las.

Estas mudanças visam à redução de emissões sem perdas na eficiência. O êxito nessas melhorias é comprovado através do comparativo realizado por meio de testes em veículos de categorias diferentes e projetados em épocas distintas sob diferentes regulamentações e, também, do levantamento teórico de dados sobre as tecnologias aplicadas nestes veículos. Com base nos testes, foi possível verificar uma redução de 21% nas emissões de CO₂ e um aumento de 62% na potência específica entre os veículos utilizados, tendo como ponto negativo o aumento nas emissões de NO_x.

Palavras-chave: Motores, Ciclo Otto, Eficiência energética, Downsizing, Emissões veiculares.

ABSTRACT

Due to the increase of the number of vehicles and the subsequent emissions increase, and the concern about the environment, modifications in the Otto cycle engine systems were needed.

The purpose of this work is to analyze the technology evolution of those systems throughout automotive history based on the main influences that motivated those modifications, as well as doing a comparison between two different generations of technologies connecting its benefits and effects.

It is shown that the main reason to that evolution happen was the creation of laws and regulations targeting the reduction of automotive emissions, obligating vehicle manufacturers to do adjustments to their engine projects.

Those alterations intentions are to reduce emissions without losing efficiency. The success of those improvements is proven through the comparison done with different category vehicles, projected in different periods of production under distinct regulations, and through research and analysis of applied technologies. Based on tests, it was possible to verify a 21% reduction in CO₂ emissions and a 62% increase in specific power between the used vehicles, displaying an increase in NO_x emissions.

Keywords: Engines, Otto cycle, Energy efficiency, Downsizing, Vehicle emissions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Conector OBDII	15
Figura 2 - Carburador Weber 40/46	17
Figura 3 - Funcionamento do carburador.....	18
Figura 4 - Componente K-Jetronic.....	19
Figura 5 - Funcionamento K-Jetronic.....	19
Figura 6 - Injeção Monoponto	21
Figura 7 - Injeção Multiponto	22
Figura 8 - Injeção Direta	22
Figura 9- Injeção Direta.....	23
Figura 10- Sistema injeção Direta + Indireta.....	24
Figura 11- Posicionamento dos injetores diretos e indiretos.....	25
Figura 12- Variador de fase	26
Figura 13- Cames de perfis diferentes.....	27
Figura 14- Uno Turbo.....	27
Figura 15- Turbocompressor	28
Figura 16- Esquema do turbocompressor.....	28
Figura 17- Funcionamento do turbo compressor	29
Figura 18- Motor EcoBoost 2.3L	31
Figura 19- Motor EA211, UP! TSI.....	31
Figura 20- Benz Motorwagen.....	32
Figura 21- Auto Union Type C.	33
Figura 22- Volkswagen Gol 1.6 - 2009	39
Figura 23- Volkswagen Up! TSI 2015	39
Figura 24- Dinamômetro de Rolo - Dynotech 720i.....	40
Figura 25- NAPRO PC SCAN-3000.....	40
Figura 26- AVL Diagnostic 4000	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Avanço tecnológico por período	36
Quadro 2 - Resultados dos testes com veículo Volkswagen Gol.....	47
Quadro 3 - Resultados dos testes com veículo Volkswagen Up! TSI	48
Quadro 4 - Comparativo de dados obtidos	49
Quadro 5 - Consumo médio divulgado no etanol.....	50
Quadro 6 - Estimativa de eficácia de tecnologias para redução de consumo.	50
Quadro 7 - Resultados dos testes de emissões - Volkswagen Gol	51
Quadro 8 - Resultados dos testes de emissões - Volkswagen Up! TSI	51
Quadro 9 - Quantidade de emissões pelo INMETRO	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Torque e potência Volkswagen Gol, 1° Teste	43
Gráfico 2 - Torque e potência Volkswagen Gol, 2° Teste	44
Gráfico 3 - Torque e potência Volkswagen Gol, 3° Teste	44
Gráfico 4 - Torque e potência Volkswagen Up!, 1° Teste	45
Gráfico 5 - Torque e potência Volkswagen Up!, 2° Teste	45
Gráfico 6 - Torque e potência Volkswagen Up!, 3° Teste.	46
Gráfico 7 - Ar/Combustível X Emissões.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CARB - *California Air Resources Board*

CONAMA - Conselho Nacional Ambiental do Meio Ambiente

DTCs - *Diagnose Trouble Code*

EPA – *Environmental Protection Agency*

EPI – Equipamento de Proteção Individual

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

LEV - *Low Emission Vehicle*

NRC - *National Research Council*

OBD – *On Board Diagnosis*

OMC - Organização Mundial de Comércio

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

VVT - *Variable Valve Timing*

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	6
Resumo	8
Abstract.....	9
Lista de Ilustrações.....	10
Lista de Quadros	11
Lista de Gráficos.....	12
Lista de abreviaturas e siglas	13
1. Introdução	13
2. Referencial teórico	14
2.1 Regulamentação	14
2.1.1 Regulamentação de poluentes automotivos.....	14
2.1.2 Controle eletrônico de emissões	14
2.1.3 Regulamentação para eficiência energética.....	15
2.2 Tecnologias do motor ciclo Otto	17
2.2.1 Sistemas de alimentação	17
2.2.1.1 Carburador	17
2.2.1.2 Injeção Mecânica	18
2.2.1.3 Injeção Eletrônica.....	20
2.2.1.4 Injeção Monoponto Analógica	20
2.2.1.5 Injeção Monoponto Digital	21
2.2.1.6 Injeção Multiponto	21
2.2.1.7 Injeção Direta	22
2.2.1.8 Injeção Direta + Indireta	23
2.2.2 Comando de válvulas variável (VVT)	25
2.2.3 Turbocompressor	27
2.2.4 Downsizing	29

2.3	Evolução tecnológica do motor Ciclo Otto.....	32
2.3.1	Século XIX.....	32
2.3.2	Século XX.....	33
2.3.3	Século XXI.....	35
2.4	Ciclos de teste em dinamômetro	37
2.4.1	Teste de emissões	37
2.4.2	Teste de consumo.....	38
3.	Metodologia.....	39
3.1	Ensaio de torque e potência.....	39
3.2	Ensaio de emissões	42
4.	Resultados e discussões.....	43
4.1	Resultados de potência e torque Volkswagen Gol	43
4.2	Resultados de torque e potência Volkswagen Up!	45
4.3	Análise de torque e potência.....	46
4.4	Análise de consumo	49
4.5	Resultados de emissões	50
5.	Considerações finais	53
	Referências.....	54

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a humanidade se tornou cada vez mais dependente dos meios de transporte, tornando os automóveis a opção mais procurada, especialmente os que utilizam motores ciclo Otto. Com o aumento do número de veículos em circulação ocorreu um agravamento de problemas ambientais, principalmente do aquecimento global devido a emissões de CO₂ geradas durante a queima de combustíveis fósseis. Além disso, com o passar do tempo características como, cultura e infraestrutura mudam, e conseqüentemente os veículos precisam acompanhar as exigências impostas pela demanda pública e órgãos regulamentadores. Ou seja, as fabricantes de automóveis devem desenvolver projetos de motores que poluam cada vez menos, mas sem deixar de serem potentes e confiáveis.

Uma vez identificada esta circunstância, foi necessária a busca por soluções, a fim de atenuar ou reverter esta situação. Uma das soluções empregadas ao longo do tempo foi à criação de regulamentações referentes a emissões de veículos, como por exemplo, o *Motor Vehicle Air Pollution Control Act*, de acordo com EPA (2018) criado nos Estados Unidos em 1965 a fim de estabelecer padrões de emissões por veículos automotores. Desde então a *Environmental Protection Agency* (EPA) vem estabelecendo normas e limites de emissões incentivando a criação de tecnologias, como por exemplo, o início da utilização de conversores catalíticos em 1975 e a criação de programas de inspeção em 1983, além de reduzir gradativamente os limites de poluentes até os tempos presentes, segundo EPA (2018).

Com a inovação tecnológica, as metas eram alcançadas e restabelecidas de forma cada vez mais rigorosas, fomentando a criação de projetos cada vez melhores em termos de eficiência econômica, compatibilidade ambiental e flexibilidade operacional.

Este trabalho tem por objetivo analisar a evolução tecnológica dos sistemas utilizados nos motores ciclo Otto baseado nos fatores principais que motivaram estas mudanças, além de uma comparação entre duas gerações diferentes de tecnologias relacionando todos os seus benefícios e efeitos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Regulamentação

O rápido crescimento demográfico e conseqüentemente, o aumento do número de veículos em grandes centros urbanos gera como conseqüência um grande impacto ambiental devido às emissões destes meios de transporte. Devido a isso, foi necessária a criação de normas e legislações para controlar as emissões.

2.1.1 Regulamentação de poluentes automotivos

No Brasil, em 6 de Maio de 1986, foi instituído pelo CONAMA (Conselho Ambiental do Meio Ambiente) o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), que de acordo com CONAMA (1986) tinha como objetivo a redução de emissão de poluentes e também promover o desenvolvimento tecnológico na área. O programa é dividido em fases onde há a diminuição gradativa dos limites de poluentes, e atualmente está na fase 6.

Para garantir que os objetivos continuariam respeitados durante a vida útil dos veículos, foram instaurados programas de inspeção e manutenção dos automóveis em circulação, além dos programas de conscientização da população. Atualmente a inspeção veicular é realizada somente no estado do Rio de Janeiro.

2.1.2 Controle eletrônico de emissões

Um dos recursos utilizados para monitorar a conformidade das emissões em relação aos limites propostos é o sistema de diagnóstico a bordo (OBD). As funções de diagnóstico OBD verificam e monitoram todos os componentes e ações para assegurar a conformidade em relação aos limites de emissões, conforme Bosch (2005).

FIGURA 1 - CONECTOR OBDII



FONTE: PASSATWORLD (2007)

O primeiro sistema de diagnóstico OBD entrou em vigor em 1988 e passou a ser utilizado em larga escala nos Estados Unidos em 1991, devido à CARB (*California Air Resources Board*), e passou a se chamar OBD II em 1994 devido à norma LEV I (*Low Emission Vehicle*), onde o padrão de conector OBD e os DTCs (*Diagnose Trouble Code*) foram definidos. Segundo Bosch (2005), o padrão OBD II passou a ser obrigatório em todos os veículos de passeio e caminhões leves com peso total permissível de até 3,85 t e de até 12 lugares produzidos a partir de 1996 nos Estados Unidos.

Essas características e limites de emissões deram origem a legislações em diversos países, com mudanças de acordo com as características específicas de mercado e leis ambientais.

Uma dessas versões de sistema é o OBD Br-1, onde entrou em vigor no Brasil inicialmente em 2007, e na versão OBD Br-2 durante a fase L5 do PROCONVE em 2010. De acordo com IBAMA (2009) as principais características desse sistema em sua primeira fase são a padronização do conector, Figura 1, e a leitura de códigos de falha, e em sua segunda fase o suporte a utilização do segundo sensor de oxigênio.

2.1.3 Regulamentação para eficiência energética

Inovar-Auto foi o regime automotivo criado pelo governo brasileiro que por buscava por meio do programa incentivar a inovação tecnológica focando na cadeia produtiva de veículos automotores. O principal objetivo do programa foi “apoiar o desenvolvimento tecnológico, a inovação, a segurança, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade dos veículos...” (BRASIL, Decreto nº7819 Art. 1º,

2012). O programa trabalhava por meio de metas que quando alcançadas geravam uma redução de IPI, imposto sobre produtos industrializados. Os critérios sob os quais foram estabelecidas metas eram: eficiência energética; aumento de segurança nos veículos e maior volume de gastos em tecnologia pesquisa e desenvolvimento, produção local e treinamento. Além disso, as montadoras e principais fornecedoras de material deveriam especificar a quantidade de peças e materiais importados empregados ou agregados no veículo produzido. O período de vigência e avaliação das metas de eficiência energética encerrou em 2017.

O Inovar-Auto foi encerrado em dezembro de 2017, e a meta era que fosse substituído por um novo sistema de regulamentação aperfeiçoado, chamado de Rota 2030. Este programa está sendo elaborado pelo governo com a ideia de que a sustentabilidade e a eficiência energética devem ser priorizadas na redução de impostos independente do motor ou combustível que o veículo utiliza, podendo assim incentivar a produção de veículos elétricos e híbridos no Brasil.

Segundo AUTODATA (2017), alguns parâmetros e critérios do programa já foram definidos, como por exemplo, a duração que deve ser de 15 anos, e os incentivos fiscais para as montadoras que atenderem o programa. Outros parâmetros estão em discussão como a obrigatoriedade de itens de segurança que já são utilizados com regularidade fora do país.

Em função deste programa ainda não estar vigorando, o país não tem regulamentação referente a investimentos no ramo automotivo. Sem o projeto que viabiliza a redução de custo de investimentos em novas tecnologias as montadoras não têm incentivos para a aplicação de novas tecnologias que eram esperadas neste ano.

2.2 TECNOLOGIAS DO MOTOR CICLO OTTO

2.2.1 Sistemas de alimentação

2.2.1.1 Carburador

Para o funcionamento correto do motor ciclo Otto, é necessária a mistura ideal de ar e combustível na hora que a combustão está sendo realizada. Com essa informação em mente, era necessário que algum componente em um veículo automotivo fosse capaz de cumprir esse fenômeno de atomização do hidrocarboneto líquido em quantidades controladas.

O responsável por tal feito é o carburador, Figura 2, e ao longo da história diversos estudos foram aplicados para melhorar seu funcionamento, entretanto graças ao avanço eletrônico dos componentes e o controle das emissões regido por lei, o carburador precisou dar lugar a novas tecnologias.

FIGURA 2 - CARBURADOR WEBER 40/46

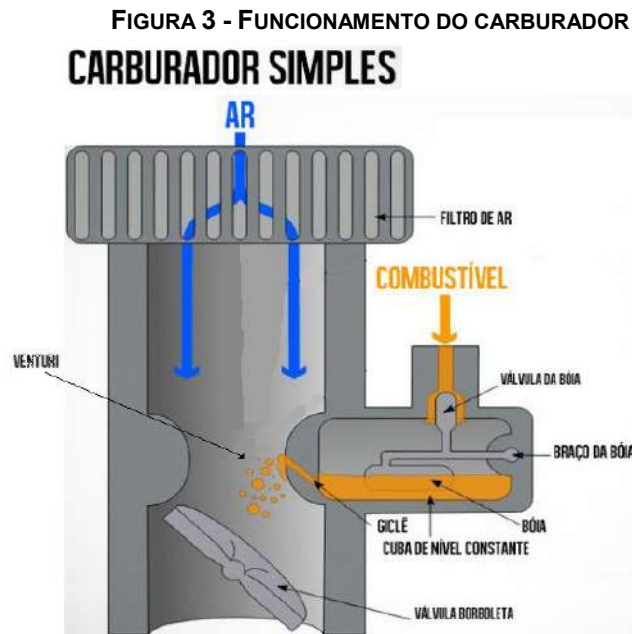


FONTE: GICLAGEM (2016)

Seu mecanismo é totalmente mecânico e a maioria dos modelos tem como base o princípio de Bernoulli, onde a velocidade de uma partícula de um fluido aumenta enquanto ela se escoa ao longo de uma linha de corrente.

Segundo Contesini (2014), o carburador recebe o ar filtrado que veio do coletor de admissão e passa por um estreitamento, onde há também um giclê que injeta continuamente o combustível, como mostrado na Figura 3. Abaixo desse giclê, há uma válvula borboleta que é comandada pelo pedal do acelerador, por sua vez

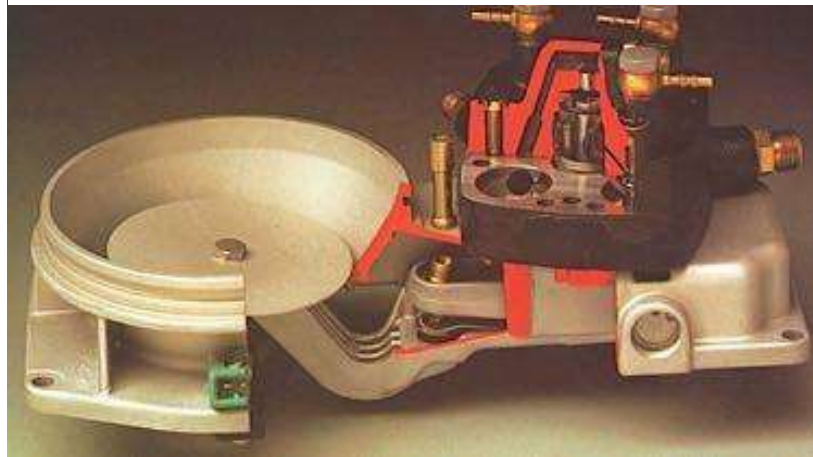
determinando a quantidade de ar que entra, quanto maior o fluxo de ar, maior o vácuo no estreitamento e mais combustível sendo sugado da cuba, aumentando sua potência. Já em marcha-lenta, a borboleta fica totalmente fechada e um sistema independente faz com que o motor receba a mistura de ar combustível necessária para a partida.



FONTE: ADAPTADO DE FLATOUT (2014)

2.2.1.2 Injeção Mecânica

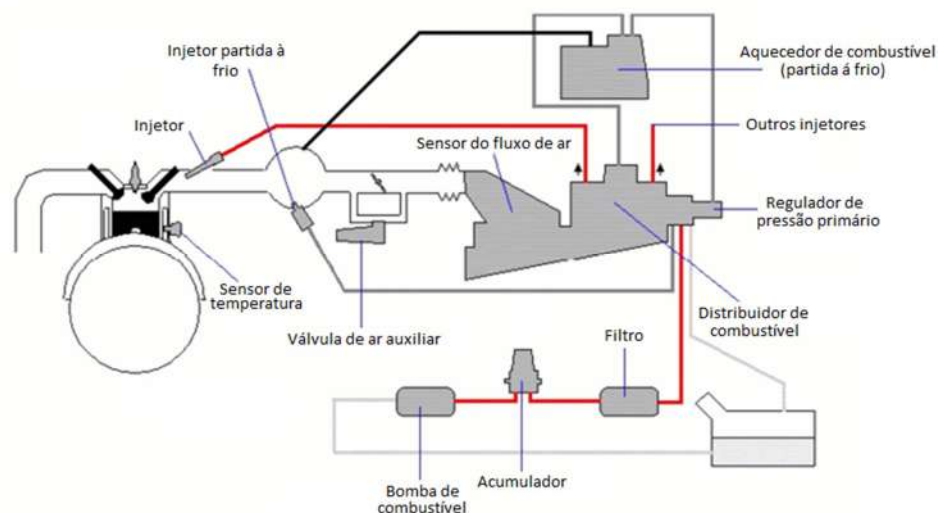
A injeção mecânica pode ser considerada como a evolução do carburador, porém, por mais que fosse mais eficiente que o carburador, acabou sendo substituída por não atender as regulamentações de emissões, segundo Kuhlitz (2017). O principal exemplo deste tipo de injeção foi a K-Jetronic, Figura 4, a qual foi utilizada na época de 1970, principalmente em marcas de luxo, como Porsche, Volvo e Mercedes. De acordo com Kittler (2001) o último modelo em fabricação em linha que usou esse sistema foi o Porsche 911 Turbo em 1994.

FIGURA 4 - COMPONENTE K-JETRONIC

FONTE: MARKEL (2016)

De acordo com Bosch (2000), injeção K-Jetronic, trata-se de um sistema totalmente mecânico e que possui um elevado controle da quantidade de combustível que deve ser injetado para realização da mistura carburante. Pois seu funcionamento é diferente dos sistemas de injeção em que o combustível flui continuamente por todos os injetores, enquanto a bomba pressuriza o combustível, além disso, esse sistema não possui um controle por sonda lambda.

Segundo Bosch (2000), a quantidade aspirada de ar que é a responsável por determinar a quantidade exata de combustível, pois dessa forma o sistema consegue correlacionar e equiparar a relação a todo instante. Assim, o combustível que é aspirado por uma bomba elétrica é enviado ao distribuidor e de lá para os injetores que na verdade são válvulas de retenção de mola simples com bocais.

FIGURA 5 - FUNCIONAMENTO K-JETRONIC

FONTE: ADAPTADO DE GOLF-PIRELLI (2015)

Uma vez que a pressão do sistema de combustível se torna alta o suficiente para superar o contra mola, os injetores começam a pulverizar, se deparando com a quantidade exata de ar, dessa forma realizando a melhor combustão possível.

Caso durante o processo ocorra alguma dosagem fora do especificado e aconteça de existir combustível excedente, um sistema de retorno faz com ele volte para o tanque.

2.2.1.3 Injeção Eletrônica

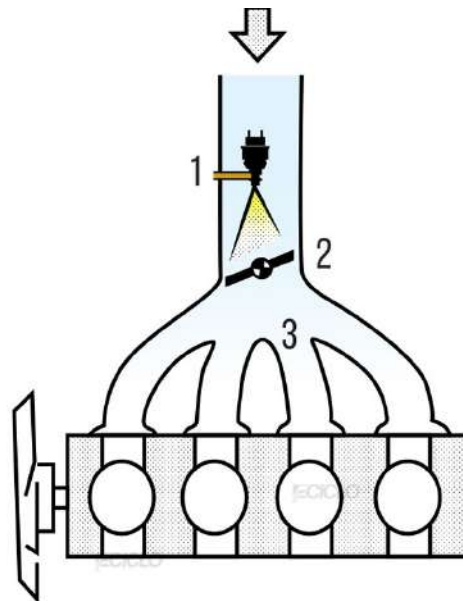
Por não possuir bicos injetores, o sistema com carburadores não é considerado um sistema de injeção de combustível. Mesmo que tenha sido o principal meio de alimentação do motor e evoluído muito ao longo do tempo, ele não conseguia atender as metas de redução de poluentes impostas por lei. Então foi desenvolvida a injeção eletrônica, com intuito de diminuir emissões, garantindo a injeção no tempo correto e uma mistura estequiométrica.

Segundo Contesini (2015) os primeiros veículos utilizando sistemas de injeção eletrônica surgiram na década de 1950, porém devido à falta de tecnologia adequada, eles não apresentavam um bom desempenho. A ideia foi comprada pela Bosch que realizou melhorias no sistema e a utilizou no Volkswagen 1600 TL/E na Alemanha, o sistema era bem mais elaborado e usava sensores de velocidade e densidade do ar na admissão para calcular a massa de ar e assim determinar a quantidade de combustível a injetar. No Brasil, o primeiro veículo a utilizar o sistema de injeção eletrônica foi o Volkswagen Gol GTI em 1988.

2.2.1.4 Injeção Monoponto Analógica

Segundo Bosch (2005), o diferencial deste sistema é a existência de só uma válvula de injeção para alimentar todos os cilindros do motor, a qual fica posicionada acima do corpo de borboleta de aceleração. De acordo com Overcar (2008 apud HURTADO; SOUZA, 2013), seu funcionamento caracterizou-se pelo aumento na eficiência do motor, devido ao controle correto da mistura ar-combustível.

FIGURA 6 - INJEÇÃO MONOPONTO



FONTE: ADAPTADO DE GLEHN (2017)

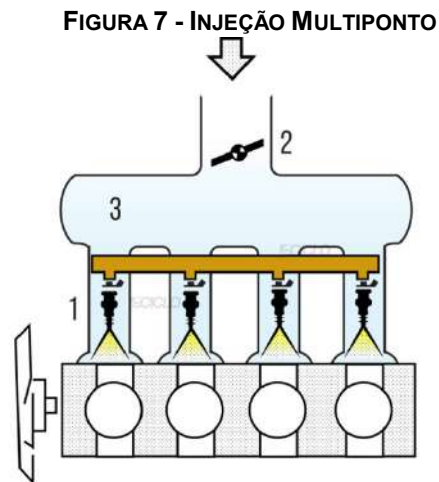
2.2.1.5 Injeção Monoponto Digital

Foi criado pela Bosch no início da década de 1990 para substituir a injeção monoponto analógica, a qual sofria com interferências externas de sinal e escassa mão de obra qualificada para manutenção. Segundo Overcar (2008 apud HURTADO; SOUZA, 2013), seu funcionamento era semelhante ao da injeção analógica, porém com integração com o sistema de ignição, auto diagnóstico e outros recursos provenientes de sensores espalhados pelo motor garantindo maior precisão na injeção de combustível e gerando maior controle do funcionamento do motor.

2.2.1.6 Injeção Multiponto

Com o avanço tecnológico, no final da década de 1990, foi criada a injeção multiponto. Nela a injeção de combustível ocorre em todos os cilindros, próxima às válvulas de admissão, Figura 7. Isso possibilita que a quantidade injetada de combustível em cada cilindro seja maior, gerando um controle mais preciso na calibração do motor e segundo Altese (2008 apud HURTADO; SOUZA, 2013) permite um ganho de até 15% em torque e potência.

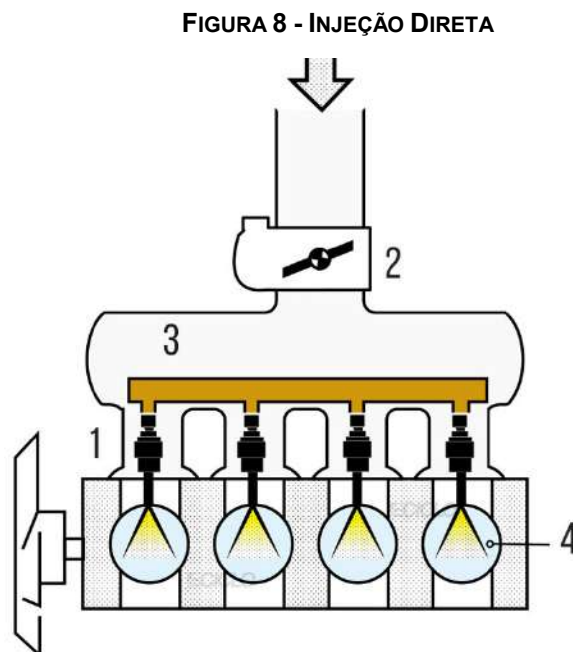
Dentre as vantagens da injeção multiponto está a possibilidade de utilizar um coletor de admissão feito de plástico, já que por ele só passará ar. A adoção de um coletor de plástico garante menor resistência ao ar, menos peso e menor custo.



FONTE: ADAPTADO DE GLEHN (2017)

2.2.1.7 Injeção Direta

Ao contrário da injeção indireta, na injeção direta o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão, Figura 8 e existem dois modos de operação: homogênea e a estratificada.



FONTE: ADAPTADO DE GLEHN (2017)

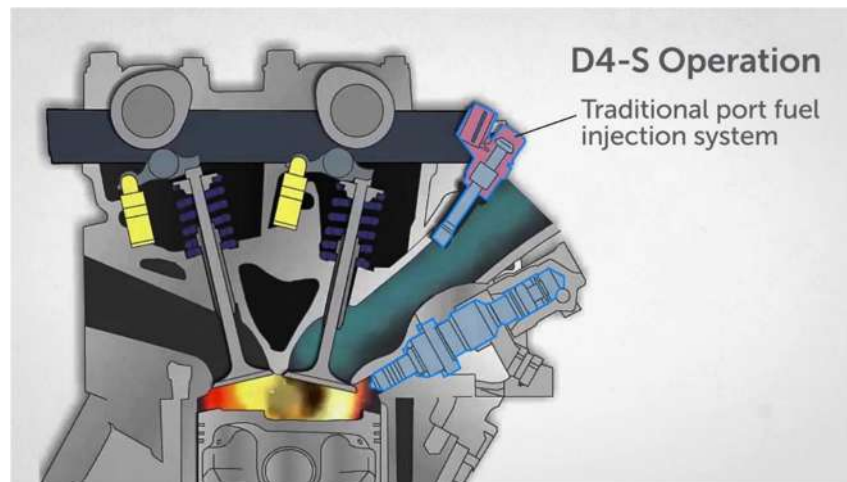
FIGURA 9– INJEÇÃO DIRETA**FONTE: BOSCH (2013)**

Segundo Bosch (2005) na operação homogênea a mistura é formada de modo semelhante à injeção indireta e em relação estequiométrica. Porém, o combustível só pode ser injetado durante a fase de admissão do motor, ou um deslocamento de 180° da árvore de manivelas, diferente da injeção indireta onde pode ocorrer em todos os 720°, para evitar que o combustível não queimado não vá para o sistema de exaustão. O sistema tem valores elevados de vazão e pressão, que ocasiona um aumento da turbulência na câmara melhorando a formação da mistura.

Já na operação estratificada a carga do motor é regida pela quantidade de combustível injetada, uma vez que “[...] a quantidade total de ar é introduzida na câmara de combustão e apenas uma parte do ar interage com o combustível e é enviado à vela de ignição” (BOSCH, 2005, p. 613). De acordo com Altese (2008 apud HURTADO; SOUZA, 2013), este modo de operação oferece uma redução na tendência à detonação, possibilitando um aumento na compressão do motor aumentando a eficiência.

2.2.1.8 Injeção Direta + Indireta

Observando as características dos dois tipos de injeção, em 2005 foi lançado pela Lexus o primeiro motor de ciclo Otto utilizando injeção direta e indireta na mesma unidade. O motor 3.5 V6 denominado 2GR-FSE foi utilizado em diversos veículos da marca japonesa, e segundo Yamaguchi (2006) dependendo da aplicação rendia de 249HP a 6000RPM com 317Nm de torque, até 360HP a 6400RPM com 398Nm de torque, produzidos sem a aplicação de turbocompressores.

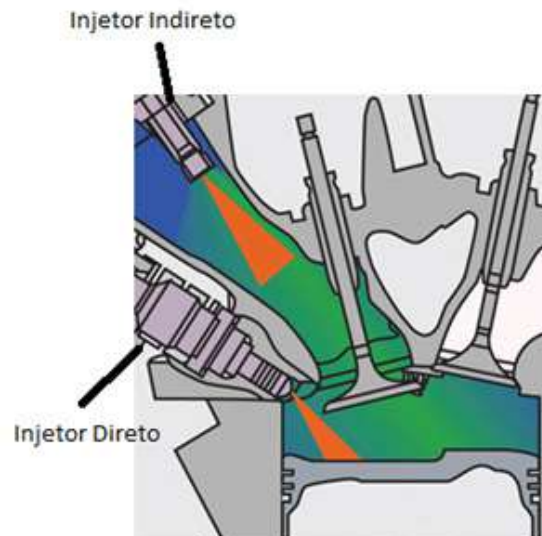
FIGURA 10– SISTEMA INJEÇÃO DIRETA + INDIRETA

FONTE: TOYOTA (2016)

Neste sistema a injeção direta e indireta é controlada eletronicamente dependendo das condições de uso do motor. Quando o motor está sob cargas médias ou altas em rotações baixas, os dois sistemas são utilizados simultaneamente, criando uma mistura mais homogênea, aumentando a eficiência e conseqüentemente reduzindo as emissões. Já durante cargas maiores no motor apenas a injeção direta é utilizada, uma vez que reduz a tendência à detonação, possibilitando uma maior taxa de compressão aumentando a potência do motor.

Outro exemplo de uso deste sistema é durante a partida a frio do motor, onde o combustível é enviado à câmara de combustão a partir dos injetores localizados antes da válvula de admissão, criando uma mistura homogênea e pobre. Em seguida, o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão depois da metade do ciclo de compressão, tornando a mistura ar-combustível mais adequada e possibilitando uma melhor combustão utilizando um ponto de ignição mais atrasado, aumentando a temperatura do catalisador e da sonda lambda rapidamente, o que segundo Ikoma et al (2006) promove um menor espaço de tempo de funcionamento a frio reduzindo as emissões de HC.

FIGURA 11- POSICIONAMENTO DOS INJETORES DIRETOS E INDIRETOS



FONTE: ADAPTADO DE MASSON (2012)

2.2.2 Comando de válvulas variável (VVT)

O comando de válvulas coordena os intervalos de troca de gases que ocorrem na câmara de combustão, fator cada vez mais importante principalmente pela aplicação de turbocompressores. Para a realização da troca dos gases o comando de válvulas, que realiza a metade das voltas do virabrequim, aciona os tuchos por meio dos ressaltos presentes no eixo, que de acordo com o tamanho e perfil modificam o percurso e tempo de permanência das válvulas.

Outro fator importante para a troca de gases do motor ciclo Otto é a sincronização entre as válvulas de admissão e escape, onde de acordo com Bosch (2005) antes do ponto morto superior do pistão e antes que a válvula de escapamento tenha se fechado, a válvula de admissão se abre aspirando ar limpo para dentro do cilindro. Segundo Chehroudi (1996) a válvula de admissão exerce um papel importante na relação entre consumo de ar e a velocidade do motor, por exemplo, a eficiência máxima da carga do motor ocorre a baixas velocidades quando a válvula se fecha cedo, enquanto que o fechamento retardado aumenta a eficiência em altas velocidades do motor devido a inércia do ar admitido. Analisando essas características, conforme Bosch (2005), percebeu-se que a sincronização fixa das válvulas representa um compromisso entre torque máximo em rotações menores e potência e eficiência volumétrica máxima em rotações altas. Essas condições levaram

à utilização de sincronização variável das válvulas, popularmente conhecida como comando variável ou *variable valve timing* (VVT).

Segundo Bosch (2005) um dos sistemas mais utilizados atualmente é o ajuste da fase do eixo de comando de válvulas em relação a árvore de manivelas sem afetar o período de abertura de válvulas nem o levantamento das mesmas. Os comandos podem ser acionados eletricamente ou eletro-hidraulicamente e podem ter apenas duas ou infinitas posições definidas, dependendo do sistema, e ajustam o fechamento das válvulas de admissão de acordo com a rotação do motor, aumentando o rendimento do motor em todas as faixas de operação. De acordo com Chehroudi, 1996 os ajustes na fase do comando de válvulas estão diretamente relacionados com emissões, torque e potência do motor e estabilidade da marcha lenta.

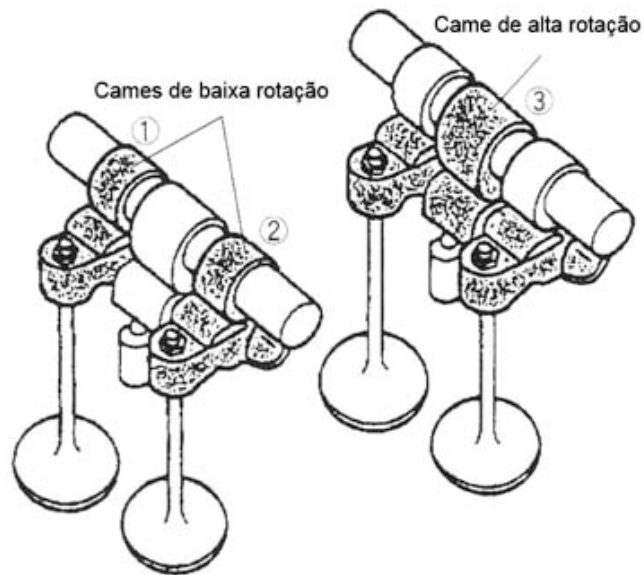
FIGURA 12- VARIADOR DE FASE



FONTE: ADAPTADO DE RODRIGUEZ (2016)

Outro sistema é o de controle do ressalto do eixo de comando de válvulas, permite a alternância entre dois ressaltos separados com perfis diferentes, onde de acordo com Bosch (2005) um é utilizado nas faixas inferiores e médias de velocidade do motor e o outro para um maior levantamento das válvulas para velocidades maiores do motor, elevando ainda mais a potência em rotações elevadas. Este sistema é utilizado principalmente em veículos esportivos.

FIGURA 13- CAMES DE PERFIS DIFERENTES



FONTE: SAMAHA (2007)

2.2.3 Turbocompressor

O princípio de funcionamento do turbo como o conhecemos começou a ser aplicado em motores de combustão interna no início do século XX, porém apenas em motores de aplicação aeronáutica e ferroviária. Sua aplicação em veículos começou em caminhões, passou para veículos de corrida e foi aplicada em veículos de passeio somente no início dos anos 60, porém esses primeiros modelos apresentavam dezenas de problemas de projeto.

Apenas na década de 1970 os motores turbos alimentados voltaram a se popularizar principalmente em veículos esportivos de luxo e veículos de competição, porém foi na década de 1990 que os veículos de rua tiveram uma maior receptividade para os turbocompressores.

FIGURA 14- UNO TURBO



FONTE: CONTESINI (2014)

Nos anos 2000 começaram a serem estudadas as vantagens do turbo, e segundo Contesini (2014) as montadoras passaram a trazer a tecnologia dos turbos para motores menores em veículos de passeio com o intuito de reduzir consumo e emissões.

FIGURA 15- TURBOCOMPRESSOR



FONTE: CONTESINI (2014)

O turbo tem como função aproveitar o fluxo de gases de escape para movimentar uma turbina, a qual por sua vez dá movimento a um compressor responsável por elevar a pressão do ar admitido, aumentando assim a alimentação do motor conforme mostrado na Figura 14.

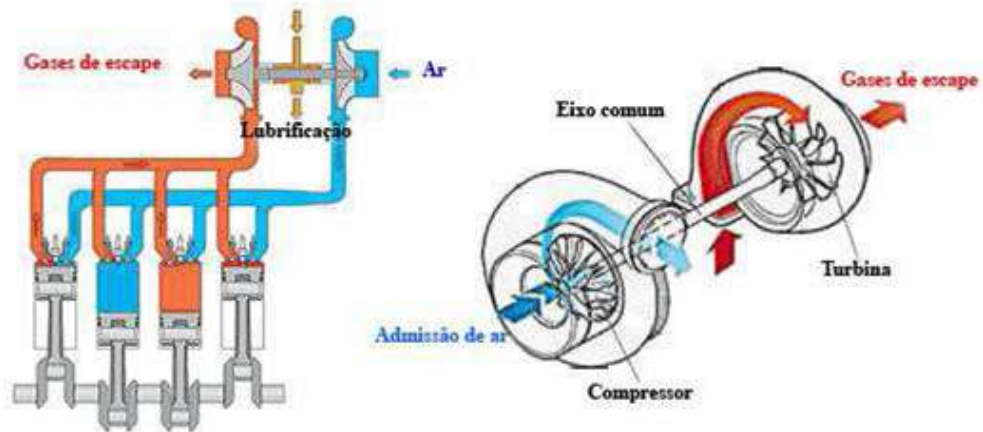
De acordo com Silva (2008) seu funcionamento é dividido em três fases de carga. A carga parcial inferior, onde o compressor não opera devido ao baixo fluxo de gases de escape, levando o motor a apenas aspirar o ar. A carga parcial média, em que o motor é sobrealimentado por um ar pré-comprimido pelo compressor. A plena carga, onde o ar é comprimido na pressão máxima suportada pelo compressor devido ao aumento do fluxo de gás de escape.

FIGURA 16- ESQUEMA DO TURBOCOMPRESSOR



FONTE: ADAPTADO DE BTN TURBO (2016)

FIGURA 17- FUNCIONAMENTO DO TURBO COMPRESSOR



FONTE: SOLIQUE (2015)

Segundo PETITJEAN et al. (2004) a aplicação do turbo permite um downsizing no motor de até 30%, diminuindo seu consumo em até 10% enquanto melhora a taxa de torque e potência e tem também vantagens como desempenho com menos perdas em altitudes elevadas, potência plena em rotações menores e menos ruídos.

2.2.4 Downsizing

Conforme Higa (2011) o conceito básico de Downsizing na indústria automotiva é reduzir o tamanho dos motores e mesmo com sua capacidade cúbica menor, apresentar um desempenho, potência e torque semelhantes a um motor de capacidade cúbica maior.

De acordo com Patil (2017) os benefícios do downsizing são indicados pela relação entre a redução dos gases estufa, principalmente o dióxido de carbono e o dióxido de nitrogênio, e um menor consumo de combustível devido ao uso de sistemas como comando de válvulas variável, reduzindo o combustível residual nos cilindros.

Patil (2017) também ressalta a importância do peso do bloco do motor, já que em sua grande maioria houve a redução de cilindros, dessa forma diminuindo significativamente as dimensões do motor e a carga sob ele.

Por fim, a diminuição do tamanho tende a produzir menor perda mecânica em termos de atrito devido à área de contato entre as partes serem menores, já a redução de consumo de combustível está diretamente ligada com a forma que o motor está operando, porém, é possível identificar redução quando comparado a um motor comum que não sofreu aplicação do conceito downsizing, afirma Nozawa (1994).

Os principais fabricantes de motores estão fazendo esforços constantes para alcançar tais pontos com excelência através do desenvolvimento de diferentes áreas, embora a maior parte das emissões e a redução do consumo de combustível sejam vistas através do aumento da eficiência do *powertrain*.

Dessa forma, o downsizing se torna o principal elemento para a melhora significativa na eficiência do *powertrain*, conforme Lang (2004).

Exemplos de motores que sofreram forte aplicação do conceito de Downsizing são os denominados *EcoBoost* da Ford, Figura 15, e o 3 cilindros do UP! 1.0 TSI, Figura 16.

Aprofundando um pouco mais na tecnologia EcoBoost, encontramos a harmonia das tecnologias. Segundo Lalli (2015), o EcoBoost conta com sistema de injeção direta, turbocompressor com gerenciamento eletrônico, sendo ele, um dos principais componentes para que o veículo mesmo apresentando um motor menor, ainda consiga entregar potência igual ou superior aos seus modelos antecessores. Também é fundamental dizer que estruturalmente o motor também mudou, como o exemplo dos pistões que possuem refrigeração especial e tratamento em sua superfície para redução do atrito. Visando a redução de peso, de acordo com Ford (2017) muitos componentes, incluindo o bloco tiveram seus antigos materiais substituídos por alumínio.

FIGURA 18- MOTOR EcoBOOST 2.3L**FONTE: ADAPTADO DE MAGDA (2013)**

No motor do UP! existe uma mudança significativa. O conhecido motor 4-cilindros passou a ter somente 3. Segundo Pielecha (2014), essa redução influencia diretamente no peso e no tamanho do motor, uma vez que um cilindro a menos significa diversos equipamentos a menos. O atrito também é reduzido, já que existem apenas 3 mecanismos em funcionamento. O consumo também apresenta números gratificantes já que por se tratar de um veículo leve, atrito reduzido, potência e torque específicos elevados em suas respectivas rotações pertinentes, o motor trabalha na sua eficiência máxima e conseqüentemente consumindo o mínimo.

FIGURA 19- MOTOR EA211, UP! TSI**FONTE: CARBEL (2015)**

2.3 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DO MOTOR CICLO OTTO

2.3.1 Século XIX

No século 19 a humanidade já procurava formas de tração não animal para os veículos. Foram criados motores movidos a gases explosivos, petróleo e alguns de seus derivados até que Nikolaus August Otto começou a criação de seu motor com quatro tempos, sendo eles: admissão, compressão, explosão e exaustão.

- 1870 – 1899

Segundo Daimler (2017) em 1876 em parceria com Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach, Nikolaus Otto fabricou seu primeiro motor, cujo ciclo de combustão foi batizado com seu nome, sendo chamado de Motor Ciclo Otto.

Foi produzido em 1885 o primeiro automóvel para vendas com o motor ciclo Otto, o Benz Motorwagen, Figura 17, criado por Karl Benz, conforme Daimler (2017). Este veículo usava em conjunto com o motor Ciclo Otto um controle feito pelo motorista que determinava a mistura ar-combustível.

Começam a ocorrer melhorias no sistema de Carburador para facilitar o processo de mistura.

Em 1896 foi criado por Maybach um carburador que garantia que os motores não fossem “afogados” pelo combustível.

FIGURA 20- BENZ MOTORWAGEN



FONTE: DAIMLER (2018)

2.3.2 Século XX

- 1900 - 1920

No início do século 20, a tecnologia de comando de válvulas foi aprimorada, em 1912 foram apresentados motores com duplo comando no cabeçote com duas ou quatro válvulas por cilindro.

Em 1914, a Mercedes também partiu para os motores multiválvulas, mas ainda com o sistema de uma árvore de comando comum aos sistemas de admissão e escapamento.

- 1920 – 1939

Segundo Belli (2013), o principal marco deste período foi o desenvolvimento de compressores mecânicos de deslocamento positivo, os quais permitiam elevar o rendimento volumétrico dos motores, admitindo maior quantidade de mistura ar-combustível para dentro do cilindro, o que gerava uma combustão maior e com mais qualidade na queima, esses veículos eram conhecidos como superalimentados, ou *superchargers*.

Os motores superalimentados eram privilégio de veículos de corrida, até que algumas empresas começaram a utilizar a tecnologia em veículos de rua.

Nos anos 30 foi criado para corrida o Auto Union Type C, Figura 18, que era equipado com um motor V16 e foi um dos precursores dos superalimentados.

FIGURA 21- AUTO UNION TYPE C.



FONTE: CONTESINI (2014)

- 1939 - 1949

Devido à segunda guerra mundial, as tecnologias passaram a ser mais voltadas para motores aeronáuticos, gerando certa estagnação no desenvolvimento de motores para automóveis. Porém durante esses anos foram estudadas as aplicações de materiais com propriedades melhores além de algumas alterações no combustível, causando assim maior eficiência.

- 1950 – 1959

Na década de 1950, começou a ser estudada a aplicação de sistemas de injeção eletrônica em automóveis, anteriormente esse sistema era utilizado na área aeronáutica, porém sua aplicação em veículos de linha não obteve êxito.

- 1960 – 1969

Começou a ser testada pela Fiat a aplicação de sistemas de comandos de válvulas variáveis, os balancins eram articulados por meio de um sistema hidráulico conforme Belli (2013). Esse sistema era utilizado anteriormente na área aeronáutica.

Em 1969 foi lançado o Volkswagen TL/E, primeiro veículo a ser fabricado com um sistema de injeção eletrônica, conforme Contesini (2015).

- 1970 - 1979

É aplicado em veículos de luxo o sistema de injeção K-JETRONIC, sistema de notável importância nas constantes evoluções nos sistemas de injeção.

A Conferência de Estocolmo afeta a produção de automóveis ao analisar os impactos do homem no meio ambiente, veículos passam a ter regulamentações para redução das emissões atmosféricas.

- 1980 - 1989

Começam a ser estudados os efeitos na natureza causados pelas emissões automotivas, gerando leis e projetos para reduzir emissões e incentivando pesquisas, no Brasil entrou em vigor em 1986 o CONAMA, enquanto nos Estados Unidos foi iniciado o programa de inspeção via OBD.

De acordo com Contesini (2015) em 1989 é lançado o GOL GTI, o primeiro veículo a utilizar injeção eletrônica fabricado em território Brasileiro.

- 1990 - 1999

Em 1991 o OBD começa a ser utilizado em larga escala nos EUA, em 1994 começa a ser utilizado o OBD II devido a avanços tecnológicos do motor e também devido a novas exigências de leis de emissões.

São aplicados sistemas mais avançados de injeção, como a monoponto digital e posteriormente multiponto, melhorando a eficiência do motor.

2.3.3 Século XXI

- 2000 - 2009

Lançado motor que utilizava o princípio de injeção direta e indireta pela Lexus em 2005 Yamaguchi (2006).

Turbo passa a ser utilizado com outros propósitos além do aumento de potência, segundo Contesini (2014).

Início do estudo do Downsizing e suas vantagens

- 2010 - Dias Atuais

Início e fim da aplicação do programa Inovar-Auto no Brasil, o qual incentivava melhorias na eficiência energética do motor e a redução de emissões.

Começam a ser utilizados motores de 3 cilindros no Brasil, que prometem maior potência e eficiência energética, além de prometer menor taxa de poluição atmosférica.

Aplicação em massa dos princípios do downsizing.

Para maior compreensão dos dados descritos, segue Quadro 1, que resume o avanço tecnológico por período.

QUADRO 1 - AVANÇO TECNOLÓGICO POR PERÍODO

PERÍODO	TECNOLOGIA	MOTIVO
1870 → 1899	Criação do motor ciclo Otto e do carburador	Melhorar a locomoção por meio de veículos de tração não animais
1900 → 1920	Criação de veículos com múltiplas válvulas	Aumento de potencia
1920 → 1939	Criação dos primeiros turbocompressores.	Aumento de potencia e melhora na queima do combustível
1939 → 1949	Período carente de avanços devido à segunda guerra mundial	
1950 → 1959	Primeiros protótipos de injeção eletrônica	Aumento de eficiência do motor
1960 → 1969	Primeiros protótipos de comando de válvula variável Primeiro veículo com injeção eletrônica	Aumento de eficiência do motor
1970 → 1979	Criação do sistema k-Jetronic Inicio das regulamentações de emissões.	Aumento de eficiência do motor. Preocupação com os danos causados pelo aumento das emissões atmosféricas no meio ambiente

1980 → 1989	Início das regulamentações sobre emissões no Brasil	Preocupação com meio ambiente e efeitos do aumento do número de automóveis no mundo
1990 → 1999	Início do uso em larga escala do sistema ODB nos Estados Unidos Aplicação de turbocompressor em veículos de rua Aplicação de sistemas de injeção eletrônica Fim dos veículos Carburados	Garantir o perfeito funcionamento do veículo Melhor a eficiência do motor e melhorar a queima, reduzindo emissões.
2000 → 2009	Utilização de novos tipos de injeção Aplicação do turbo com propósitos de redução de emissão e consumo	Melhorias na eficiência energética do motor, redução de emissões de maneira mais severa
2010 → Dias Atuais	Instauração do Inovar-Auto no Brasil	Regulamentação dos veículos produzidos no Brasil.
	Aplicação em massa do downsizing	Redução dos motores visando melhorias em emissões e custo.

FORNE: AUTORES (2018)

2.4 CICLOS DE TESTE EM DINAMÔMETRO

2.4.1 Teste de emissões

De acordo com ABNT (2001) para a obtenção de valores de emissões, o INMETRO utiliza a norma NBR 6601, o qual determina o nível de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono no gás de escapamento. Durante o ensaio o veículo simula uma viagem média, em área urbana e o resultado é dado pela média ponderada entre os ciclos de partida a frio e a quente representando uma viagem padrão. O gás coletado durante o ensaio é diluído em ar, obtendo uma vazão total constante. As massas das emissões são determinadas

através das concentrações finais da amostra e do volume total da mistura obtido durante toda a fase de ensaio.

2.4.2 Teste de consumo

Para a obtenção de valores de consumo, o INMETRO utiliza a norma NBR 7024 que se aplica em veículos rodoviários automotores leves com motores ciclo Otto.

O consumo urbano é determinado pela média ponderada entre os valores de consumo obtidos no ciclo de condução urbana na mesma proporção usada conforme NBR 6601. O consumo de combustível de estrada é medido durante a condução do veículo, através de um ciclo de condução de estrada.

Conforme ABNT (2002) a medição do consumo de combustível pode ser feita por dois métodos: gravimétrico/volumétrico e método por balanço de carbono. O primeiro mede diretamente a massa ou volume de combustível fornecido ao veículo. E o segundo, a partir das massas das emissões apresentadas na NBR 6601, e pela massa de etanol emitida pelo motor.

3. METODOLOGIA

3.1 Ensaio de torque e potência

A fim de obter dados de potência e torque para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizados testes em dinamômetro, seguindo a norma NBR 1585 com dois veículos de gerações diferentes, sendo um Volkswagen Gol 1.6 2009, Figura 19 e um Volkswagen Up! TSI 2015, Figura 20.

FIGURA 22- VOLKSWAGEN GOL 1.6 - 2009



FONTE: AUTORES (2018)

FIGURA 23- VOLKSWAGEN UP! TSI 2015



FONTE: AUTORES (2018)

O Gol é um veículo de treinamento que pertence a FATEC Santo André, o qual é utilizado apenas para testes estáticos e encontrava-se com 47.060km no momento do teste, já o Up! TSi é um veículo de uso pessoal, que se encontrava com 35.940km rodados principalmente em circuito urbano.

Os testes foram realizados e supervisionados pelo docente Marco Aurélio Fróes no dinamômetro de rolo Dynotech 720i, Figura 21 da FATEC Santo André, seguindo todas as normas de segurança juntamente com a utilização de EPI's.

FIGURA 24- DINAMÔMETRO DE ROLO - DYNOTECH 720I



FONTE: AUTORES (2018)

Também foram utilizados outros equipamentos para aquisição dos dados de controle dos testes como o scanner NAPRO PC SCAN-3000, Figura 22.

FIGURA 25- NAPRO PC SCAN-3000



FONTE: AUTORES (2018)

Para realização dos testes de forma comparativa, ambos os veículos foram abastecidos com 100% de etanol hidratado (E100). Depois de posicionar o veículo no dinamômetro os pneus foram calibrados a 80% de sua pressão máxima de trabalho a fim de obter resultados mais precisos. Após a identificação dos pontos de fixação corretos no veículo as cintas de carga e direcional são posicionadas, além da trava no pneu traseiro. Uma vez realizadas essas etapas o scanner é conectado via porta OBD com o propósito de coletar e monitorar os parâmetros de funcionamento do motor durante os testes.

Após todos os preparativos, inicia-se o condicionamento do veículo atingindo a temperatura de trabalho do motor, transmissão e pneus para garantir a regularidade e constância dos ensaios e resultados.

Uma vez atingida a temperatura de trabalho é feita a calibração do equipamento, definindo a marcha utilizada e a rotação de início de teste, onde se obtém uma faixa de rotação adequada para análise das curvas de torque e potência e calculando a velocidade das rodas nessa rotação. Assim é possível sincronizar a velocidade das rodas com o rolo do dinamômetro. Para iniciar o teste é necessário primeiramente parar o rolo. Então as rodas são colocadas em movimento acelerando suavemente o veículo até chegar à marcha definida, 3ª marcha para ambos os veículos, antes da velocidade de início do teste. Quando pronto para o início da coleta dos dados, o condutor do teste aciona 100% do pedal do acelerador, ganhando velocidade e fazendo com que o equipamento comece a gravar os dados para cálculo após atingir a velocidade definida. O veículo é acelerado até próximo da rotação máxima do motor e então é rapidamente colocado em ponto morto deixando a inércia movimentar o sistema até o fim do teste.

O dinamômetro inercial entrega os resultados expressos em gráficos de torque e potência com base em cálculos, utilizando como principal parâmetro a distância percorrida na aceleração e desaceleração. Como durante o momento dos testes devem ser consideradas as condições climáticas do ambiente de ensaio é utilizado um fator de correção baseado na pressão atmosférica e temperatura.

3.2 ENSAIO DE EMISSÕES

Para o ensaio de emissões, além dos equipamentos utilizados nos testes de torque e potência, também foi utilizado o analisador de gases AVL *Diagnostic 4000*, modelo utilizado para análise de gases em oficinas e inspeção veicular, conforme Figura 23. Este equipamento é diferente dos equipamentos para testes de rodagem ou homologação.

FIGURA 26- AVL DIAGNOSTIC 4000



FONTE: AUTORES (2018)

Com isso, os testes de emissões realizados também são diferentes dos ensaios oficiais realizados pelas montadoras e órgãos de homologação. O objetivo destes testes é realizar uma comparação entre os dois veículos utilizando como base os valores de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarbonetos (HC). Uma comparação entre os valores de óxidos de nitrogênio não foi possível devido a limitações do equipamento. O ensaio de emissões foi realizado logo após o fim do ensaio de torque e potência, com o veículo ainda no dinamômetro.

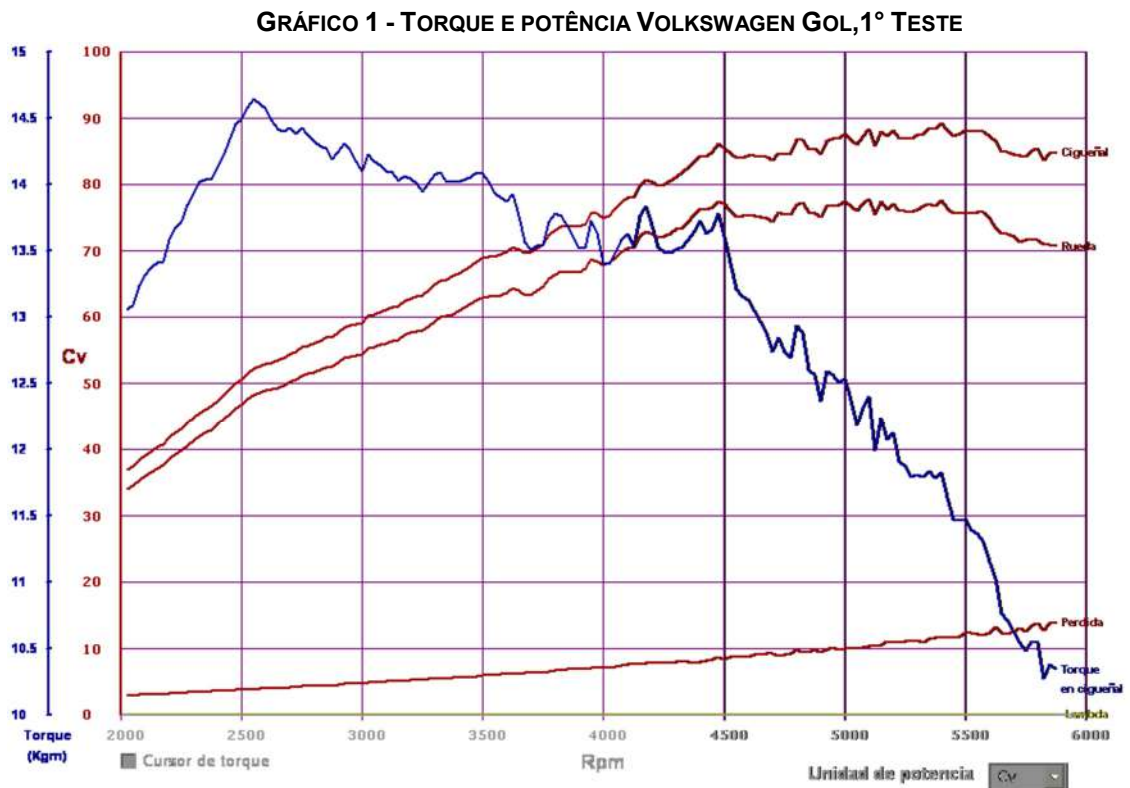
Com o veículo devidamente condicionado e com a sonda do analisador de gases inserida no escapamento, o veículo foi acelerado suavemente até a rotação de torque máximo na 5ª marcha, onde esta condição foi mantida por volta de 5 segundos a fim de registrar os valores no equipamento. Para a realização dos testes seguintes a velocidade era ligeiramente reduzida e então se atingia a rotação de torque máximo novamente repetindo as mesmas condições.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos testes realizados são apresentados a seguir, por meio de gráficos de torque e potência, no motor e na roda, e potência perdida, além de quadros de cada veículo, contendo informações sobre os testes.

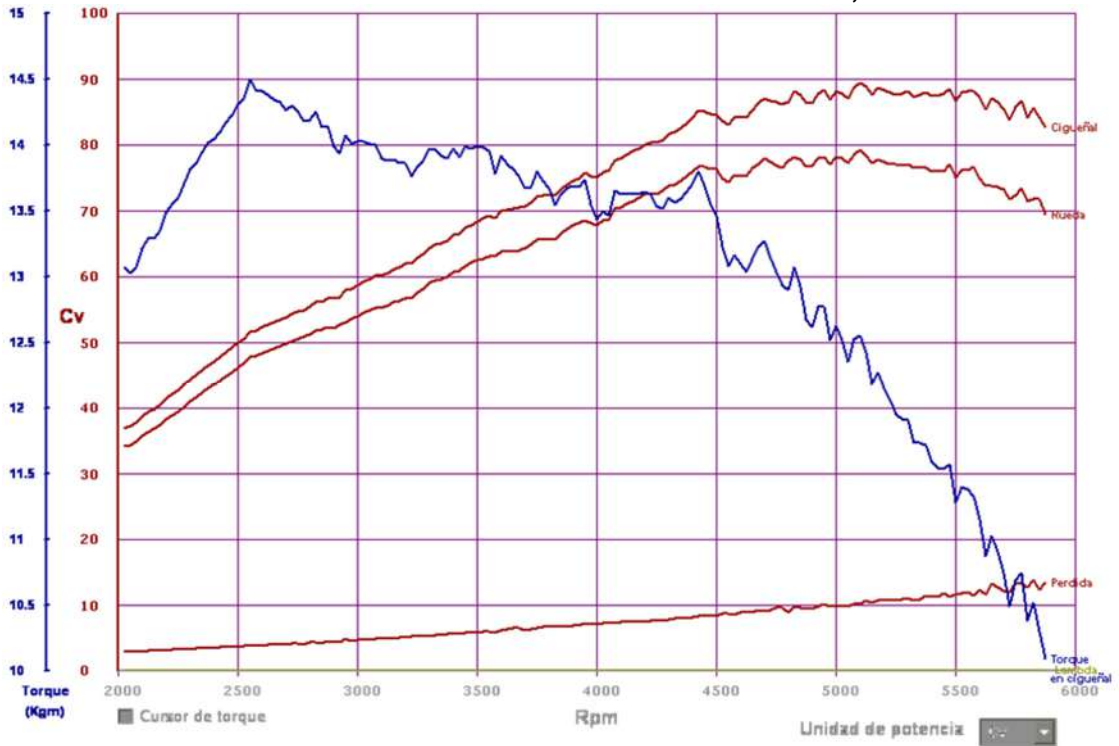
Os dados apresentados nos quadros são resultados dos testes, além dos valores calculados através do fator de correção.

4.1 Resultados de potência e torque Volkswagen Gol



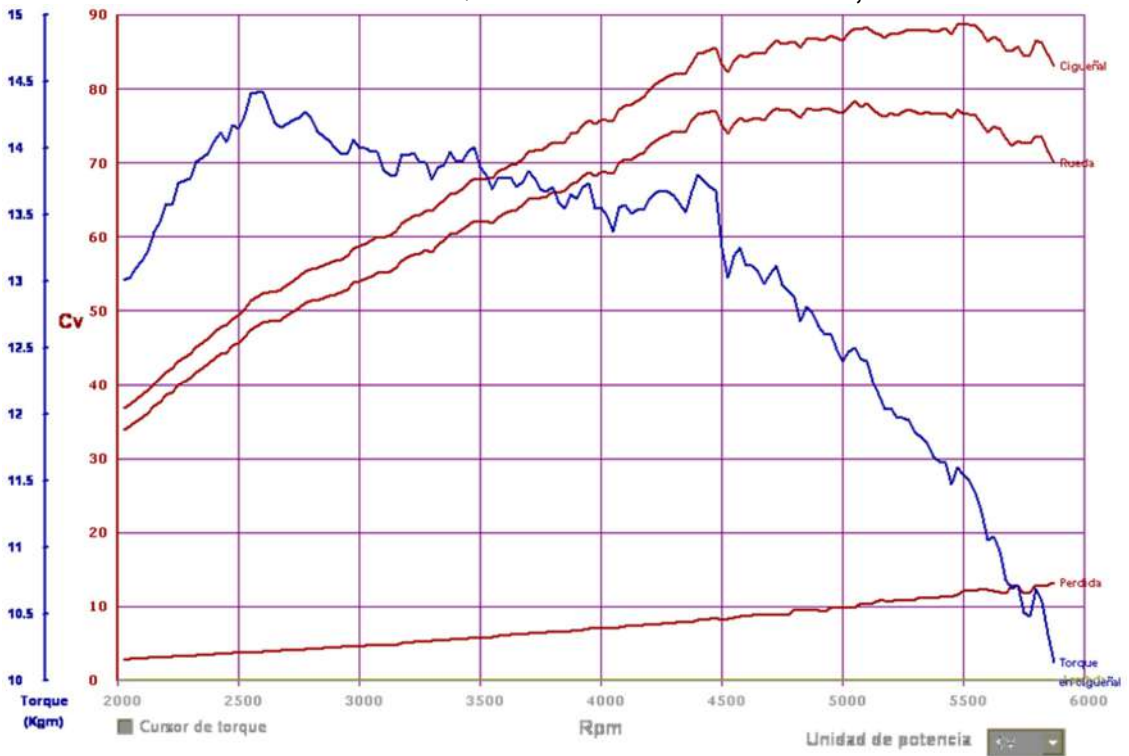
DADOS: AUTORES (2017)

GRÁFICO 2 - TORQUE E POTÊNCIA VOLKSWAGEN GOL, 2ºTESTE



DADOS: AUTORES (2017)

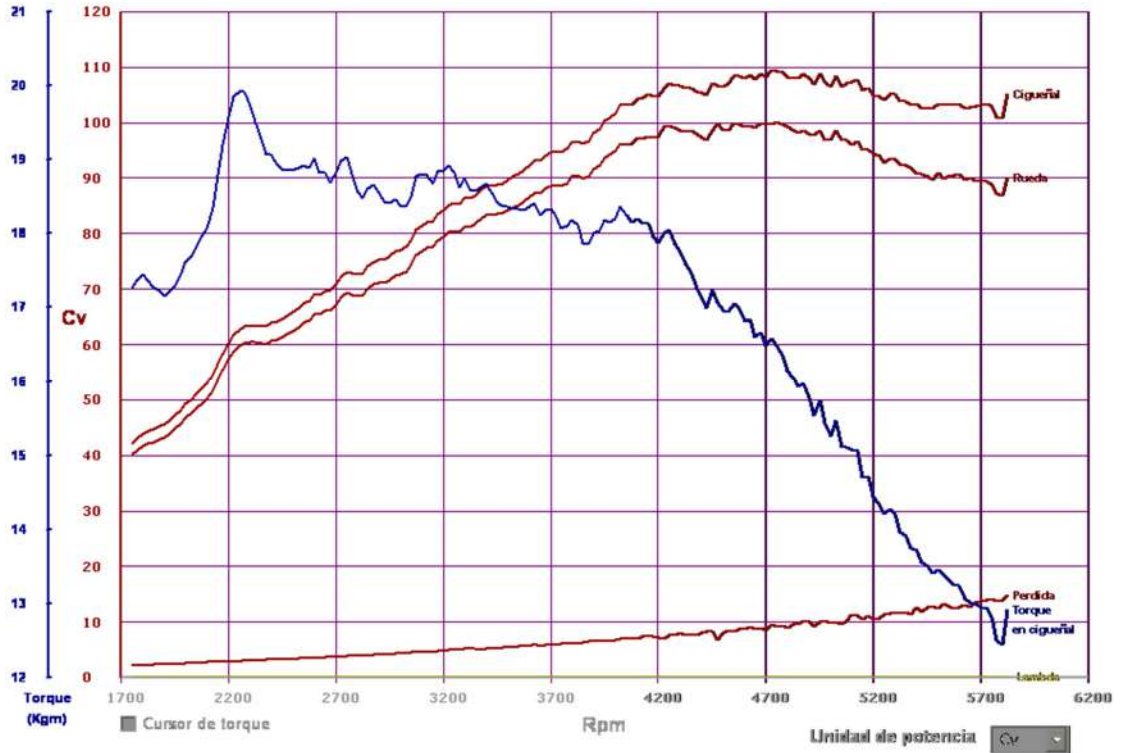
GRÁFICO 3 - TORQUE E POTÊNCIA VOLKSWAGEN GOL, 3ºTESTE



DADOS: AUTORES (2017)

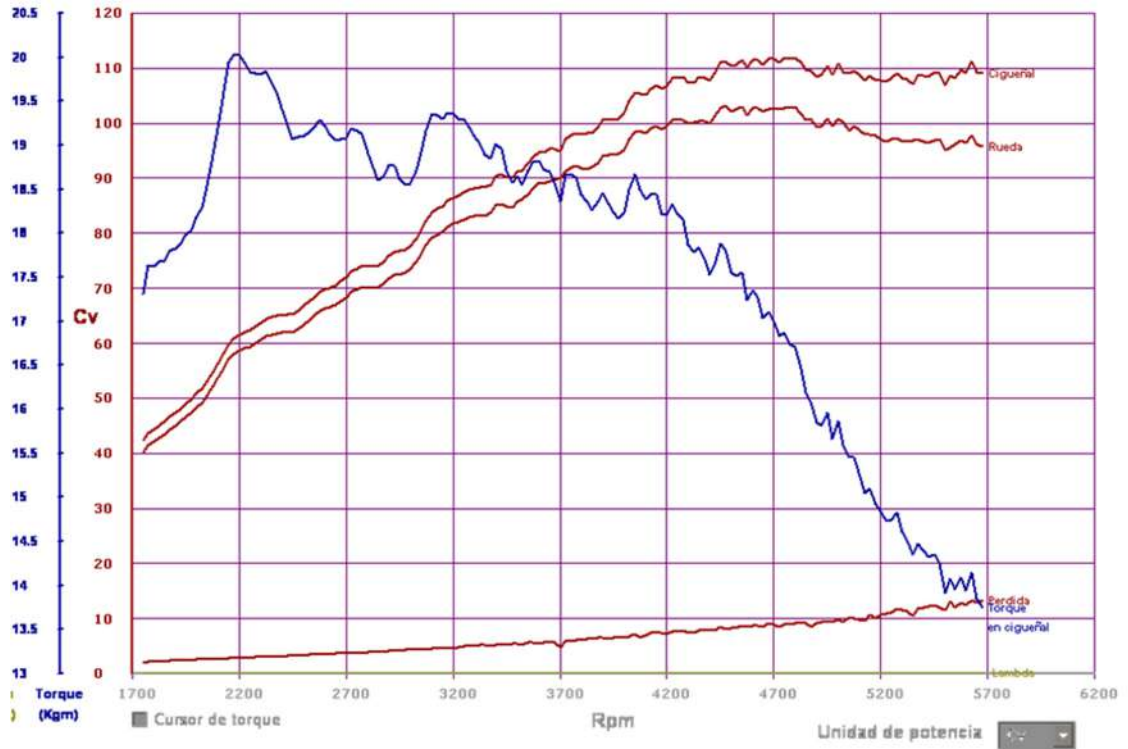
4.2 Resultados de torque e potência Volkswagen Up!

GRÁFICO 4 - TORQUE E POTÊNCIA VOLKSWAGEN UP!, 1º TESTE



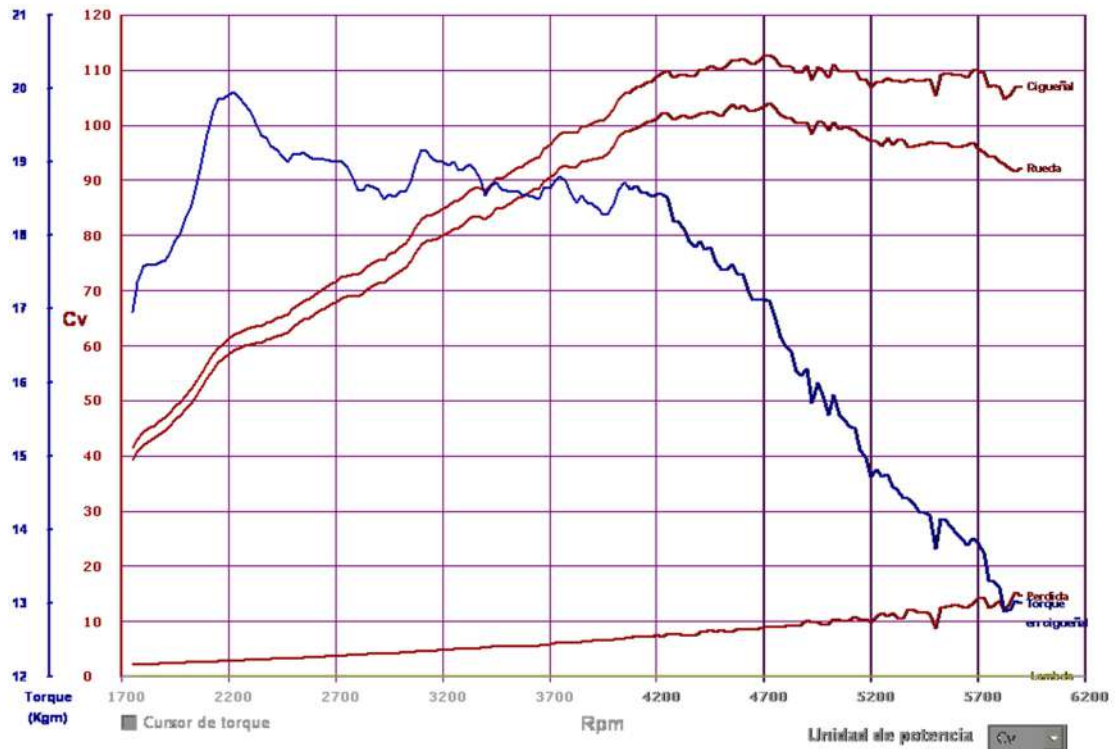
DADOS: AUTORES (2017)

GRÁFICO 5 - TORQUE E POTÊNCIA VOLKSWAGEN UP!, 2º TESTE



DADOS: AUTORES (2017)

GRÁFICO 6 - TORQUE E POTÊNCIA VOLKSWAGEN UP!, 3ºTESTE.



DADOS: AUTORES (2017)

4.3 Análise de torque e potência

As informações contidas nos quadros são dadas por:

Pot. Máx. – Potência máxima atingida expressa em cavalos (cv);

RPM – Rotações por minuto;

Torque Máx. – Torque máximo atingido expresso em quilogramas-força-metro (kgfm);

Pot. Perdida – Potência perdida devido aos componentes mecânicos entre motor e pneus expressa em cavalos (cv);

Fator Correção – Fator de correção calculado pelo equipamento;

Pressão Atm. – Pressão atmosférica no momento do teste;

Aceleração – Distância percorrida do início ao fim da faixa de rotação do teste;

Temp. Admissão – Temperatura do ar na admissão do motor expressa em graus centígrados (°C);

Umidade Relat. – Umidade relativa no momento do teste;

Temp. Ambiente – Temperatura ambiente no momento do teste em graus centígrados;

Média (F.C.) – Média dos resultados com fator de correção.

QUADRO 2 - RESULTADOS DOS TESTES COM VEÍCULO VOLKSWAGEN GOL

	Volkswagen Gol 1.6								
	Pot. Máx. (cv)	RPM	Torque Máx. (kgfm)	RPM	Pot. Perdida (cv)	Fator Correção	Pressão Atm. (mmHg)	Aceleração (m)	Temp. Admissão (°C)
Teste 1	89,19	5400	14,64	2550	14,06	1,073	722	664,2	50
1 F.C.	95,7	5794	15,71	2736	15,08				
Teste 2	89,43	5100	14,5	2550	13,75	1,0715	723	659,1	51
2 F.C.	95,82	5465	15,54	2732	14,73				
Teste 3	78,73	5050	14,42	2600	13,18	1,0735	722	660,8	51
3 F.C.	84,48	5419	15,47	2790	14,14				
Média (F.C.)	92		15,57		14,65	Umidade Relat. (%)	42	Temp. Ambiente (°C)	30,1

DADOS: AUTORES (2017)

Os testes realizados no Volkswagen Gol apresentam uma pequena variação quando comparados entre si, que pode ser conferido nos resultados de potência máxima do teste 1 e do teste 3. Além disso, os dados são dissonantes quando confrontados com os divulgados pela montadora, principalmente na potência máxima, onde o divulgado é de 104cv (etanol) a 5250RPM, apresentando uma diferença de 12cv em relação aos dados do teste, já o torque máximo não foi afetado, uma vez que o valor divulgado é de 15,6kgfm (etanol) a 2500 RPM.

Esta variação de potência pode ser atribuída à redução de pressão do combustível causada por um defeito apresentado na bomba de combustível do veículo testado. No ano de 2009, na época de lançamento deste veículo, estava em vigência a fase L-5 do PROCONVE, que foi marcada por características principais na maioria dos veículos como utilização da tecnologia flex, injeção multiponto, início do sistema OBD-Br 2 e comando de válvulas simples, o que justifica os valores de torque e potência que eram padrões para veículos com configurações semelhantes.

QUADRO 3 - RESULTADOS DOS TESTES COM VEÍCULO VOLKSWAGEN UP! TSI

	Volkswagen Up!								
	Pot. Máx. (cv)	RPM	Torque Máx. (kgfm)	RPM	Pot. Perdida (cv)	Fator Correção	Pressão Atm. (mmHg)	Aceleração (m)	Temp. Admissão (°C)
Teste 1	109,42	4725	19,92	2250	14,94	1,0725	723	800,7	54
1 F.C.	117,35	5067	21,36	2413	16,02				
Teste 2	111,98	4800	20,03	2200	13,38	1,0737	722	712,5	52
2 F.C.	120,23	5153	21,51	2362	14,36				
Teste 3	112,83	4725	19,95	2225	15,19	1,0735	722	800,7	51
3 F.C.	121,12	5072	21,41	2388	16,31				
Média (F.C.)	119,57		21,43		15,56	Umidade Relat. (%)	43	Temp. Ambiente (°C)	29,8

DADOS: AUTORES (2017)

Os resultados de potência do Volkswagen Up! TSI apresentam valores de potência máxima 13,87% maiores e torque 27,55% maiores quando comparados aos dados divulgados pela montadora, que relatam uma potência máxima de 105cv a 5000RPM e o torque máximo de 16,8kgfm a 1500RPM, essa variação é dada devido a utilização do turbocompressor em ambiente não controlado.

As tecnologias aplicadas neste veículo foram influenciadas pela fase L-6 do PROCONVE iniciada em 2014, no controle de poluentes e pelo programa Inovar-auto, a qual foi marcada pelo início do Downsizing. As características principais do veículo são a redução de número de cilindros do motor, injeção direta de combustível, utilização do sistema de turbocompressor, comando de válvulas variável na admissão e escape, além da utilização de alumínio na construção do bloco.

O fato de a legislação exigir atualização das tecnologias já empregadas nos veículos promove uma melhora significativa nos números apresentados quando comparamos um veículo que atende a atual legislação e um veículo da fase anterior do PROCONVE.

Essa melhora pode ser percebida através de uma análise dos dados citados acima, foi identificado que mesmo tendo um motor de menor capacidade volumétrica o UP! TSI apresenta melhores resultados em questão de eficiência. Isso se deve diretamente a aplicação do turbocompressor junto dos princípios de downsizing no projeto do motor.

A injeção direta, quando comparada à injeção multiponto, promove uma melhor queima de combustível, permitindo uma maior eficiência conforme Altese 2008 apud HURTADO; SOUZA, 2013, que tem como consequência o aumento de potência e redução de consumo de combustível. O comando variável, em relação ao comando sem sistema variador de fase apresenta uma melhora na admissão de ar no cilindro e de acordo com Bosch, 2005 um melhor rendimento do motor.

QUADRO 4 - COMPARATIVO DE DADOS OBTIDOS

	Comparativo de Dados Obtidos	
	Volkswagen Gol 1.6	Volkswagen Up!
Potência Específica	57,57 (65,08) cv/l	119,69 (105,11) cv/l
Torque Específico	9,74 (9,76) kgfm/l	21,45 (16,82) kgfm/l

DADOS: AUTORES (2017)

Os dados apresentados em parênteses no Quadro 4 referem-se aos divulgados pela montadora. As diferenças são explicadas em parte pelas condições técnicas explicadas anteriormente.

O motor do Up! TSI apresenta valores de potência divulgados pela montadora praticamente iguais aos do Gol mesmo com uma menor cilindrada, isso se deve principalmente a utilização do turbocompressor. Porém os valores oficiais de torque já apresentam um acréscimo de 1,2kgfm (7%) em relação ao motor do Gol. Após os testes foi identificado que os valores obtidos, tanto de potência quanto de torque, possuem uma diferença mais acentuada quando relacionados à capacidade volumétrica, visto no Quadro 4.

Quando utilizados os valores divulgados, o Up! possui potência específica 62% e torque específico 72% maior do que o Gol.

Além disso, nos testes do motor é possível notar a diferença na curva de torque no motor do UP! TSI, que, devido ao projeto do trem de força e a aplicação do turbocompressor, atinge seu valor máximo de torque em uma rotação mais baixa em relação ao Gol e mantém um valor estável durante todo o intervalo de rotações utilizado.

4.4 Análise de consumo

Baseando-se nos dados de consumo, divulgados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), medidos em laboratório conforme

norma NBR 7024, presente no Quadro 5, é possível visualizar que o UP! TSI é 26% mais econômico em trajeto urbano e 15% em trajeto rodoviário. Isso pode ser justificado pela aplicação das tecnologias anteriormente citadas, que apresentam uma melhora na eficiência do motor em parâmetros de consumo, conforme Quadro 5.

QUADRO 5 - CONSUMO MÉDIO DIVULGADO NO ETANOL

	Consumo Médio (km/l)	
	Urbano	Rodoviário
Volkswagen Gol	7,1	9,4
Volkswagen Up! TSI	9,6	11,1

FONTES: INMETRO (2015)

Além dos valores em gasto de combustível por distância percorrida, é possível utilizar os dados do INMETRO para visualizar o consumo energético de cada veículo. O Gol apresenta 1,84 MJ/km e o Up! por sua vez 1,44 MJ/km, uma diferença de 27%. Essa diferença no consumo entre as gerações dos veículos pode ser justificada com base nos dados do Quadro 6, que apresenta os valores de redução de consumo com base nas tecnologias aplicadas em motores ciclo Otto de 4 cilindros, divulgado pelo *National Research Council (NRC)*.

QUADRO 6 - ESTIMATIVA DE EFICÁCIA DE TECNOLOGIAS PARA REDUÇÃO DE CONSUMO

Tecnologias	Valores de redução de consumo em porcentagem		
	Min	Máx	Média
VVT	1.5	2.5	2.0
Injeção Direta	1.5	3.0	2.3
Turbo com Downsizing	2.0	5.0	3.5

FONTES: NRC (2011)

4.5 Resultados de emissões

Os resultados de emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarbonetos (HC) dos testes realizados com ambos os veículos são apresentados com suas médias conforme Quadros 7 e 8.

QUADRO 7 - RESULTADOS DOS TESTES DE EMISSÕES - VOLKSWAGEN GOL

	Volkswagen Gol		
	CO(% vol)	CO2(% vol)	HC(ppm)
Teste 1	0,17	9,5	8
Teste 2	0,32	11,5	16
Teste 3	0,35	12,8	24
Média	0,28	11,27	16

DADOS: AUTORES (2018)

QUADRO 8 - RESULTADOS DOS TESTES DE EMISSÕES - VOLKSWAGEN UP! TSI

	Volkswagen Up!		
	CO(% vol)	CO2(% vol)	HC(ppm)
Teste 1	0	9,9	9
Teste 2	0	10,6	5
Teste 3	0	11,1	11
Média	0	10,53	8,33

DADOS: AUTORES (2018)

Uma vez apresentados os resultados, vale ressaltar que, devido à capacidade volumétrica diferente entre os motores testados, 1.0L e 1.6L, e a aplicação do turbocompressor, a massa de ar admitida e eliminada no processo de combustão é diferente, portanto, não é possível compará-los diretamente, em função da tecnologia do equipamento de medição de emissões. Os valores do teste deste estudo são dados em porcentagem, pois o equipamento utilizado mede a concentração do volume das emissões. Porém o teste oficial armazena valores das emissões durante o ensaio, o que resulta em gramas por quilometro. Por esse motivo a diferença dos valores de CO₂ entre os modelos foi somente de 0,74%. Entretanto, a diferença é perceptível, conforme o Quadro 9 que apresenta os dados oficiais emitidos pelo INMETRO.

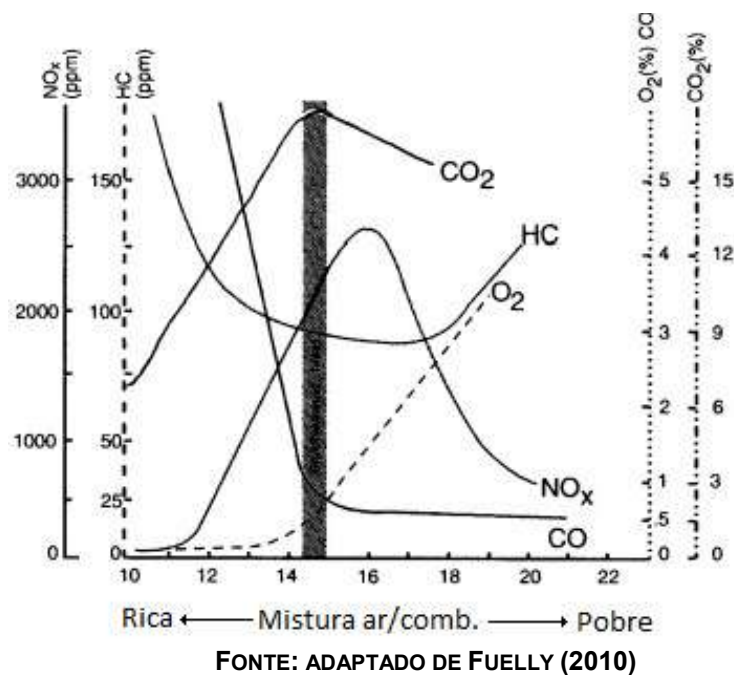
QUADRO 9 - QUANTIDADE DE EMISSÕES PELO INMETRO

	Dados Emissões			
	NM HC (g/km)	CO (g/km)	N Ox (g/km)	CO2 (g/km)
Volkswagen Gol 1.6	0,022	0,388	0,027	113
Volkswagen UP!	0,03	0,38	0,035	89

DADOS: INMETRO (2015)

Os veículos quando comparados apresentam dados de hidrocarbonetos e monóxido de carbono próximos, porém o valor de NOx mostra aumento de 30% no UPI. Este valor pode ser justificado pelo aumento da temperatura na câmara de combustão causado pela aplicação da injeção direta, a qual possibilita o funcionamento com uma mistura de ar/combustível mais pobre, conforme Bosch, 2005, em contrapartida há redução de 21% nos níveis de CO₂. Este fenômeno pode ser visualizado no Gráfico 7.

GRÁFICO 7 - AR/COMBUSTÍVEL X EMISSÕES



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em primeiro momento, quando os primeiros automóveis foram introduzidos, não havia a preocupação com os problemas ambientais que o uso do motor ciclo Otto poderia causar, principalmente devido ao aumento das emissões de CO₂. Com isso, foram instauradas regulamentações e conseqüentemente as montadoras foram incentivadas a reduzir emissões, o que levou a fabricação de motores cada vez mais tecnológicos e eficientes.

Esse avanço pôde ser exemplificado através da análise dos veículos avaliados neste estudo, onde temos dois projetos de gerações diferentes, uma anterior a regulamentação do programa Inovar-Auto e uma que atende os critérios do programa, como a aplicação dos itens que formam o conceito de Downsizing.

Foi confirmada por meio dos testes realizados neste estudo, a eficácia dos sistemas adotados, que são características principais da geração de veículos Downsizing, onde houve uma diminuição de 21% das emissões de CO₂, um dos principais indicadores de eficiência energética, porém houve um aumento de 30% nas emissões de NOx em função das características de funcionamento do sistema de injeção direta. Entretanto, o Up! TSI, que pertence a geração do Downsizing, é 27% mais eficiente quando comparado ao Gol, conforme dados divulgados pelo INMETRO.

Em relação aos resultados dos dois veículos, ambos estão na faixa de aproximadamente 105cv de potência, com uma vantagem de 1,2kgfm torque para o motor turbo. Porém, no que se refere aos resultados de potência e torque específicos, o Up! TSI possui 62% a mais de potência específica e 72% de torque específico, ou seja, mesmo com uma capacidade volumétrica menor a eficiência do conjunto de atual geração é superior.

O avanço contínuo da legislação trouxe resultados em relação a questões como eficiência energética e emissões de poluentes, ao mesmo tempo em que trouxe novos desafios cada vez mais difíceis de serem superados, uma vez que os motores ciclo Otto estão chegando ao seu limite tecnológico.

Este trabalho tende a evoluir para o estudo das tecnologias citadas individualmente, comprovando o aumento de eficiência ligado a cada sistema utilizado atualmente.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6601 Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de nitrogênio e dióxido de carbono no gás de escapamento.** 2001. ABNT – Rio de Janeiro.

ABNT. **NBR 7024 Veículos rodoviários automotores leves – Medição do consumo de combustível.** 2002. ABNT – Rio de Janeiro.

BELLI. **Motores a combustão interna, uma breve história.** Autoentusiastas. 2013. Disponível em <<http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2013/03/motores-combustao-interna-uma-breve.html>> Acesso em 10 de maio de 2017.

BOSCH, Robert. **Manual de tecnologia automotiva/Robert Bosch** – São Paulo: Blucher, 2005.

BOSCH, Robert. **Gasoline Fuel-Injection System K-Jetronic.** Alemanha: Robert Bosch GmbH, 2000.

BRASIL. **Resolução CONAMA N° 18, de 6 de Maio de 1986.** Instituição do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). **Diário Oficial da União**, Distrito Federal, 17 de Junho de 1986. <Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res1886.html>>. Acesso em 07 de Junho de 2017.

BRASIL. **Decreto N° 7.819, de 3 de Outubro de 2012.** Regulamentação do INOVAR-AUTO. **Diário Oficial da União**, Distrito Federal, 3 de Outubro de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7819.htm> Acesso em 07 de Junho de 2017.

CHEHROUDI, B. **Variable Valve Timing and Lift: The Rationale.** 1996. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/277303749_Variable_Valve_Timing_and_Lift_The_Rationale>. Acesso em 04 de Julho de 2018.

CONTESINI L. **Auto Union Type C: 16 cilindros, 530 cv e 340 km/h... em 1936!** 2014, Disponível em <<https://www.flatout.com.br/auto-union-type-c-16-cilindros-530-cv-e-340-kmh-em-1936/>>. Acesso em 25 de Março 2017.

CONTEISINI, L. **Como funciona um carburador?**. 2014. Disponível em <<https://www.flatout.com.br/como-funciona-um-carburador/>> Acesso em 12 de Maio de 2017.

CONTEISINI, L. **Qual foi o primeiro carro “injetado” da história?** Disponível em: <<https://www.flatout.com.br/qual-foi-o-primeiro-carro-injetado-da-historia/>>. Acesso em 07 de Junho de 2017.

CONTEISINI L. **Sob pressão: a história dos motores turbo.** Disponível em <<https://www.flatout.com.br/sob-pressao-historia-dos-motores-turbo/>>. Acesso em 08 de Abril de 2017.

DAIMLER. **Benz Patent Motor Car: The first automobile (1885–1886).** Daimler. 2017 Disponível em <<https://www.daimler.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html>> Acesso em 08 de Maio de 2017.

EPA. **Clean Air Requirements and History.** EPA, 2018 Disponível em: <<https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-requirements-and-history>>. Acesso em 20 de Maio de 2018.

EPA. **Timeline of Major Accomplishments in Transportation, Air Pollution, and Climate Change.** 2017. Disponível em <<https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/timeline-major-accomplishments-transportation-air>> Acesso em 13 de Maio de 2018.

FORD. **Ford apresenta o inédito motor 1.5 de três cilindros com novo padrão de eficiência energética.** PauloFord Media Center, 2017. Disponível em: <<https://media.ford.com/content/fordmedia/fsa/br/pt/news/2017/05/05/ford-apresenta-o-inedito-motor-1-5-de-tres-cilindros-com-novo-pa.html>>

FUELLY. 2010. **Does EGR valve matter?** Disponível em <<http://www.fuelly.com/forums/f8/does-egr-valve-matter-12930-2.html>> Acesso em 13 de Maio de 2018.

GICLAGEM. **Carburador Weber 40 e 46.** 2016. Disponível em <<http://giclagem.blogspot.com/2016/05/carburador-weber-40-e-46-porsche-type.html>> Acesso em 8 de Junho de 2017.

GLEHN, F. V. **Sistemas de injeção: Semelhanças e Diferenças.** 2017. Disponível em <<http://blog.ciclo.eng.br/sistemas-de-injecao-semelhancas-e-diferencas-1/>>.

Acesso em 10 de Maio de 2017.

GOLF-PIRELLI. **K-jetronic system**. 2018. Disponível em <<http://www.golf-pirelli.nl/informatie/k-jetronic-system/>> Acesso em 05 de Julho de 2018.

HIGA, H. Y. **Estudo e proposição de redução de consumo do motor flex-fuel** – Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2011.

HURTADO, D. K.; SOUZA, A. A. **A evolução do sistema de injeção de combustível em motores ciclo Otto: Uma análise crítica desde suas implicações no meio ambiente à regulamentação legal no sistema normativo pátrio**. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL E ECOLOGIA POLÍTICA – UFSM. 2013 Disponível em <<https://periodicos.ufsm.br/revistadireito/article/view/8527/5175>>. Acesso em 07 de Junho de 2017

IBAMA. **Instrução Normativa IBAMA nº 24 de 28/08/2009**. Diário Oficial da União. 2009. Disponível em <http://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-24-2009_77416.html> Acesso em 12 de Maio de 2018.

IKOMA, T et al. **Development of V-6 3.5-liter Engine Adopting New Direct Injection System**. SAE, 2006. Disponível em <<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2006-01-1259/>>. Acesso em 10 de Junho de 2018.

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem, Veículos Leves 2015**. INMETRO, 2015. <Disponível em: http://inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2015.pdf>. Acesso em 20 de Maio de 2018.

KUHLGATZ, D. **A backbone of Automotive Electronics – 50 years of Bosch gasoline injection Jetronic**. 2017 Disponível em <<https://blog.bosch.com/history/en/2017/09/05/a-backbone-of-automotive-electronics-50-years-of-bosch-gasoline-injection-jetronic/>> Acesso em 10 de Maio de 2018.

MAGDA M. **Inside The 2015 Mustang's New EcoBoost and Coyote Engines**. 2013. Disponível em <<http://www.fordnxt.com/news/inside-the-2015-mustangs-new-ecoboost-and-coyote-engines/>>. Acesso em 12 de Setembro de 2017.

MARKEL A. **Bosch K-Jetronic Fuel Injection System Service**. 2016. Disponível em <<http://www.underhoodservice.com/bosch-k-jetronic/>>. Acesso em 10 de Maio de

2017.

MASSON, L. J. **Dual fuel injection system, direct and indirect, Volkswagen after Toyota.** 2012. Disponível em <<https://www.motornature.com/2012/08/dual-fuel-injection-system-volkswagen-after-toyota/>>. Acesso em 1 de Maio de 2017.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2011. **Assessment of fuel economy technologies for light-duty vehicles.** Washington, DC. The National Academies Press. Disponível em <<https://doi.org/10.17226/12924>> Acesso em 13 de Maio de 2018.

PASSATWORLD. **OBD2 Port location.** 2007. Passatworld. Disponível em <<http://www.passatworld.com/forums/b5-garage/236104-obd-ii-port-location-b5-5-a.html>>. Acesso em 10 de Junho de 2017.

PATIL, C., VARADE S.; and WADKAR S., **A Review of Engine Downsizing and its Effects**, India, 2017, E-ISSN 2277 – 4106. Disponível em <<http://inpressco.com/a-review-of-engine-downsizing-and-its-effects/>>. Acesso em 05 de Abril de 2018.

PETITJEAN, D.; BERNARDINI, L.; MIDDLEMASS, C.; and SHAHED, S., **Advanced Gasoline Engine Turbocharging Technology for Fuel Economy Improvements**, SAE Technical Paper 2004-01-0988, 2004

PIEIECHA, I. et al., **Reduction of the number of cylinders in internal combustion engines – contemporary trends in downsizing.** 2014 <Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269692874_Reduction_of_the_number_of_cylinders_in_internal_combustion_engines_-_contemporary_trends_in_downsizing>. Acesso em 20 de Junho de 2017

RODRIGUEZ H. **Quais são as vantagens do comando de válvulas variável?.** Disponível em <<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/quais-sao-as-vantagens-do-comando-de-valvulas-variavel/>>. Acesso em 10 de Abril de 2017.

SAMAHA, F. **Dois motores em um.** 2007. Disponível em <<http://bestcars.uol.com.br/tecprep/comando-variavel-1.htm>>. Acesso em 12 de Abril de 2017.

SOLIQUE E. **Como funciona o turbo compressor.** 215. Disponível em <<http://www.edsolique.com/como-funciona-o-turbo-compressor/>>. Acesso em 08 de Abril de 2017.

VIVAS, F. **Vendas caem 13% na Argentina e provoca reviravolta no ranking.** Pit Stop, 2009. Disponível em <<https://pitstopbrasil.wordpress.com/2009/04/04/vendas-caem-13-na-argentina-e-provoca-reviravolta-no-ranking/>> Acesso em 09 de Fevereiro de 2018.

YAMAGUCHI, J. K. **Lexus gives v6 dual injection.**2006 ENGINE SPECIAL REPORT.AEI Online, 2006. <Disponível em:aei-online.org>. Acesso em 20 de Junho de 2017.