

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Hyran Martins Magalhães

Rafael Galvão Nunes de Gauto

**MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA, *Downsizing*
E SUAS APLICAÇÕES.**

Taubaté – SP

2017

Hyran Martins Magalhães
Rafael Galvão Nunes de Gauto

**MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA, *DOWNSIZING*
E SUAS APLICAÇÕES.**

Trabalho de Graduação, modalidade de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Msc. Fábio Henrique Fonseca Santejani

Taubaté – SP

2017

Hyrán Martins Magalhães
Rafael Galvão Nunes de Gauto

MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA, *Downsizing* E SUAS APLICAÇÕES.

Trabalho de Graduação, modalidade de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Msc. Fábio Henrique Fonseca Santejani

Data: _____

Resultado: _____

COMISSÃO JULGADORA

Prof. _____ Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. _____ Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Aos nossos pais que nos apoiaram durante toda nossa vida, aos amigos que estiveram presentes nos bons e maus momentos e aos professores pelo incentivo constante e devoção a transmissão de conhecimento durante a graduação.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Msc. Fábio Henrique Fonseca Santejani

Ao Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos pelo constante apoio, incentivo e críticas.

Aos Profs. da banca, pelas importantes sugestões que muito acrescentaram na conclusão deste trabalho.

"Do not worry about your difficulties in Mathematics. I can assure you mine are still greater"

(Albert Einstein).

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o estudo da utilização do *downsizing* em motores a combustão interna, mostrando como o uso das tecnologias do *downsizing* pode contribuir para uma melhor eficiência energética. Inicialmente é feita uma revisão bibliográfica para maior aprofundamento e entendimento dos conceitos de motor a combustão interna. Também foram abordadas as atuais tendências do mercado automotivo e as novas tecnologias utilizadas para a melhoria da eficiência energética dos motores a combustão, tais como: injeção direta de combustível e sobrealimentação. Os resultados mostram como o uso do *downsizing* pode melhorar o desempenho dos motores a combustão interna e como as principais fabricantes de veículos vêm utilizando o *downsizing* em seus produtos.

Palavras-chave: Motor de combustão interna; *Downsizing*; Sobrealimentação.

ABSTRACT

The purpose of this article is to study the application of downsizing on internal combustion engines; it has shown that the use of this kind of technology can positively affect the search of a better energetic efficiency. The First approach was a research to achieve a deeper knowledge about the concepts of the internal combustion engines. In addition, it was approached the currents tendencies of the automotive market and the new technologies that have been applied to improve the efficiency of combustion engines such as: Direct fuel injection and forced induction systems. We hope to display that the use of downsizing can improve the performance of internal combustion engines and how the main automotive companies have been applying downsizing on their products.

Keywords: Internal Combustion Engines; Downsizing; Forced induction systems.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Analise da evolução de potência e tipos de motores.....	29
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Geometria básica do motor de combustão interna.....	14
Figura 2	– Vista dos componentes de um motor de combustão interna.....	15
Figura 3	– Nomenclatura das posições do pistão.....	16
Figura 4	– Os quatro tempos do motor.....	17
Figura 5	– Injeção indireta e direta de combustível.....	18
Figura 6	– Comando de válvulas.....	20
Figura 7	– <i>Supercharger</i>	21
Figura 8	– Funcionamento do turbocompressor.....	21
Figura 9	– Elementos do conjunto turbocompressor.....	22
Figura 10	– Turbocompressor de geometria variável.....	23
Figura 11	– Tecnologias do <i>Downsizing</i>	24
Figura 12	– Motor <i>Downsizing</i>	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Objetivo do trabalho.....	12
1.2	Organização do trabalho.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Motores de combustão interna.....	14
2.1.1	Tipos de alimentação.....	18
2.1.2	Taxa de compressão.....	19
2.1.3	Comando de válvulas.....	19
2.2	Sobrealimentação.....	20
2.2.1	<i>Supercharger</i>	20
2.2.2	Turbocompressor.....	21
2.3	Conceitos de <i>Downsizing</i>	23
2.3.1	Tecnologias do <i>Downsizing</i>	24
3.	METODOLOGIA.....	27
4.	RESULTADOS.....	29
5.	CONCLUSÕES.....	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho visa aprofundar o conhecimento e expor as aplicações do *downsizing* no mercado brasileiro, tendência crescente na busca de obtenção de vantagens econômicas e ambientais a qual traz o mercado brasileiro para mais próximo do nível de tecnologia já aplicado em mercados mais desenvolvidos. O mercado automotivo atual visa cada vez mais a redução de emissões de poluentes bem como o consumo de combustível sem que haja redução na potência ou até mesmo o aumento da potencia entregue ao motorista, verificado no aumento na potência dos motores dos veículos geração após geração. Para isso utilizam-se tecnologias antes somente vistas em veículos com aspiração esportiva como o uso de turbocompressores e injeção direta de combustíveis aliados a redução da cilindrada dos motores a combustão interna (*downsizing*).

A constante evolução dos motores de combustão interna sofreu, especialmente nos últimos anos, grandes mudanças por conta do mercado. Seja pelas demandas dos consumidores para que se consuma menos combustível ou pelas leis cada vez mais rígidas na questão das emissões de poluentes. Fato é que antes predominavam motores com cilindradas mais altas e hoje se divide espaço com motores de menor cilindrada. Isto não quer dizer que há perda no desempenho, pois motores menores somados a sobrealimentação tem desempenho semelhante se não superior a motores maiores.

Neste trabalho serão mostradas as tecnologias utilizadas no *downsizing* analisando as suas aplicações no mercado.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é analisar os motores que utilizam o *downsizing* no mercado brasileiro, por meio das análises das tecnologias aplicadas visando a redução do consumo e emissão de poluentes. Dessa forma, ampliando o conhecimento nesta área.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 5 (cinco) capítulos, para sejam apresentadas as informações de forma clara e ofereça um perfeito entendimento de seu propósito.

No Capítulo 1, é apresentada a introdução abordando questões como objetivos, importância do tema, delimitação e organização do trabalho.

O Capítulo 2 é uma revisão bibliográfica apoiada na literatura técnica, trabalhos científicos e mídias digitais sobre motores a combustão interna, apresentando seus princípios fundamentais.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia empregada na execução deste trabalho de graduação.

O Capítulo 4 trata da apresentação detalhada dos resultados e discussão obtidos.

O Capítulo 5 traz as conclusões obtidas após a análise dos resultados.

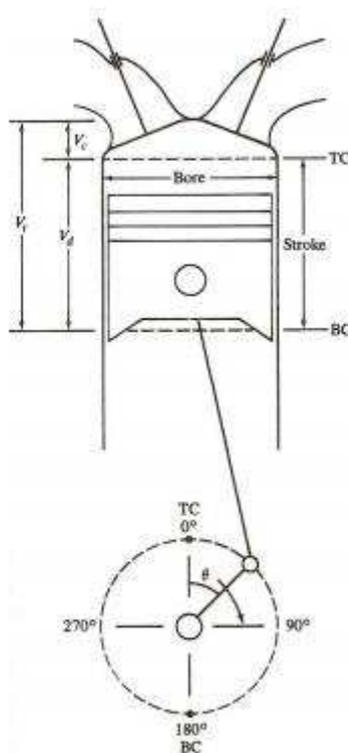
E por fim, no Capítulo 6 encontram-se as referências utilizadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

Segundo Heywood (1988) o motor de combustão interna é uma máquina térmica que tem como função converter a energia química do combustível em trabalho. Nos motores de combustão interna essa conversão é feita queimando o combustível dentro do motor (Figura 1). Para essa conversão ocorrer vários componentes que integram o motor funcionam de forma orquestrada, ou seja, em perfeita sincronia atingindo a melhor performance.

Figura 1 - Geometria básica do motor de combustão interna.



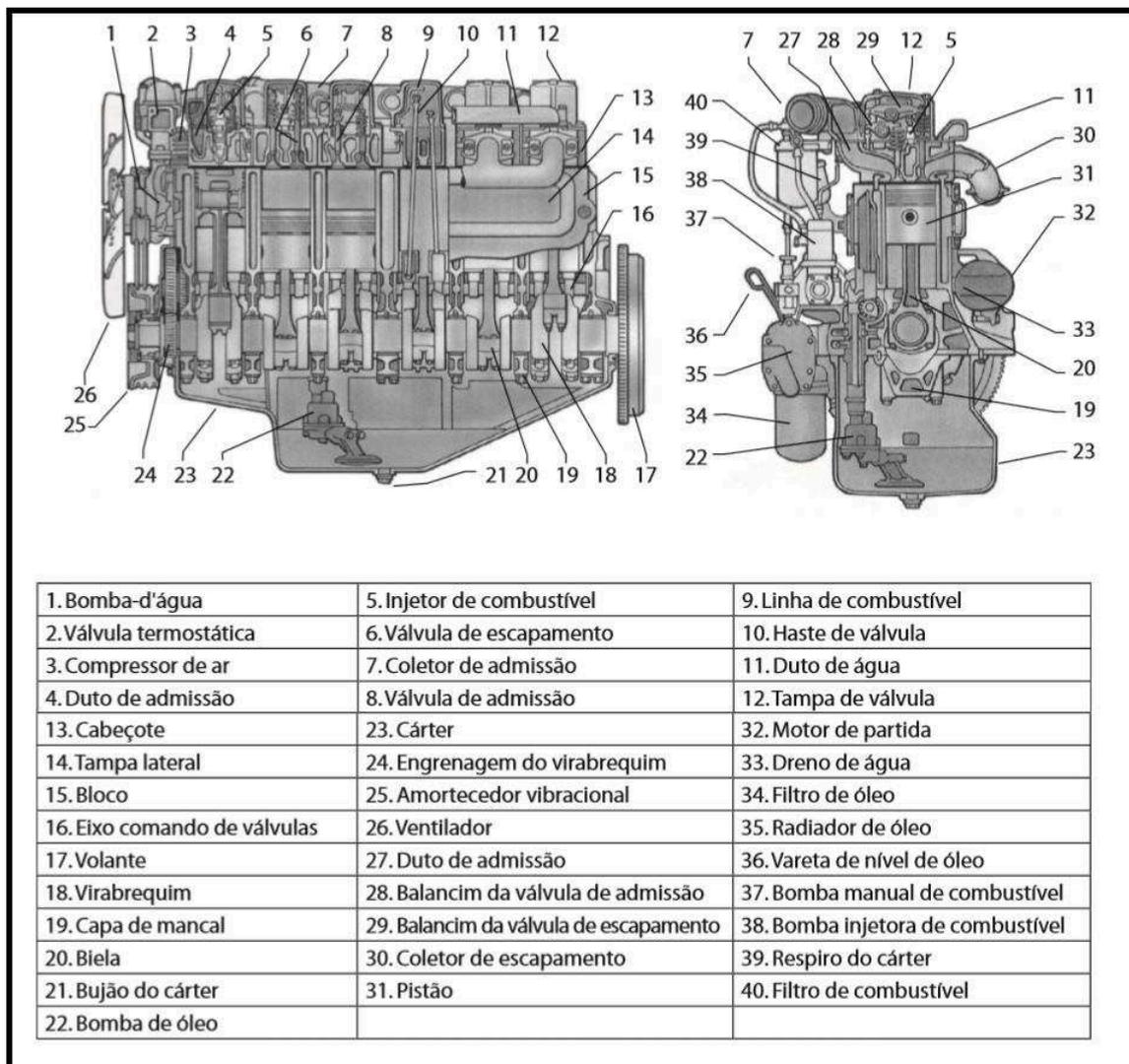
Fonte: Heywood (1998)

Na Figura 1, pode-se notar os parâmetros básicos de um motor, como volume deslocado (V_d), volume da câmara de combustão (V_c), volume total (V_t), diâmetro do cilindro – em inglês *bore*, e curso do pistão – em inglês *stroke*.

Segundo Stone (1999) os dois tipos mais comuns de motores a combustão interna são: motores de ignição por centelha também conhecido como motor Otto, onde a combustão é iniciada por uma faísca; e motores de ignição por compressão também conhecido como motor diesel, onde a alta temperatura e pressão são suficientes para iniciar o processo de combustão. Os dois tipos de motores citados podem ser projetados em ciclos de dois tempos e de quatro tempos.

Conforme Brunetti (2012) os principais elementos de um motor de combustão interna podem ser mostrados na Figura 2

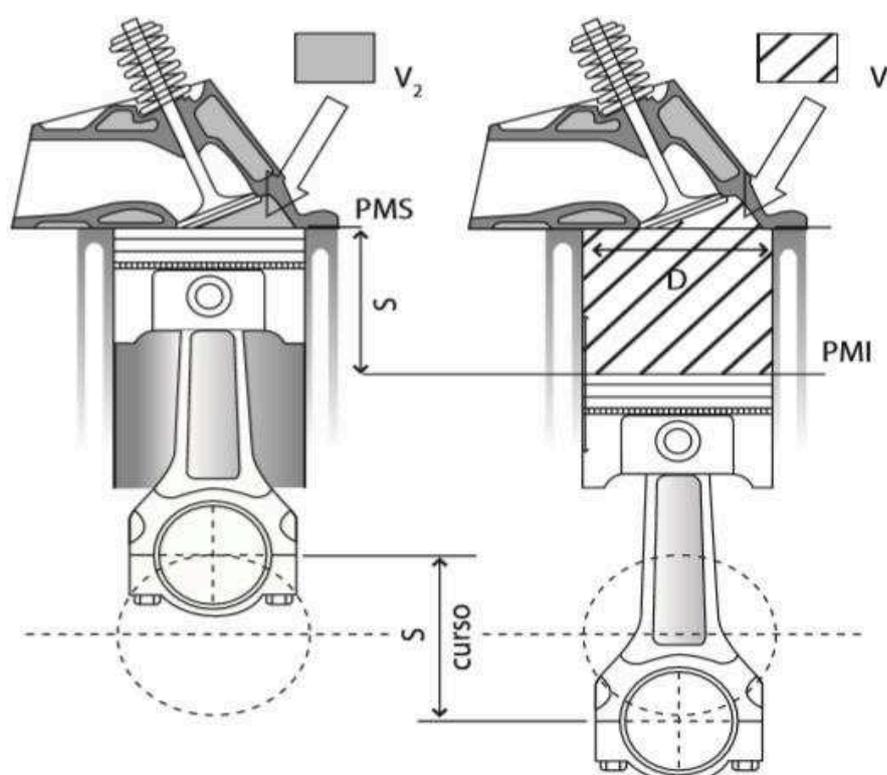
Figura 2 - Vista dos componentes de um motor de combustão interna



Fonte: Brunetti (2012)

Segundo Brunetti (2012) a Figura 3 apresenta as posições extremas do pistão dentro do cilindro, denominadas como ponto morto superior (PMS), onde se finalizam os ciclos de compressão e exaustão, e ponto morto inferior (PMI), onde se finalizam os ciclos de expansão e admissão.

Figura 3 - Nomenclatura das posições do pistão



Fonte: Brunetti (2012)

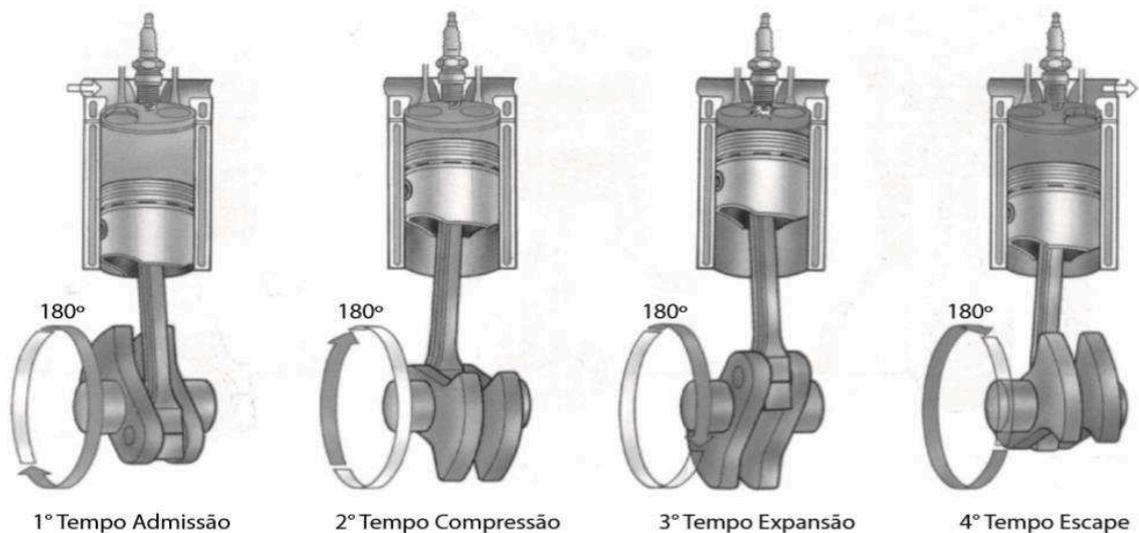
Onde:

- PMS: ponto morto superior – O pistão encontra-se mais próximo possível do cabeçote
- PMI: ponto morto inferior – O pistão encontra-se mais afastado possível do cabeçote.
- S: curso do pistão – Distância que o pistão percorre do PMS ao PMI ou vice versa.
- V1: volume total – é o volume entre a cabeça do pistão e o cabeçote quando o pistão encontra-se no PMI.
- V2: volume morto ou volume da câmara de combustão – é o volume entre a cabeça do pistão e o cabeçote quando o pistão encontra-se no PMS.

Os ciclos do motor quatro tempos do tipo Otto, representado na Figura 4, que será o objeto de estudo deste trabalho, são definidos por Brunetti (2012) como:

- Tempo de admissão: o pistão se desloca do ponto morto superior (PMS) para o ponto morto inferior (PMI) e em consequência do movimento é causada uma sucção causando um fluxo de gases pela válvula de admissão que se encontra aberta. Assim o cilindro é preenchido pela mistura ar-combustível ou somente ar para motores com injeção direta de combustível.
- Tempo de compressão: a válvula de admissão se fecha e o pistão é deslocado do PMI ao PMS comprimindo, assim, a mistura ou apenas ar dependendo do tipo de injeção do motor.
- Tempo de expansão: quando o pistão se aproxima do PMS uma faísca é acionada e assim provoca-se a ignição da mistura iniciando a combustão. Como essa combustão gera um grande aumento da pressão o pistão é forçado a descer para o PMI do motor. Neste processo é realizado o trabalho útil do motor ou geração de energia.
- Tempo de exaustão: com a válvula de exaustão aberta o pistão é deslocado do PMI ao PMS fazendo com que os gases queimados sejam retirados do cilindro; após essa exaustão é reiniciado o tempo de admissão.

Figura 4 - Os quatro tempos do motor



Fonte: Brunetti (2012)

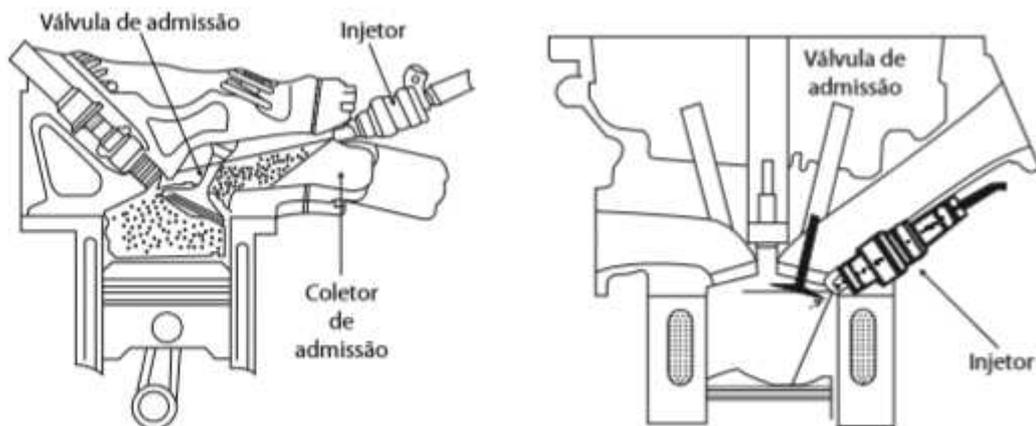
2.1.1 Tipo de alimentação

Segundo Brunetti (2012) os motores do ciclo Otto podem ser alimentados por combustível por meio de um sistema de injeção direta ou indireta, ou por um carburador. Este último é utilizado em aplicações de baixa potência onde as restrições de emissão de poluentes são menos restritivas. A utilização de injeção de combustíveis é mais precisa e proporciona um melhor controle das emissões.

Conforme Dias (2015) a injeção direta de combustível permite a introdução de recursos que aprimoram a eficiência da combustão, assim necessitando menos combustível para entregar os mesmos números de potência que um sistema de injeção indireta entregaria.

Segundo Dias (2015) no sistema de injeção indireta o combustível é pulverizado no coletor de admissão onde misturando-se ao ar que entrará na câmara de combustão, como o combustível é misturado fora da câmara de combustão ele tem contato com diversas partes do motor antes de chegar ao interior do cilindro. Já no sistema de injeção direta o combustível é pulverizado diretamente na câmara de combustão por um injetor localizado no cabeçote sendo assim evita-se que ocorra a condensação nas paredes do coletor de admissão, cabeçote e válvulas; então há uma maior precisão na quantidade de combustível injetada. Na Figura 5 ilustram-se as diferenças entre a injeção direta e indireta de combustível.

Figura 5 - Injeção indireta e direta de combustível



Fonte: Brunetti (2012)

2.1.2 Taxa de compressão

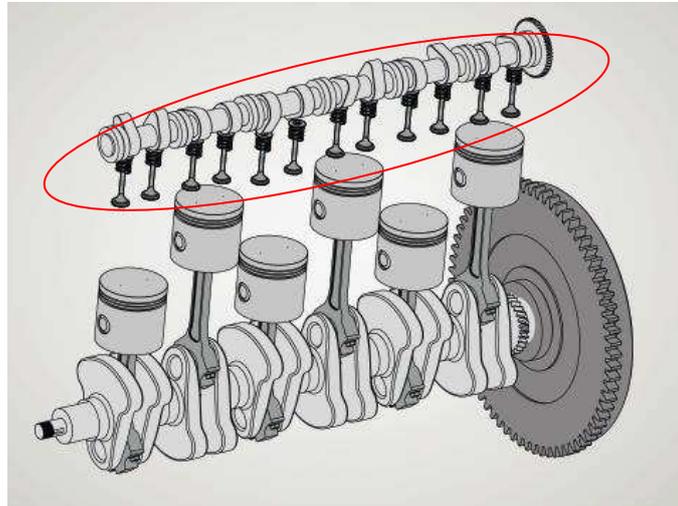
Segundo Pedrozo (2010) a taxa de compressão é definida como o volume total (V_t) interno do cilindro em razão do volume mínimo, onde V_t é obtido pela adição do volume deslocado (V_d) com o volume da câmara de combustão (V_c) demonstrado na Equação 1.

$$r_c = \frac{V_t}{V_{min}} = \frac{V_c + V_d}{V_c} \quad (1)$$

Segundo Pulkrabek (2003) motores de ciclo Otto possuem taxas de compressão que variam de 8 a 11, enquanto motores de ciclo Diesel possuem taxas de compressão que variam de 12 a 24. Motores sobrealimentados usualmente possuem menores taxas de compressão em comparação a motores naturalmente aspirados, em razão das altas pressões atingidas no interior da câmara de combustão.

2.1.3 Comando de Válvulas

Conforme Rodrigues (2014) o sistema de comando de válvulas é projetado para que as válvulas individualmente abram e fechem no momento adequado e se mantenham abertas pelo tempo necessário para permitir a admissão da mistura e a completa exaustão dos gases resultantes da combustão. No comando de válvulas existem duas características que são consideradas o levantamento (*lift*) e o tempo de abertura de válvulas. Quanto maior for o levantamento da válvula de admissão mais massa de ar será admitida, assim haverá maior rendimento volumétrico resultando em maior potência, porém somente até certo ponto, já que um levantamento de válvula muito grande acaba não sendo uma variável muito significativa na área de abertura da válvula. Quanto mais tempo as válvulas ficarem abertas maior será o volume de mistura admitido. O tempo de abertura deve ser definido com exatidão, já que se for muito grande o cruzamento de válvulas (período de tempo no qual a válvula de escape e admissão estão acionadas no mesmo tempo) também haverá o desperdício da mistura, antes da combustão, pela válvula de escape acarretando, assim, uma menor eficiência. Na Figura 6 apresenta-se em destaque um comando de válvulas.

Figura 6 – Comando de Válvulas

Fonte: MS-MOTORSERVICE (2017)

2.2 SOBREALIMENTAÇÃO

Segundo Pulkrabek (2003) *superchargers* e *turbochargers* são compressores montados na admissão de ar dos motores e aplicados na elevação da pressão do ar admitido, assim resultando num maior volume de ar combustível entrando nos cilindros em cada ciclo. Esse aumento da quantidade de mistura cria mais potência durante a combustão. O aumento de pressão pode ser entre 20 e 250 KPa.

2.2.1 Supercharger

Segundo Pulkrabek (2003) *Superchargers* são conectados mecanicamente de maneira direta ao virabrequim, por estar mecanicamente ligado ao motor quando houver mudança de rotação haverá alteração na quantidade de ar que será admitida no motor de maneira linear. Algumas desvantagens deste sistema incluem o alto custo, peso e ruído elevados. A maior vantagem deste sistema é a resposta instantânea ao comando do acelerador. A aplicação de *superchargers* está caindo em desuso, pois seu mecanismo não é tão eficiente e confiável quanto a outros tipos de mecanismos de sobrealimentação. Atualmente ele é utilizado em

paralelo a sistema de turbocompressores para suprir a falta de pressão no sistema de admissão nos momentos iniciais da aceleração do veículo. Na Figura 7 podemos ver um *Supercharger*.

Figura 7 - Supercharger

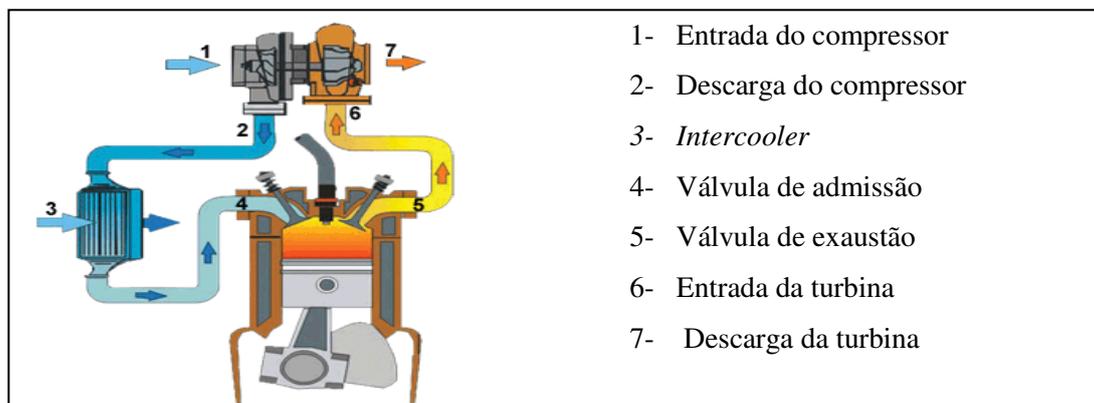


Fonte: HONDA TECH (2017)

2.2.2 Turbocompressor

Segundo Laino (2014) o turbocompressor é acionado por uma turbina que por sua vez é movida pelos gases eliminados pelo ciclo de exaustão do motor a energia contida nos gases provenientes da exaustão geralmente é desperdiçada nos motores naturalmente aspirados. O rotor da turbina é conectado por um eixo ao rotor do compressor e, assim, os dois rotores giram em conjunto comprimindo grandes quantidades do ar admitido e forçando-os para dentro dos cilindros durante o ciclo de admissão. Na Figura 8 ilustra-se o funcionamento do turbocompressor no motor.

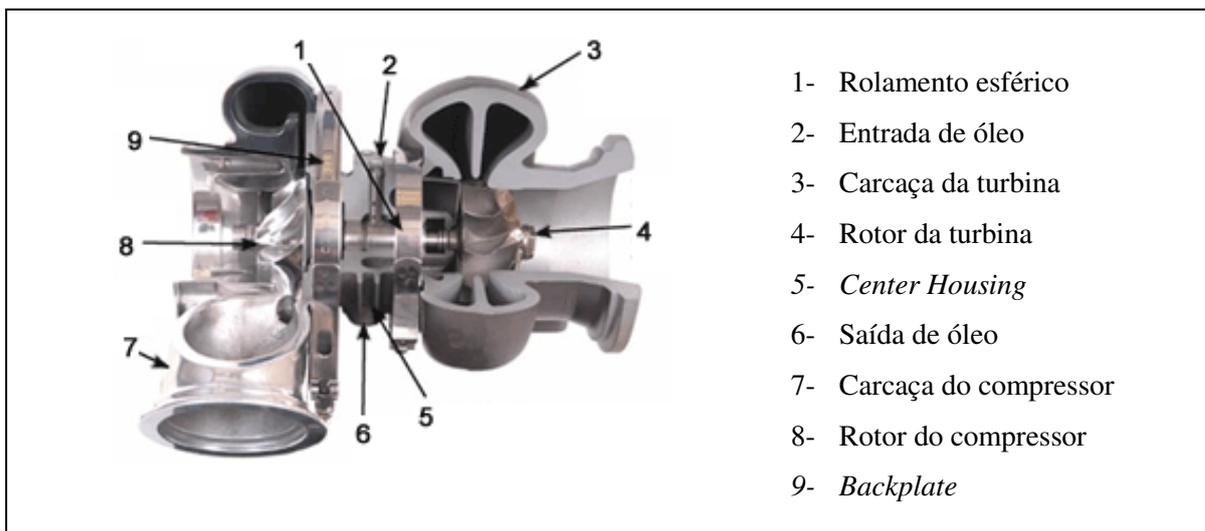
Figura 8 - Funcionamento do turbocompressor



Fonte: TURBO BY GARRET (2017) – Adaptado pelo autor

Na Figura 9 observam-se os principais componentes de um sistema turbocompressor

Figura 9 – Elementos do conjunto turbocompressor

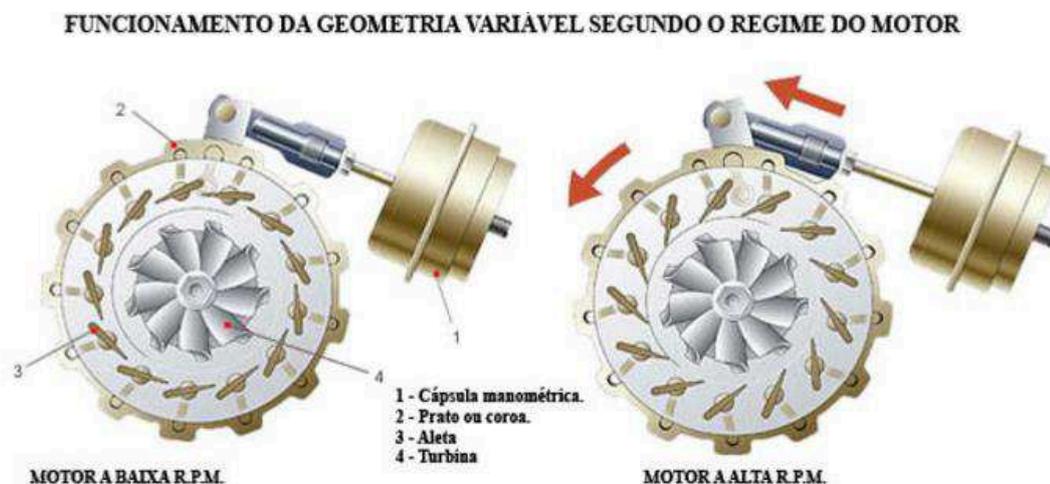


Fonte: TURBO BY GARRET (2017) – adaptado pelo autor

Segundo Laino (2014) Turbocompressores de geometria variável fazem uso de pás moveis para alterar o fluxo de ar para a turbina emulando diferentes turbocompressores, assim melhorando a curva de potência. As pás são montadas na frente da turbina como um conjunto de paredes sobrepostas. O ângulo de cada pá é modificado por um atuador para aumentar ou bloquear o fluxo de ar para a turbina. A variação no fluxo mantém a velocidade de exaustão e contrapressão nas mais diversas rotações do motor, resultando no aumento da eficiência no consumo de combustível e redução notável de turbo *lag*.

De acordo Laino (2014) em regime de rotação elevado assim representado a direita na Figura 10, quando a vazão de gases é maior, as aletas se abrem, diminuindo a contrapressão causada pela turbina assim possibilitando alta potência para o motor. Já em regime de baixa rotação como vemos a esquerda na Figura 10, as aletas se fecham reduzindo a área de passagem, assim aumentando a velocidade dos gases, com esse aumento de velocidade o rotor da turbina gira mais rápido aumentando, assim, a pressão e conseqüentemente o torque do motor. Em outras palavras a tecnologia de geometria variável busca fornecer ao motor a pressão de sobre alimentação ideal em todas as faixas de rotação.

Figura 10 – Turbocompressor de geometria variável



Fonte: LAINO (2014)

A falta de resposta instantânea do sistema de turbocompressor é o ponto para qual a indústria vem trabalhando para sobrepor. As soluções mais comuns são a adição de turbinas com tamanho reduzido assim tendo menor força inercial, portanto atingindo altas velocidades de trabalho mais rapidamente. Outra solução é a construção dos rotores em materiais mais leves para que ganhem rotação de maneira mais rápida, porém essas são soluções para motores de menor capacidade volumétrica. Para motores de maior capacidade volumétrica geralmente são aplicados mais de um turbocompressor, um pequeno que atinge o seu ponto ótimo de trabalho rapidamente e um maior que suprirá a quantidade de ar que um motor de maior porte necessita em regimes de rotações mais elevados.

2.3 O CONCEITO DE *DOWNSIZING*

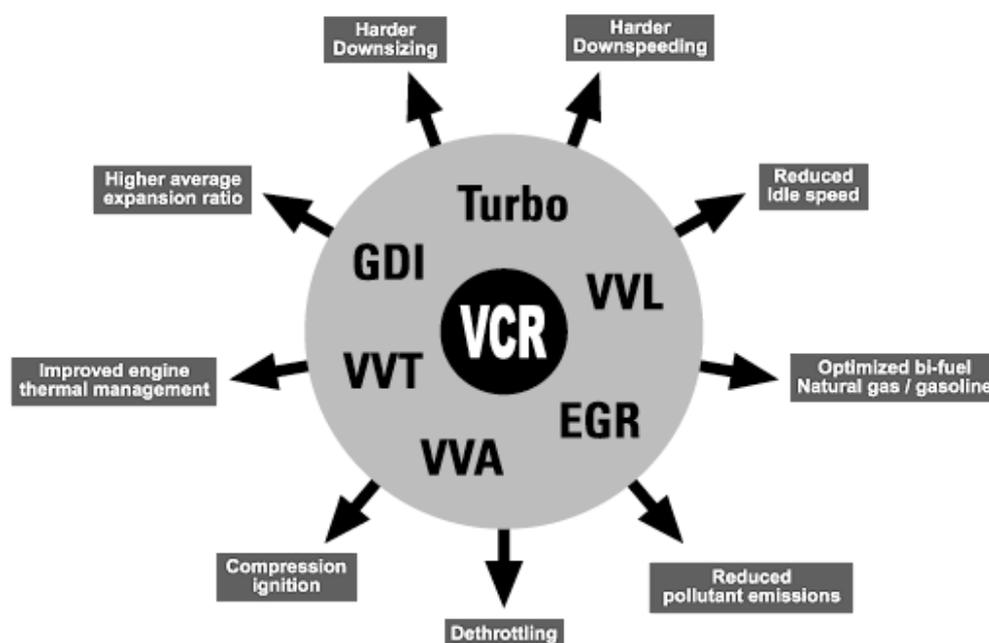
O *downsizing* foi criado não só por uma demanda de mercado, uma vez que os consumidores foram ficando cada vez mais conscientes dos danos causados por seus veículos, mas também por regras impostas por grandes mercados consumidores como, por exemplo, a Europa que desde 1993 vem criando normas regulatórias aos fabricantes de automóveis que desejam vender seus produtos dentro da união europeia devem seguir, são elas as normas de emissão de poluentes “euro” que já está na sua 6ª geração.

Segundo Citroën (2017) *engine downsizing* que em português seria redução do tamanho do motor é a diminuição da capacidade cubica do motor e em conjunto proporcionar um aumento na potência, através da adoção de tecnologias como: injeção direta de combustível e turbocompressor. Essas tecnologias aliadas ao conceito de *downsizing* resultam numa redução do consumo de combustível e também nas emissões de CO₂ não comprometendo o desempenho.

2.3.1 Tecnologias do *downsizing*

Quando se fala em tecnologias aplicadas no *downsizing* podemos englobar uma inúmera quantidade de avanços que nos permitiram ao longo dos anos a melhora da eficiência dos motores a combustão interna. Mas pode-se listar os principais uma vez que alguns desses avanços realmente afetaram de forma mais significativa.

Figura 11- Tecnologias do *downsizing*



Fonte: MCE-5 VCRi (2017)

Pode-se ver na Figura 11 alguns dos avanços mais importantes para o conceito do *downsizing*. Segundo MCE-5 VCRi (2017) os principais ganhos do *downsizing* são: a redução da rotação de ponto morto, a otimização para uso de mais de um tipo de combustível, redução

da emissão de poluentes, possibilidade de melhoria dos motores de ignição por compressão, redução na temperatura de trabalho do motor e maiores taxas de compressão entre outros.

Pode-se ver a seguir um aprofundamento das tecnologias aplicadas no *downsizing* expostas na Figura 11:

- Turbo: Ou também sobrealimentação, é a aplicação de turbinas movidas pelo reaproveitamento dos gases gerados pela queima da mistura ar combustível para forçar a entrada de mais ar para dentro do cilindro, ou também a aplicação de compressores mecânicos que aproveitam a energia cinética do motor para executar a mesma função.
- VVL: *Variable Valve Lift* ou levante de válvulas variável que, segundo ROT (2017) é geralmente utilizado para aprimorar a performance dos motores aproveitando todas as faixas de rotação uma vez que o perfil de abertura das válvulas se altera adaptando-se ao exigido. Existe o modo de levante baixo, para situações normais de condução e modo de levante alto para quando é exigido maior performance do motor.
- EGR: *Exhaust Gas Recirculation* ou recirculação de gases de exaustão que, segundo HANNU e MAGDI (2016) é uma válvula que permite a recirculação de gases da exaustão para a admissão do motor causando assim o aquecimento das galerias de admissão da mistura ar combustível reduzindo a quantidade de poluentes emitidos pelo motor. É um sistema mais comumente aplicado em motores diesel.
- VVA: *Variable Valve Actuation* ou atuação de válvulas variável que, segundo SAE (2017) é um conjunto construído da soma do VVL mais o VVT e outras tecnologias que influenciam no controle das válvulas do motor
- VVT: *Variable Valve Timing* ou tempo de abertura de válvulas variável que, segundo ROT (2017) é um Sistema que afeta diretamente as emissões de gases dos veículos permitindo que o motor tenha controle do momento de abertura das válvulas do motor podendo assim controlar a mistura ar combustível que está sendo admitido, basicamente menor volume de mistura em baixas rotações e maior volume em altas rotações.

- GDI: *Gasoline Direct Injection* ou injeção direta de combustível que, segundo Carros in Foco (2017) é a tecnologia mais atual quando se fala em injeção de combustível. Sua principal diferença em relação ao sistema indireto é a posição na qual o combustível é injetado, mas, além disso, o sistema GDI trabalha com duas linhas de pressão, sendo uma de baixa pressão e outra de alta pressão, e por isso tem uma pressão de trabalho severamente diferente. Comparativamente o sistema GDI tem uma curtíssima janela de 180° de rotação do virabrequim para injeção do combustível, enquanto que no sistema de injeção indireta o combustível pode ser injetado a qualquer momento durante 720° de rotação do virabrequim. Toda essa complexidade se reflete na redução de emissões, no aumento da durabilidade e desempenho dos motores equipados com sistema GDI. Contudo, a crescente aplicação da técnica downsizing, que visa reduzir o tamanho dos motores e aumentar seu desempenho através da utilização de turbocompressores, requer um sistema no qual o gerenciamento da *Engine Control Unit* seja ainda mais efetivo, e como nos sistemas GDI a *Engine Control Unit* tem maior controle sobre a injeção de combustível fica mais fácil controlar o enchimento dos turbocompressores por meio da pós-injeção no tempo de escapamento.

A figura 12 apresenta um motor que aplica várias dessas tecnologias, o Ford 1.0L família *Ecoboost* que possui potência específica de 138 Cv/l.

Figura 12 – Motor *Downsizing*

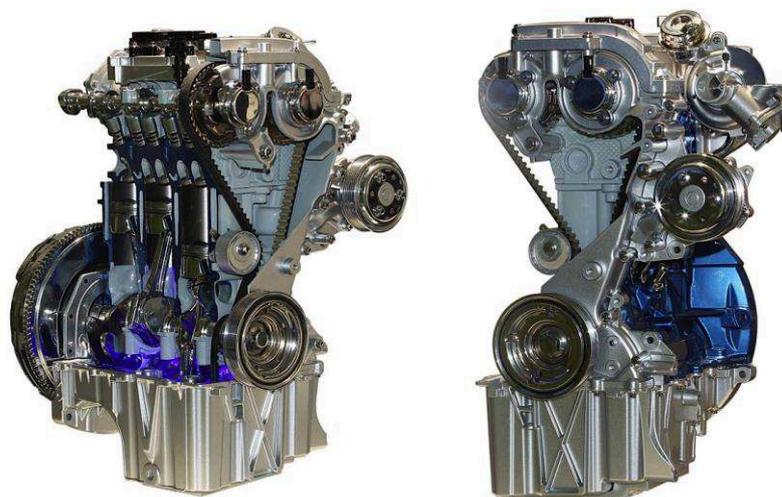


Figura 12 - Motor *Downsizing*. ENGINE LABS (2017)

3 METODOLOGIA

Segundo Silva (2001) uma pesquisa exploratória tem como objetivo a familiarização com o tema para que possa torna-lo explícito e assim possibilitar a construção de hipóteses, possui como característica principal o levantamento de informações por meio de uma pesquisa bibliográfica. Uma pesquisa bibliográfica consiste em uma pesquisa que se dá a partir de materiais já publicados em livros, artigos científicos e materiais de fontes confiáveis na internet.

Conforme Silva (2001) uma pesquisa descritiva tem como objetivo descrever as características de certo tema em estudo, fenômeno ou o estabelecimento de variáveis. Para atingir tal resultado é feita uma coleta de dados por meio de técnicas padronizadas.

Neste trabalho de graduação foi feita uma pesquisa exploratória descritiva sobre a tendência do desenvolvimento tecnológico dos motores a combustão, com ênfase no aumento da potência específica e redução do volume de emissões atingidas pela aplicação de técnicas contidas no *downsizing*. Para que tal objetivo fosse atingido foi feita uma revisão bibliográfica apoiada na literatura técnica sobre motores a combustão como:

- Motores a combustão interna por BRUNETTI. (2012)
- *Internal combustion engine fundamentals* por HEYWOOD. (1988)
- *Engineering fundamental of the internal combustion engine* por PULKRABEK. (2003)
- *Introduction to internal combustion engines* por STONE. (1999)

Utilizou-se também a literatura acadêmica disponível em trabalhos de graduação e teses como:

- Injeção direta x indireta: As diferenças entre as tecnologias TSI e FSI por DIAS. (2015)
- *Exhaust Gas Recirculation* por HANNU JÄÄSKELÄINEN, MAGDI K. KHAI. (2016)
- Estudo de como a sobrealimentação alimenta a eficiência energética nos motores bicomustíveis por LAINO. (2014)
- Desenvolvimento de motor de alta performance a etanol para competição formula SAE através de simulação computacional e validação experimental por PEDROZO. (2010)

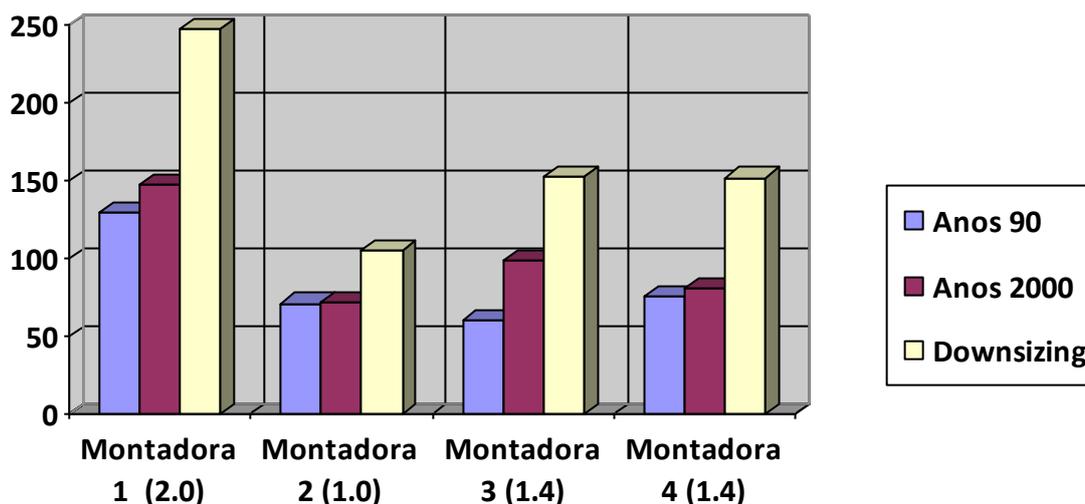
- “*Downsizing*” em motores de combustão interna: Uma abordagem de inovação tecnológica por RODRIGUES. (2014)

Também com o objetivo de obter informação de alta qualidade e atualizada pesquisou-se em sites de empresas pioneiras nas próprias áreas e também mídias especializadas como:

- CARRODEGARAGEM.COM
- CARROSINFOCO.COM.BR
- CITROEN.COM.BR
- ENGINELABS.COM
- HONDATECH.COM
- MCE-5.COM
- MS-MOTORSERVICE.COM.BR
- ROADANDTRACK.COM
- SAE.ORG
- TURBOBYGARRETT.COM

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gráfico 1 – Análise da evolução de potência e tipos de motores



Fonte: Elaborado pelo autor

Esta pesquisa mostrou resultados positivos, ao verificar os ganhos na eficiência dos motores a combustão interna quando aplicadas as tecnologias contidas no *downsizing* (Ex: sobrealimentação, injeção direta...) e também melhorias na emissão de gases poluentes.

No gráfico 1 analisa-se que a evolução da potência entregue ao consumidor ao longo dos anos, nos anos 90 a tecnologia aplicada a motores era apenas, em geral, injeção eletrônica indireta multiponto de combustível, já nos anos 2000 podemos ver o avanço nas tecnologias aplicadas, como a aplicação de materiais mais nobres como alumínio e adição de variadores de fase. Já na era do *downsizing* podemos ver um aumento significativo na eficiência dos motores.

Analisando o gráfico, pode-se concluir no caso da montadora 1 que nos anos 90 com os motores disponíveis, que utilizavam de uma construção considerada simples, para 2004 quando foram introduzidos os motores mais avançados houve um aumento na potência entregue em cerca de 13% com a simples adoção de materiais mais nobres na construção além de maior complexibilidade na *Engine Control Unit* (ECU), já em 2014 foram introduzidas algumas tecnologias de *downsizing* nesse motor sendo assim uma evolução do motor já

utilizado no mercado brasileiro. Foram adotados variadores de fase nos comandos de admissão e exaustão além da injeção direta de combustível entre outros avanços e atingiu-se a marca de 178 CV um aumento de aproximadamente 22% nos números de potência do motor 2 litros já utilizado até então pela montadora 1. Agora na era do *downsizing* temos um novo motor que além das tecnologias já empregadas nos motores anteriores tem a adição de sobrealimentação por turbocompressor, além de outras melhorias, assim entregando uma potência de 248 CV ou seja aproximadamente 40% de aumento na potência em relação ao motor 2.0L já existente no portfólio. No caso deste motor com tecnologias downsizing o seu objetivo foi substituir o motor já existente no portfólio da montadora 1, o 3.0 V6 que entregava valores de potência e torque semelhantes, mas com o deslocamento maior, portanto maior consumo.

Ainda analisando o gráfico 1 pode-se, também, fazer um paralelo com os motores da Montadora 4 e Montadora 3, que com tecnologias de *downsizing* atingiram potências semelhantes com os motores com deslocamento maior do passado, visto no gráfico 1 que o número de potência do motor 1.4L da era *downsizing* e o 2.0L da montadora 1 dos anos 2000.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a compreensão de que o uso das tecnologias do *downsizing* possibilita aumentar a performance dos motores a combustão interna mesmo que haja a diminuição do volume deslocado nos motores a combustão interna, ou seja, aumento da potência específica.

O estudo mostra também que as tecnologias do *downsizing* permitem a diminuição das emissões de poluentes e o consumo de combustível características que são amplamente desejadas pelo mercado consumidor. Compreende-se ainda que o *downsizing* já vem sendo utilizado a muito tempo no mercado europeu para que haja a adequação as leis de emissões de poluentes EURO que já está em sua 6^o geração, já no mercado brasileiro o uso destas tecnologias só ganhou força nos últimos três anos quando houve grande aumento na oferta de veículos com motores que utilizam as tecnologias do *downsizing*. Percebe-se ainda que os veículos que empregam as tecnologias do *downsizing* em seus motores obtiveram grande aceitação do mercado consumidor brasileiro.

O mercado automobilístico mundial visa sempre baixar as emissões de poluentes e consumo de combustíveis, nota-se também que as montadoras começam a substituir os motores de quatro cilindros por motores de apenas três cilindros para que se obtenha menor atrito interno, sugere-se para pesquisas futuras o aprofundamento neste tipo de motorização que aparenta ser o futuro do *downsizing*.

REFERÊNCIAS

BRUNETTI, F. **Motores a combustão interna**: Volume 1 / Franco Brunetti. - São Paulo: Blucher, 2012.

CARROS IN FOCO. **Sistema de Alimentação Por Injeção Eletrônica GDI**. Disponível em: <<http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2015/02/sistema-de-alimentacao-por-injecao-eletronica-gdi/>>. Acesso em 09 de setembro de 2017.

CITROEN. **Engines Downsizing**. Disponível em: <<http://www.citroen.com.br/universo-citroen/tecnologias/engine-downsizing.html>>. Acesso em 29 de abril de 2017.

DIAS, T. **Injeção direta x indireta: As diferenças entre as tecnologias TSI e FSI**. Disponível em: <<http://mecanicaonline.com.br/wordpress/2015/07/22/injecao-direta-x-indireta-as-diferencas-entre-as-tecnologias-tsi-e-fsi>>. Acesso em 29 de abril de 2017.

ENGINE LABS. **Upgraded Ford 1.0-liter EcoBoost Engine Boasts 140 Horsepower**. Disponível em: <<https://www.enginelabs.com/news/upgraded-ford-1-0-liter-ecoboost-engine-boasts-140-horsepower/>>. Acesso em 09 de setembro de 2017.

HANNU JÄÄSKELÄINEN, MAGDI K. KHAI. **Exhaust Gas Recirculation, 2016**. Disponível em: <https://www.dieselnet.com/tech/engine_egr.php>. Acesso em 09 de setembro de 2017.

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. New York: McGrawHill, 1988.

HONDA TECH. **Supercharger**. Disponível em: <<https://honda-tech.com/forums/attachments/forced-induction-16/181930d1293514343-%2A%2A%2A-official-jrsc-thread%2A%2A%2A-mp45sc.jpg>>. Acesso em 29 de abril de 2017.

LAINO, R.V. **Estudo de como a sobrealimentação alimenta a eficiência energética nos motores bicompostíveis**. Monografia (Pós Graduação Engenharia Automotiva) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2014.

MCE-5. **Il booste tout ce qui existe**. Disponível em: <http://www.mce-5.com/pop_up/atouts_strategiques/Il_booste_tout_ce_qui_existe.html>. Acesso em 09 de setembro de 2017.

MS – MOTORSERVICE. **Comando de Válvulas**. Disponível em: <https://www.ms-motorservice.com.br/fileadmin/media/corporate_content/Product_Pictures/Nockenwelle_BFG/BF_obenliegende_nockenwelle_grafik.png>. Acesso em 30 de abril de 2017.

PEDROZO, V.P. **Desenvolvimento de motor de alta performance a etanol para competição formula SAE através de simulação computacional e validação experimental**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PULKRABEK, W. W. **Engineering fundamental of the internal combustion engine**. New Jersey: Prentice Hall, 2003.

RODRIGUES, T.M. **“Downsizing” em motores de combustão interna: Uma abordagem de inovação tecnológica**. Monografia (Pós Graduação Engenharia Automotiva) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2014.

ROT. **How Variable Valve Timing Works, And How it Makes Your Engine Better**. Disponível em: <<http://www.roadandtrack.com/car-culture/buying-maintenance/videos/a32245/how-variable-valve-timing-lift-work-benefits/>>. Acesso 09 de setembro de 2017.

SAE. **Variable Valve Actuation: Design and Performance Impact on Advanced Powertrains**. Disponível em: <<http://training.sae.org/seminars/c1332/>>. Acesso em 09 de setembro de 2017.

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.121p.

STONE, R. **Introduction to internal combustion engines**. London:Macmillan, 1999.

TURBO BY GARRET. **Turbocharger**. Disponível em: <<https://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/basic>>. Acesso em 29 de abril de 2017.