

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

JORGE STUMPF JUNIOR

SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

**CASCABEL
2018**

**CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ
JORGE STUMPF JUNIOR**

**SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO
INTERNA**

Trabalho apresentado à disciplina TCC
– Projeto como requisito parcial para
obtenção da aprovação semestral no
Curso de engenharia mecânica pelo
Centro Universitário Assis Gurgacz.

Professor Orientador: Me. Eliseu
Avelino Zanella Junior

**CASCADEL
2018**

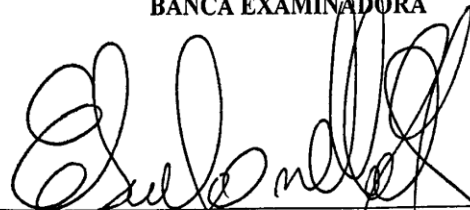
FACULDADE ASSIS GURGACZ - FAG

JORGE STUMPF JUNIOR

**SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO
INTERNA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor (a) Eliseu Avelino Zanella Junior

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Me. Eliseu Avelino Zanella Junior
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenharia Mecânica



Professor Me. Sérgio Henrique Rodrigues Mota
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenharia Mecânica



Professor Esp. Ronaldo Tansini
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenharia Mecânica

Cascavel, 12 de dezembro de 2018

RESUMO

Os motores de combustão interna são máquinas com alto nível de complexidade, dependem de muitas variáveis, é fundamental exatidão no dimensionamento de todo seus componentes para um ideal funcionamento. O objetivo desse trabalho é dimensionar o coletor de admissão de um motor de combustão interna com uso em competição, buscando comprovar o ganho de desempenho e eficiência com base nos cálculos que foram desenvolvidos ao longo do trabalho, mostrando os resultados obtidos em dinamômetro a importância de se ter um coletor de admissão com dimensionamento adequado para cada utilização específica. O motor que foi utilizado para testes será um motor da marca Wolkswagen, modelo AP 600 com 2000 cilindradas em um dinamômetro de rolo da marca Dynotech, aonde será medida a potência nas rodas, mostrando a influência do coletor de admissão na performance do motor.

Palavras-chaves: coletor de admissão; dimensionamento do coletor de admissão; motor de alta performance.

ABSTRACT

Internal combustion engines are machines with a high level of complexity, dependent of many variables and fundamental accuracy in the dimensioning of all its components for an ideal operation. The goal of this work is to design the intake manifold of an internal combustion engine for use in competition, seeking to prove the performance and efficiency gains based on the calculations that will be developed throughout the work, showing the dynamometer results and importance of an appropriate sized intake manifold for each specific use. The engine that will be used for testing will be a Volkswagen, model AP 600 with 2000 cc displacement tested in a Dynotech brand dynamometer, where the power will be measured at the wheels, showing the influence of the intake manifold in engine performance.

Keywords: intake manifold; intake manifold design; high performance motor.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Velocidade média do pistão.....	17
Equação 2 – Dimensionamento área da corneta.....	18
Equação 3 – Dimensionamento área do duto cabeçote.....	18
Equação 4 – Área média do duto.....	19
Equação 5 – Dimensionamento do comprimento ideal do duto de admissão.....	19

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Coletor de admissão de borboletas individuais, especial para competição.....	26
Imagem 2- coletor de admissão para competição curto.	27
Imagem 3- Teste em dinamômetro.....	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- teste dinamômetro coletor calculado.....	29
Gráfico 2-Potência com coletor de admissão sem dimensionamento	30
Gráfico 3- comparação de potencia coletor não calculado e calculado.....	31

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	11
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.2 JUSTIFICATIVA	11
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	12
CAPÍTULO 2.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
CAPÍTULO 3.....	21
3 MÉTODO DE PESQUISA.....	21
3.1 NATUREZA DE PESQUISA.....	21
3.2 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISA.....	21
3.3 CÁLCULOS.....	23
3.3.1 VELOCIDADE MÉDIA DO PISTÃO (U).....	23
3.3.2 ÁREA DA CORNETA (AT).....	23
3.3.3 ÁREA DO DUTO DO CABEÇOTE (AC).....	24
3.3.4 ÁREA MÉDIA DO DUTO (AMT).....	24
3.3.5 COMPRIMENTO IDEAL DO DUTO DE ADMISSÃO.....	24
CAPÍTULO 4.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
4.1 COLETOR DE ADMISSÃO	26
4.2 TESTES EM DINAMÔMETRO.....	28
CAPÍTULO 5	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
CAPÍTULO 6.....	33
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A necessidade da realização dessa pesquisa é conhecer e entender os fenômenos que ocorrem internamente em um motor de combustão interna no que se diz respeito à admissão de ar, as ondas que são geradas, as velocidades e temperaturas internas, as pressões no interior do coletor, e com a coleta de dados necessárias, desenvolver durante a pesquisa os cálculos para obter as dimensões ideais sendo para diâmetro e comprimento de um coletor de admissão com uso em motores de competição, com objetivo em ganho de performance.

Brunetti (2012, p. 72) Um dos fenômenos que ocorre no sistema de admissão é a ressonância, “tipo tubo de órgão”. Esse fenômeno consiste no fato de a coluna de ar confinado em um tubo vibrar em uma frequência inversamente proporcional ao seu comprimento.

O sistema de coletor de admissão é o responsável por fazer com que o ar da atmosfera consiga ser introduzido para dentro da câmara de combustão juntamente com o combustível, por isso é de suma importância que esteja bem dimensionado para que haja uma eficiência de fluxo permitindo que exista resistência no fluxo de ar.

No mercado hoje seja em carros de uso diário em rua/estradas ou em carros de uso exclusivo para competição a busca por eficiência dos motores está cada vez maior, portanto um bom desenvolvimento do sistema de coletor de admissão é benéfico tanto para motores de uso convencionais trazendo maior economia de combustível, consequentemente menor poluição, como também trás maior desempenho em motores com uso em carros de competição.

Neste trabalho foram realizados estudos com base em livros de autores especialistas em motores de alta performance, desenvolvidos os cálculos genéricos que podem ser utilizados para cada uso específico fornecendo medidas muito próximas das ideais no desenvolvimento do coletor de admissão.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Demonstrar o cálculo do dimensionamento ideal de um sistema de coletor de admissão para motores de alta performance

1.1.2 Objetivos específicos

- *Cálculo comprimento ideal do coletor de admissão
- *Cálculo do diâmetro ideal do duto de admissão
- *Cálculo comprimento ideal do corpo de borboleta
- *Cálculo dimensionamento da corneta

1.2 JUSTIFICATIVA

(BELLI, 2013) Em 1876, Nickolaus Otto desenvolveu o primeiro motor de combustão interna também conhecido como motor a explosão de quatro tempos (admissão, compressão, explosão, escapamento) ocasionando o maior avanço no setor de transportes, possibilitando uma agilidade na maneira de se locomover, que evoluiu muito ao longo dos anos, motores a combustão interna foram convencionados para serem utilizados em automóveis por ter principal característica, flexibilidade para rodar em diversas velocidades e potências satisfatórias.

(GONSAVEZ, 2016) Dentro do processo histórico da evolução dos motores, no contexto competitivo, em 28 de abril de 1887 foi realizada na França a primeira corrida de automóveis que se tem notícia, utilizavam-se modelos próximos a um quadriciclo. Era um momento de experimentar os novos modelos de automóveis movidos a gasolina. Foi o início de uma grande paixão, que começou com pouca tecnologia e foi se profissionalizando ao longo dos anos, e com objetivo de aumentar a eficiência dos motores, em estudos dos fenômenos que ocorrem internamente no motor, feitos por inúmeros engenheiros, foram alcançados dados necessários que possibilitaram cálculos de dimensionamento de todos os

componentes que envolvem um motor de combustão interna, incluindo o sistema de admissão de ar relatado nesse trabalho.

Para os dias atuais calcular um sistema de admissão ideal de um motor de combustão interna de alta performance, também trará uma eficiência maior, no uso voltado a carros convencionais, mesmo que em um contexto diferente do competitivo, os cálculos quando utilizados pelos fabricantes de veículos de passeio, permite-se atingir um melhor rendimento nas rotações mais utilizadas no uso diário, trazendo mais economia de combustível consequentemente menos poluição e mais desempenho.

No meio acadêmico a engenharia mecânica trata desses assuntos como processo de formação profissional, onde os futuros profissionais engenheiros, com interesse em trabalhar na área de motores de alta performance, ao terem acesso a esse trabalho poderão ter uma visão ampla de como dimensionar um sistema de coletor de admissão, sendo que esse dimensionamento é de suma importância para chegar nos resultados de eficiência desejados. Esse conhecimento por se tratar de algo complexo e específico, facilitará a entrada desses novos profissionais no mercado de trabalho da competição, ramo que está em crescimento em nosso país.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será feita com motores de fabricantes do mercado brasileiro, com base em dados em dados de um motor da marca WolkswagenAP 600 de 2000 cilindra.

CAPÍTULO 2

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Simões (2010) coletor de admissão é parte do sistema de admissão que conecta a tubulação de entrada do ar que vem da atmosfera com o cabeçote do motor, e consiste em dutos, um para cada cilindro, esses dutos são conectados a um volume plenum, uma espécie de reservatório de ar. Simões completa que atualmente no Brasil a maior parte dos coletores de admissão são fabricados em nylon com fibra de vidro, pois produz redução de peso, redução de atrito entre o ar e as paredes dos dutos e permite ser fabricado em formas mais complexas, porém com essas matérias e necessário um cuidado maior com relação a estrutura do coletor, para que não haja rompimento em ocasiões de pressão positiva.

Completa também Bruntti (2012) que coletor de admissão são os elementos de ligação entre o corpo de borboletas (ou carburador) e o motor propriamente dito, são os tubos de admissão, comumente chamados pela indústria automotiva de coletor de admissão, acrescenta Brunetti(2012) que a velocidade dos gases deve ser elevada no interior dos dutos do coletor para evitar o retorno da chama e para obter uma seção dos tubos não demasiadamente grande, aparecem também forças de inércia razoáveis quando o ar passar pelas curvas da tubulação.

O coletor pode ter formas de simples dutos, ter adição de um volume plenum, até formar sistemas complexos de várias câmaras, dutos com diferentes comprimentos e borboletas para desviar o fluxo (coletor variável) (BRUNETTI, 2012).

Segundo Basilio (2010) coletor de admissão é responsável por levar ar da atmosfera para o interior dos cilindros, completando que cada motor tem um limite de ar para respirar devido a perdas por atrito nas paredes dos e dutos e perdas por bombeamento.

O site americano enginebasics.com descreve o coletor de admissão em um motor de quatro tempos como principal objetivo, obter o máximo possível de ar combustível no cilindro. Explica também que uma maneira de ajudar a entrada de ar é ajustando o comprimento dos dutos.

Passos (2015) descreve as principais funções do coletor de admissão como sendo:

- Captar ar num ponto de temperatura mais baixa do que a do cofre do motor

- Filtrar o ar que entra no motor para evitar que impurezas danifiquem os elementos internos
- Controlar a entrada de ar admitida pelo motor, assim controlando a carga
- Distribuir igualmente o ar entre os cilindros
- Homogeneizar o combustível e o ar antes que a mistura chegue ao cilindro

Explica o autor que todas estas funções do sistema de admissão têm grande importância para o motor, e se receber devida atenção pode trazer ótimos ganhos de performance.

Descritos as funções básicas, do coletor de admissão variedades de formas, diferentes modelos e utilizações dos coletores de admissão usados em motores de combustão interna (ciclo Otto), entraremos no mérito do dimensionamento de um coletor de admissão.

Brunetti (2012) comenta sobre a influência do diâmetro e comprimentos dos dutos, explica que um dos fenômenos que ocorre nos sistemas de admissão é a ressonância “tipo tubo de órgão”.

Esse fenômeno consiste no fato de uma coluna de ar vibrando em um tubo vibrar em uma frequência inversamente proporcional ao seu comprimento afirma também Brunetti (2012) que no motor isso ocorre da seguinte forma: o ar que está sendo admitido forma uma onda de pressão negativa (sugada pelo pistão), quando a válvula de admissão se fecha, a onda de pressão reflete com o mesmo sinal e volta pelo duto, mas, ao encontrar entrada de ar aberta, reflete com sinal oposto. Essa onda refletida, ao encontrar a válvula de admissão novamente aberta, aumenta a eficiência volumétrica, (BRUNETTI, 2012).

(SIMÕES 2010) O projeto do coletor de admissão é essencial para alcançar o melhor desempenho em um motor de combustão interna, portanto vários parâmetros devem ser considerados em seu desenvolvimento. Simões dá um exemplo de que uma distribuição de ar não uniforme, conduz uma eficiência volumétrica não uniforme para o interior do cilindro, ocorrendo uma perda de potência e maior consumo de combustível. Explica também Simões que as variações de pressão no coletor de admissão, devido aos efeitos pulsantes no escoamento do ar podem aumentar ou reduzir o desempenho do motor por esse motivo e de suma importância a escolha exata de suas dimensões.

Quando a válvula de admissão está aberta, o ar está sendo sugado pelo motor, de modo que o ar está se movimentando em alta velocidade em direção ao cilindro. Quando a válvula de admissão se fecha repentinamente, esse ar se acumula na região da válvula criando uma

área de alta pressão, então é gerada uma onda que se movimenta em direção contrária ao cilindro, quando essa onda novamente encontra uma barreira, nesse caso a atmosfera, ocorre novamente uma inversão de sentido e a onda retorna em direção ao cilindro. Esse ciclo ocorre durante todo funcionamento do motor e conforme a velocidade do pistão altera, a velocidade dessa onda se altera também, (SIMÕES, 2010).

Essa é a grande importância de dimensionar o coletor de admissão corretamente, ajustando o comprimento certo, essa onda de pressão retornará a válvula no exato momento que a mesma estiver abrindo para o próximo ciclo, ocasionando uma pressão extra, ajudando a colocar mais mistura de ar/combustível para o interior do cilindro, consequentemente um maior desempenho (SIMÕES, 2010).

Em relação ao diâmetro dos dutos de admissão, é válido lembrar que não tem influência no comprimento das ondas, porém sim na velocidade do ar, isso é de suma importância quando falamos em dimensionar o coletor de admissão, é benéfico ter o ar de admissão se movendo o mais rápido possível nos cilindros. Isso aumenta a turbulência e mistura melhor o ar com o combustível. Uma maneira de aumentar a velocidade do ar é usar um duto de admissão com menor diâmetro. Uma vez que aproximadamente um volume de ar entra no cilindro a cada ciclo, se o ar for bombeado através de um tubo de menor diâmetro, ele terá que ir mais rápido, (SIMÕES, 2010).

A desvantagem de usar um coletor de admissão de diâmetro menor é que, em altas velocidades do motor, quando muito ar passa pelos dutos do coletor, a restrição do diâmetro menor, pode inibir o fluxo de ar. Portanto para grandes fluxos de ar em velocidades mais altas, e melhor ter dutos de admissão de maior diâmetro. Algumas montadoras tentam obter o melhor dos dois mundos usando dois dutos de admissão para cada cilindro. Um com menor diâmetro para uso em rotações mais baixas, e um com maior diâmetro para uso em rotações mais altas, assim permitindo uma condição mais próxima da ideal em baixas e altas rotações. Esse coletor é conhecido como coletor variável, (SIMÕES, 2010).

Passos (2015) Explica que o primeiro movimento da massa de ar se dá quando a válvula de admissão se abre, e a um cruzamento com a válvula de escape que ainda está aberta. Passos comenta que a inércia da saída dos gases da combustão anterior é tão forte que gera uma grande depressão na câmara de combustão. Essa depressão ocorre ainda no ponto motor superior PMS (fase onde o pistão está no seu ponto mais alto). O movimento descendente do pistão associado a depressão gerada pelo escape, suga a mistura de ar fresco para dentro da câmara de combustão ao mesmo tempo em que um pulso de rarefação negativo sobe em direção contrária pela admissão sentido a entrada de ar. Este pulso possui grande

quantidade de energia, porém baixa capacidade de deslocamento. Por esse motivo o duto de admissão deve aumentar de diâmetro à medida que se afasta da válvula e preferencialmente em uma boca de sino. Quando o pulso de rarefação chega a atmosfera, ele é refletido e retorna para o duto, tornando-se em pulso de compressão. Se esse pulso de compressão coincidir com o momento que antecede o fechamento total da válvula de admissão, uma carga extra de mistura será literalmente comprimida para dentro do cilindro.

Passos (2015) Por esse motivo é de extrema importância o dimensionamento do coletor de admissão, Passos comenta que sintonizar o sistema em sua frequência principal, que seria o percurso do coletor em apenas uma única onda torna-se inviável pelo fato do comprimento do coletor se tornar muito grande, porém pode ser dividido em várias ondas, ou seja, se dividirmos o comprimento total por quatro, a onda percorrerá o comprimento quatro vezes e na quarta vez estará no momento ideal de entrada para dentro do cilindro, esse método permite que o coletor fique muito mais curto.

Por esse motivo o dimensionamento do coletor de admissão e de soma importância para o desempenho do motor, e esse desenvolvimento acaba sendo essencial em motores de alta performance.

Carlini (2017) compara um motor de alta performance com uma orquestra, relatando que um motor para ter uma performance elevada deve estar em harmonia, Carline dá ênfase na sensação de escutar um motor Ferrari ou um Porsche e motos de mil cilindradas que são verdadeiras orquestras para nossos ouvidos.

Explica o engenheiro que tudo começa no pistão, é necessário entender como ele se movimenta, qual a sua velocidade segundo a configuração do curso do virabrequim e comprimento de biela, afirma Carlini que as velocidades máximas que serão parâmetros para o dimensionamento do coletor de admissão e escape.

Pignone e Vercel (2010) explica que a ciência dos motores de alta performance são os fenômenos das ondas que se deslocam no interior dos dutos de admissão e escapamento, comenta também que é essencial ter conhecimento da dinâmica dos fluidos.

Pignone e Vercel (2010) um motor de competição de alta performance deve portanto ser considerado como parte de um sistema fluidodinâmico ressonante único que se inicia na boca do coletor de admissão e termina na extremidade dos tubos de escapamento, sistema esse que deve ser cuidadosamente ajustado para obter o máximo desempenho.

Pignone e Vercel (2010) Há uma analogia muito profunda com os instrumentos musicais, enfatiza que o “os rugido dos motores” é na verdade música, pois explora os mesmos fenômenos e bases físicas da música. Analogia tão profunda que permite até que

você defina o tempo ideal tratando o motor como um instrumento musical. Comenta o autor que projetistas de motores de alta performance são músicos inconscientes, falam o dia todo de trombetas, flautas, ressonâncias e afinações.

Brian (2018) Mais deslocamento significa mais potência, porque é possível queimar mais combustível durante cada ciclo do motor. O deslocamento pode ser aumentado aumentando o diâmetro dos cilindros ou curso, também aumentando o número de cilindros, alterando esses dados estaremos aumentando a capacidade cúbica motor, ou seja, sua capacidade de deslocamento, exemplo de um motor de 2,0 litros tem capacidade de deslocar dois litros em um ciclo completo de todos os cilindros, motores de alta performance tendem a ter uma maior cilindrada.

Outra característica de um motor de alta performance é a elevada taxa de compressão, taxa de compressão significa quantas vezes o motor comprime a sua capacidade de deslocamento, taxas de compressão mais altas produzem mais energia até certo ponto, quando esse ponto é extrapolado ocorre uma queima espontânea, a queima acontece antes da faísca de ignição. Para que isso não ocorra é necessário o uso de um combustível de alta octanagem, dificultando essa queima espontânea permitindo uma taxa de compressão mais elevada obtendo mais potência (BRIAN, 2018).

Pignone e Vercel (2010) utilizam as seguintes equações para obter o resultado do comprimento de coletor de admissão, segundo eles o primeiro passo a ser calculado é a velocidade média do pistão em uma determinada rotação escolhida à critério de cada projetista de motor, a **equação(1)** utiliza as seguintes variáveis:

Velocidade média do pistão (U)

$$U = \frac{Ca \times 2 \times Rpm}{60} \quad (1)$$

Onde:

U= velocidade média do pistão

CA = curso da árvore de manivela.

RPM= rotação do motor

Pignone (2010) explica que é necessário calcular também a área interna da corneta de entrada de ar do coletor para alcançar o resultado do comprimento total, essa será a nossa **equação (2)** as variáveis dessa equação são:

Dimensionamento área da corneta (AT)

$$At = \frac{U \times S}{Imt \times Cso} \quad (2)$$

Onde:

At= área da corneta de entrada (m²)

U = velocidade média do pistão (m/s)

S = área do pistão (m²)

Imt= índice de MACH

CSo= velocidade do som (m/s)

O autor comenta que precisaremos também para alcançar o resultado de comprimento do coletor, calcular a área de entrada do duto do cabeçote, essa é a **equação (3)**, utilizamos para esse cálculo as seguintes variáveis:

Dimensionamento área do duto cabeçote (AC)

$$Ac = \frac{U \times S}{Imt \times CSo} \quad (3)$$

Onde:

Ac= área do duto do cabeçote (m²)

U = velocidade média do pistão (m/s)

S = área do pistão (m²)

Imt= índice de MACH

CSo= velocidade do som (m/s)

Pignone (2010) utiliza também a área média do duto, essa área é calculada com os dados obtidos pela área da corneta e a área do duto na entrada do cabeçote, é feito uma média das duas áreas descritas pela **equação (4)**:

Área média do duto (AMT).

$$Amt = \frac{At+Ac}{2} \quad (4)$$

Onde:

AMT = área média do duto (m²)

AC= área do duto no cabeçote (m²)

AT = área corneta de entrada (m²)

Por fim a equação que regerá o cálculo do comprimento do duto de admissão segundo Pignone e Versel (2010) , frisando que esse cálculo nos dará a dimensão do comprimento total, ou seja, do centro do eixo da válvula de admissão até a parte final da corneta, essa é a **equação (5)** e foi formulada pelo autor da seguinte forma:

Dimensionamento do comprimento ideal do duto de admissão (L).

$$L = \frac{10 Cs}{n} \times \left[\frac{1}{\frac{k}{1 - \left(1,62 \times \frac{U}{Cs} \times \frac{S}{Ac}\right)^2} + \frac{1-k}{1 - \left(1,62 \times \frac{U}{Cs} \times \frac{S}{Ac} \times \frac{2}{\frac{Amt}{Ac}} + 1\right)^2}} \right] \quad (5)$$

Onde:

L = Comprimento ideal do duto (m)

C_s = Velocidade do som (m/s)

n = Rotação do desejada do motor (Rpm)

K = porcentagem de conicidade do duto (0,5 ou seja 50%)

S = Área do pistão

A_c = Área do duto no cabeçote (m²)

A_m = Área média do duto, entre área da corneta e área do duto do cabeçote (m²)

U = Velocidade média do pistão (m/s)

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 NATUREZA DA PESQUISA:

Como a pesquisa se trata de uma revisão da literatura, com uma análise meticulosa e ampla das publicações correntes em uma determinada área do conhecimento, trataremos a pesquisa com sendo uma **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA QUANTITAVA E QUALITATIVA**, (MENEZES, 2005)

3.2 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISA

As etapas desta pesquisa compreendem: Revisão bibliográfica sobre o assunto. Com a revisão bibliográfica pretende-se aprofundar o conhecimento sobre a tese de como dimensionar de forma eficiente todo um sistema de admissão de ar para um motor de combustão interna com foco em alta performance e uso em carros de exclusivos para competição.

Diversas fontes de pesquisas relatadas anteriormente foram encontradas referentes ao assunto, porém varias delas usaram como texto base o livro **MOTORI AD ALTA POTEZA SPECIFCA** escrito pelos autores **GIACOMO PIGNONE** e **UGO VERCELLI**, italianos que desenvolveram por muitos anos os conhecidos motores **FERRARI**, por se tratar de um livro que descreve os fenômenos que serão estudados de forma clara e objetiva, esse foi o principal motivo da escolha dos autores para a pesquisa.

O processo do estudo com intuito de encontrar o comprimento e diâmetro ideal ao longo de todo sistema de admissão de ar para motores utilizados em competição consiste em:

- Dados referentes ao motor: curso do virabrequim, área do pistão do pistão, rotação de melhor eficiência desejada, velocidade média do pistão.
- Dados referentes ao cabeçote: comprimento do duto do cabeçote, medição será feita do eixo da válvula até a entrada do duto de admissão, área do duto do

cabeçote, área média do duto, considerando a área da corneta em relação a área duto.

- Dados constantes para cálculo: velocidade do som em m/s, constante K que é a porcentagem de conicidade do coletor.

Os valores de medição descritos, darão as informações necessárias para conseguir através de equações que serão desenvolvidas ao longo da pesquisa, calcular o comprimento e diâmetro ideal de um coletor de admissão, o foco de pesquisa é exclusivo para uso em motores de competição, porém o cálculo também pode ser utilizado em caso de motores que ocupam carros convencionais.

O tempo estimado de pesquisa será aproximadamente três meses, pesquisa de desenvolvimento das equações, formulação das equações, pesquisa de dados obtidos em motores para uso de cálculo, formulação das equações, teste de validação. A pesquisa não terá custo pois será patrocinada pela empresa Stumpf Cabeçotes.

Para validar a pesquisa, testes feitos em dinamômetro comprovarão os resultados obtidos de maneira prática e eficiente, mostrando se realmente é benéfico dimensionar o sistema completo de admissão de ar para um motor de competição.

Ao encontrarmos os valores de dimensionamento ideais, caso seja comprovado os resultados obtidos pelos cálculos, faremos com que as ondas de pressão geradas durante o ciclo de funcionamento do motor, estejam na direção certa, sentido a válvula no momento de sua abertura, auxiliando a entrada de ar, aumentando a eficiência do motor, por um curto espaço de tempo, mas fazendo diferença se tratando de motores de alta performance para competição, aonde os detalhes são de suma importância e podem ser fatores que determinam uma vitória.

3.3 CÁLCULOS

3.3.1 VELOCIDADE MÉDIA DO PISTÃO (U)

Conforme a equação (1) para calcularmos a velocidade média do pistão (U) do motor em questão, Volkswagem AP 600 de 2000 cilindradas utilizamos o curso da árvore de manivela referente, de valor (CA=0,0928m), a rotação desejada para dimensionamento, que fica a critério de escolha conforme a utilização, em nosso caso utilizaremos (RPM= 6000) rotações por minuto, e a constante 60 para conversão de minutos para segundo.

$$U = \frac{0,0928 \times 2 \times 6000}{60} = 18,56 \text{ m/s} \quad (1)$$

3.3.2 ÁREA DA CORNETA (AT)

Para dimensionarmos a área da corneta (AT) conforme a equação (2), é necessário o resultado da velocidade média do pistão (U = 18,56 m/s), a área do pistão com diâmetro de 0,0825m equivalente a uma área (S = 0,0053456 m²), a velocidade do som (CSo = 340,29m/s), o valor de índice de MACH, que é uma porcentagem da velocidade do som, o autor sugere (Imt = 0,25) para essa região da corneta, por não ter necessidade de uma velocidade de fluxo elevada.

$$At = \frac{18,56 \times 0,0053456}{0,25 \times 340,29} = 0,001166 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Esse valor de área em m² é equivalente a um diâmetro de corneta de (D = 38,53mm).

3.3.3 ÁREA DUTO DO CABEÇOTE (Ac)

A próxima etapa para obtermos o resultado do comprimento do coletor de admissão é calcular a área do duto do cabeçote (A_c) conforme equação (3), essa área é referente a entrada do duto, logo após o término do coletor de admissão,), é necessário o resultado da velocidade média do pistão ($U = 18,56 \text{ m/s}$), a área do pistão com diâmetro de $0,0825\text{m}$ equivalente a uma área ($S = 0,0053456 \text{ m}^2$), a velocidade do som ($C_{So} = 340,29\text{m/s}$), o valor de índice de MACH, que é uma porcentagem da velocidade do som, de ($Imt = 0,40$).

$$A_c = \frac{18,56 \times 0,0053456}{0,40 \times 340,29} = 0,0007289 \text{ m}^2 \quad (3)$$

Esse valor de área em m^2 é equivalente a um diâmetro de corneta de ($D = 30,50\text{mm}$).

3.3.4 ÁREA MÉDIA DO DUTO (AMT)

Para calcularmos a área média do duto utilizamos os valores da área da corneta (AT), valores da área do duto do cabeçote (A_c) e dividimos por 2.

$$AMT = \frac{0,001166 + 0,0007289}{2} = 0,0009474 \text{ m}^2 \quad (4)$$

3.4.5 COMPRIMENTO IDEAL DO DUTO DE ADMISSÃO (L)

Após terem sido obtidos os resultados de velocidade média de pistão ($U = 18,56\text{m/s}$), a área do duto do cabeçote ($AC = 0,0008575\text{m}^2$), área média do duto de admissão ($A_{mt} = 0,001594\text{m}^2$), a área do pistão ($S = 0,0053456\text{m}^2$), rotação desejada para efeito de aumento da eficiência ($n = 6000 \text{ RPM}$) podemos calcular o comprimento ideal do duto da admissão, é necessário também utilizar algumas constantes, como velocidade do som ($C_s = 340,29 \text{ m/s}$), a constante ($K = 0,5$) sugerida pelo autor como parâmetro de porcentagem de 50% para conicidade do coletor de admissão, a constante (1,62) para transformar a velocidade média do pistão em velocidade instantânea, com esses dados temos todos os valores necessários para calcular o comprimento (L) do coletor de admissão, esse comprimento nos dará as dimensões

do centro do eixo da válvula de admissão até o final da corneta, nesse modelo de cabeçote essa medida é de 72mm.

$$L = \frac{10 \times 340,29}{5700} \times \left[\frac{1}{\frac{0,5}{1 - \left(1,62 \times \frac{18,56}{340,29} \times \frac{0,0053456}{0,0007289}\right)^2} + \frac{1-0,5}{1 - \left(1,62 \times \frac{18,56}{340,29} \times \frac{0,0053456}{0,0007289} \times \frac{2}{\frac{0,0009474}{0,0007289} + 1}\right)^2}} \right]$$

$$(L = 0,267m) \quad (5)$$

Convertendo valor de (L) em mm temos (**L=267mm**)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COLETOR DE ADMISSÃO

O coletor de admissão escolhido para teste foi um coletor da marca Carlini de fabricação nacional com dutos individuais, ou seja, com uma borboleta por cilindro, utilizados em carros de competição. Suas dimensões são as seguintes:

Imagem 1 - Coletor de admissão de borboletas individuais, especial para competição.



Fonte: www.carlinicompetizione.com.br

- Diâmetro dos corpos de borboleta 45.00mm.
- Comprimento dos corpos 65.00mm.
- Comprimento do coletor 130.00mm

Essas medidas são as necessárias para que o coletor de admissão se enquadre nas dimensões baseadas nos cálculos desenvolvidos no capítulo anterior (equação 5).

Foi também escolhido um coletor de admissão que não se enquadrasse na configuração do motor a ser testado em questão, as medidas de dimensionamento em relação ao diâmetro das borboletas e diâmetro dos dutos foram mantidas para não haver interferência de fluxo, a alteração foi feita no comprimento do coletor para analisarmos somente a influência das ondas de pressão geradas, se essas ondas poderiam interferir na potência do motor, a diferença de comprimento entre o coletor de admissão calculado para o não calculado é de 50mm mais curto.

Imagem 2- coletor de admissão para competição curto.



Fonte: Autor

- Diâmetro dos corpos de borboleta 45.00mm
- Comprimento dos corpos 65,00mm
- Comprimento do coletor 80,00mm

4.2 TESTES EM DINAMÔMETRO

Os testes para comprovação da eficiência dos cálculos foram feitos em um dinamômetro inercial que mede a potência nas rodas de tração do veículo, com a utilização de um software para conversão de potência nominal no motor. O dinamômetro utilizado é da marca DYNOTECH construído na cidade de Santa Tereza, interior do Paraná.

Imagem 3- Teste em dinamômetro.

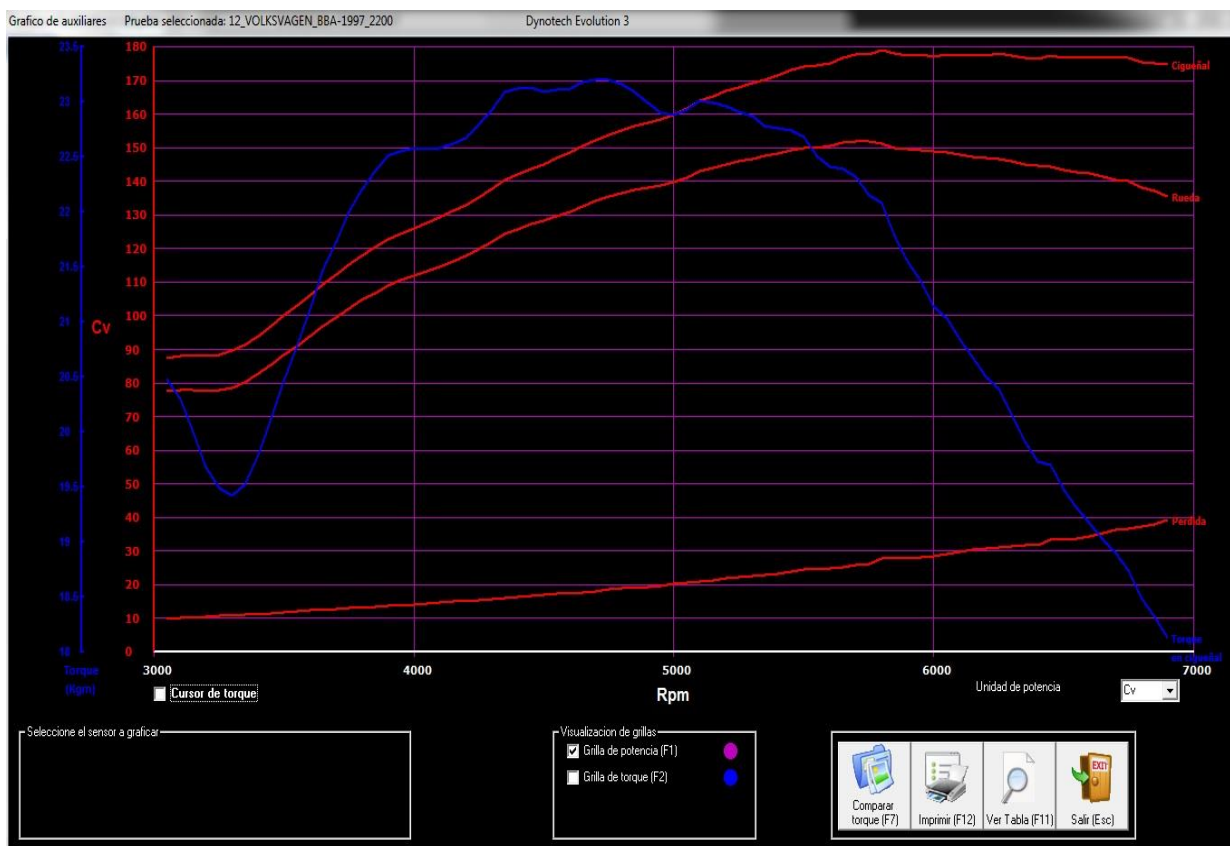


Fonte: Autor

A primeira etapa para iniciar os testes é instalar o veículo ao dinamômetro fixando-o com cintas acopladas em lugares estratégicos, evitando que o carro se mova, após amarrado corretamente, é feita uma calibração no dinamômetro para que a rotação do motor seja a mesma marcada pelo software, com essas etapas concluídas pode ser dado início aos testes.

Após serem feitos três testes consecutivos com a configuração inicial, utilizando o coletor de admissão calculado descrito no parágrafo anterior, para uma potência estimada em regime de rotação de (7000 RPM) conforme (equação 5), obtivemos os seguintes resultados:

Gráfico 1- teste dinamômetro coletor calculado.

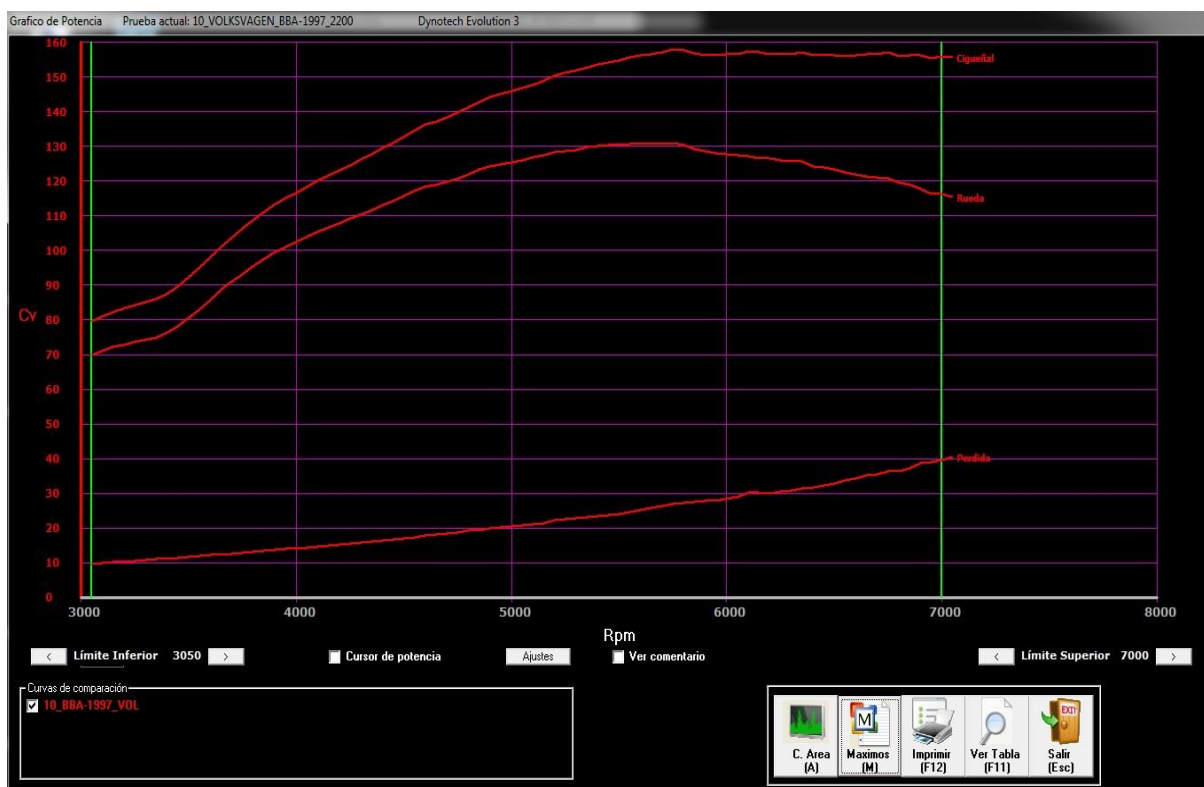


Fonte: Autor

A potência máxima obtida no motor com o coletor de admissão calculado, foi de 180,12cv a 5800rpm, porém se manteve acima de 174cv até 7000rpm. Pode-se notar que a máxima eficiência do motor está no regime de rotação para qual o coletor de admissão foi dimensionado.

Para uma real comprovação do resultado, um coletor de admissão desajustado conforme a (imagem 2) foi instalado no motor e novos três testes foram realizados nas mesmas condições de estequiometria de combustível para não haver interferência na potência. Os resultados obtidos com o novo coletor foram esses:

Gráfico 2-Potência com coletor de admissão sem dimensionamento

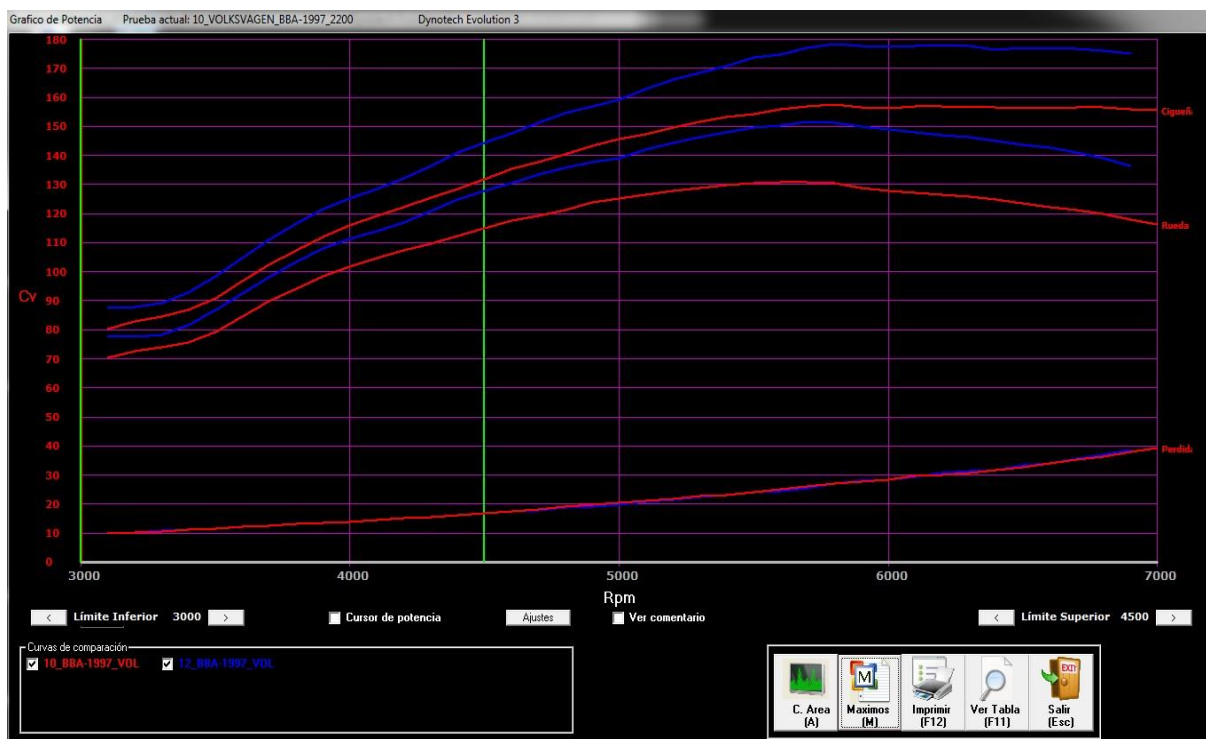


Fonte: Autor

Houve uma queda de potência em todas as faixas de rotação. A potência obtida com essa configuração foi de 157,7cv a 5800rpm, também podemos observar que há uma queda de potência significativa após o pico de potência máxima, podemos perceber a interferência do dimensionamento do coletor de admissão, especificamente em seu comprimento, pelo fato de que as demais dimensões, como diâmetro dos corpos e dutos do coletor foram mantidas.

A diferença de potência foi expressiva, de 157,8cv para 180,12cv, um ganho de 22,32cv, em um gráfico de comparação podemos ver a diferença da potência com mais clareza.

Gráfico 3- comparação de potencia coletor não calculado e calculado.



Fonte: Autor

- potência nominal no motor e na roda com coletor de admissão calculado.
- potência nominal no motor e na roda com coletor de admissão não calculado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de dimensionar através de cálculos matemáticos um coletor de admissão para um motor de combustão interna com uso em competição, analisar se houve um ganho de eficiência em aproveitar as ondas de pressão que são geradas no interior do coletor, para que no exato momento de abertura da válvula de admissão essa onda esteja em direção ao fluxo de ar, podendo assim gerar um ganho extra de performance.

Em testes feitos em dinamômetro pode-se observar um ganho significativo de potência, utilizando um coletor de admissão calculado, na comparação entre utilizar um coletor calculado e um coletor não calculado, alterando somente seu comprimento em 50mm mais curto e mantendo as demais dimensões de diâmetro obtivemos uma perda de potência de 22,32cv.

Tendo em vista esses resultados podemos concluir que existe uma influência positiva em dimensionar através de cálculos matemáticos um coletor de admissão, aproveitando a influência das ondas de pressão que são geradas no interior do coletor.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros é recomendado o desenvolvimento de uma equação que dimensione coletores de admissão para motores de combustão interna com uso em competição com utilização de mais variáveis.

Podendo ser utilizados sensores de temperatura para medir em tempo real a temperatura do ar no interior do coletor, como também medidores de velocidade que possam dar as informações mais precisas de velocidade de ar, utilizar a graduação do comando de válvulas pode ser uma variável importante nesse tipo de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- BASILIO, Visão de um engenheiro apaixonado por carros.Disponível em:<http://www.f1visaotecnica.wordpress.com>.setembro, 2011. Acessado em: (23/05/2018 as 0h 47min)
- BELLI, história dos motores, Disponível em: <http://www.autoentusiastasclassic.com.br>. Março, 2013. Acessado em: (20/04/2018 as 22:00h).
- BRIAN, Air-Intake.Disponível em: <http://www.auto.howstuffworks.com>.junho, 2018. Acessado em:(26/05/2018 as 22h 45min)
- BRUNTTI, Franco. Motores de combustão interna vol 2. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2012.
- Carlini, motor de alta performance.Disponível em: <http://www.carlinicompetizione.com.br>.dezembro, 2017. Acessado em: (24/05/2018 as 23h 35min).
- GONSALVEZ, historia das corridas, Disponível em: <http://www.projetoomotor.com.br>. Dezembro, 2016. Acessado em: (21/04/2018 as 23:30h)
- MENEZES, metodologia da pesquisa, Disponível em: <http://www.ufsc.com.br>, 2005 Acessado em: (24/06/2018 as 11:40h)
- PASSOS, Sistemas de admissão: coletores, CAIs, filtros e roncos.Disonível em:<http://www.flatout.com.br>. maio, 2015. Acessado em: (24/05//2018 as 0h 27min)
- PIGNONE, Giacomo, VERCELLI, Ugo. Motori ad alta potenzaspecifica.Vimodrone-MI: Giorgio Nada, 2010.
- SIMÕES, 2010 aspectos a serem considerados em um coletor de admissão plástico soldado por vibração. Disponível em: <http://www.teses.usp.com.br>. Acessado em:(22/05/2018 as 22h 35 min)