

DIMENSIONAMENTO DO COLETOR DE ESCAPE PARA UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA QUATRO TEMPOS

Matheus Ignaz Langa (Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE),
E-mail: langa_matheus@hotmail.com

Diego Alves de Miranda (Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE),
E-mail: diegoalves_klx@hotmail.com

Resumo: O correto dimensionamento de um sistema de escapamento permite significativos ganhos de potência, o qual está relacionado com o aumento da eficiência volumétrica dos cilindros. Este trabalho tem como objetivo dimensionar um coletor de escape para um motor quatro tempos, para aumentar a sua eficiência volumétrica. A metodologia proposta apresenta cálculos da literatura para encontrar os diâmetros e comprimentos de dutos para coletores de escapamento de carros buscando a vazão dos gases de exaustão de forma mais rápida. A partir dos cálculos, foi construído um novo coletor de escape para um carro de competição motor GM Vectra. Além do dimensionamento do novo modelo proposto, medições foram feitas no coletor do sistema original para facilitar análises e comparações qualitativas. As medições mostraram que as ondas de pressão atuam diretamente no interior dos dutos de um coletor de escape, sendo que os métodos para dimensionamento visam determinar o comprimento e diâmetro necessário para que as ondas de pressão percorram os dutos no momento certo.

Palavras-chave: Dimensionamento, Coletor de Escapamento, Diâmetro do Coletor, Sintonização, Limpeza, Troca de Gases.

EXHAUST MANIFOLD SIZING FOR A FOUR-STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Abstract: The correct dimensioning of an exhaust system allows significant power gains, which is related to the increase in the volumetric efficiency of the cylinders. This work aims to dimension an exhaust manifold for a four-stroke engine, to increase its volumetric efficiency. The proposed methodology presents calculations from the literature to find the diameters and lengths of ducts for car exhaust manifolds seeking the flow of exhaust gases more quickly. From the calculations, a new exhaust manifold was built for a GM Vectra motor racing car. In addition to the sizing of the proposed new model, measurements were made on the collector of the original system to facilitate qualitative analysis and comparisons. The measurements showed that the pressure waves act directly inside the ducts of an exhaust manifold, and the sizing methods aim to determine the length and diameter necessary for the pressure waves to travel through the ducts at the right time.

Keywords: Dimensioning, Exhaust Manifold, Manifold Diameter, Tuning, Cleaning, Gas Exchange.

1. Introdução

A compreensão dos fenômenos que regem o funcionamento de um motor de combustão interna é de fundamental importância no estudo de um método para dimensionamento do sistema de exaustão. Wildner (2004) define o sistema de exaustão como sendo a expulsão dos gases queimados do cilindro para a atmosfera no deslocamento do pistão do PMI (ponto morto inferior) ao PMS (ponto morto superior) através da abertura da válvula de escape.

A potência do motor de combustão interna de um veículo de acordo com Heywood (1988) é determinada diante de uma relação entre inúmeros fatores que influenciam no seu regime de funcionamento, entre eles está o sistema de escapamento, o qual é responsável por funções de grande relevância em um motor de combustão interna. Dentre as funções pode-se destacar sua contribuição para a retirada dos gases provenientes da combustão para um local afastado do veículo, atenuação do ruído causado pela combustão, redução das emissões de poluentes lançados à atmosfera,

tendo também como função fundamental, a contribuição para admissão da nova mistura de ar/combustível para dentro dos cilindros, a qual se relaciona nesse artigo ao dimensionamento dos coletores do sistema de escapamento (FONSECA, 2014).

Conforme Brunetti (2012), um sistema de escape é dimensionado de forma a se obter o mínimo efeito de contrapressão dos gases. Dessa forma muitos preparadores de carros de competição, por exemplo, trabalham a questão do ganho de potência nos motores em cima dos sistemas de escapamento, procurando obter regimes ideais de escoamento dos gases através dos dutos. De acordo com Rocha (2011), o escoamento dos gases pelos dutos de escape provoca a sucção do ar da admissão, elevando a eficiência volumétrica do motor. Nabbout (2017) afirma que a eficiência volumétrica é a relação entre o volume de ar que cada cilindro admite e a capacidade volumétrica nominal do cilindro. De acordo com Silva (2004), o aumento da eficiência volumétrica pode ser alcançado durante a lavagem da câmara de combustão, a qual acontece durante o cruzamento das válvulas, próximo ao PMS.

Costa *et al.* (2014) explicam que se tratando do efeito de sucção causado pela inércia dos gases de escape que estão escoando a altas velocidades, destaca-se a importância do correto dimensionamento dos dutos do coletor de escapamento de modo a obter regimes idealizados de escoamento. Atualmente as técnicas de análise de escoamento de fluidos aplicadas as mais diversas áreas da mecânica têm sido ampliadas com o desenvolvimento das tecnologias (NARCIZO e MIRANDA, 2019; PACHECO e MIRANDA, 2019).

Dentro deste contexto, este estudo propões dimensionar de forma idealizada um coletor de escape para o motor de um GM Vectra em um regime de rotação pré-determinado, alterando os padrões referentes ao diâmetro e comprimento dos dutos primários.

2. Metodologia

O atual capítulo apresenta a metodologia utilizada neste estudo de dimensionamento e fabricação de um coletor de escape, demonstrando os coletores de escapamento original e do novo modelo dimensionado para o motor do GM Vectra, além dos procedimentos de dimensionamento do novo modelo.

2.1. Problemática

A maior dificuldade encontrada no processo de exaustão dos motores de combustão interna é muitas vezes a restrição à passagem dos gases até que eles sejam liberados à atmosfera (KASPER, 2003). Os coletores originais na maioria dos casos são compostos por dutos que se unem logo na saída, próximo ao cabeçote do motor, fazendo com que os gases provenientes da combustão de cada cilindro muitas vezes interfiram entre si dificultando o escoamento e restringindo a passagem até que atinjam o meio externo. Os coletores originais nem sempre são as opções mais adequadas para o processo de exaustão, sendo que muitas vezes sua geometria acaba por dificultar o escoamento dos gases ao longo do sistema. Portanto é possível que geometrias alternativas sejam dimensionadas para contribuir com a idealização do escoamento.

2.2. Análise e Medição do Coletor Original

O coletor do escapamento original de um motor de 2,2 L do Vectra é um modelo fabricado em liga de ferro fundido, formando quatro dutos de saída dispostos lateralmente e que se unem em formato 4x2x1 como representado na Fig. 1.

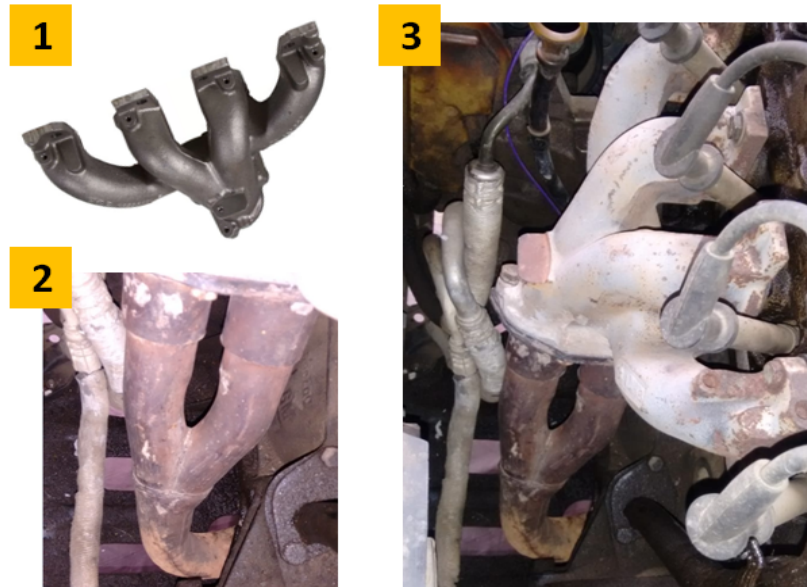


Figura 1 – Coletor de escape original GM Vectra.

A Fig. 1 representa imagens capturadas de três situações, o coletor primário (número 1), coletor secundário (número 2) e o conjunto montado e já fixado ao cabeçote do motor (número 3). A disponibilidade de um coletor original para testes possibilitou a medição e coleta de informações referente sua geometria. Os instrumentos de medição utilizados para obtenção do diâmetro interno e comprimento linear dos dutos, assim como as distâncias entre centro de cada um dos dutos foi um paquímetro analógico, régua e fita métrica. Esboços foram criados para facilitar a processo de medição, assim como capturas de imagens como mostrado na Fig. 2 para melhor compreensão.

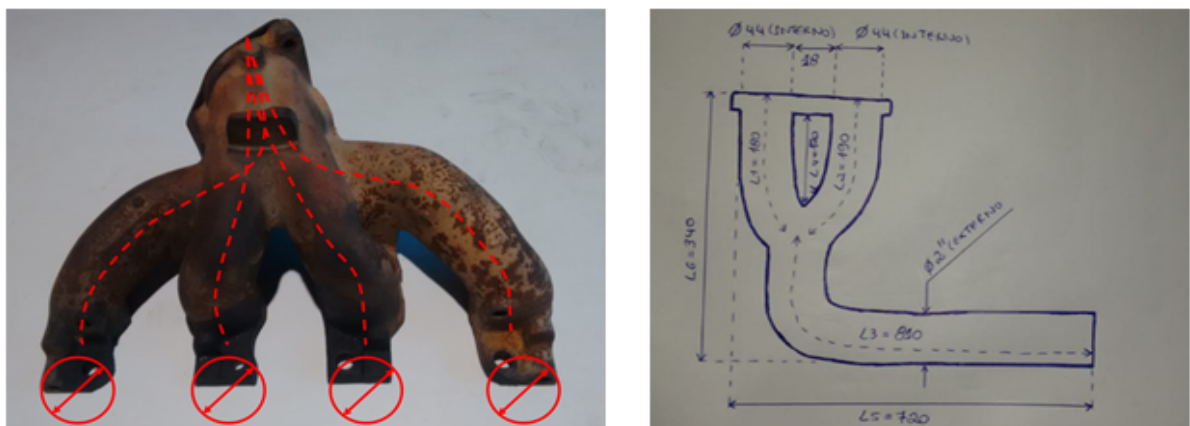


Figura 2 – Medição coletor original.

As medições feitas conforme ilustradas na Fig. 2 permitiram desenhar o modelo do coletor original no software Solidworks licença estudantil com dados bem próximos aos reais.

2.3. Proposta de Melhoria

Tendo em vista que para obter uma melhor eficácia no processo de exaustão dos gases da combustão, é necessário que os dutos sejam dimensionados com o diâmetro e comprimento adequado e proporcional a vazão dos gases, tudo visando facilitar o escoamento e obter o mínimo de restrições à passagem desses gases até que os mesmos atinjam a atmosfera. A partir disso foi desenvolvido um novo coletor através do arranjo dos dutos no formato 4x1, confeccionado em tubos de aço de aproximadamente mesmo comprimento, buscando amenizar os efeitos de contrapressão.

2.3.1. Dimensionamento

No dimensionamento do novo coletor utilizou-se de alguns cálculos de engenharia para determinação do diâmetro e comprimento dos dutos primários de forma a idealizar o escoamento na faixa de rotação pré-determinada. O coletor dispõe de quatro dutos de aproximadamente mesmo comprimento e diâmetro, confeccionado em tubos de aço e unidos em uma extremidade ao flange do cabeçote do motor e em outra ao cone de junção dos dutos com saída para o tubo principal de escape. No protótipo desenvolvido, os dutos foram dispostos em ordem da sequência de ignição dos cilindros, buscando obter um movimento de saída dos gases na junção em formato espiral. Os dutos foram curvados em uma curvadeira manual, os raios e comprimentos das curvas foram determinados conforme ajuste manual e espaçamento disponível no motor. A Fig. 3 permite melhor compreensão da geometria dimensionada.

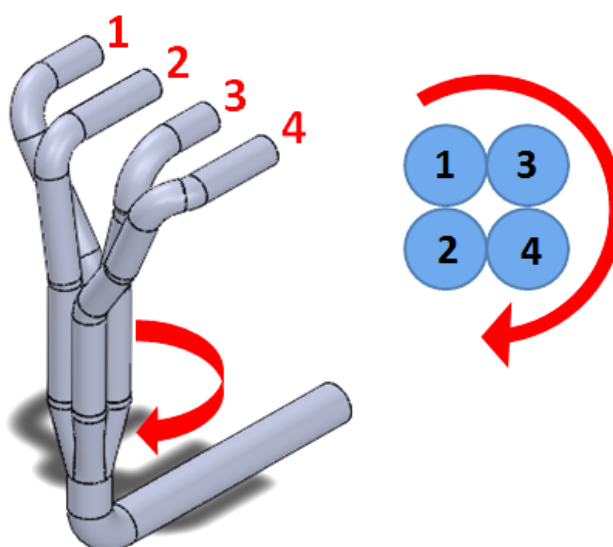


Figura 3 – Disposição em espiral dos dutos.

Grande parte dos motores de quatro cilindros dos automóveis nacionais, inclusive do GM Vectra, segue a ordem de ignição dos cilindros na sequência 1-3-4-2, ou seja, a combustão ocorre primeiramente no cilindro 1, em sequência no 3, 4, e por fim no cilindro 2, retornando ao ciclo inicial de ignição. A disposição dos dutos em ordem de ignição permite um escoamento em formato espiral na junção dos dutos, tendendo a aperfeiçoar a retirada dos gases.

2.3.2. Cálculo do Diâmetro Interno dos Dutos

Para determinar o diâmetro interno do duto, foi necessário calcular alguns parâmetros anteriores de acordo com as capacidades do motor do carro, as Equações utilizadas estão demonstradas na sequência.

$$V_{du} = \frac{\pi d_c^2}{4} S \quad V_{du} = \frac{\pi d_c^2}{4} S \tag{1}$$

$$V_d = zV_{du} \quad V_d = zV_{du} \tag{2}$$

$$Q = \frac{2V_d n}{60} \quad Q = \frac{2V_d n}{60} \tag{3}$$

$$A_d = \frac{Q}{Un_d} \quad A_d = \frac{Q}{Un_d} \tag{4}$$

$$d_d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad d_d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \tag{5}$$

Os parâmetros do motor utilizados nas Equações podem ser observados na Tab. 1.

Tabela 1 – Dados técnicos do motor do Vectra.

Parâmetro	Valores	Unidades
<i>z</i>	4	cilindros
<i>d_c</i>	81,5	mm
<i>S</i>	77,4	mm
<i>n</i>	5700	rpm
<i>U</i>	91	m/s
<i>n_d</i>	4	duto
<i>θ</i>	120	°
<i>c</i>	340,29	m/s

Fonte: Primária, (2023).

Em que *V_{du}* é a cilindrada unitária, *d_c* é o diâmetro do cilindro, *S* é o curso do cilindro, *V_d* é a cilindrada total, *z* é o número de cilindros, *Q* é a vazão volumétrica, *n* é o número de revoluções limite até o corte de rotação, *A_d* é a área individual de cada duto do coletor, *n_d* é a quantidade de dutos, *U* é velocidade dos gases de exaustão na saída do escapamento, *d_d* é o diâmetro individual de cada duto do coletor.

2.3.3. Cálculo do Comprimento dos Dutos

Utilizando o princípio das ondas de pressão que percorrem os dutos durante o escoamento dos gases de escape, dimensionou-se o comprimento do duto (do flange até a junção no cone) para que a onda de pressão pudesse ir e voltar de uma extremidade a outra no interior do duto a tempo de atingir a válvula de escape aberta e em sobreposição á de admissão (*overlap*), favorecendo a eficiência volumétrica do motor. Para determinação do comprimento dos dutos utilizou-se da Eq. 6, que segundo Brunetti (2012) é utilizada para calcular o comprimento ideal para maximizar a eliminação dos

gases no regime de rotação adotado.

$$L = \frac{\theta_t c}{12n} \quad L = \frac{\theta_t c}{12n} \quad (6)$$

Sendo L o comprimento do duto até o cone de junção, θ_t o deslocamento angular do virabrequim, c a velocidade do som e n a rotação do motor. O comprimento calculado já admite a medida do duto no cabeçote acerca da válvula de escape, portanto subtrai-se do valor encontrado o comprimento medido da válvula até a saída do cabeçote onde é fixado o flange do coletor.

2.4. Confecção dos Flanges

Para a fixação dos dutos no cabeçote do motor fez-se necessário desenvolver um flange, o qual foi projetado conforme as medidas de furação dos canais do cabeçote do motor. O flange do coletor foi desenhado no software Solidworks versão 2019 e as medidas foram obtidas através de medição de uma junta de coletor de escape conforme ilustrado na Fig. 4.

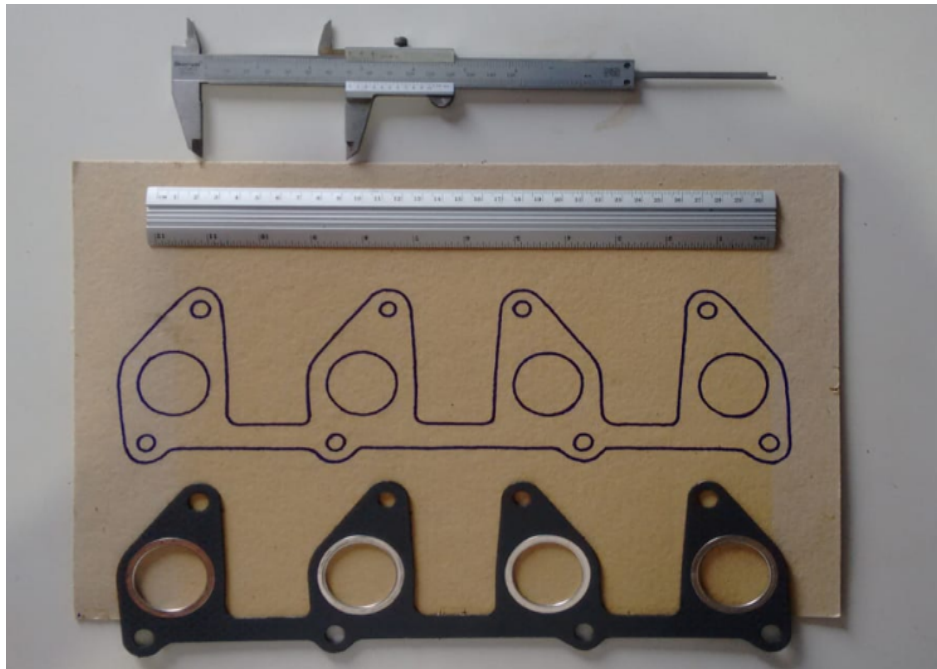


Figura 4 – Medição para projeto da junta.

Como representado na Fig. 4, foram utilizados instrumentos de medição como paquímetro e régua, além de criação de esboço para auxiliar no projeto do flange.

2.5. Confecção da Pirâmide

A pirâmide, conforme representado na Fig. 5, é uma geometria interna do coletor, desenvolvida para a junção dos quatro dutos primários em um duto principal de descarga dos gases. Ela tem a função de equalizar os gases e descarrega-los no duto principal de forma suave e evitar turbulências junto aos efeitos de contrapressão dos gases de cada cilindro.

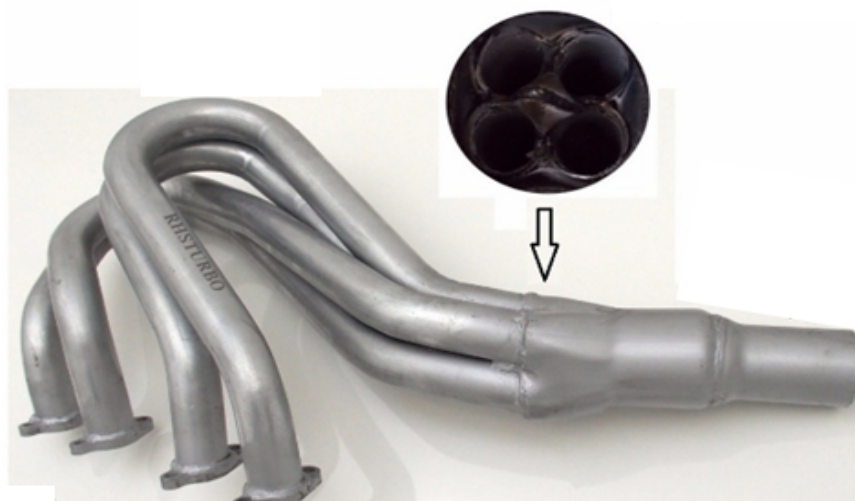


Figura 5 – Pirâmide de equalização.

A geometria em formato de pirâmide representada na Fig. 5 é disposta internamente e faz a ligação entre os quatro dutos primários e o duto principal de descarga dos gases. A parte externa compreende o cone, confeccionado em chapa metálica e envolto à pirâmide.

3. Resultados e Discussões

Apresentam-se neste capítulo os resultados dos cálculos utilizados no dimensionamento do coletor de escape na disposição 4x1 dos dutos primários para o motor do GM Vectra, os valores encontrados na determinação do diâmetro interno e comprimento dos dutos diante da metodologia empregada, assim como as imagens do coletor dimensionado já pronto após passar pelas etapas de construção. Tanto o diâmetro como o comprimento dos dutos foram obtidos por cálculo admitindo por escolha uma rotação limite alvo de 5700 RPM (rotações por minuto) para o motor.

3.1. Diâmetro Interno dos Dutos

A partir das Equações, foram obtidos uma vazão volumétrica de cada cilindro em $0,30687 \text{ m}^3/\text{s}$. Bell (1980) considera em seus estudos que os gases de escape abandonam os cilindros do motor a uma velocidade entre 61 a 91 m/s, dessa forma foi admitida uma velocidade de 91 m/s (Tab. 1) como ideal para o escoamento dos gases. A partir disto, encontrou-se o diâmetro interno necessário dos dutos para atender ao regime de escoamento nessa rotação do motor é de 32,76 mm (Fig. 6). Foram desenvolvidos cálculos para o entendimento do diâmetro dos dutos em função da rotação limite que corta os giros do motor. Diante das possíveis opções disponíveis para a confecção do coletor, optou-se por utilizar de tubos em aço com parede de 2 mm de espessura diante da maior facilidade em curvar os tubos e diâmetro externo de $1 \frac{1}{2}$ " (polegada), sendo a medida mais aproximada possível do valor calculado, resultando em um diâmetro interno de 34,1 mm até a junção, bem próxima da calculada.

Os valores encontrados tanto para o diâmetro como para o comprimento interno dos dutos primários atendem a um regime de rotação pré-estabelecido, ou seja, a rotação admitida em 5700 RPM determinou a vazão volumétrica dos cilindros do motor.

Portanto quão maior a rotação, maior será a vazão volumétrica dos gases de escape e consequentemente maior deverá ser o diâmetro do duto. A velocidade de escoamento fixada em 91 m/s presume obter condições ideais de escoamento, sem que haja elevada turbulência e garantindo certa inercia que auxilia na sucção da nova mistura.

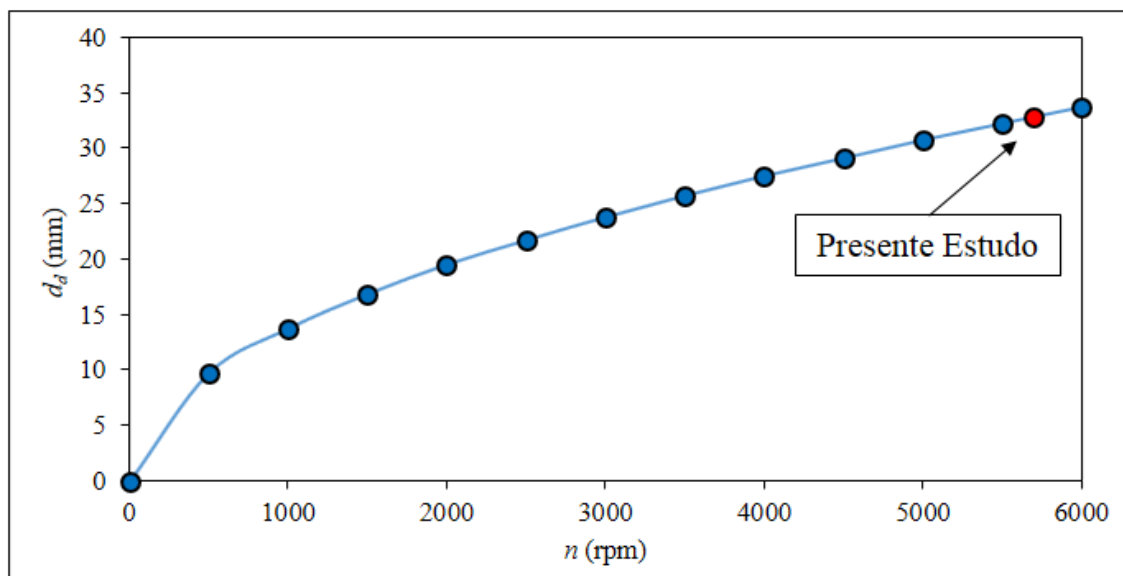


Figura 6 – Resultados do diâmetro do coletor em função da rotação limite do motor.

Diante das medições realizadas no coletor original de escape do motor do GM Vectra verificou-se que os diâmetros internos dos dutos apresentam similaridades com o dimensionado nesse trabalho até certa altura. Inicialmente os dutos primários do coletor original apresentam diâmetro interno de 34,1 mm desde a fixação no cabeçote até se unir no formato 4x2x1. Contando que os dutos originais são fabricados em liga de ferro fundido e apresentam determinada rugosidade interna, se comparado ao dimensionado nesse trabalho com tubos de aço, observa-se que certamente o modelo confeccionado com tubos de aço proporciona um melhor escoamento devido ao menor atrito dos gases com as paredes do tubo.

3.2. Comprimento dos Dutos

A Eq. 6 permitiu determinar o comprimento total do duto primário em 597 mm, contando que o comprimento do duto na sede da válvula de escape até a saída no cabeçote seja de 100 mm, subtraiu-se esse valor, encontrando um total de 497 mm (Fig. 7), ou seja, do flange no cabeçote até a junção na pirâmide, os dutos foram confeccionados com tubos em aço de 34,1 mm de diâmetro interno e 497 mm de comprimento.

Para velocidade do som no duto, tratando-se de o fluido ser o próprio ar, admitiu-se o valor padrão de 340,29 m/s para o ar (Tab. 1), enquanto que o ângulo de deslocamento do virabrequim é de 120° (graus). O deslocamento angular do virabrequim em 120° é devido a válvula de escape iniciar seu movimento de abertura 60° antes do PMI, ou seja, antes mesmo do pistão ter atingido seu ponto mais baixo na trajetória, a válvula já inicia o movimento de abertura. Essa característica de antecipação da abertura da válvula é diferente para cada motor e esse ângulo determina o início da abertura da válvula.

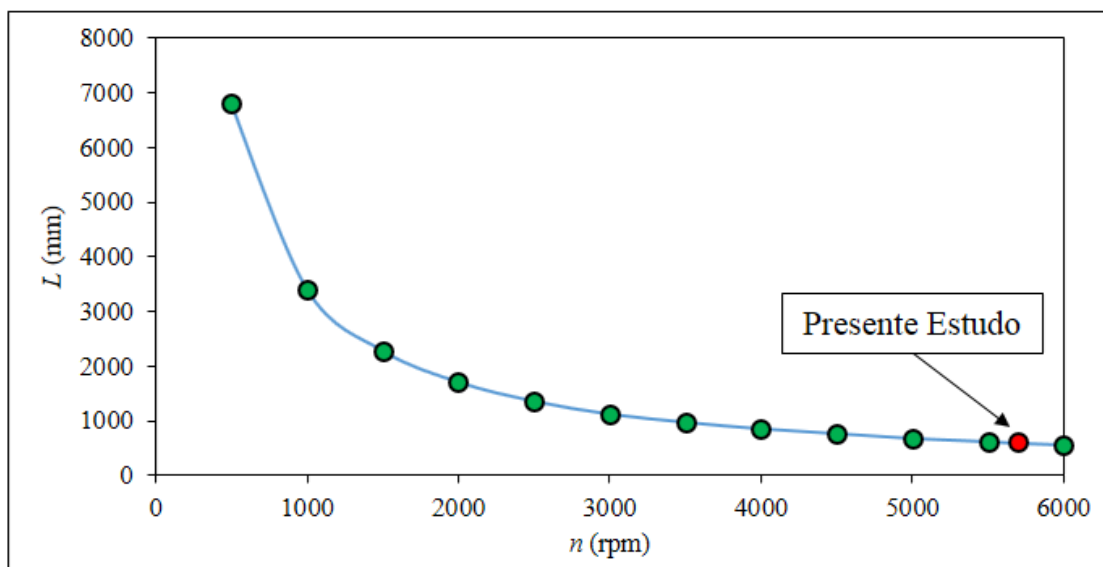


Figura 7 – Resultados do comprimento do coletor em função da rotação limite do motor.

A determinação do comprimento dos dutos primários em 597 mm significa que para uma rotação de 5700 RPM as ondas de pressão geradas no interior dos dutos devem percorrer todo esse comprimento fazendo um trajeto de ida e volta de uma extremidade a outra no tempo de encontrar a válvula de escape novamente aberta e em sobreposição à de admissão (*Overlap*).

Por comparação, ao utilizar uma rotação de 3000 RPM equivalente à metade da rotação utilizada para o dimensionamento e substituindo-a nas equações utilizadas anteriormente, tem-se um diâmetro interno de 21,77 mm e comprimento de 1.134,3 mm ou 1,13 m dos dutos primários. Nota-se através dessa análise que quando há uma maior vazão dos gases do cilindro por conta de uma maior rotação, o duto deve ter maior diâmetro para possibilitar o escoamento, já o comprimento deve ser reduzido, pois quanto maior a rotação do motor, menos tempo a onda de pressão tem para percorrer o duto e chegar à válvula de escape enquanto estiver ocorrendo o *overlap*.

Já na situação de menor vazão ocasionada por uma menor rotação do motor, os dutos devem dispor de menor diâmetro e maior comprimento, de forma a suprir somente a vazão necessária na velocidade adequada e fazer com que os gases possuam inercia suficiente para facilitar o escoamento destes e auxiliar na sucção da nova mistura para dentro dos cilindros. Diante do espaço relativamente reduzido no motor do veículo e da dificuldade de curvar e encaixar os tubos, o protótipo fabricado não atendeu completamente ao objetivo de confeccionar todos os dutos com mesmo comprimento exato, e sim a valores aproximados. A Fig. 8 representa o modelo sugerido, e que foi fabricado para o motor do GM Vectra.



Figura 8 – Protótipo do coletor de escape.

O coletor de escape representado na Fig. 8 foi desenvolvido nas dimensões mais próximas possíveis das determinadas por cálculo. A disposição dos dutos na junção seguiu a sequência de ignição dos cilindros conforme descrito na metodologia. No canto superior direito da Figura 9 observa-se a geometria de pirâmide desenvolvida para facilitar a equalização dos gases na junção dos dutos.

Testes de vácuo foram realizados nos dois coletores, possibilitando verificar a capacidade de cada um de gerar pressão negativa no interior dos dutos, evidenciando a eficácia no escoamento dos gases e admissão da nova mistura de ar/combustível para dentro dos cilindros. Para tal situação, tanto num coletor quanto no outro, foi posicionado um bico de ar na entrada de um dos dutos, aproximando se um pedaço de material flexível aos demais dutos dispostos lateralmente de modo a verificar a pressão gerada na entrada dos dutos quando o bico de ar fosse acionado. A Fig. 9 representa a fase inicial e final do teste de vácuo no coletor original e no novo coletor.

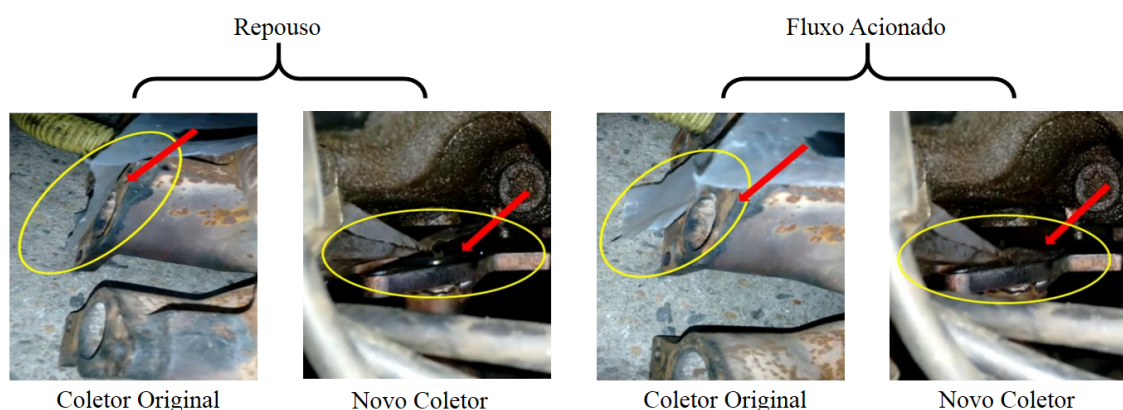


Figura 9 – Teste de vácuo.

A partir da Fig. 9, verifica-se que o material flexível inicialmente, na situação 1, o material está em repouso próximo à extremidade do duto. Ao acionar o bico liberando o fluxo de ar no interior de um dos dutos, o material é afastado da extremidade do duto, como representado na situação 2. Mediante ao teste no coletor original fica evidenciado a pressão positiva gerada no interior dos dutos diante da interferência entre eles o que consequentemente causa ineficiência no processo de exaustão dos gases de escape. Infelizmente a indisponibilidade de aparelhos de medição precisos, os testes de vácuo realizados nos coletores não obtiveram dados comparativos de eficácia, sendo que somente por captura de vídeos dos testes realizados fica visível o fenômeno de sucção que ocorre mediante a aplicação do ar nas mesmas condições tanto para um como para outro.

Já o teste de vácuo realizado no coletor dimensionado, assim como no coletor

original foi evidenciado duas situações, sendo inicialmente com o bico de ar desligado, e após seu acionamento. Verificou-se que o material foi sugado para o interior de cada um dos demais dutos. De mesma forma, a situação 1 representa o estado inicial de repouso, enquanto que na situação 2 o material está mais próximo da entrada do duto devido a pressão negativa gerada. Essa situação está relacionada com o fato do ar que escoo com certa velocidade e promove a sucção do ar atmosférico da extremidade dos dutos através da pressão negativa gerada pelo escoamento e inércia dos gases.

4. Conclusão

Diante do trabalho desenvolvido foi possível estabelecer por cálculos de engenharia dados aproximados para o dimensionamento de um coletor de escape de um motor de combustão interna. Foi possível estabelecer uma relação entre os diâmetros e comprimentos dos dutos em função da rotação limite dos motores.

Os cálculos auxiliaram para a construção de um coletor real ao qual foi possível estabelecer apenas algumas comparações qualitativas com testes de vácuo.

Dentre várias metodologias possíveis para o projeto do coletor de escape, muitas optam pelo empirismo diante da complexidade dos fenômenos e das inúmeras variáveis, a metodologia utilizada ainda que superficial e aproximada, contribuiu para a eficácia no escoamento dos gases de escape conforme comprovação por testes de vácuo em comparação ao original.

Os instrumentos de medição para obtenção de dados referente ao regime de escoamento ainda que aplicáveis ao projeto não obtiveram precisão suficiente para dispor de dados numéricos comparativos. Para resolver estes problemas, ficam como sugestões de trabalhos futuros aplicar mensurações de temperaturas, vazões e pressões, bem como a aplicação de uma simulação numérica do processo.

Referências

- BELL, A.G.** *Performance tuning in theory and practice: four stroke*. 1 ed. Nova Jersey, 1980.
- BRUNETTI, F.** *Motores de combustão interna: v1*. São Paulo: Blucher. 2012.
- COSTA, M., MARCHITTO, L., MEROLA, S.S, SORGE, U.** *Study of mixture formation and early flame development in a research GDI (gasoline direct injection) engine through numerical simulation and UV-digital imaging*. Energy. pp 1-9. 2014.
- FONSECA, L.G.** *Caracterização do escoamento de ar em um motor de combustão interna utilizando mecânica dos fluidos computacional*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2014.
- HEYWOOD, J.B.** *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, Book Company. 1988.
- KASPER, F.R.S.** *Modelagem e simulação de motores à combustão interna por técnicas da fluidodinâmica computacional (CFD)*. Dissertação (Mestrado) – UNICAMP, Campinas. 2003.
- NABBOUT, K.O.** *Estudo das ondas de pressão formadas na admissão de um motor de combustão interna com a presença de um ressonador*. Trabalho de Conclusão de Curso. UFU, Uberlândia. 2017.
- NARCIZO, G.G., MIRANDA, D.A.** *Numerical analysis of the air-fuel mixture in indirect and direct injection of four-stroke engines*. Revista de Engenharia Térmica, v.18, n.2, p. 89-97. 2019.
- PACHECO, V.F., MIRANDA, D.A.** *Aerodynamic Analysis of High Energy Efficiency Vehicles by Computational Fluid Dynamics Simulation*. Advanced Engineering Forum. v32, p.41–51. 2019.
- SILVA, J.A.** *Estudo dos processos de admissão e exaustão utilizando ensaio experimental e simulação de um motor de combustão interna a etanol aspirado e turboalimentado*. 176 f. Tese (Doutorado) - Curso de

Engenharia Mecânica, USP, São Carlos. 2004.

WILDNER, F.D. *Estudo experimental do ponto de ignição e da variação de pressão para diferentes combustíveis.* UFRGS, Trabalho de Conclusão de Curso. 2002.