

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**LUCAS MARCHETTI**

**ANÁLISE DE ALTERAÇÕES NO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE AR PARA MOTORES DE  
COMBUSTÃO INTERNA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2019**

LUCAS MARCHETTI

**ANÁLISE DE ALTERAÇÕES NO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE AR PARA  
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk

PATO BRANCO

2019

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### Análise de Alterações no Sistema de Captação de Ar para Motores de Combustão Interna

Lucas Marchetti

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 19/06/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

---

Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Junior  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. MsC. Luis Antonio Brum Do Nascimento  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

\*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial meus pais e minha irmã, por todo apoio e dedicação durante este longo caminho percorrido. Sem eles, nada seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha família, meu pai Jair Otavio Marchetti, minha mãe Ivone Calgarotto Marchetti e minha irmã Ana Paula Marchetti por todo apoio e dedicação nesta trajetória em busca da realização de um sonho.

Agradeço ao meu orientador, professor Doutor Paulo Cezar Adamczuk por acreditar no meu trabalho e pelas ideias e ensinamentos compartilhados neste período.

Aos professores da universidade que se fizeram presente durante minha vida acadêmica, pelos ensinamentos, conhecimentos e experiências compartilhadas durante minha trajetória acadêmica.

Agradeço aos professores presentes na banca, por aceitarem participar deste momento tão importante na minha vida.

Agradeço aos amigos que fiz na UTFPR, em especial os que se tornaram irmãos para mim, Arcangelo Bernasconi e Luciano Forner por todo apoio e motivação nos tempos difíceis.

Agradeço imensamente aos amigos da vida, que sempre me apoiaram e me motivaram de alguma maneira, em especial meu grande amigo e sócio Guilherme Cavalli por todo apoio e ajuda na trajetória também da vida.

## EPÍGRAFE

*“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.”*

*Ayrton Senna*

## RESUMO

MARCHETTI, Lucas. Análise de alterações no sistema de captação de ar para motores de combustão interna. 2019. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Os veículos produzidos em larga escala e vendidos ao mercado nacional possuem limitações quanto sua eficiência por possuírem restrições no sistema de admissão e exaustão dos gases do motor. O maior empecilho no ganho de potência de um motor aspirado é a restrição do fluxo de ar admitido gerado pelo sistema original. Este trabalho propõe analisar o sistema de admissão de um veículo a combustão interna, analisando mudanças na captação do ar e avaliando o comportamento da temperatura e fluxo do ar, e também da potência do motor estudado. Foram realizados testes em três condições diferentes: filtro de ar original, filtro de ar esportivo e filtro de ar esportivo com defletor para isolar o ar quente do cofre do motor. O estudo ocorreu em um dinamômetro de rolo situado na oficina Pro Auto Centro Automotivo em Pato Branco - Paraná. De acordo com os resultados, foi observado um aumento de potência. O filtro esportivo e ar frio foi o que teve o maior ganho, obtendo aproximadamente 5 cv de potência a mais que o filtro original. O filtro esportivo e ar quente também obteve uma melhora, com um ganho de 2,3 cv. Também foi verificado aumento no fluxo de ar e queda na temperatura de ar admitida com o filtro de ar esportivo aliado ao defletor de ar quente. Conclui-se que os resultados foram satisfatórios, agregando conhecimento teórico no meio acadêmico e também uma forma de realização pessoal e profissional.

**Palavras-chave:** Sistema de admissão; Filtro de ar Esportivo; Potência; Torque; *Mass Air Flow*; Temperatura do ar;

## ABSTRACT

MARCHETTI, Lucas. Analysis of changes in the air intake system for internal combustion engines. 2019. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Mass production cars and sold on the national market have limitations on their efficiency because they have restrictions on the intake and exhaust system of the engine. The biggest drawback in the power gain of a naturally aspirated engine is the restriction of the allowed airflow generated by the original system. This work proposes to analyze the system of admission of a vehicle to internal combustion, analyzing changes in air capture and evaluating the behavior of temperature and airflow, and also the power of the engine studied. Tests were performed in three different conditions: original air filter, sport air filter and sports air filter with baffle to isolate the hot air from the engine compartment. The study was performed on a dynamometer located at the Pro Auto Center Automotive workshop in Pato Branco - Paraná. According to the results, an increase in power was observed. The sports filter and cold air was the one that has the highest gain, obtaining approximately 5 cv of more power than the original filter. The sports filter and hot air also improved, with a gain of 2.3 cv. There was also an increase in the air flow and a decrease in the allowed air temperature with the sport air filter, allied to the hot air deflector. It was concluded that the results were satisfactory, adding theoretical knowledge in the academic environment and also providing professional and personal fulfillment.

**Keywords:** Intake system; Cold air Intake; Power; Torque; Mass Air Flow; Air Temperature;



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho com as partes básicas de um cilindro de motor. ....	17
Figura 2 - Os 4 tempos do motor de ignição comandada. ....	18
Figura 3 - Esquema admissão de ar .....	19
Figura 4 – Lambda de acordo com o combustível e tipo do motor. ....	20
Figura 5 - Filtro de Ar .....	24
Figura 6 - Filtro De Ar Esportivo Cônico Duplo Fluxo Linha FLRS .....	25
Figura 7 - Fluxograma .....	26
Figura 8 - Motor M52B28 .....	27
Figura 9 - Sensor MAF .....	27
Figura 10 - Sensor de temperatura do ar .....	28
Figura 11 - Posição do Sensor de Temperatura .....	28
Figura 12 - Cabo ADS .....	29
Figura 13 - Software INPA .....	29
Figura 14 - Dinamômetro .....	30
Figura 15 - Ventilador de alta vazão .....	31
Figura 16 - Cabo ADS instalado na tomada de diagnóstico da injeção .....	32
Figura 17 - Exemplo de Teste em Dinamômetro .....	32
Figura 18 - Sistema de admissão de ar original .....	33
Figura 19 - Filtro RS Filtros instalado .....	34
Figura 20 - Defletor de calor instalado no cofre do motor .....	34
Figura 21 - Exemplo de uma curva de torque e potência medido em dinamômetro .	35
Figura 22 - Dados meteorológicos dos testes .....	35
Figura 23 - Início dos testes .....	36
Figura 24 - Gráfico das Tabelas 1, 2 e 3 .....	38
Figura 25 - Gráfico de Potência 1 .....	39
Figura 26 - Instalação do Filtro Esportivo Cônico .....	40
Figura 27 - Gráfico das Tabelas 4, 5 e 6 .....	41
Figura 28- Gráfico de Potência 2 .....	42
Figura 29 - Filtro esportivo com defletor de calor .....	43

Figura 30 - Gráfico das Tabelas 7, 8 e 9.....	44
Figura 31 - Gráfico de Potência 3 .....	45
Figura 32 - Gráfico da Temperatura do Ar .....	46
Figura 33 - Gráfico do Fluxo de Ar .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados obtidos com o sistema de admissão original (baixa rotação)	37
Tabela 2 - Resultados obtidos com o sistema de admissão original (média rotação) .....	37
Tabela 3 - Resultados obtidos com o sistema de admissão original (alta rotação) ...	37
Tabela 4 - Resultados obtidos com o filtro RS Filtros (baixa rotação) .....	40
Tabela 5 - Resultados obtidos com o filtro RS Filtros (média rotação).....	40
Tabela 6 - Resultados obtidos com o filtro RS Filtros (alta rotação) .....	40
Tabela 7 - Resultados obtidos com o defletor de ar frio (baixa rotação) .....	43
Tabela 8 - Resultados obtidos com o defletor de ar frio (média rotação).....	43
Tabela 9 - Resultados obtidos com o defletor de ar frio (alta rotação) .....	44

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.2.1 Objetivo Principal .....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA .....	17
2.1.1 Ciclo Otto .....	17
2.1.2 Sistema de Admissão Ar-combustível.....	19
2.1.3 Relação Ar Combustível .....	20
2.1.4 Torque e Potência.....	22
2.1.5 Eficiência Volumétrica .....	23
2.1.6 Tipos de filtros .....	24
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS .....	26
3.1.1 Veículo .....	26
3.1.2 Sensor MAF .....	27
3.1.3 Sensor de temperatura do ar .....	28
3.1.4 Cabo ADS .....	29
3.1.5 Software INPA (Scanner) .....	29
3.1.6 Dinamômetro .....	30
3.1.7 Sistema de refrigeração.....	31
3.2 METODOLOGIA .....	31
3.2.1 Instalação dos Instrumentos .....	31
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>36</b>
4.1 SISTEMA ORIGINAL .....	36

4.2 FILTRO ESPORTIVO – AR QUENTE .....	39
4.3 FILTRO ESPORTIVO – AR FRIO .....	42
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Motores de combustão interna são conhecidos desde o século XVIII quando Nikolaus August Otto desenvolveu o motor conhecido hoje como ciclo Otto com quatro tempos e combustão interna. Ao longo de mais de 100 anos, muita tecnologia foi desenvolvida aperfeiçoando o funcionamento destes motores, e grande parte das inovações, estudos termodinâmicos e aumento da eficiência ocorreram ao longo da história dos veículos motorizados.

Segundo Heywood (1988) a ideia principal desse tipo de motor é a produção de energia mecânica através da energia obtida com a explosão da mistura ar combustível.

Um motor de combustão interna (e naturalmente aspirado) é limitado pela quantidade de ar admitido em cada ciclo, pois possui um volume fixo. Para se obter o máximo de eficiência, é preciso ter o mínimo de restrições possíveis, tanto na admissão quanto no escapamento. Porém, em um carro de produção em série, feito principalmente para uso urbano, existem leis de emissões que obrigam o uso do catalisador e abafadores, e também a necessidade de uso de um filtro de ar para preservação do motor e menor ruído dentro do veículo. Tudo isso acaba influenciando na potência final do motor, e no caso do motor estudado isso não é diferente.

A caixa de filtro de ar original é grande, feita para abafar o som de sucção do ar feita pelo motor, o filtro de ar é feito de elemento filtrante pensado na durabilidade do motor, e não na performance total do veículo.

O maior empecilho no ganho de potência de um motor original é a restrição do fluxo de ar admitido para o motor, gerado pelo sistema original. Entusiastas costumam fazer a substituição do filtro original por um filtro esportivo, que é capaz de aumentar o fluxo de ar com menos restrição que um filtro de ar comum. Porém, o que é ignorado por muitas pessoas, é o fato de que além de diminuir a restrição, o filtro esportivo pode também captar ar quente vindo do cofre do motor, o que acaba anulando os benefícios desse sistema.

Para maximizar os ganhos usando o filtro de ar esportivo, é necessário também que ele faça captação exclusivamente de ar frio vindo da área frontal do veículo, usando um sistema isolante no cofre do motor.

Pode-se monitorar alguns parâmetros do motor usando um aparelho conectado à central do veículo para medir a massa de ar admitida pelo motor, e

também a temperatura do ar admitido, permitindo assim saber se é possível obter o máximo aproveitamento em cada faixa de rotação do motor.

Assim, pode-se avaliar a eficiência dessa modificação, podendo comprovar os dados do fabricante que garante ganhos estimados de 8 cv.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Principal

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o comportamento da potência e torque máximos de um motor a combustão interna com a instalação de um filtro esportivo duplo fluxo aliado a modificação na tomada de ar para captação de ar frio, comparando em que faixas de rotações (baixas, médias ou altas rotações) existe melhora no fluxo de ar e queda da temperatura do ar admitido.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal, os seguintes objetivos devem ser atingidos:

- Descrever o sistema de admissão de ar/combustível e a importância de seu dimensionamento adequado;
- Fabricar um defletor isolado de ar quente no cofre do motor;
- Realizar testes reais em um dinamômetro, comparando os parâmetros massa de ar e temperatura de ar admitida pelo motor nas condições do filtro original, filtro de ar esportivo e também o sistema do filtro de ar esportivo com o defletor para captação de ar frio.
- Testar o fluxo de ar em baixas (2000 rpm), médias (4000 rpm) e altas rotações (6000 rpm) para avaliar se há um aumento com as modificações propostas.
- Levantar os valores máximos de torque e potência nas três condições experimentais (filtro original, filtro esportivo e filtro

esportivo com defletor) para avaliar se há ganho de torque e potência na troca do filtro.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Os veículos produzidos em larga escala e vendidos ao mercado nacional possuem limitações quanto sua eficiência por possuírem restrições no sistema de admissão e exaustão dos gases do motor. Entre elas pode-se citar: filtro de ar original, catalisadores e abafadores. Esses elementos são instalados com objetivo de atender a normas visando reduzir a poluição ambiental e diminuição dos ruídos internos para maior conforto dos passageiros.

O filtro de ar original gera uma perda de carga, além de ter um sistema restritivo na forma de uma grande caixa para evitar ressonância do ar turbulento que entra para o motor. O elemento filtrante é feito de papel plissado (com dobras) para aumentar a área filtrante, o que também gera restrições.

A falta de entendimento técnico sobre o assunto, de pesquisas relacionadas ao tema e a carência de testes em ambiente controlados motivaram a escolha do trabalho. Com os valores obtidos nos testes em um dinamômetro, será possível analisar e avaliar se a alteração do filtro de ar juntamente com o sistema de captação de ar frio trará ganhos expressivos de potência para o veículo estudado.

Este trabalho também visa agregar conhecimento teórico sobre o assunto no meio acadêmico, esclarecendo dúvidas sobre a eficiência dos filtros esportivos vendidos no mercado nacional, e apresentando uma possível opção de melhorar o desempenho. Além disso, torna-se objeto de realização pessoal e profissional, devido ao interesse e dedicação à esta atividade.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

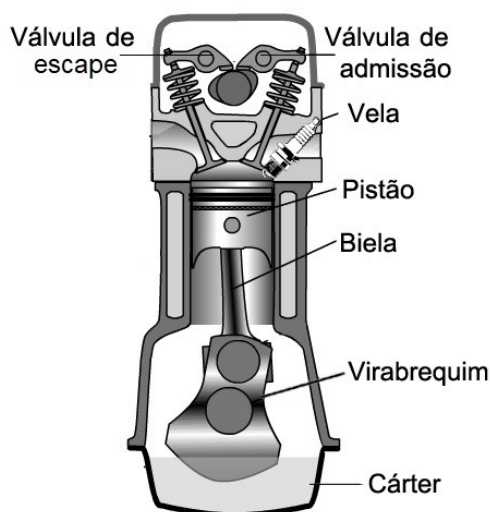
### 2.1 MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA

#### 2.1.1 Ciclo Otto

Motores de combustão interna são conhecidos desde o século XVIII quando Nikolaus August Otto se baseou no ciclo teórico de Alphonse Beau de Rochas e desenvolveu o motor conhecido hoje como ciclo Otto com quatro tempos. Inicialmente movido a gás, posteriormente aprimorado para aproveitar o aumento de pressão resultante da combustão da mistura ar-combustível. A ideia principal desse tipo de motor é a produção de energia mecânica através da energia obtida com a explosão da mistura ar combustível (HEYWOOD, 1988).

O motor é constituído por cilindros, onde deslizam os pistões (em movimento alternado) ligados ao virabrequim por bielas. O virabrequim é ligado por correia ou corrente ao eixo comando de válvulas, que controla abertura das válvulas, permitindo entrada de ar nos cilindros e também a expulsão dos gases produto da explosão. A vela é responsável pela faísca que dá início à explosão. (MARTINS, 2005).

Figura 1 - Desenho com as partes básicas de um cilindro de motor.



Fonte: Oleoparacarros, 2011.

O ciclo de quatro tempos (Otto) requer, para cada cilindro do motor, duas revoluções do virabrequim para cada ciclo de potência. O funcionamento segue a seguinte ordem (Figura 2) (motor aspirado):

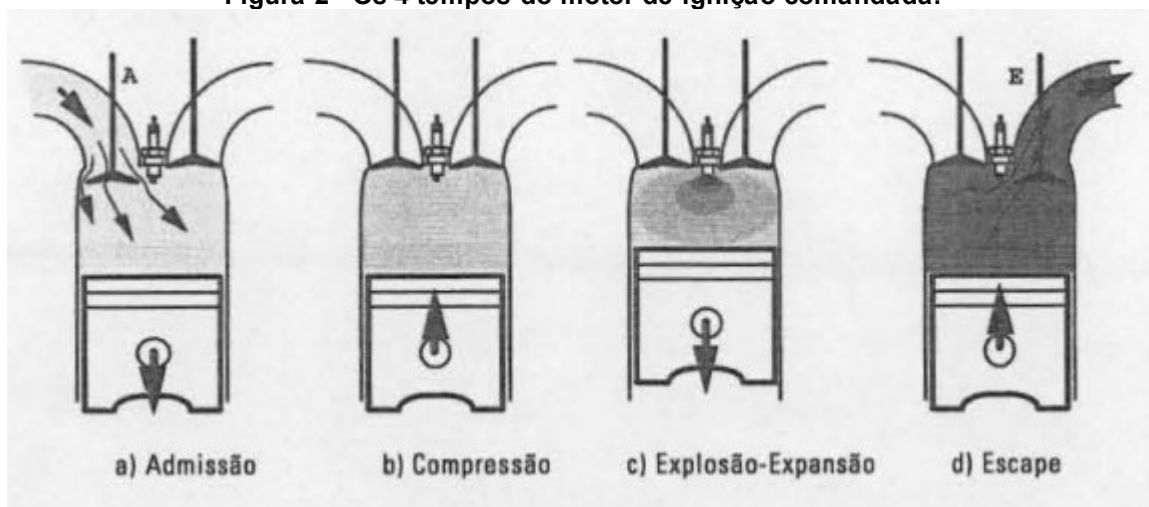
1º tempo: Admissão – O pistão que está em PMS, a válvula de admissão se abre e então o pistão desce puxado pelo virabrequim. Neste momento, há pressão negativa dentro do cilindro (vácuo), e a mistura de ar e combustível entra na câmara de combustão até o momento em que o pistão atinge o PMI, e a válvula de admissão se fecha completando o primeiro tempo do motor.

2º tempo: Compressão – Neste momento as válvulas estão fechadas, e o pistão sobe comprimindo a mistura dentro da câmara de combustão. O tempo se encerra no momento em que o pistão chega ao PMS.

3º tempo: Expansão – No momento em que o pistão chega ao ponto máximo, uma faísca elétrica é disparada entre os eletrodos da vela, fazendo com que a mistura já comprimida queime e se expanda. A pressão gerada com a explosão gera uma força violenta para baixo fazendo o pistão descer rapidamente ao PMI.

4º tempo: Escape – Neste momento, a válvula de escape se abre, e os gases gerados pela queima na câmara de combustão evadem-se em alta velocidade. O pistão sobe limpando o interior do cilindro de gases queimados, até o momento em que o pistão chega novamente ao PMS e a válvula de escape se fecha encerrando o ciclo.

**Figura 2 - Os 4 tempos do motor de ignição comandada.**



Fonte: MARTINS (2005)

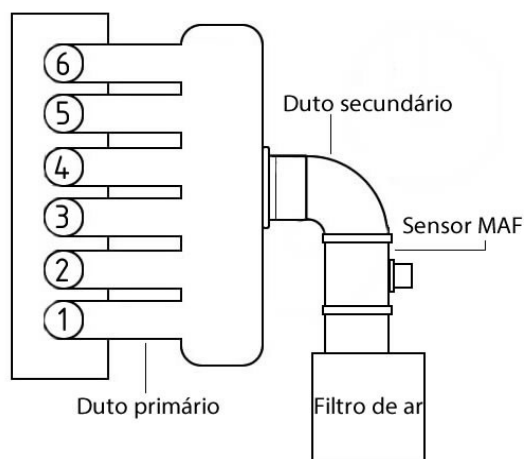
### 2.1.2 Sistema de Admissão Ar-combustível

O sistema de admissão de um motor a combustão interna tem como objetivo captar o ar num ponto de temperatura mais baixa do que a temperatura dentro do cofre do motor, também deve filtrar este ar para evitar que impurezas sejam sugadas e danifiquem as partes moveis do motor. Deve controlar a quantidade de ar admitida conforme a necessidade (carga do motor) e distribuir igualmente o ar admitido entre os cilindros.

Segundo Cavaglieri (2014), os motores de combustão interna de ciclo Otto, na fase de admissão (1º tempo) onde a válvula de admissão está totalmente aberta permitindo a entrada da mistura ar combustível, tem seu preenchimento prejudicado devido ao aquecimento da mistura. Como consequência, ocorre a diminuição da massa de ar admitida e aumento de perdas de carga ao longo do sistema de admissão, diminuindo assim a eficiência volumétrica do motor.

Os dutos de admissão de um motor têm como principal função levar o ar atmosférico até o interior dos cilindros, garantindo uniformidade de massa de ar entre eles. Dutos menores priorizam o rápido enchimento do volume do cilindro com ar mesmo em baixas rotações, garantido torque desde cedo, enquanto dutos maiores priorizam um maior fluxo de ar em altas rotações trazendo assim um maior pico de potência. Portanto, a geometria dos dutos é projetada com base nas características do motor buscando um ótimo funcionamento em todas as faixas de rotação, com mínimo de perda de carga possível para garantir o máximo rendimento volumétrico. (SOUZA,2010).

**Figura 3 - Esquema admissão de ar**



**Fonte: Autoria própria (2018).**

### 2.1.3 Relação Ar Combustível

Segundo Câmara (2006), uma mistura estequiométrica corresponde a uma combinação ar combustível que resulta em uma queima perfeita, ou seja, quando todo o hidrogênio e carbono do combustível são convertidos após a explosão em dióxido de carbono. Além disso, a gasolina brasileira, que possui cerca de 27% de etanol em sua composição, possui uma relação estequiométrica de 14,7:1 (Petrobras,2019).

Com a razão estequiométrica, é possível calcular o fator *lambda* ( $\lambda$ ), que é a diferença de massa de ar admitida pelo motor em relação a massa de ar necessária para a mistura estequiométrica (PEREIRA,2015).

$$\lambda = \frac{\text{Relação Ar/Combustível real}}{\text{Relação Ar/Combustível estequiométrica}} \quad [1]$$

O fator *lambda* nos mostra o estado da mistura que sai do motor. Caso a mistura seja proveniente de uma queima perfeita, o valor de *lambda* é igual a 1. Lambda maior que 1 chama-se mistura pobre (massa de ar admitida é maior que a massa necessária para a mistura estequiométrica). Para valores menores a 1, chama-se a mistura de rica (a massa de ar admitida pelo motor é menor do que a massa de ar necessária para a mistura estequiométrica). Na prática, os valores diferem para cada motor dependendo de suas características (aspirado, turbo, etc).

**Figura 4 – Lambda de acordo com o combustível e tipo do motor.**

Tipo de Motor	Combustível	Lambda Máxima Potência
Aspirado	Gasolina	0,86 a 0,90
	Álcool	0,84 a 0,86
	Metanol	0,80 a 0,84
Turbo (Baixa Pressão)	Gasolina	0,82 a 0,88
	Álcool	0,80 a 0,85
	Metanol	0,76 a 0,82
Turbo (Alta Pressão)	Gasolina	0,80 a 0,82
	Álcool	0,74 a 0,80
	Metanol	0,68 a 0,78

Fonte: FT Education (2018).

Sistemas de ignição eletrônica fazem a combinação da mistura baseados em diversos fatores, fazendo com que um motor operando em uma mesma rotação e

carga, apresente relação ar combustível diferente de outro nas mesmas condições. O objetivo é que o sistema prepare a melhor combinação entre o ar admitido e o combustível disponível para qualquer condição de funcionamento do motor. Uma ótima razão em determinada carga e rotação de um motor será aquela que consegue um maior torque com o menor consumo de combustível. (CÂMARA,2006).

Segundo Pelliza (2003), os sistemas de injeção eletrônica de combustíveis podem ser classificados como monoponto (onde possui apenas um eletro-injetor para todos os cilindros do motor) ou multiponto (que possui um eletro-injetor por cilindro e posicionados próximo da válvula de admissão). O sistema multiponto pode ainda ser dividido em 3 tipos:

- Injeção eletrônica multiponto sincronizada: onde a injeção de combustível ocorre de forma sincronizada em todos os cilindros simultaneamente;

- Injeção eletrônica multiponto sequencial: onde a injeção de combustível ocorre de forma sequencial na mesma ordem de abertura das válvulas de admissão;

- Injeção eletrônica multiponto sequencial fasada: seguindo o mesmo princípio do sistema sequencial, injetando combustível de maneira sequencial na ordem da abertura das válvulas, porém com injeção de combustível em dois momentos, durante a abertura e durante o fechamento da válvula.

Os sistemas de injeção eletrônica modernos, trabalham com um módulo de central eletrônico que recebe os sinais dos sensores. A quantidade a ser injetada de combustível é determinada automaticamente pela central, que trabalha com um mapa de combustível previamente calculado pelo fabricante do veículo. Os principais sensores usados pela central para acionar os eletro-injetores são: (MARTINS, 2005)

- Sensor de vazão de ar - é o sensor MAF (Mass Air Flow Sensor) que mede a quantidade de ar admitida pelo motor, informando por meio de sinal de tensão variável (anemômetro de fio quente). Fica instalado entre o filtro de ar e a borboleta de aceleração.

- Sensor de temperatura do ar - mede a temperatura do ar admitido pelo motor e informa ao módulo eletrônico. Fica instalado na parte inferior do coletor de admissão.

- Sensor de temperatura da água - informa a temperatura do líquido de arrefecimento e informa ao módulo de controle. Fica localizado no cabeçote.

- Sensor de rotação do motor - sensor instalado acima de uma roda fônica dentada com duas falhas entre os dentes (presa ao virabrequim), informando ao módulo o momento em que o motor está em PMS.

- Sensor de rotação do comando de válvulas – sensor localizado no cabeçote do motor, próximo ao eixo do comando de válvulas. Mede a rotação do eixo onde está instalado, informando a central de comando do veículo sua velocidade sua posição.

- Sonda lambda - mede a quantidade de oxigênio presente nos gases de escape resultantes da combustão, controlando a dosagem do combustível. Está localizada no escapamento do veículo.

#### 2.1.4 Torque e Potência

O torque do motor representa a capacidade do motor em produzir trabalho, por meio um eixo manivela girando em torno de si. A força é aplicada pelo conjunto de pistão e biela no eixo do virabrequim (que funciona como uma alavanca), quando ocorre a combustão da mistura ar combustível o pistão é empurrado para baixo gerando uma força que multiplicando pela distância do mancal do virabrequim, gera o torque do motor. O momento que é gerado pelo motor no eixo de manivela (virabrequim) é chamado de torque efetivo. (SOUZA,2017)

Segundo Martins (2005), o valor do torque é proporcional a quantidade de ar que entra no motor em cada ciclo por ele produzido. Em baixas rotações, o adiantamento e atraso na abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape geram um torque baixo, em compensação, em altas rotações, o efeito dinâmico dos gases permite que mais ar seja admitido durante o ciclo gerando assim o torque máximo do motor. O torque medido em dinamômetro é chamado Torque de freio e é dado pela equação:

$$T = b \times F \quad [2]$$

T - Torque de freio [N.m];

b - Comprimento da alavanca do freio [m];

F - Força medida no freio [N]

A potência gerada pelo motor é resultante do produto do torque gerado pelo motor pela velocidade angular do mesmo. A potência medida por um dinamômetro é dada pela equação:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60} \quad [3]$$

P – Potência no freio [W];

n – Rotação do motor [rpm]

### 2.1.5 Eficiência Volumétrica

Segundo Martins (2005), o principal fator limitante de um motor de combustão interna é sua cilindrada. Ela limita a quantidade de ar (e conseqüentemente a mistura ar-combustível) que pode entrar nos cilindros à cada ciclo. Porém, existem outros fatores que influenciam ainda mais nessa limitação, pois dificultam o enchimento completo do cilindro, como por exemplo: válvula de admissão, coletor de admissão, borboleta de aceleração, dutos de ar e até mesmo o filtro de ar.

A eficiência volumétrica é uma medida capaz de comparar a quantidade de ar que cabe dentro do motor com a quantidade de ar que caberia se enchido completamente, e é uma medida geral da eficácia de um motor do ciclo de quatro tempos. A equação é dada por: (HEYWOOD, 1988).

$$\eta_v = \frac{2m_a}{\rho_{a,i} V_d n} \quad [4]$$

Onde  $m_a$  é a massa de ar admitida pelo motor [kg/s],  $\rho_{a,i}$  é a densidade do ar em condições atmosféricas, [kg/m<sup>3</sup>],  $V_d$  é o volume total deslocado [m<sup>3</sup>] e  $n$  é a rotação do motor [rpm].

A eficiência volumétrica também sofre influência de fatores variáveis do motor, como:

- Tipo de combustível e a razão ar/combustível;
- Temperatura da mistura como influencia a transferência de calor;
- Razões entre pressão dos coletores de admissão e escape;
- Taxa de compressão;
- Velocidade do motor;
- Design do motor (coletores, comando, cabeçote);

- Geometria de válvulas de admissão e escape, tamanho, levante de válvulas.

## 2.1.6 Tipos de filtros

### 2.1.6.1 Filtro de papel

O principal tipo de filtro de ar utilizado em carros de produção são os filtros de papel (Figura 5). Eles são baratos de se produzir, geralmente recomendados a serem trocados a cada dez mil quilômetros. Esse tipo de filtro é feito a partir de papel fibroso tratado com resina, dobrado como uma sanfona (papel plissado) para ter uma maior área de superfície e ter maior eficiência na filtragem do ar. (MANN-FILTER,2018).

**Figura 5 - Filtro de Ar**



**Fonte: MANN-FILTER (2018)**

### 2.1.6.2 Filtro esportivo

O filtro esportivo utiliza um método diferente de filtragem, usando micro camadas de poliéster e papel TNT para conseguir filtrar o ar e ainda aumentar a velocidade do fluxo, sendo possível utiliza-lo por até cinquenta mil quilômetros. O modelo possui uma área menor de filtragem, com menos dobras, mas o fabricante garante que ele não permite a passagem de nenhuma impureza que danifique o motor. (RS Filtros,2018).



**Figura 6 - Filtro De Ar Esportivo Cônico Duplo Fluxo Linha FLRS**

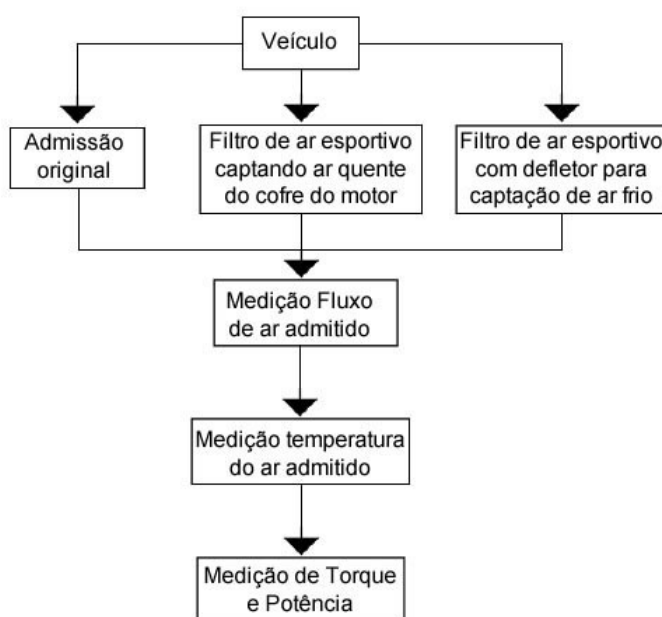


**Fonte: RS FILTROS (2019).**

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve como foram executadas as atividades com objetivo de obtenção dos dados experimentais. O estudo foi realizado a partir de medições de fluxo de massa e temperatura de ar admitido pelo motor, além do torque e potência máximos, as quais foram obtidas através de medições feitas em um dinamômetro de rolo e, também, utilizando um scanner para as medições de fluxo e temperatura de ar. O fluxograma apresentado na Figura 7 esquematiza as etapas a serem seguidas. Como se observa nessa figura, realizaram-se os testes em três condições: 1) Admissão original; 2) Filtro esportivo e ar quente; 3) Filtro esportivo e ar frio.

**Figura 7 - Fluxograma**



**Fonte: Autoria própria (2018).**

#### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

##### 3.1.1 Veículo

O veículo estudado neste trabalho trata-se de um BMW 325i E36 ano 1993. Possui um motor BMW M52B28 (Figura 8), 6 cilindros em linha naturalmente aspirado ( sem indução forçada de ar) com deslocamento de 2.8 L (2.793cc), diâmetro

de pistão de 84 mm, com curso de 84 mm, taxa de compressão de 10,2:1. É divulgado pela fábrica, que sua potência máxima é de 193 HP (195,67 cv) a 5.300 rpm e um torque máximo de 280 Nm (28.55 Kg.f.m) a 3950 rpm. (MYWIKIMOTORS, 2018).

**Figura 8 - Motor M52B28**



Fonte: Driftworks (2018).

### 3.1.2 Sensor MAF

Para medir o fluxo de ar que entra no motor, será usado o sensor MAF (*Mass Air Flow Sensor*) da marca Bosch, do tipo Fio quente e *part number* 13621747155. A figura 9 mostra a localização do sensor MAF.

**Figura 9 - Sensor MAF**

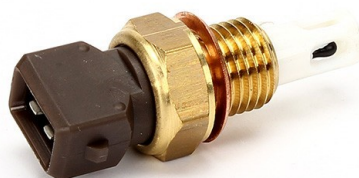


Fonte: Aatoria própria (2018).

### 3.1.3 Sensor de temperatura do ar

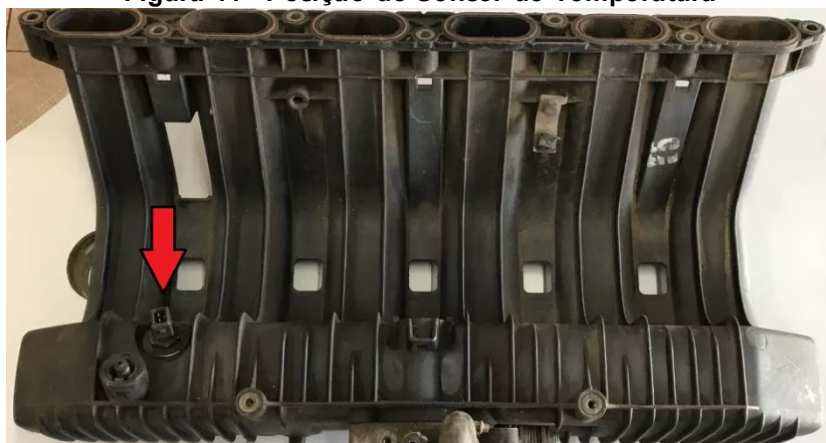
O sensor de temperatura do ar utilizado é da marca MTE modelo 5053, instalado no coletor de admissão do veículo. Este sensor permite medir a temperatura do ar admitido pelo motor. A figura 10 mostra o modelo e a Figura 11 a posição do sensor de temperatura.

**Figura 10 - Sensor de temperatura do ar**



Fonte: Pandoo (2018).

**Figura 11 - Posição do Sensor de Temperatura**



Fonte: Autorial própria (2018).

### 3.1.4 Cabo ADS

Para monitorar os parâmetros da injeção eletrônica do veículo BMW, será usado um *scanner* do no padrão OBD 1 (21 pinos), usando um cabo ADS (Figura 12) ligado a um computador com o programa INPA instalado.

Figura 12 - Cabo ADS



Fonte: Aatoria própria (2018).

### 3.1.5 Software INPA (Scanner)

O Software utilizado para leitura dos parâmetros juntamente do cabo ADS é o INPA (Figura 13). Ele foi instalado em um computador com entrada serial, utilizando *Windows XP*. O Software funciona como um *scanner automotivo*, podendo ler parâmetros, testar centrais eletrônicas, sensores e módulos do carro, etc.

Figura 13 - Software INPA



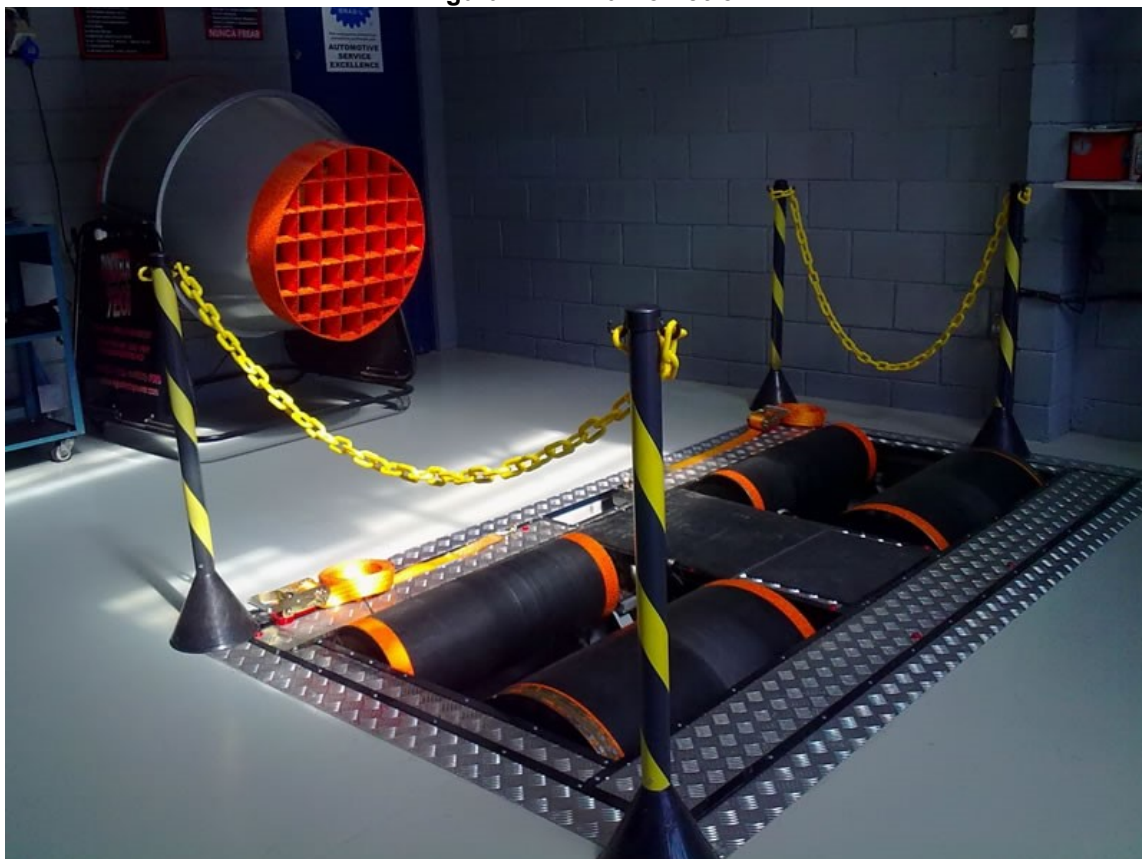
Fonte: Aatoria própria (2018).

### 3.1.6 Dinamômetro

O Dinamômetro usado neste trabalho será um Dynotech modelo 720i (Figura 14), do tipo inercial, onde a roda do veículo faz girar quatro rolos os quais são ligados a volantes com momento de inércia (com peso conhecido). Existe um sensor que mede a velocidade dos rolos e manda a informação da velocidade para o computador. Outra vantagem deste método é a possibilidade de medir a perda de potência do motor pela caixa de câmbio e conjunto de transmissão, tudo isso medido na fase de desaceleração.

A potência máxima lida nesse equipamento é de 2000 HP e velocidade final é de 250km/h. O Dinamômetro tem a função de medir a força que o motor entrega ao rolo. O software gera automaticamente um gráfico da potência do veículo em função da rotação do motor, e usa correção de parâmetros através da norma ISO 1585. (DYNOTECH,2018).

**Figura 14 - Dinamômetro**

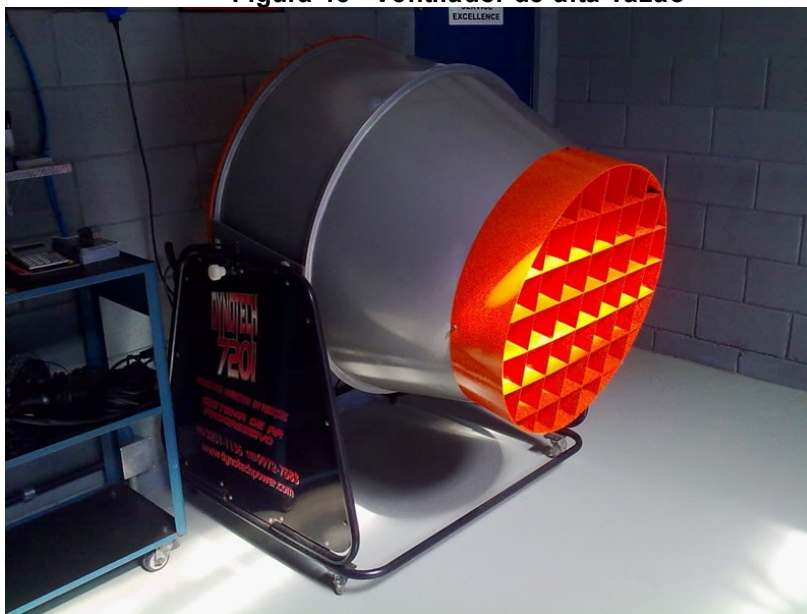


Fonte: DYNOTECH (2018).

### 3.1.7 Sistema de refrigeração

O sistema de refrigeração do veículo durante o teste no dinamômetro é constituído por um ventilador especial de hélices com ângulos variáveis (Figura 15). Isso o torna extremamente silencioso mesmo em altas rotações e funciona a partir de um variador de frequência manual ou automático (simula a velocidade do ar que atingiria o carro em movimento conforme sua velocidade).

**Figura 15 - Ventilador de alta vazão**



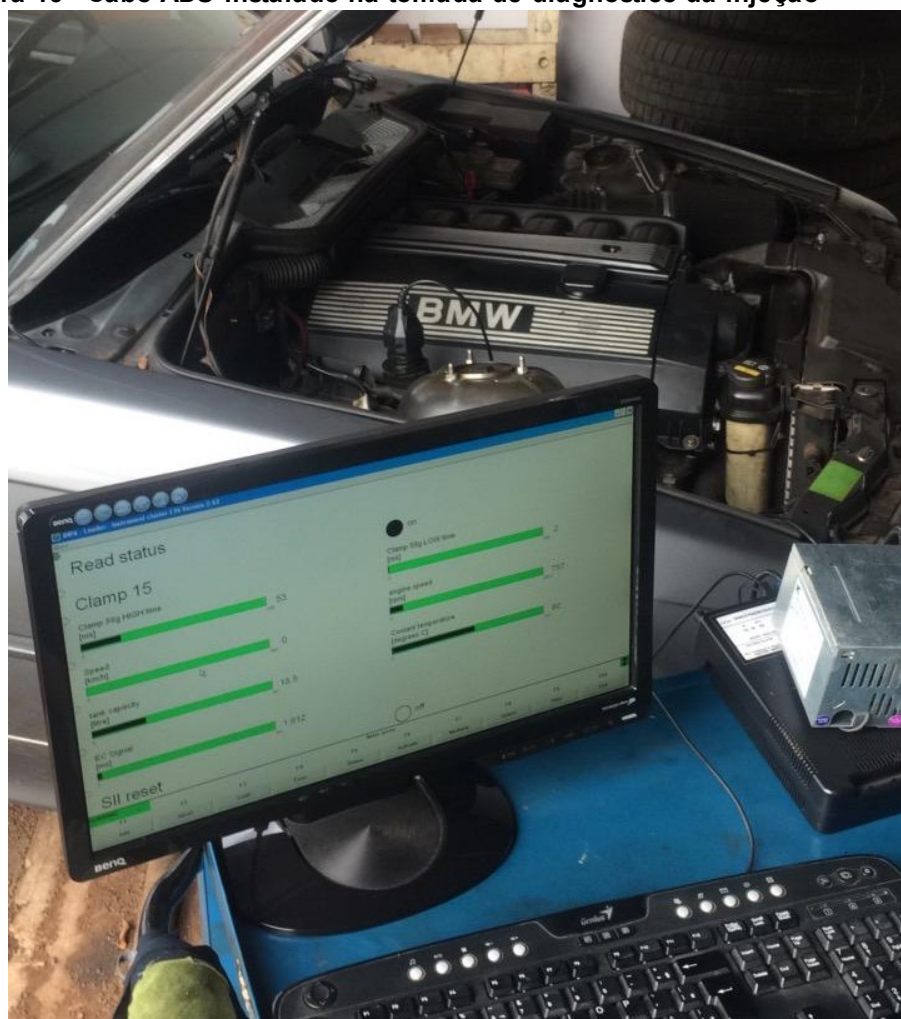
Fonte: DYNOTECH (2018).

## 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 Instalação dos Instrumentos

O experimento foi realizado em condições de contorno reais do motor, com o *scanner* instalado na tomada do módulo de injeção (Figura 16) lendo os parâmetros do mesmo, enquanto o veículo permanece estático, preso por amarras, mas acelerado em cima de um rolo (dinamômetro) como mostrado na Figura 17. Para simular o vento, é usado um ventilador de alta vazão (Figura 15) em frente ao veículo que varia a velocidade de rotação de acordo com a velocidade do veículo.

Figura 16 - Cabo ADS instalado na tomada de diagnóstico da injeção



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 17 - Exemplo de Teste em Dinamômetro



Fonte: Autoria própria (2019).



Inicialmente os testes foram executados com o sistema de admissão original do veículo como visto na Figura 18, e com isso obtiveram-se os dados reais do sistema. Usou-se o *scanner* para monitorar a temperatura do ar admitido pelo motor e também a leitura do sensor MAF (*Mass Air Flow Sensor*) para medir a quantidade de ar admitida em variadas faixas de rotação do motor: baixas rotações (2000rpm), médias rotações (4000 rpm) e altas rotações (6000 rpm). Estes dados foram utilizados com base de comparação em relação as modificações propostas (filtro esportivo e ar quente e filtro esportivo e ar frio).

**Figura 18 - Sistema de admissão de ar original**



**Fonte: Aatoria própria (2019).**

Posteriormente, instalou-se um filtro de ar esportivo, modelo cônico de duplo fluxo da marca RS Filtros (Figura 19) e, novamente, realizaram-se os testes nas três rotações para avaliar os resultados obtidos com esse sistema, uma vez que ele capta ar muito quente no cofre do motor.

**Figura 19 - Filtro RS Filtrros instalado**

Fonte: Aatoria própria (2019).

Por fim, além da modificação do filtro esportivo, também se instalou um sistema que isola a captação de ar quente do cofre do motor, (Figura 20) permitindo apenas a captação de ar frio vindo da área frontal do veículo. Novamente realizou-se a leitura dos parâmetros de temperatura e fluxo de ar admitido pelo motor nas três condições de rotação.

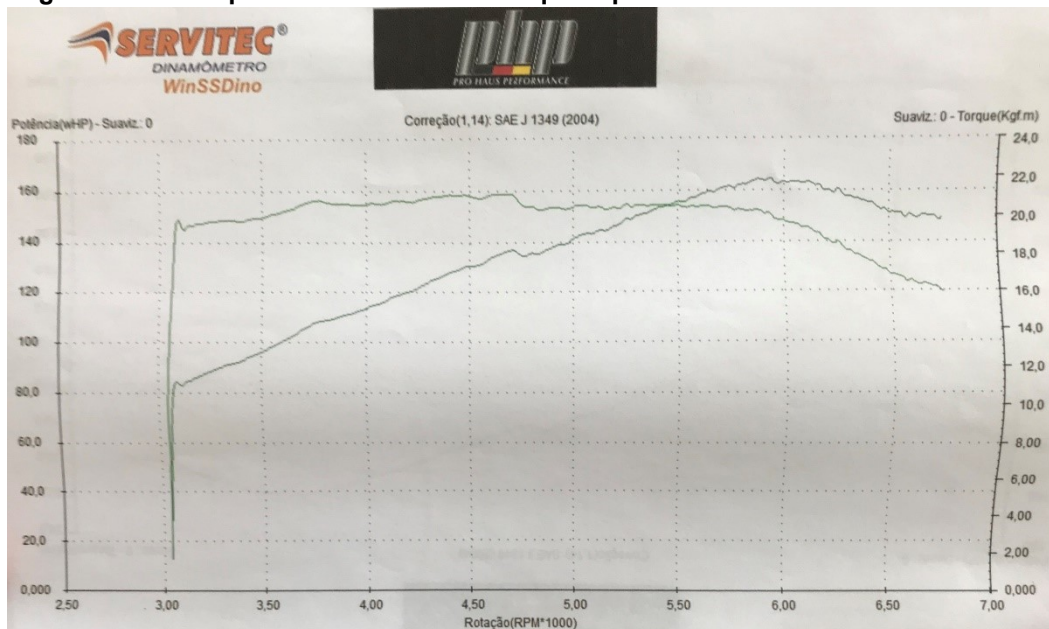
**Figura 20 - Defletor de calor instalado no cofre do motor**

Fonte: Aatoria própria (2019).

Realizou-se também um teste de aceleração máxima no veículo com cada uma das 3 condições (filtro original, filtro esportivo e ar quente e filtro esportivo e ar

frio) para que fosse possível avaliar a curva de potência do motor. A figura 21 mostra um exemplo da curva de torque e potência em função da rotação.

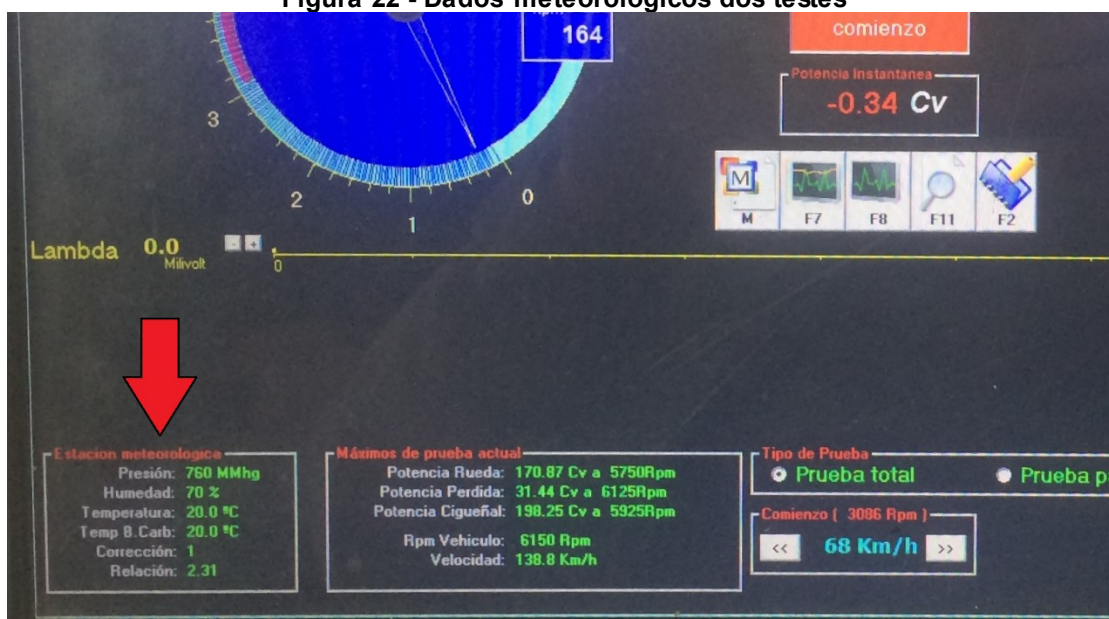
**Figura 21 - Exemplo de uma curva de torque e potência medido em dinamômetro**



Fonte: FlatOut (2018)

A Figura 22 nos mostra os dados meteorológicos no dia dos testes. Todos os testes foram feitos em ambiente controlado, no mesmo dia e horário, a fim de sofrer a menor diferença possível com mudança de temperatura, humidade do ar entre outros aspectos que poderiam influenciar nos resultados.

**Figura 22 - Dados meteorológicos dos testes**



Fonte: Autoria própria (2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Posterior a fabricação do defletor de ar, da aquisição do filtro esportivo RS Filtros e da locação do dinamômetro para efetuar as medições, deu-se início aos testes experimentais com foco na temperatura e fluxo do ar admitido pelo motor.

### 4.1 SISTEMA ORIGINAL

Realizou-se o teste preliminar com o sistema de admissão original do veículo para obtenção dos parâmetros já estabelecidos na Figura 7 (temperatura e vazão do ar), realizando os experimentos em três diferentes rotações: 1) baixa rotação (~2000 rpm); 2) média rotação (~4000 rpm); 3) elevada rotação (~6000 rpm). Com o veículo preso sobre o equipamento (Figura 23), iniciaram-se os testes e os valores obtidos estão representados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Figura 23 - Início dos testes



Fonte: Autoria própria (2019).

**Tabela 1 - Resultados obtidos com o sistema de admissão original (baixa rotação)**

#	Rotação [RPM]	Temperatura Ar [°C]	Fluxo de Ar [Kg/h]
1	2061	64,00	32,50
2	2061	63,55	31,75
3	2065	63,09	31,75
4	2040	63,09	32,50
5	1990	63,09	30,75
6	2033	62,18	33,25
7	2055	62,18	30,00
8	2095	62,18	36,25
9	2038	62,18	31,75
10	2016	62,18	30,75
<b>Média</b>	2045	62,77	32,13

Fonte: Autoria própria (2019).

**Tabela 2 - Resultados obtidos com o sistema de admissão original (média rotação)**

#	Rotação [RPM]	Temperatura Ar [°C]	Fluxo de Ar [Kg/h]
1	4048	58,97	66,25
2	4040	58,51	71,75
3	3944	58,51	66,25
4	4016	58,51	67,50
5	3958	58,51	66,25
6	3937	58,97	64,75
7	3945	58,97	66,25
8	3927	58,97	64,75
<b>Média</b>	3977	58,74	66,72

Fonte: Autoria própria (2019).

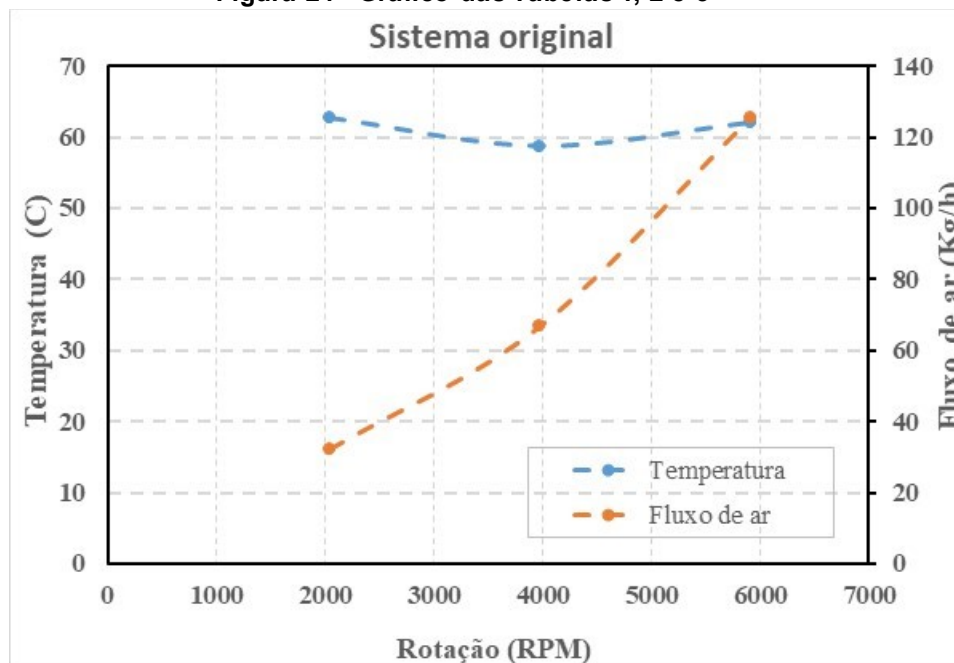
**Tabela 3 - Resultados obtidos com o sistema de admissão original (alta rotação)**

#	Rotação [RPM]	Temperatura Ar [°C]	Fluxo de Ar [Kg/h]
1	5964	62,63	127,25
2	5932	60,34	129,00
3	5869	61,26	120,50
4	5869	62,18	127,25
5	5964	62,63	127,25
6	5896	62,63	124,25
7	5896	63,09	122,00
<b>Média</b>	5913	62,11	125,36

Fonte: Autoria própria (2019).

Com os valores médios obtidos nas três condições, determinou-se o comportamento da temperatura e fluxo de ar de admissão em função das três rotações, conforme mostra a figura 24.

Figura 24 - Gráfico das Tabelas 1, 2 e 3



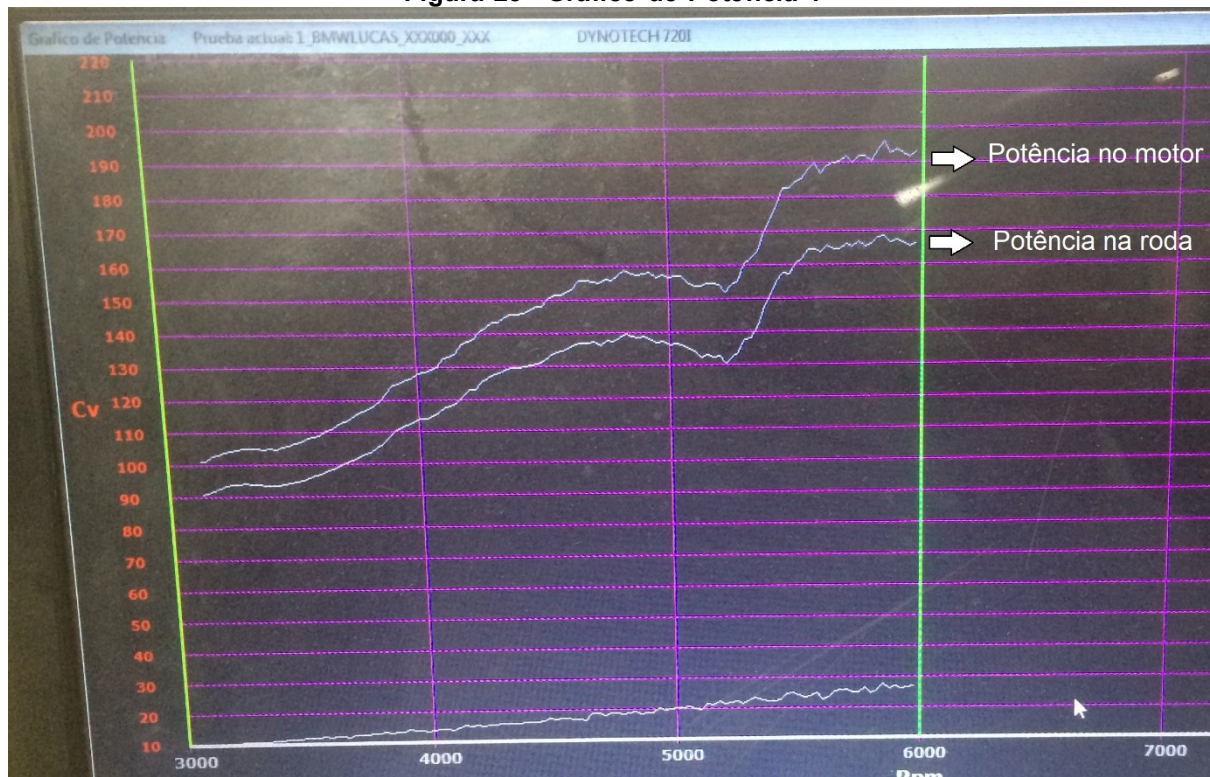
Fonte: Autoria própria (2019).

Pela análise das tabelas 1, 2 e 3 e da Figura 24, é possível ver um aumento no fluxo de ar em consequência do aumento da rotação do motor, porém a temperatura do ar admitido sofre uma pequena queda ao elevar a rotação para 4000 rpm (rotação intermediária) e posteriormente volta a subir em rotações mais elevadas.

Provavelmente este efeito ocorre pelo aumento repentino do fluxo de ar enchendo a câmara de combustão no momento em que o comando variável atrasa o comando de válvulas da admissão, enquanto em altas rotações a câmara tem seu volume praticamente preenchido por completo, aumentando a turbulência entre as moléculas e consequentemente aumentando a temperatura do ar admitido.

Após os testes com as três rotações, realizou-se um teste com aceleração até uma faixa de rotação perto do limite de corte de giros do motor (cerca de 6500 rpm) com objetivo de medir a potência máxima do motor, como mostrado na Figura 25. A potência máxima medida foi de 168.19cv nas rodas a 5850 rpm e 195.93cv no motor a 5850 rpm, e o torque máximo de 24.37kgfm a 4575 rpm.

Figura 25 - Gráfico de Potência 1



Fonte: Autoria própria (2019).

#### 4.2 FILTRO ESPORTIVO – AR QUENTE

Na segunda condição experimental, efetuou-se a troca do sistema de admissão original do veículo pelo filtro de ar cônico da marca RS Filtros (Figura 26) sem proteção contra a captação de ar quente no cofre do motor. Em seguida, realizaram-se os testes nas três condições de rotação e obteve-se os dados de temperatura e fluxo de ar admitido pelo motor. Os dados encontram-se nas tabelas 4, 5 e 6 e os valores médios da temperatura e fluxo de ar em função da rotação encontram-se na Figura 27.

Figura 26 - Instalação do Filtro Esportivo Cônico



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 4 - Resultados obtidos com o filtro RS Filtros (baixa rotação)

#	Rotação [RPM]	Temperatura Ar [°C]	Fluxo de Ar [Kg/h]
1	2004	69,50	31,75
2	2075	69,05	33,25
3	1956	68,59	29,25
4	2091	69,05	34,25
5	2088	68,59	34,00
6	2098	68,59	34,00
7	2071	68,59	33,25
Média	2055	68,85	32,82

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 5 - Resultados obtidos com o filtro RS Filtros (média rotação)

#	Rotação [RPM]	Temperatura Ar [°C]	Fluxo de Ar [Kg/h]
1	4031	67,20	74,75
2	4005	67,21	69,00
3	3936	66,76	66,25
4	3948	66,30	66,25
5	3923	65,84	69,00
6	4010	66,30	67,75
7	3936	66,30	66,50
8	3992	66,30	68,75
Média	3973	66,53	68,53

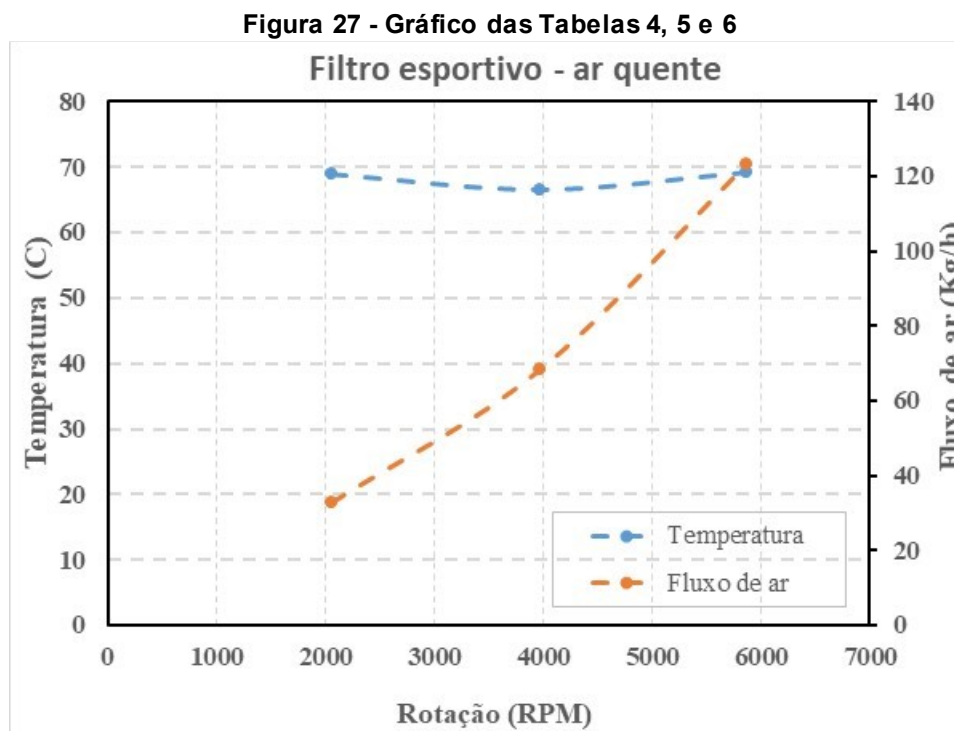
Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 6 - Resultados obtidos com o filtro RS Filtros (alta rotação)

#	Rotação [RPM]	Temperatura Ar [°C]	Fluxo de Ar [Kg/h]
1	5858	67,67	132,00
2	5812	68,59	111,00
3	5812	69,05	124,25
4	5935	69,51	133,75
5	5909	69,51	117,50
6	5866	70,42	122,00
Média	5865	69,12	123,42

Fonte: Autoria própria (2019).





Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando os dados das tabelas 4, 5 e 6 e da Figura 27, pode-se perceber novamente o mesmo efeito que ocorreu com o sistema original, ou seja, aumento do fluxo de ar em consequência do aumento da rotação do motor e uma pequena queda da temperatura do ar admitido em médias rotações, além do aumento na temperatura em altas rotações.

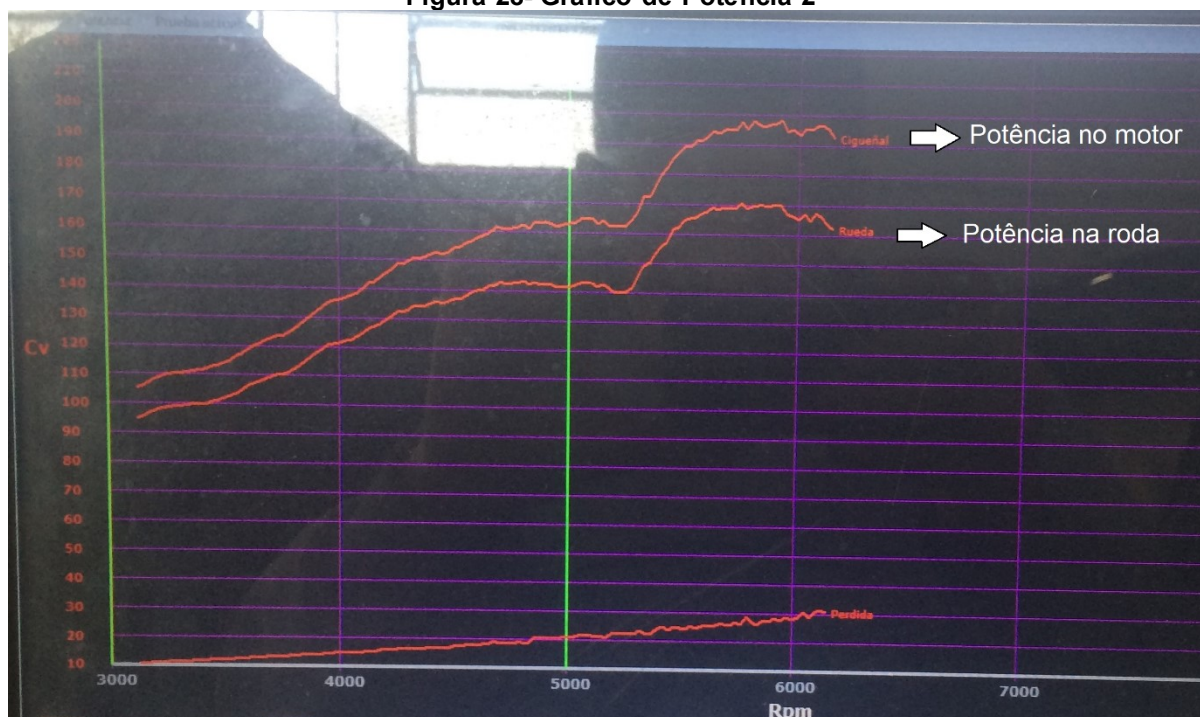
Porém, é visível também um aumento na temperatura do ar admitido em todas as faixas de rotação se comparado ao filtro original do veículo, devido ao fato de que sem proteção em volta do filtro esportivo, todo o ar que passa pela frente do veículo e consequentemente troca calor com o radiador, é jogado para trás pelo eletro ventilador diretamente para o filtro de ar a uma temperatura elevada.

Após os testes por rotação, foi realizada outra medição de potência do motor acelerando o veículo até a faixa de limite de giro do motor e assim gerando o gráfico de potência com a modificação estudada (Figura 28). Com esta configuração, o motor rendeu 170.87cv nas rodas a 5750 rpm e 198,25cv no motor a 5925 rpm, e aproximadamente 25.00kgfm de torque a 4250 rpm.

É possível verificar através das Tabelas 3 e 6 e das Figuras 24 e 27, mesmo com um fluxo de massa de ar mais baixo e uma temperatura do ar admitido mais alta em elevadas rotações, o filtro esportivo com captação de ar quente conseguiu atingir

maior potência máxima se comparado ao filtro original. Isso se deve ao fato de que a potência máxima é atingida em uma rotação mais baixa do que os testes efetuados na Tabela 6, possivelmente na rotação onde a potência é máxima o fluxo de ar do sistema com o filtro esportivo ainda é maior do que o filtro original.

Figura 28- Gráfico de Potência 2



Fonte: Autoria própria (2019).

### 4.3 FILTRO ESPORTIVO – AR FRIO

Na terceira condição experimental efetuou-se a troca do sistema novamente para o último modelo a ser testado, o filtro de ar cônico juntamente com o defletor de calor fabricado para isolar o ar quente do cofre do motor da entrada de ar para o motor (Figura 29). Foram realizados novamente os testes nas três condições, (baixas, médias e altas rotações) medindo os dois parâmetros, ou seja, a temperatura e o fluxo de ar admitido pelo motor, conforme mostrado nas tabelas 7, 8 e 9.

Figura 29 - Filtro esportivo com defletor de calor



Fonte: Autorial própria (2019).

Tabela 7 - Resultados obtidos com o defletor de ar frio (baixa rotação)

#	Rotação [RPM]	Temperatura Ar [°C]	Fluxo de Ar [Kg/H]
1	2024	57,60	31,75
2	1987	57,60	32,50
3	2046	57,14	32,50
4	2108	57,14	34,00
5	2081	57,14	33,25
6	2011	57,14	31,75
7	1959	57,14	31,00
8	1989	57,14	32,25
9	2043	57,14	33,25
10	2067	57,14	33,25
Média	2032	57,23	32,55

Fonte: Autorial própria (2019).

Tabela 8 - Resultados obtidos com o defletor de ar frio (média rotação)

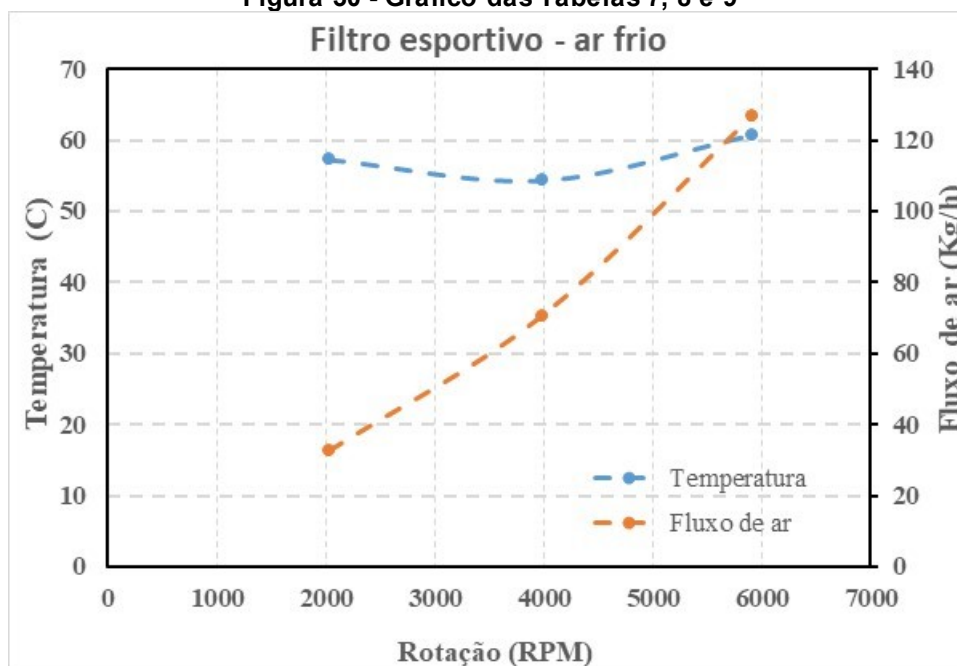
#	Rotação [RPM]	Temperatura Ar [°C]	Fluxo de Ar [Kg/H]
1	3959	54,39	67,50
2	3916	53,93	66,75
3	3954	53,93	67,50
4	3932	53,47	69,00
5	3933	53,93	69,00
6	4016	54,39	73,25
7	4079	54,39	73,25
8	4093	54,39	76,25
9	4043	55,31	71,75
10	4015	55,31	72,50
Média	3994	54,34	70,68

Fonte: Autorial própria (2019).

**Tabela 9 - Resultados obtidos com o defletor de ar frio (alta rotação)**

#	Rotação [RPM]	Temperatura Ar [°C]	Fluxo de Ar [Kg/H]
1	5870	59,89	111,00
2	5910	60,34	133,00
3	5903	60,80	124,25
4	5919	60,80	130,50
5	5968	60,80	131,25
6	5968	61,24	131,25
Média	5923	60,65	126,88

Fonte: Autoria própria (2019).

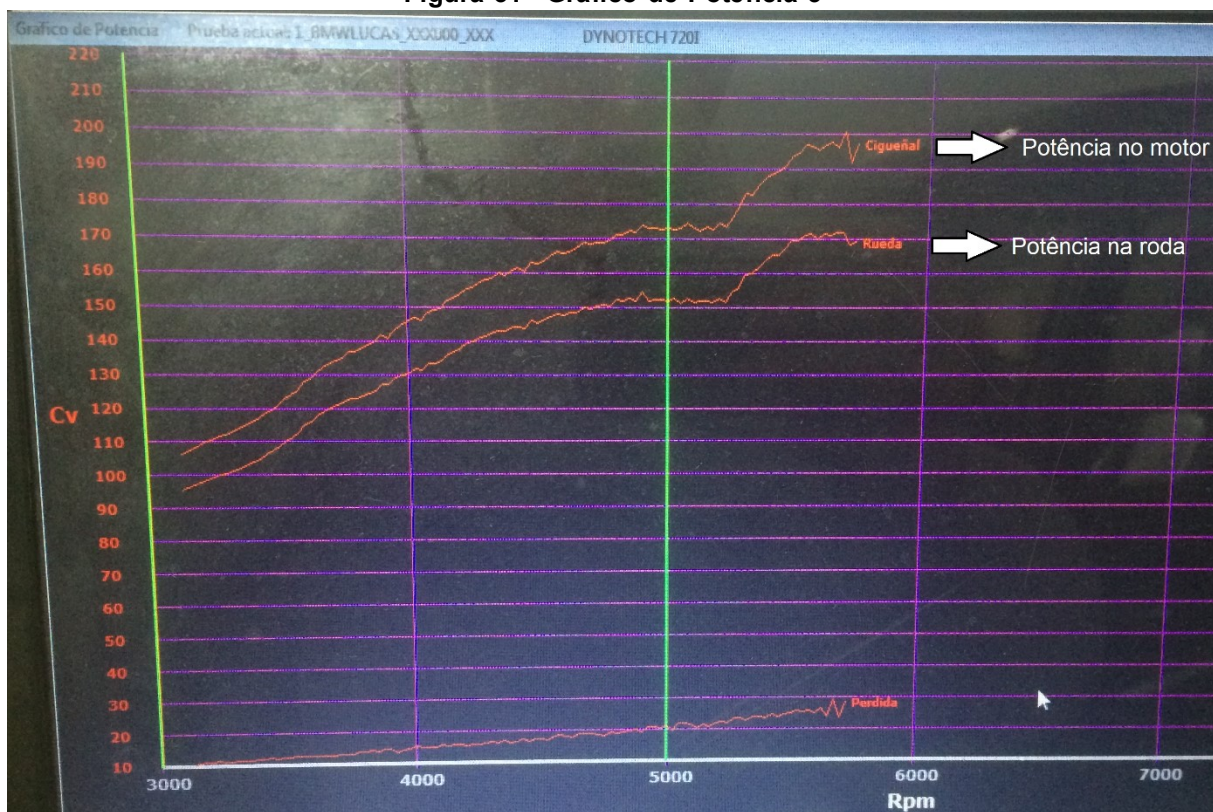
**Figura 30 - Gráfico das Tabelas 7, 8 e 9**

Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando as tabelas 7, 8 e 9 e a Figura 30, pode-se verificar que o mesmo efeito ocorreu nos outros dois sistemas. O fluxo de ar aumenta conforme a rotação sobe, e a temperatura cai em médias rotações e volta a subir em altas rotações.

A potência foi medida acelerando novamente o veículo até o limite de rotações do motor, gerando o gráfico de potência (Figura 31). A potência máxima medida foi de 171,95cv nas rodas a 5650 rpm e 200,87cv no motor a 5675 rpm, e o torque máximo medido foi de 26,35kgfm a 4275 rpm.

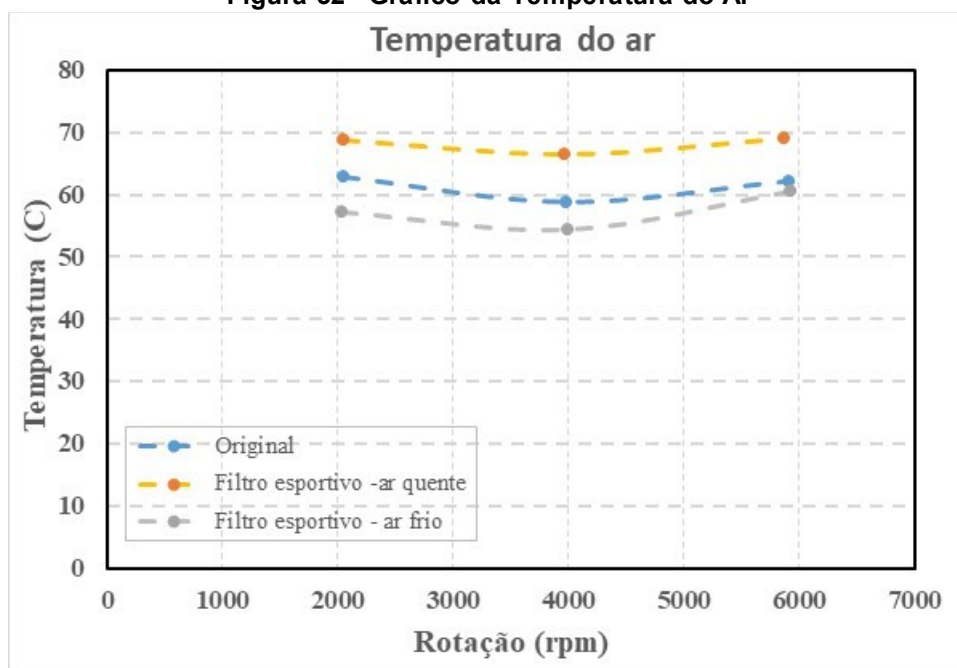
Figura 31 - Gráfico de Potência 3



Fonte: Autoria própria (2019).

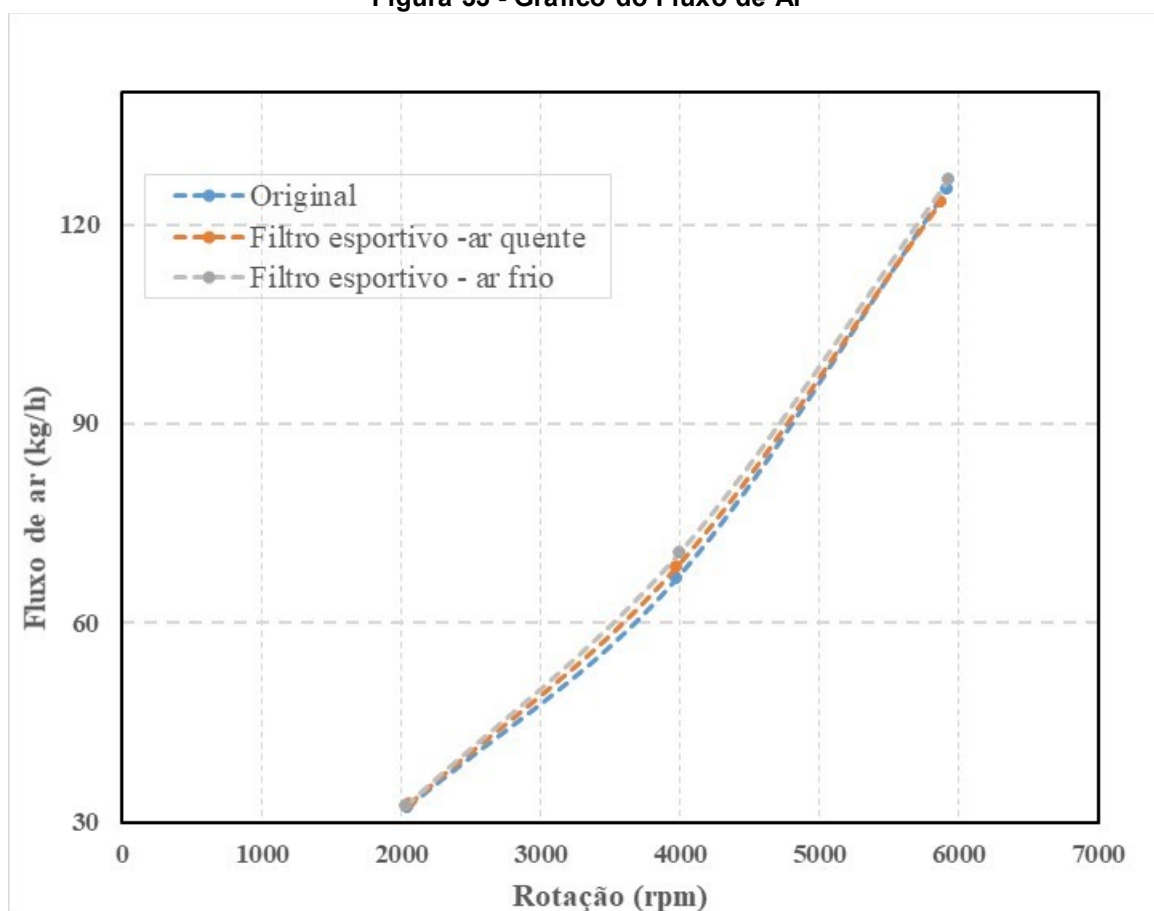
Comparando os resultados por faixas de rotação percebe-se que em baixas rotações (Tabela 1,4 e 7 e Figura 32) houve uma queda na temperatura de ar admitido com o sistema projetado para captação de ar frio em relação ao filtro original, e o filtro de ar esportivo sem a proteção do defletor teve um aumento significativo na temperatura do ar admitido em relação ao filtro original. O fluxo de ar admitido pelo motor teve uma diferença desprezível entre as 3 comparações (Figura 33).

Figura 32 - Gráfico da Temperatura do Ar



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 33 - Gráfico do Fluxo de Ar



Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando as Tabelas 2,5 e 8 e a Figura 32 (médias rotações), é possível ver novamente o efeito do sistema projetado para captação de ar frio fazendo efeito. O ar admitido foi mais baixo com o defletor de ar frio em relação ao filtro de ar original (cerca de 4 °C), e o filtro esportivo (sem o defletor de ar) teve um aumento de temperatura do ar em 8 °C em relação ao filtro original. O fluxo de ar medido teve diferenças significativas nas 3 condições (Figura 33), sendo o maior fluxo de ar no sistema projetado para a captação de ar frio, em seguida o filtro de ar esportivo e por último o filtro de ar original.

As Tabelas 3,7 e 9 e a Figura 32 mostram os resultados obtidos em altas rotações. Quando comparadas, observa-se que o sistema projetado para não captar ar frio se mostrou eficaz, porém com pouca diferença na temperatura de admissão do ar se comparado ao filtro de ar original do carro. Já o filtro esportivo sem o defletor de ar frio, teve um aumento significativo de 9°C na temperatura do ar admitido se comparado ao filtro de ar original. O provável motivo da pequena diferença de temperatura em elevadas rotações é que por ser um motor aspirado e de alta cilindrada (2.8L), a câmara de combustão tem o volume físico praticamente todo preenchido pelo ar dificultando um aumento significativo de massa de ar, e em consequência aumentando a temperatura do ar admitido independente do sistema de admissão instalado. Observando os valores de fluxo de ar na Figura 33, o sistema de captação de ar frio fabricado foi melhor que o filtro original, porém com pouca diferença. O filtro de ar esportivo sem o defletor teve os menores valores obtidos neste quesito devido a temperatura elevada do ar, causando uma expansão no volume e consequentemente diminuindo o fluxo de ar admitido.

Por fim, analisando as curvas de potência medidas no dinamômetro (Figuras 25, 28, 31), percebe-se que o ganho de potência de 5 cv no motor e quase 4 cv nas rodas entre o filtro esportivo com o defletor de ar frio e o sistema de admissão original do veículo. Já o filtro esportivo sem o defletor de ar frio, teve uma melhora de 2,3 cv no motor e 2,7 cv nas rodas quando comparado ao filtro de ar original.

## 5 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos pelos testes efetuados, pode-se perceber uma melhora no desempenho, como esperado. O filtro esportivo e ar frio foi o que teve o maior ganho, obtendo aproximadamente 5 cv de potência a mais que o filtro original. O filtro esportivo e ar quente também obteve uma melhora, com um ganho de 2,3 cv.

A temperatura do ar teve uma queda de até 5°C com a instalação do filtro esportivo e ar frio, e um aumento significativo de 7°C com a instalação do filtro esportivo e ar quente quando comparado ao filtro original. O fluxo de ar medido foi maior em todas as condições medidas com o filtro esportivo e ar frio em relação ao filtro original. Porém, o filtro esportivo e ar quente obteve uma pequena melhora em baixas e médias rotações, e uma piora em altas rotações quando comparado ao filtro original.

Embora os ganhos não tenham sido tão expressivos, a modificação é uma solução viável para quem busca uma modificação visando uma maior durabilidade, aumento de potência, aliado a um baixo custo.

No que se refere ao objetivo principal do estudo, foi avaliado o comportamento da potência e torque do motor com as modificações propostas, e também a temperatura e fluxo do ar. Conclui-se que os resultados foram satisfatórios, agregando conhecimento teórico no meio acadêmico e também uma forma de realização pessoal e profissional.

Como sugestão de futuros trabalhos, deve-se realizar novamente os testes em condições semelhantes, usando um dinamômetro com software mais completo (ex: Servitech) para comparação dos gráficos de potência e torque sobrepostos, sendo possível analisar o ganho de potência em todas as regiões do gráfico.



## REFERÊNCIAS

HEYWOOD, J.B. (1988). **Internal combustion engines fundamentals**. New York: McGraw Hill.

MARTINS, Jorge. (2005). **Motores de combustão interna**. 2. ed. Portugal: Publindústria Edições Técnicas.

OLEOPARACARROS. **Como funciona o motor do seu carro?** [2011]. Disponível em: <<http://oleoparacarros.com.br/como-funciona-o-motor-de-carro/>>. Acesso em: 08 Out. 2018.

SOUZA, Gustavo Rodrigues. **Estudo experimental e numérico do sistema de admissão de um motor a combustão interna**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MANN-FILTER. **MANN-FILTER Filtros do Ar**. [2016]. Disponível em: <<https://www.mann-filter.com/pt/mf-br/products/air-filter/>>. Acesso em: 24 Nov. 2018.

MANN-FILTER. **CATALOGO MANN-FILTER**. [2018]. Disponível em: <[https://catalog.mann-filter.com/media/spin/C\\_25\\_114/data/zoompict\\_ipad/001.jpg](https://catalog.mann-filter.com/media/spin/C_25_114/data/zoompict_ipad/001.jpg)>. Acesso em: 14 Mar. 2019.

CAVAGLIERI, Marcelo Renato. **Estudo experimental do fenômeno de onda em coletores de admissão para motores de combustão interna**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP, 2014.

CÂMARA, Júlio César Chaves. **Monitoramento eletrônico da mistura ar/combustível em motores de combustão interna ciclo otto**. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Matemática, Escola Politécnica, Salvador, BH, 2006.

FAGGI, Rodrigo. **Formação de mistura ar combustível em motores de ignição por faísca a quatro tempos**. Monografia (Especialização em Engenharia Automotiva) – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2012.

SOUZA, Hugo de Sanches. **Análise de escoamento de ar em coletores de admissão de motores de combustão interna**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, BH, 2017.

PEREIRA, Bruno Silva. **Controle da Mistura Ar/Combustível em um motor a Combustão Interna: Sistema em Malha Fechada**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2015.

MYWIKIMOTORS. **BMW M52B28 / M52TUB28 Engine**. [2018]. Disponível em: <<http://mywikimotors.com/m52b28/>>. Acesso em: 16 Out. 2018.

DRIFTWORKS. **M52B28 328i Engine/Box/ECU, M50 Inlet Complete, M50B25 Engine**. [2012]. Disponível em: <<https://www.driftworks.com/forum/threads/m52b28-328i-engine-box-ecu-m50-inlet-complete-m50b25-engine.190050/>>. Acesso em: 22 Nov 2018.

RSFILTROS. **Filtro De Ar Esportivo Cônico Duplo Fluxo Linha FLRS**. [2011]. Disponível em: <<https://www.rsfiltros.com.br/linha-conico/flrs/filtro-de-ar-alta-performance-duplo-fluxo-altura-120mm-linha-flrs>>. Acesso em: 14 Mai. 2019.

DYNOTECHPOWER. **DYNOTECH 720i**. [2018]. Disponível em: <<https://www.dynotechpower.com/produtos/dynotech-720i>>. Acesso em: 02 Jun 2019.

PETROBRAS. **Gasolina**. [2019]. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/composicao-de-precos-de-venda-ao-consumidor/gasolina/>>. Acesso em: 30 Mai 2019.