

**CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ**

**JORGE LUIZ STUMPF NETO**

**PREPARAÇÃO DE CABEÇOTES DE COMPETIÇÃO PARA MOTORES DE CICLO  
OTTO**

**CASCADEL  
2018**

**CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ**

**JORGE LUIZ STUMPF NETO**

**PREPARAÇÃO DE CABEÇOTES DE COMPETIÇÃO PARA MOTORES DE CICLO  
OTTO**

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

**Professor (a) Orientador (a):**  
Eliseu Avelino Zanella Junior.

**CASCADEL  
2018**

**CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ**

**JORGE LUIZ STUMPF NETO**

**PREPARAÇÃO DE CABEÇOTES DE COMPETIÇÃO PARA MOTORES DE CICLO  
OTTO**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como  
requisito parcial para obtenção de aprovação semestral no Curso de Engenharia  
Mecânica do Centro Universitário Assis Gurgacz

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador (a) Prof: Eliseu Avelino Zanella Junior

---

Prof .....  
Banca avaliadora

---

Prof .....  
Banca avaliadora

**Cascavel, 2018**

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, meu guia, socorro presente na hora da angústia e em todos os momentos, não apenas da graduação, mas em toda minha vida.

Ao meu pai Muriel, minha mãe Alexandrina por prestarem todo apoio necessário e pelas palavras de encorajamento nas horas de desespero.

Ao meu orientador, Profº. Me. Eliseu Avelino Zanella Junior pela contribuição do seu tempo dedicado à minha pesquisa, sempre me orientando e norteando, agradeço por toda sua dedicação e apoio.

Ao Curso de Engenharia Mecânica pelo comprometimento com o ensino, disponibilizando uma estrutura fantástica tanto no corpo docente quanto em seus espaços físicos. Ao Centro Universitário Assis Gurgacz pela oportunidade de tornar os sonhos dos acadêmicos em realidade.

Aos todos os meus professores, figuras que inspiram o meio acadêmico a crescer e prosperar. Às pessoas que fazem parte da instituição, que trabalham para que tudo ocorra perfeitamente.

Aos colegas com quem convivi ao longo desses cinco anos. A alegria das amizades encontradas e do conhecimento com elas compartilhado nesse espaço foram uma das melhores experiências da formação acadêmica.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte da minha formação, direta ou indiretamente, pois foram cinco anos com muitas histórias e experiências compartilhadas, sempre com palavras de apoio e encorajamento.

## **RESUMO**

O assunto do referido trabalho é sobre preparação de cabeçotes de competição para motores de ciclo OTTO, com apresentação dos apontamentos e resultados no Centro Universitário Assis Gurgacz. A pesquisa teve origem com a necessidade de compreender parâmetros como swirl e fluxo, na preparação de um cabeçote para altodesempenho. O tema abordará sobre a influência do Swirl (turbulência da mistura ar + combustível) na potência do motor. A pesquisa tem como objetivo verificar qual é a forma como a turbulência do ar (swirl) influencia no desempenho dos motores, e se ela deve ser priorizada ao invés do fluxo de ar. A metodologia consiste em realizar ensaios em bancada de fluxo priorizando o swirl ou o fluxo, através de embasamento teórico adquirido através de pesquisa bibliográfica. O local de ensaios e pesquisa será a empresa Stumpf Cabeçotes que é especializada no assunto, disponibilizando toda a estrutura e apoio profissional, além de subsidiar os custos da pesquisa.

Palavras-chave: SWIRL, FLUXO, CABEÇOTES PARA ALTA PERFORMANCE.

## **ABSTRACT**

The subject of this work is about preparation of competition cylinders head for OTTO cycle engines, with presentation of the notes and results at Assis Gurgacz University Center. The research originated with the need to understand parameters such as swirl and flow, in the preparation of cylinders head for high performance. The theme will address the influence of Swirl (turbulence of the air + fuel mixture) on engine power. The research aims to verify how the air turbulence (swirl) influences the performance of the engines, and whether it should be prioritized rather than air flow. The methodology consists of performing flow bench tests prioritizing the swirl or the flow, through theoretical basis acquired through bibliographic research. The testing and research site will be the company StumpfCabeçotes that specializes in the subject, providing all the structure and professional support, besides subsidizing the costs of the research.

Keywords: SWIRL, FLOW, HEADS FOR HIGH PERFORMANCE.

## LISTA DE IMAGENS

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IMAGEM 01: RETRABALHO DE ANGULAÇÕES EM SEDES DE VÁLVULAS .....                             | 16 |
| IMAGEM 02: VÁLVULA RETRABALHADA E VÁLVULA ORIGINAL .....                                   | 17 |
| IMAGEM 03: GUIAS DE VÁLVULAS PARA COMPETIÇÃO .....                                         | 18 |
| IMAGEM 04: MOLAS DE VÁLVULAS PARA COMPETIÇÃO .....                                         | 19 |
| IMAGEM 05: COMANDO DE VÁLVULAS PARA COMPETIÇÃO .....                                       | 19 |
| IMAGEM 06: TUCHOS PARA COMPETIÇÃO .....                                                    | 20 |
| IMAGEM 07: PRATOS DE MOLAS EM TITÂNIO PARA COMPETIÇÃO .....                                | 21 |
| IMAGEM 08: ILUSTRAÇÃO DO SWIRL NO INTERIOR DO CILINDRO .....                               | 22 |
| IMAGEM 09: ILUSTRAÇÃO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO HEMISFÉRICA .....                             | 23 |
| IMAGEM 10: ILUSTRAÇÃO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO BANHEIRA<br>INVERTIDA .....                   | 24 |
| IMAGEM 11: ILUSTRAÇÃO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO EM FORMA DE<br>CUNHA .....                    | 24 |
| IMAGEM 12: ILUSTRAÇÃO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO COM VÁLVULA<br>LATERAL .....                  | 26 |
| IMAGEM 13: MEDIÇÃO DO TORQUE ATRAVÉS DO MOVIMENTO ROTACIONAL<br>DO FLUXO DE AR .....       | 27 |
| IMAGEM 14: DUTO HELICOIDAL .....                                                           | 30 |
| IMAGEM 15: DUTO CONVENCIONAL .....                                                         | 31 |
| IMAGEM 16: REPRESENTAÇÃO DOS GRADIENTES DE VELOCIDADES NA<br>PASSAGEM PELAS VÁLVULAS ..... | 32 |
| IMAGEM 17: ILUSTRAÇÃO DO TUMBLE NO INTERIOR DO CILINDRO .....                              | 33 |
| IMAGEM 18: CARACTERÍSTICAS BANCA DE FLUXO SAENZ J- 600 .....                               | 36 |
| IMAGEM 19: REPRESENTAÇÃO DE TUBO PITOT .....                                               | 37 |
| IMAGEM 20: CABEÇOTE AP ORIGINAL .....                                                      | 38 |
| IMAGEM 21: CABEÇOTE AP USINADO EM CNC SEM PRIORIZAR O SWIRL .....                          | 39 |
| IMAGEM 22: VISTA DIMÉTRICA DO MODELO DE CÂMARA CONVENCIONAL ...                            | 39 |

IMAGEM 23: VISTA DIMÉTRICA DO MODELO DE CÂMARA PRIORIZANDO  
SWIRL .....40

IMAGEM 24: CABEÇOTE USINADO COM MODELO DE CÂMARA PRIORIZANDO  
SWIRL .....40

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| EQUAÇÃO 01: COEFICIENTE DE SWIRL .....                        | 28 |
| EQUAÇÃO 02: VELOCIDADE TANGENCIAL DO ESCOAMENTO .....         | 28 |
| EQUAÇÃO 03: VELOCIDADE AXIAL DO ESCOAMENTO .....              | 28 |
| EQUAÇÃO 04: VELOCIDADE ANGULAR DA HÉLICE DE MEDIÇÃO .....     | 28 |
| EQUAÇÃO 05: VAZÃO MÁSSICA .....                               | 28 |
| EQUAÇÃO 06: DENSIDADE DO ESCOAMENTO .....                     | 29 |
| EQUAÇÃO 07: DENSIDADE AMBIENTE .....                          | 29 |
| EQUAÇÃO 08: EQUAÇÃO REARRANJADA DE COEFICIENTE DE SWIRL ..... | 29 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 01: COEFICIENTE DE SWIRL DO CABEÇOTE QUE NÃO PRIORIZA O<br>TURBILHONAMENTO ..... | 42 |
| TABELA 02: COEFICIENTE DE SWIRL DO CABEÇOTE QUE PRIORIZA O<br>TURBILHONAMENTO .....     | 43 |

## SUMÁRIO

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. CAPÍTULO 1</b>                                                                    | <b>12</b> |
| 1.1. INTRODUÇÃO                                                                         | 12        |
| 1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA                                                              | 12        |
| 1.2.1 OBJETIVO GERAL                                                                    | 12        |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                                            | 12        |
| 1.3. JUSTIFICATIVA                                                                      | 13        |
| 1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA                                                            | 14        |
| <b>2. CAPÍTULO 2</b>                                                                    | <b>15</b> |
| 2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA                                                              | 15        |
| 2.1.1. FLUXO                                                                            | 15        |
| 2.1.1.1. SEDES DE VÁLVULAS:                                                             | 15        |
| 2.1.1.2. VÁLVULAS:                                                                      | 16        |
| 2.1.1.3. GUIAS DE VÁLVULAS:                                                             | 17        |
| 2.1.1.4. MOLAS::                                                                        | 18        |
| 2.1.1.5. COMANDO DE VÁLVULAS OU EIXO DE CAMES:                                          | 19        |
| 2.1.1.6 TUCHOS:                                                                         | 20        |
| 2.1.1.7. PRATOS DE MOLAS                                                                | 20        |
| 2.1.2. SWIRL                                                                            | 21        |
| 2.1.2.1. ALGUNS TIPOS DE CÂMARAS DE COMBUSTÃO LANÇADAS EM MOTORES ORIGINAIS DE FÁBRICA: | 22        |
| 2.1.2.2. ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DO NÚMERO DE SWIRL                                    | 26        |
| 2.1.2.3. COEFICIENTE DE SWIRL                                                           | 28        |
| 2.1.2.4. GERAÇÃO DE TURBILHONAMENTO                                                     | 29        |
| 2.1.3 CABEÇOTES PARA ALTA PERFORMANCE                                                   | 32        |
| <b>3. CAPÍTULO 3</b>                                                                    | <b>35</b> |

|                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1. ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO .....                                                            | 35        |
| <b>4. CAPÍTULO 4 .....</b>                                                                        | <b>38</b> |
| 4.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                                                | 38        |
| <b>5. CAPÍTULO 5 .....</b>                                                                        | <b>45</b> |
| 5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                                   | 45        |
| <b>6. CAPÍTULO 6 .....</b>                                                                        | <b>46</b> |
| 6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                                                       | 46        |
| <b>7. REFERÊNCIAS.....</b>                                                                        | <b>47</b> |
| <b>8. ANEXOS .....</b>                                                                            | <b>48</b> |
| ANEXO 01: GRÁFICO COMPARATIVO COM OS DADOS DE SWIRL E FLUXO<br>DOS DOIS MODELOS DE CABEÇOTE ..... | 50        |
| ANEXO 02: TABELA COMPARATIVA COM OS DADOS DE SWIRL E FLUXO DOS<br>DOIS MODELOS DE CABEÇOTE.....   | 52        |

## **1. CAPÍTULO 1**

### **1.1. INTRODUÇÃO**

O Assunto do referido trabalho é sobre preparação de cabeçotes de competição para motores de ciclo OTTO. O tema abordará sobre a influência do Swirl (turbulência da mistura ar + combustível) na potência do motor.

Nessa pesquisa será avaliado de que forma o Swirl influencia no desempenho do motor, e se ele deve ser priorizado ao invés do fluxo. Também serão discutido maneiras de manipular este fenômeno, durante a preparação do cabeçote.

### **1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA**

#### **1.2.1. Objetivo Geral**

Verificar qual é a forma como a turbulência do ar (swirl) influencia no desempenho dos motores, e se ela deve ser priorizada ao invés do fluxo de ar.

#### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Efetuar mudanças no cabeçote priorizando swirl com auxílio de máquinas CNC;

Avaliar os resultados obtidos em bancada de fluxo;

Identificar qual dos dois fatores influencia mais na geração de potência: Swirl ou Fluxo;

### 1.3. JUSTIFICATIVA

O motor de combustão por faísca, (OTTO) é um dos grandes avanços da humanidade. Muito mais leve e econômico do que as máquinas a vapor que existiam antes de sua criação, o motor de ciclo Otto, foi um grande passo para a civilização. Segundo Franco Brunetti, seus princípios de funcionamento foram apresentados em 1862 por Beau de Rochas, porém, o aprimoramento e a aplicação prática desse conceito, foram pelas mãos de Nikolaus August Otto em 1876, motivo pelo qual esses motores são chamados de motores de Ciclo Otto. Também é conhecido como motor quatros tempos, que seriam os ciclos que constituem todo o processo de geração de energia do mesmo. Os ciclos são: admissão, compressão, expansão e escape.

Mesmo sendo uma criação com mais de um século de existência, os motores de combustão por faísca são utilizados até os dias atuais. A busca por mais economia de combustível e maior potência é incessante. E quando o assunto é automobilismo, o segundo aspecto é primordial. A Fórmula 1, sendo a categoria de automobilismo mais famosa e com o maior investimento financeiro do mundo, demonstra bem a evolução da potência nos veículos. Dados de potência retirados da revista Auto Racing, exemplificam bem este fato. No ano de 1950, o motor campeão foi o Alfa Romeo 8 em linha, com 370HP. Em 2015 o motor campeão foi o Mercedes V6, com 915HP. Os motores tiveram um ganho de potência superior a 100% ao longo dos anos. No Brasil, temos categorias de automobilismo com um investimento visivelmente inferior ao da Fórmula 1, porém, com objetivos semelhantes. Portanto, a busca por uma maior potência também é importante no cenário do automobilismo nacional. As categorias nacionais são inúmeras, entretanto o foco do trabalho é direcionado para as categorias de arrancada, com carros naturalmente aspirados, ou seja, aqueles que não fazem o uso de turbinas.

Nos motores de carros aspirados, o cabeçote do motor é uma das peças-chaves para um ganho de potência, pois é ele quem dita o quanto de ar entra e sai do motor, além de sua câmara de combustão influenciar muito na fase de expansão do motor, aquela que é a responsável direta pela geração de potência. Com o aumento do número de automóveis participando deste tipo de competição, abriu-se um mercado interessante para o retrabalho e desenvolvimento destes cabeçotes. Porém nem todos os profissionais que se propõem trabalhar nesta área dominam

todos os aspectos que devem ser levados em consideração na hora de executar este desenvolvimento. A grande maioria prioriza apenas o fluxo de ar que passa pelo cabeçote, e deixam os demais detalhes acerca de um cabeçote de competição, de lado.

O swirl é um desses aspectos que não são muito lembrados por estes profissionais. Segundo Brunetti(2012), swirl é o movimento de corpo rígido do fluxo, ordenado, caracterizado por uma rotação ao longo do eixo do cilindro. Avaliar de maneira correta como o mesmo influencia na potência é de grande importância para o desenvolvimento de cabeçotes mais eficazes e que traduzem uma maior potência para os veículos, podendo ser aplicado até mesmo em cabeçotes novos para carros de uso cotidiano.

No meio acadêmico isso poderá ajudar em futuras pesquisas, com o intuito de desenvolver carros com uma maior economia de combustível e maior potência específica. Além instigar o interesse do profissional de engenharia mecânica para a área do automobilismo. Setor que abrange inúmeros conhecimentos adquiridos ao longo da graduação.

#### **1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA**

Dentre os inúmeros aspectos relacionados à D66 performance de cabeçotes para motores de combustão interna, esta pesquisa traz a análise de dois parâmetros que influenciam diretamente no ganho de potência de um motor naturalmente aspirado –sem sobre alimentação– que trabalha no regime do Ciclo Otto. Nesse caso, os motores estudados utilizam como combustível o metanol.

Neste estudo, serão avaliados e comparados os fenômenos de swirl e vazão dos dutos de um cabeçote para alta performance, possibilitando assim deixar claro o qual dos dois elementos influencia mais no ganho, exclusivamente de potência. Os fenômenos serão observados em cabeçotes que utiliza apenas uma válvula de admissão por cilindro.

Por ser uma pesquisa voltada para veículos de alto desempenho, este trabalho preocupa-se apenas com a melhoria da performance dos carros, não levando em conta aspectos como: nível de emissão de gases, ruídos ou poluição do meio ambiente.

## **2. CAPÍTULO 2**

### **2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **2.1.1. FLUXO**

Quando se fala em fluxo, o primeiro componente que vem à cabeça é o cabeçote de motor, essa peça tem a função de controlar de fluxo e a vedação da câmara de combustão. Com esse controle, pelo fechamento e abertura de válvulas, o cabeçote torna-se um dos principais mecanismos que dão vida ao motor de combustão interna. Porém, devido ao seu design, há 75% num motor aspirado e 65% num motor com turbo alimentação de restrição no fluxo de ar (PASSOS, 2017). Por mais bem dimensionado que seja, sempre haverá uma limitação na passagem do ar pelo cabeçote.

Segundo Passos (2017) a dificuldade sempre cria bons inventores, e nesse caso profissionais especializados que usam de ferramentas manuais e automatizadas para extrair o máximo de fluxo que se pode gerar em cada motor com seu respectivo cabeçote.

O redimensionamento de um cabeçote vai além de abrir os dutos sem coerência, deve-se haver um estudo direcionado para obter as melhores medidas para os dutos e um retrabalho intenso também em suas peças, para que não atrapalhem no fluxo, sejam aerodinâmicas, leves e ainda assim resistentes a ponto de suportarem solicitações violentas, a depender da atuação de cada motor, (PASSOS, 2017).

De acordo com Dias (2015), alguns componentes que devem ser retrabalhados para melhoramento do fluxo de um cabeçote:

##### **2.1.1.1. SEDES DE VÁLVULAS:**

Além da vedação ter que ser absoluta, uma angulação ideal para cada tipo de motor deve ser feita nas sedes do cabeçote para que não haja restrição no fluxo tanto na admissão da mistura ar e combustível quanto na exaustão dos gases quentes, (DIAS, 2015).

Imagem 01: Retrabalho de angulações em sedes de válvulas.



Fonte: Autor

#### **2.1.1.2. VÁLVULAS:**

Ainda segundo Dias (2015), além da angulação correta na cabeça das válvulas, algo de extrema relevância nesse componente é o peso, por ser uma parte móvel do sistema. Além dessas duas exigências, essa pequena peça deve ser de material resistente ao desgaste para juntamente com a sede, não perder a vedação, e também ter resistência ao choque, visto que trabalhará com batidas intensas em seu assento. De acordo com Dias (2015), como se não bastasse, a peça deve ser retrabalhada (se for original de fábrica) ou confeccionada, em séries especiais, de maneira a ser mais aerodinâmica possível, para que o seu cálice e sua haste possam ter o mínimo de perdas de carga.

Imagem 02: Válvula retrabalhada e válvula original.



Fonte: Autor.

#### **2.1.1.3. GUIAS DE VÁLVULAS:**

As guias são partes fixas no cabeçote que tem a função de nortear o sentido do movimento das válvulas. Por ficarem em partes, expostas dentro dos dutos de admissão e escape do cabeçote, assim como as válvulas, devem ser retrabalhadas ou serem confeccionadas sob medida para que o ar escoe sobre elas de maneira que haja menos restrição no fluxo. Em carros de alta performance, são pequenos detalhes como um simples retrabalho de guias de válvulas que podem, num somatório, resultar em um excelente ganho de potência no motor, (DIAS, 2015).

Imagem 03: Guias de válvulas para competição.



Fonte: MTR.

De acordo com Dias (2015) existem outras peças, que diferentemente das citadas acima, estão fora da área de passagem de ar, entretanto, que influenciam diretamente no fluxo e devem ser consideradas para o dimensionamento ideal de um cabeçote como:

#### **2.1.1.4. MOLAS:**

Devem ter a carga correta para que se possa usar um comando de válvulas maior. Além disso as molas devem ter alta resiliência, para que não percam as suas propriedades no decorrer das solicitações de carga, (DIAS, 2015).

Imagem 04: Molas de válvulas para competição.



Fonte: MTR.

#### 2.1.1.5. COMANDO DE VÁLVULAS OU EIXO DE CAMES:

Esta peça dita o quanto a válvula irá abrir (devido ao seu levante, medido em milímetros) e por quanto tempo permanecerá aberta (por sua duração, medida em graus). Levante e duração compõem as especificações do eixo de cames, denominada graduação do comando. Essa peça, no caso de motores de alta performance deve ser feita de aço para poder desempenhar seu papel no cabeçote, (DIAS, 2015).

Imagem 05: Comando de válvulas para competição.



Fonte: MTR.

#### **2.1.1.6. TUCHOS:**

De acordo com Dias (2015), são pequenos “copinhos” responsáveis por transmitir o movimento do eixo de cames até as válvulas, o diâmetro dessa peça influencia diretamente na graduação do comando que será utilizado. Como são peças móveis, devem ter uma usinagem perfeita para que dentro de seu alojamento tenham um movimento livre, com o mínimo de atritos que possam dificultar seu movimento. Além disso, por estar constantemente em contato com o comando de válvulas e estar suscetível ao desgaste, deve ser feita com material especial e ainda levar uma camada de nitretação para que possa exercer perfeitamente suas funções, (DIAS, 2015).

Imagem 06: Tuchos para competição.



Fonte: MTR.

#### **2.1.1.7. PRATOS DE MOLAS:**

Tem-se também os pratos de molas, que também não interferem na passagem de ar nos dutos, porém, quanto mais leve forem, melhor será o desempenho do conjunto descrito acima. Segundo Dias (2015), além de leveza, os pratos devem possuir resistência para suportar trabalhar em motores de altas rotações sem se romperem.

Imagem 07: Pratos de molas em titânio para competição.



Fonte: MTR.

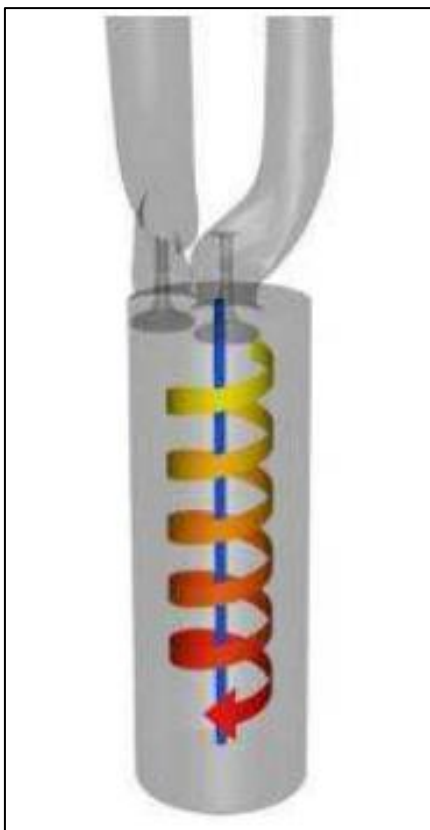
### 2.1.2. SWIRL

Segundo Passos (2017), o Fluxo Rotacional Horizontal (FRH) o swirl ocorre em cilindros de apenas uma válvula de admissão. Devido ao posicionamento da válvula na câmara, o fluido que é sugado pelo movimento do pistão encontra resistência na parede do cilindro e passa a tangenciá-la, tomando assim um movimento helicoidal que acompanha o deslocamento do pistão. Ou seja, o swirl de um cabeçote de motor de combustão interna é a rotação com que o ar entra no cilindro. A rotação com que o ar entra e sai dos dutos do cabeçote influencia tanto quanto o fluxo no ganho de potência do motor.

Segundo Dias (2015), um elemento chave que define se há ou não a rotação do ar no cabeçote é a câmara de combustão, pois através de seu formato o ar terá condições de ter se manter em um regime turbulento, no qual será de extrema importância na geração de potência.

O estágio inicial da combustão exerce importante papel na propagação da chama, pois uma pequena diferença na formação inicial da chama pode produzir significativas variações de pressão dentro do cilindro. Isso explica o motivo do design da câmara de combustão ser crucial no bom funcionamento de um motor de alta performance, (DIAS, 2015).

Imagem 08: Ilustração do Swirl no interior do cilindro.

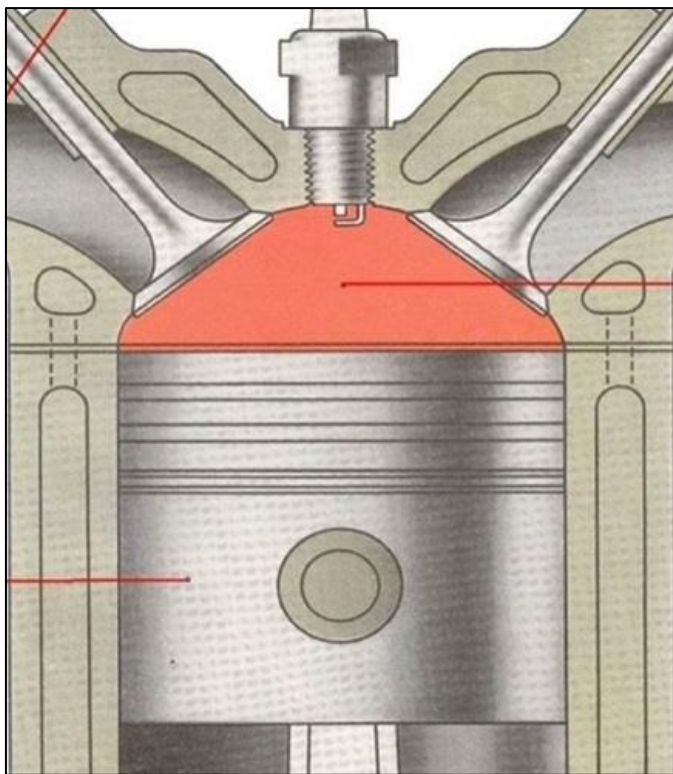


Fonte: Heywood(1988).

#### 2.1.2.1. ALGUNS TIPOS DE CÂMARAS DE COMBUSTÃO LANÇADAS EM MOTORES ORIGINAIS DE FÁBRICA

- **Câmara de combustão hemisférica:** Podem comportar árvores de comando no cabeçote ou no bloco com eixo de balancins no cabeçote. Sua forma facilita amplamente o dimensionamento dos dutos de admissão e escape. Essa configuração possui excelente rendimento devido ao tamanho dos dutos e das válvulas facilitarem o enchimento dos cilindros, (DIAS, 2015).

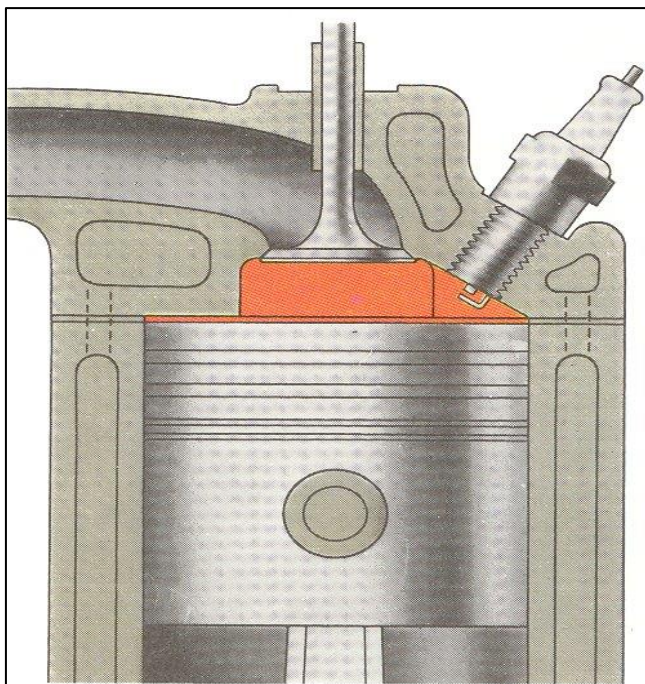
Imagem 09: Ilustração da câmara de combustão hemisférica.



Fonte: DIAS(2015).

- **Câmara de combustão em forma de banheira invertida:** O objetivo desta configuração é encurtar o trajeto de propagação da chama dentro da câmara, e então a diminuição da detonação do motor. Esta câmara possui formato de uma banheira invertida se vista lateralmente, as válvulas se localizam na sua parte superior e a vela de ignição na parte inclinada, isso diminui a turbulência da mistura dentro da câmara, (DIAS, 2015).

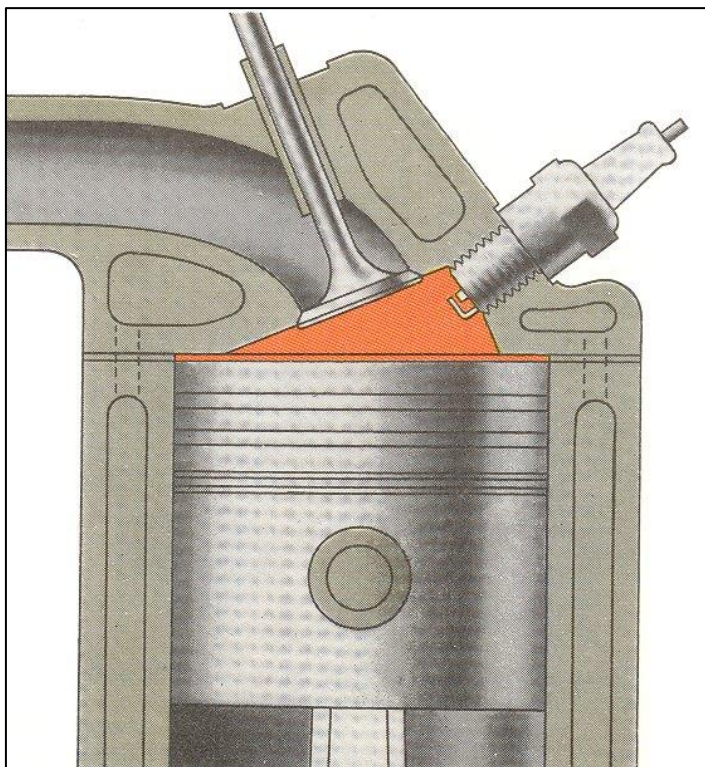
Imagem 10: Ilustração câmara de combustão banheira invertida.



Fonte: DIAS(2015).

- **Câmara de combustão em forma de cunha:** Tem o objetivo de reduzir o trajeto de propagação da chama, esta possui o formato de uma cunha, e as válvulas estão alojadas na parte inclinada maior, enquanto que a vela de ignição está na parte de menor inclinação. Isto garante os mesmos efeitos da câmara de banheira invertida, mais a medida que a chama se propaga, devido ao formato da câmara, a temperatura da combustão reduz, reduzindo também as chances de ocorrer a detonação, (DIAS, 2015).

Imagem 11: Ilustração câmara de combustão em forma de cunha.

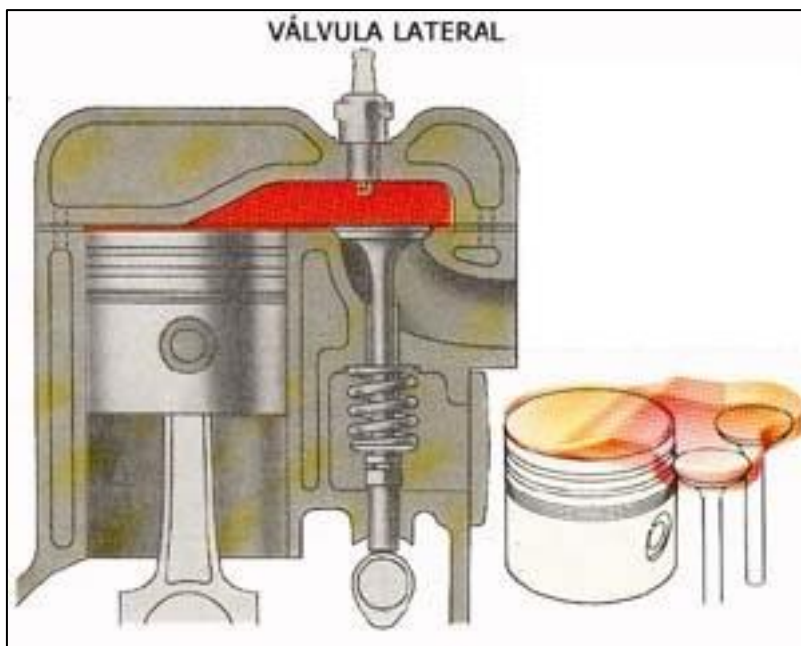


Fonte: DIAS(2015).

De acordo com Dias (2015), existem algumas câmaras obsoletas:

- **Câmara de combustão com válvulas laterais:** nesse caso as válvulas não ficam na área da câmara. Um projeto antiquado que não atende aos requisitos de eficiência impostos aos motores atuais, nesse caso não tem relevância ao trabalho em questão. Entretanto, seu formato proporciona uma boa turbulência da mistura dentro da câmara, o que se encaixa no perfil de câmaras que tem um relevante número de swirl, (DIAS, 2015).

Imagem 12: Ilustração câmara de combustão com válvula lateral.



Fonte: DIAS(2015).

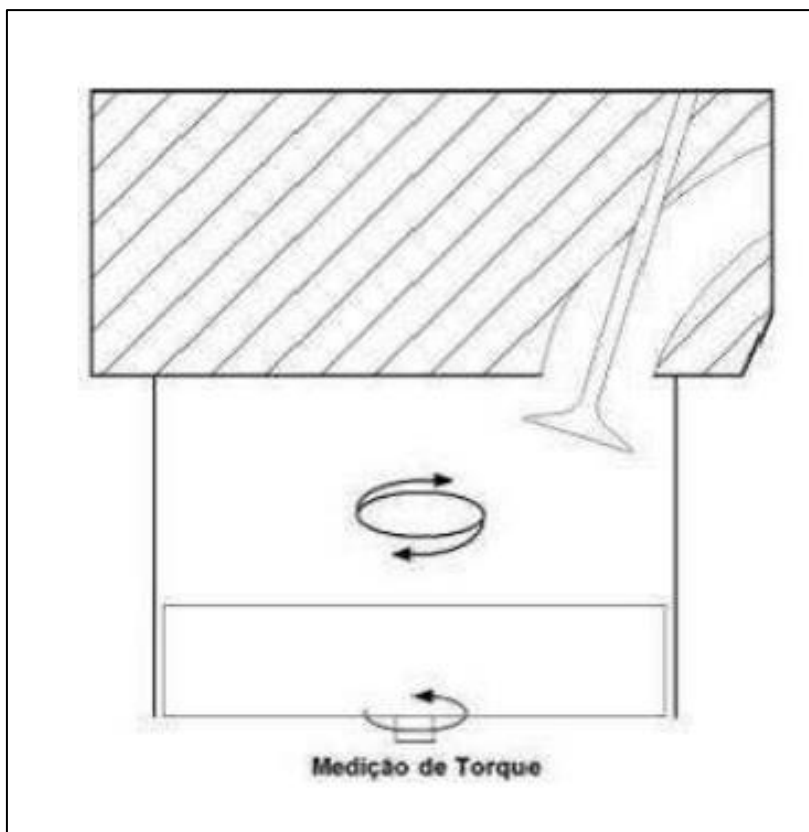
Ainda segundo Dias (2015), as câmaras descritas acima são e/ou foram lançadas em motores de combustão interna nos quais saem originais diretamente das fábricas e podem ser modificadas de acordo com a preparação do motor para seu melhor aproveitamento tanto de fluxo como de swirl.

#### 2.1.2.2. ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DO NÚMERO DE SWIRL

O número pode ser medido pelo método de vazão em regime permanente. Nesse método o ar é forçado através do cabeçote para diferentes aberturas de válvula. O sensor utilizado nas plataformas para a medição do swirl utiliza um retificador de fluxo como o componente principal para capturar o momento angular do fluxo de ar. Esse sensor é chamado de ISM (impulse swirl meter- medidor de swirl por impulso), (CAMATA, 2016).

Além desta forma, segundo HEYWOOD (1988), o swirl também pode ser medido nos próprios motores de testes, com condições de abertura de válvulas e posição do pistões estáticas, substituindo os pistões por um dispositivo que mede o torque gerado pelo movimento rotacional do fluxo de ar, conforme a figura 13.

Imagem 13: Medição do torque através do movimento rotacional do fluxo de ar.



Fonte: Heywood(1988).

Ainda segundo HEYWOOD (1988), outra aproximação válida para medir a intensidade do swirl, é através da velocidade angular. Este dispositivo é uma espécie de hélice, e capta a rotação que os fluxo de ar entra no cilindro. Os dois últimos métodos são eficientes, afirma HEYWOOD (1988).

O método escolhido para embasar o atual trabalho, é o que mede a rotação do escoamento dentro do cilindro, por este não fazer necessário o uso de outros componentes do motor, além do cabeçote e válvulas.

### 2.1.2.3. COEFICIENTE DE SWIRL

Com os dados de fluxo e swirl do cabeçote, pode ser calculado o coeficiente de swirl. Segundo Vicente(2016), este coeficiente é a razão entre a velocidade tangencial do fluido, e a velocidade axial do fluido. Portanto equação descreve o coeficiente de swirl é:

$$Cs = \frac{Vt}{Va} \quad (1)$$

Sendo que:

$$Vt = \frac{\omega.D}{2} \quad (2)$$

$$Va = \frac{Qm}{\frac{\pi.D^2}{4}.\rho s} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{2\pi.Np}{60} \quad (4)$$

$$Qm = Qv.\rho s \quad (5)$$

Onde:

Cs: Coeficiente de Swirl.

Vt: Velocidade tangencial do escoamento, (m/s).

Va: Velocidade axial do escoamento, (m/s).

$\omega$ : Velocidade angular da hélice de medição, (rad/s).

D: Diâmetro do cilindro da bancada de teste, (m).

Np: Rotação do medidor de swirl, (RPM).

Qm: Vazão mássica, (kg/s).

Qv: Vazão volumétrica, (m³/s).

$\rho_s$ : Densidade do Escoamento, (kg/m<sup>3</sup>).

A densidade do escoamento, é definida pela seguinte equação:

$$\rho_s = \rho_0 \cdot \left( \frac{P_0 - \Delta P}{P_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (6)$$

Onde:

$\rho_0$ : Densidade ambiente, (kg/m<sup>3</sup>).

$P_0$ : Pressão atmosférica, (Pa).

$\Delta P$ : Pressão bancada de fluxo, (Pa).

$\gamma$ : Coeficiente de expansão adiabática.

A equação que define a densidade ambiente, é:

$$\rho_0 = \frac{P_0 \cdot R}{T} \quad (7)$$

Rearranjando as equações, podemos obter o coeficiente de swirl, de maneira mais direta:

$$C_s = \frac{Np \cdot \pi^2 \cdot D^3 \cdot \rho_s}{240 \cdot Qm} \quad (8)$$

Definindo todas essas variáveis, é possível avaliar o coeficiente de swirl de um cabeçote. Um valor maior do que um demonstra que a velocidade tangencial é superior do que a axial. Se o valor obtido for inferior a um, a velocidade axial é maior do que a tangencial. Se o valor for igual a um, as velocidades são iguais.

#### 2.1.2.4. GERAÇÃO DE TURBILHONAMENTO

Segundo HEYWOOD (1988), existem métodos para gerar o swirl durante o processo de admissão, dentro do cilindro do motor e também ao longo do duto de admissão, com a modificação de alguns componentes. No cilindro, a geração do fenômeno pode ocorrer com o devido posicionamento do duto de admissão, que deve se levemente deslocado para a lateral do cilindro, fazendo o fluxo ser admitido tangencialmente à parede do cilindro.

Outra maneira eficiente de gerar esse movimento, é através de uma geometria especial no duto de admissão, fazendo que o swirl se inicie ainda no próprio duto, em torno do eixo da válvula. Além de iniciar o fenômeno, este método melhora a eficiência volumétrica da válvula, pois o fluxo passa a ocupar toda a superfície da válvula. HEYWOOD (1988), apresenta um exemplo de geometria que é eficiente para tal aplicação. São os chamados dutos helicoidais, que possuem este nome, devido às suas características construtivas. O seu desenho ao redor do eixo da válvula, tem terminação helicoidal, afim de iniciar o movimento. HEYWOOD (1998), afirma que esse tipo de duto é viável construtivamente, por se tratar de um componente que não tem movimentação. Nas figuras 14 e 15 é possível fazer um comparativo entre um duto helicoidal e um duto convencional. Os dois modelos de cabeçotes são fabricados pela GM Performance, que pertencem à família Vortec.

Imagem 14: Duto helicoidal.



Fonte: Heywood (1988).

Imagem 15: Duto convencional.

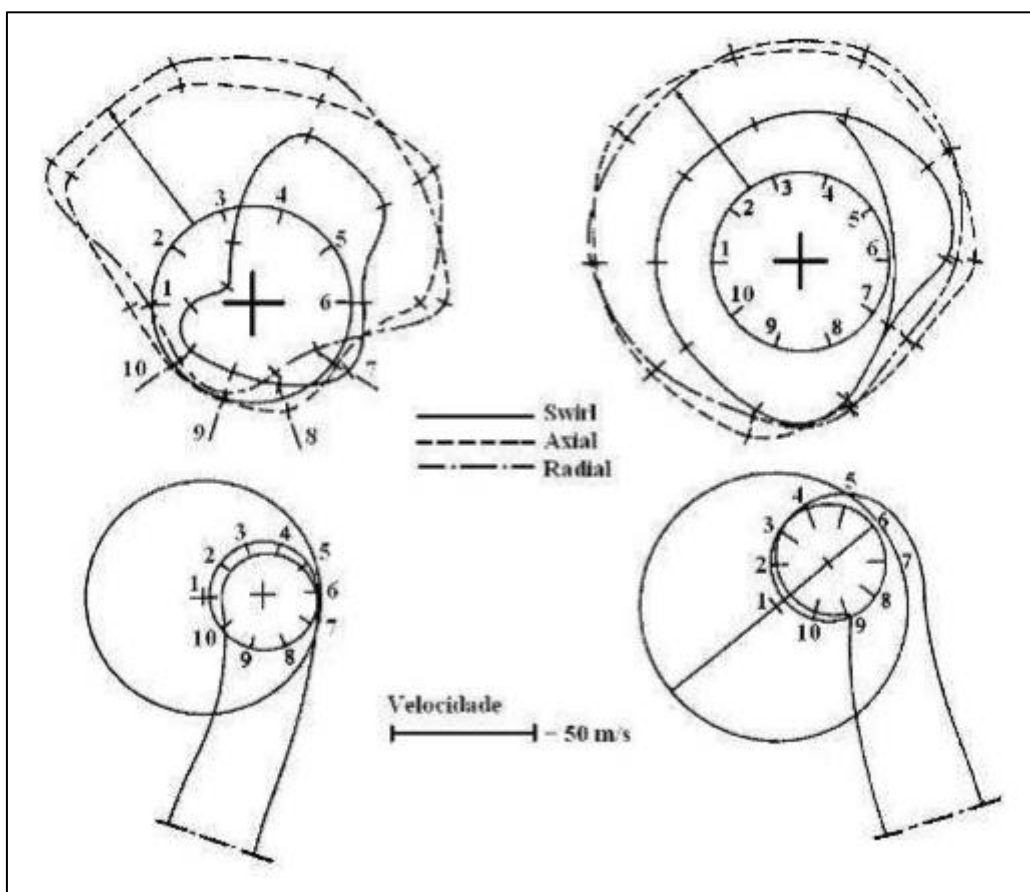


Fonte: Heywood(1988).

Os gradientes de velocidades na passagem pela válvula, foram comparados por HEYWOOD (1988) e BRANDSTÄTTER (1985). Este comparativo mostra que dutos helicoidais tem gradientes mais uniformes, do que os dutos convencionais.

A figura 2.2 apresenta as diferenças entre os dois modelos de dutos. É possível observar que no duto convencional, o fluxo tende a ocupar a parte posterior da válvula, devido à própria inercia do fluxo. Com isso o movimento rotativo do escoamento ainda é pequeno ao passar pela válvula.

Imagem 16: Representação dos gradientes de velocidades na passagem pelas válvulas.



Fonte: Heywood(1988)

Segundo HEYWOOD (1988), após iniciado, o movimento rotativo não acaba durante os processos do motor, apenas muda de intensidade e velocidade, devido à movimentação linear do pistão.

### 2.1.3. CABEÇOTES PARA ALTA PERFORMANCE

Segundo Passos (2017), a necessidade do alto volume de produção, complexidade geométrica e a necessidade de diminuição dos custos direcionou todos os fabricantes de motores para produzir os cabeçotes pelo método de fundição, deixando a usinagem somente para acabamento em áreas específicas. Inicialmente os cabeçotes eram fundidos em aço carbono, mas hoje são produzidos em ligas de alumínio. Essa mudança promoveu uma redução drástica da massa,

melhor condutibilidade térmica e, conseqüentemente, uma melhor refrigeração do motor.

De acordo com Passos (2017), qualquer método de fundição corre o risco de gerar porosidade nas faces da peça. A porosidade é a formação de micro dutos que tornam aquela área permeável. Fatores como a velocidade de enchimento do molde, temperatura, tempo de cura do molde antes da fundição e reações químicas dos aditivos podem levar a formação das bolhas. Então os cabeçotes devem ser retrabalhados por profissionais habilitados para atingirem o máximo de desempenho.

Nesse caso, o desenho dos dutos e das câmaras é essencial para um bom desempenho da combustão. Uma câmara mal construída pode gerar pontos quentes, podendo aumentar a chance de detonação espontânea. Dutos ruins geram restrições ao fluxo, e não favorecem o movimento rotacional da mistura que está sendo admitida. O movimento pode ser horizontal denominado swirl ou vertical conhecido como tumble, porém este ocorre mais facilmente em cabeçotes com duas válvulas por cilindro, (PASSOS, 2017).

Imagem 17: Ilustração do tumble no interior do cilindro.



Fonte: Heywood(1988)

Outro local de restrição no cabeçote é a área do guia de válvula. Toda a estrutura de suportação, bem como as arestas do guia acabam gerando turbulência nesta região. Além de reduzirem a área para passagem do fluxo. Então deve-se arrumar meios para facilitar a vida do ar que passa por essa região também, (PASSOS, 2017).

De acordo com Passos (2017), o melhor a ser feito é a modelagem do suporte. Isso ajuda a desviar o fluxo em seu caminho preferencial. Alargar as paredes do duto nessa região faz o fluxo perder velocidade. Isso é importante para que o ar possa fazer a curva do duto com maior facilidade, assim como reduzir a velocidade para dobrar numa esquina. Com a menor velocidade induzida, tem-se também menor turbulência na região. Após a passagem pelo guia, o fluxo é reacelerado na garganta recuperando a energia cinética.

Nessa região a maior parte do ar flui pelo teto do duto. Então um bom acabamento no suporte do guia, bem como curvas suaves ao seu redor são importantes para que o ar não sofra altas perdas de carga. Em alguns casos a elevação do piso e a suavização da parte mais curta do raio de curvatura do duto também ajudam no deslocamento, (PASSOS, 2017).

Segundo Passos (2017), esse tipo de modificação é recomendado para cabeçotes mais antigos, onde os dutos estão mais próximos da horizontal. Motores mais modernos possuem dutos com inclinação suficiente para evitar maiores preocupações com o piso na região do guia. Pequenas intervenções como o corte do comprimento excessivo do guia e um acabamento da superfície do duto são suficientes.

### **3. CAPÍTULO 3**

#### **3.1. ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO**

O trabalho atual consiste em uma pesquisa bibliográfica, com o objetivo de reunir as informações e dados já existentes que servirão de base para a construção da investigação proposta a partir do tema. Esta pesquisa é de cunho qualitativo, afim de fazer uma análise mais concreta do que já existe em relação ao tema abordado. Os resultados desta pesquisa serão apresentados através de gráficos, simulações, dados estatísticos, ensaios, entre outros.

O objetivo da pesquisa é avaliar como o swirl influencia na geração de potência do veículo, além de identificar maneiras de dominar adequadamente estes parâmetros e quantificar os resultados de swirl, coeficiente de swirl e fluxo em um cabeçote da marca VW modelo AP.

Com o auxílio de livros e artigos, será realizado um estudo para avaliar a bibliografia já existente em relação ao tema. Por se tratar de um assunto complexo e relativamente novo, grande parte da bibliografia é estrangeira.

Após a etapa de revisão bibliográfica realizada, será avaliado o material de estudo que é o cabeçote VW modelo AP, preparado pela empresa Stumpf Cabeçotes, comparando o trabalho realizado no cabeçote com as informações encontradas na revisão bibliográfica. Empresa esta que será o local dos estudos e ensaios, disponibilizando materiais necessários e profissionais para a realização de eventuais testes.

Para efetuar as modificações necessárias nos cabeçotes, será utilizado um centro de usinagem da marca Romi, modelo Discovery 760, e também uma solda MIG da marca Esab para eventuais processos de soldagem. Os softwares utilizados na criação de novos modelos serão o SolidWorks 2016 e o EdgeCam 2013.

O instrumental utilizado para a medição dos objetos de estudo é uma bancada de fluxo da marca Saenz modelo J-600 com medidor de swirl e também com tubo pitot para medição de velocidade, e para cálculos de coeficiente de swirl será elaborada uma planilha no Excel 2010. Algumas características do equipamento de medição são apresentadas na tabela abaixo:

Imagem 18: Características banca de fluxo Saenz J-600

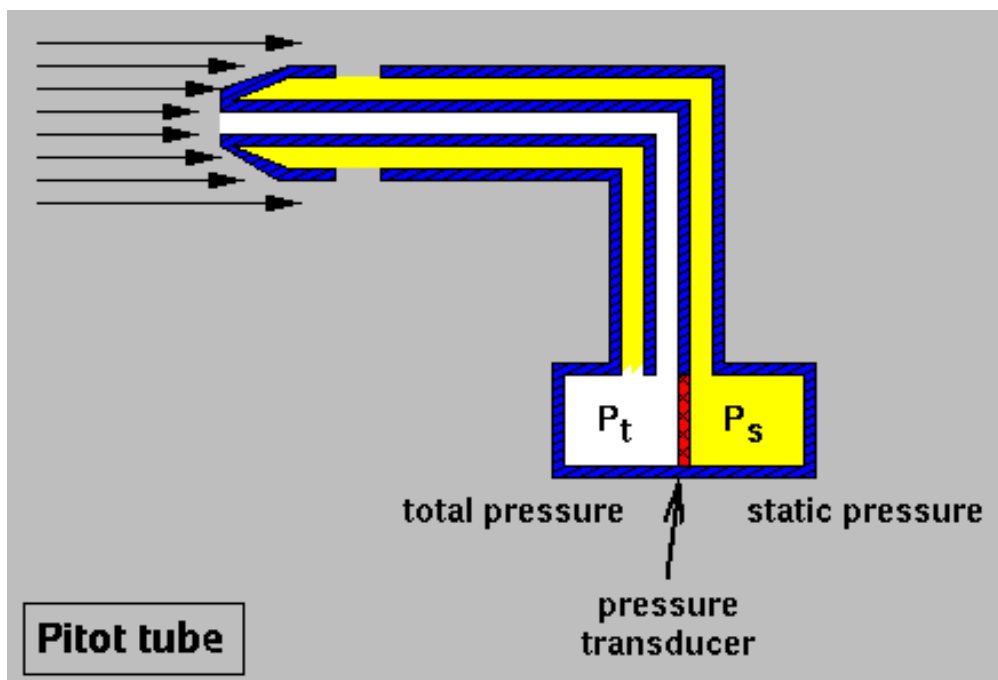
|                    |                                    |
|--------------------|------------------------------------|
| <b>Fluxômetros</b> | <b>J-600</b>                       |
| Capacidade         | 600 cfm @ 28" de água              |
| Dimensões          | 90 x 70 x 100 cm                   |
| Peso               | 180kg                              |
| Alimentação        | 240/380 VAC, trifásico<br>50/60 Hz |
| O Consumo Máximo   | 15 Amp por fase                    |
| Direcção do fluxo  | Admissão e escape                  |

Fonte: Saenz.

O medidor de swirl que compõe este equipamento, é uma espécie de hélice, que fica disposta dentro do cilindro da banca, e assim rotacionando junto ao fluxo de ar medido que a bancada suciona-o. Nesta hélice existe um sensor de rotação que faz a leitura em rotações por minuto, e transmite para o software do equipamento.

O equipamento conta com um tubo pitot, que serve para identificar regiões de maior velocidade ao longo do duto. O tubo é acoplado em mangueiras bem flexíveis para que o operador da máquina tenha maior facilidade de movimentação no momento dos ensaios. Este tubo é construído em aço inoxidável com um diâmetro externo de 2,1 mm para não atrapalhar as condições de fluxo no conduto. Abaixo podemos observar um esquema que ilustra um tubo de pitot:

Imagem 19: Representação de tubo pitot.



Fonte: Cultura Aeronáutica.

Com relação aos custos, o trabalho ganhou subsidio da empresa Stumpf Cabeçotes, pois todos os avanços que possam ocorrer com a pesquisa, contribuiriam diretamente para melhoria de seus produtos.

## 4. CAPÍTULO 4

### 4.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo de cabeçote escolhido para avaliar os resultados, tem originalmente um formato de câmara de combustão que lembra muito o modelo de câmara em forma de banheira invertida, como já visto anteriormente. Além disso a entrada do duto de admissão tem um deslocamento 2,5mm em relação ao centro da sede de válvula.

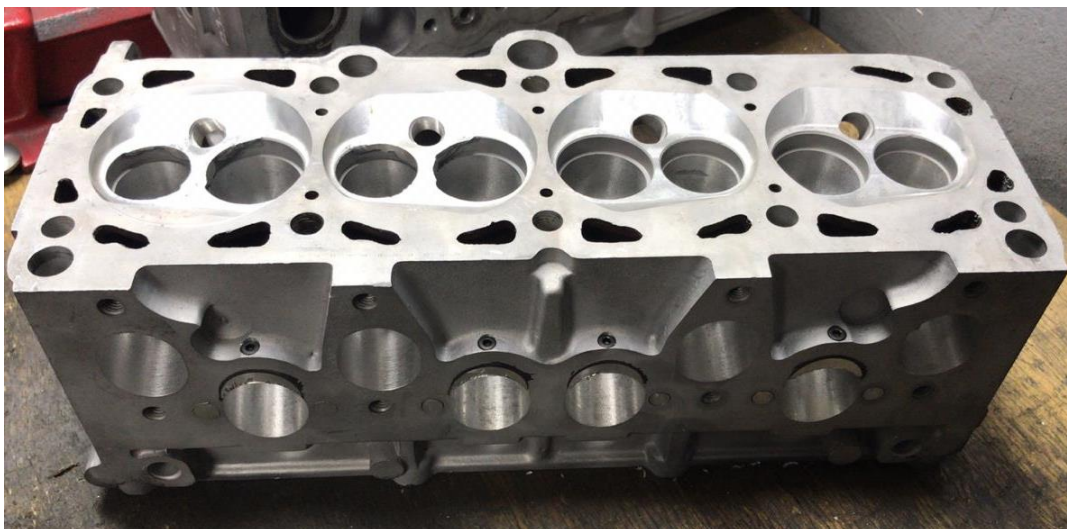
Imagem 20: Cabeçote AP original.



Fonte: Autor.

Afim de equalizar o volume das câmaras de combustão, estas são usinadas em centro de usinagem, com ferramentas de diamante para manter uma rugosidade superficial baixa. É de suma importância que o volume da câmaras estejam exatamente iguais, para que não haja diferenças na taxa de compressão entre os cilindros do motor. O desenho utilizado para a usinagem até então não altera muitas características do cabeçote original. O duto de admissão teve o seu deslocamento em relação a sede de válvula alterado, de 2,5mm para 2,0mm. Essa alteração foi realizada afim de aumentar a vazão de ar do duto de admissão.

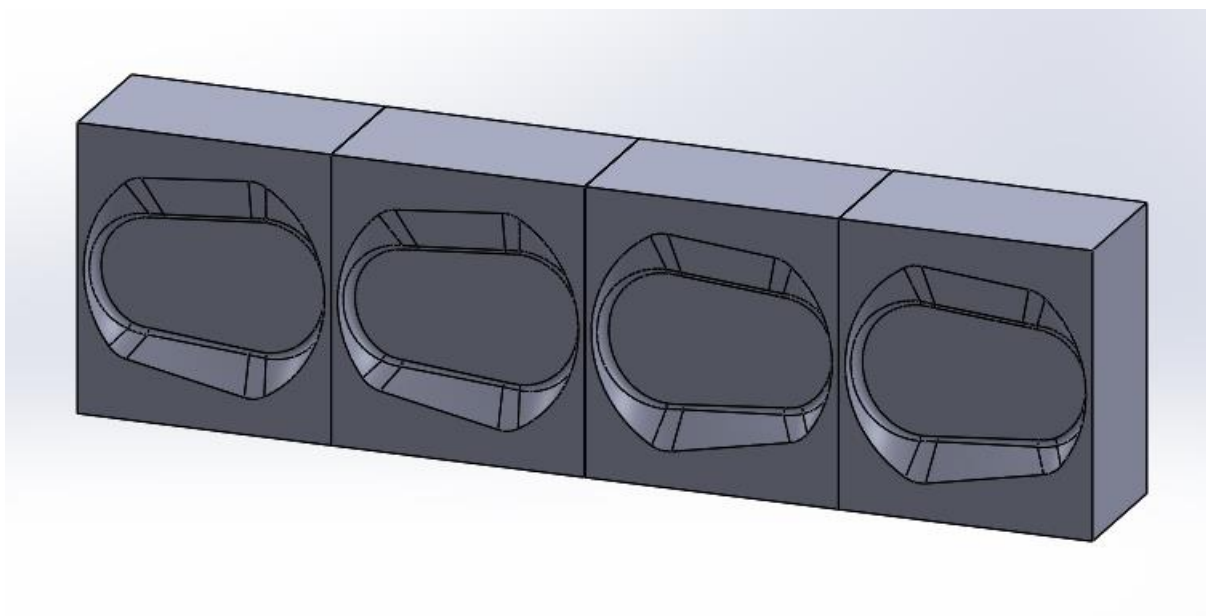
Imagem 21: Cabeçote AP usinado em CNC, sem priorizar o swirl.



Fonte: Autor.

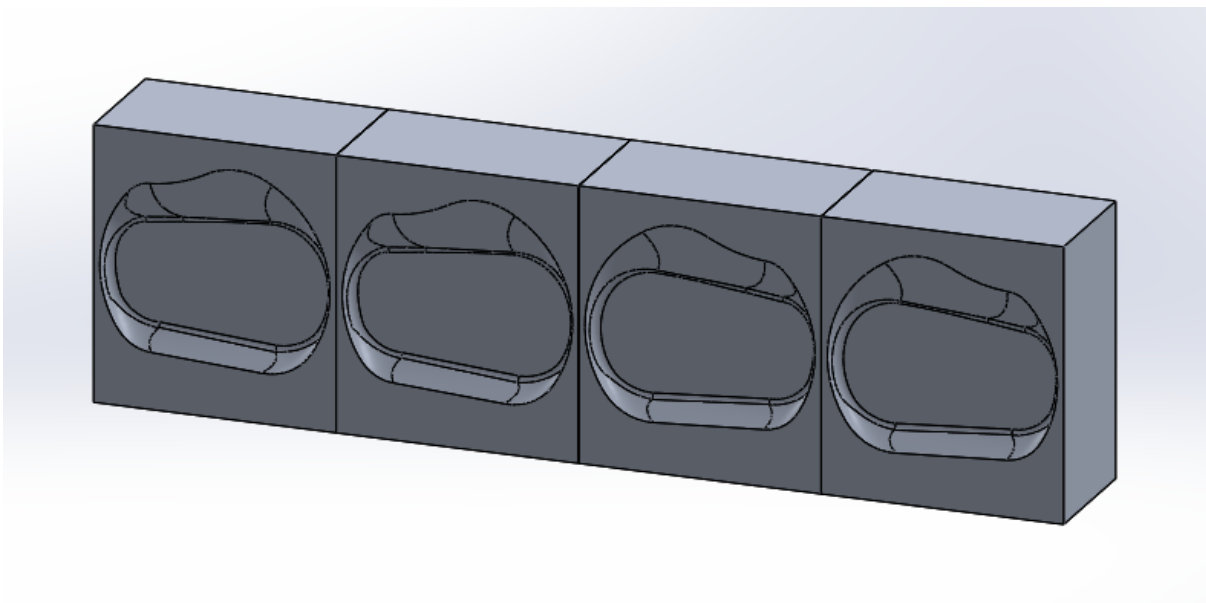
Com base na pesquisa realizada, foi desenhado um novo modelo de câmara de combustão, que teoricamente tem seu formato visando prioritariamente a geração de swirl. As imagens a seguir apresentam as diferenças dos dois modelos diferentes de câmara. As duas tem a mesma profundidade, e o volume das câmaras são aproximadamente iguais.

Imagem 22: Vista dimétrica do modelo de câmara convencional.



Fonte: Autor.

Imagem 23: Vista dimétrica do modelo de câmara priorizando swirl.



Fonte: Autor.

Foi preciso fazer uma adição de material através de soldagem, para conseguir reproduzir o desenho com perfeição no centro de usinagem.

Imagem 24: Cabeçote usinado com modelo de câmara priorizando o swirl.



Fonte: Autor.

Os demais processos necessários para a realização de testes em bancada de fluxo foram realizados nos dois cabeçotes, mantendo características idênticas nos dois itens, como dimensões de válvulas, diâmetros e ângulos das sedes, angulação dos dutos, entre os outros aspectos que não compõe o tema desta pesquisa. Com isso a comparação entre os dois modelos de câmara, e de deslocamento de dutos, fica mais precisa.

Os resultados dos ensaios realizados em bancada de fluxo, são apresentados por meio de gráficos e tabelas, gerados automaticamente pelo software do equipamento de medição. O cabeçote que possui o desenho de câmara de combustão que não prioriza o swirl teve 194,2 CFM de fluxo máximo, e a rotação máxima do medidor de *swirl* 366 RPM. Já o cabeçote que possui o formato de câmara de combustão priorizando o swirl apresentou resultados mais expressivos. Sua vazão máxima foi 197,4 CFM, e a rotação máxima do medidor de swirl foi de 2105 RPM. Como o software tem sua linguagem em espanhol, a rotação do swirl é apresentada na coluna *torbellino*, e os valores negativos nesta coluna, representam sentido anti-horário de rotação. Além disso a coluna que representa a abertura de válvula, é denominada *azada* no software. Estes resultados são apresentados em um gráfico e em uma tabela comparativa, conforme anexo 01 e 02.

No anexo 01, onde o fluxo e a rotação do medidor estão representados por gráficos, pode-se observar que a rotação do medidor não é diretamente proporcional à abertura de válvulas, havendo até mesmo mudanças do sentido de rotação ao longo dos testes, curiosamente o cabeçote que prioriza o swirl teve a rotação justamente na maior abertura de válvula. Já o fluxo se mantém proporcional à abertura de válvula, porém existe um ponto onde o fluxo deve começar a cair com uma maior abertura de válvula. Os dois cabeçotes foram testados até 14 mm de abertura de válvula, medida essa que é o levante máximo do comando que irá ser utilizado nesse modelo de cabeçote.

Com estes dados obtemos também o coeficiente de swirl, para cada cabeçote. As tabelas com os resultados de coeficiente de swirl, foram formuladas em Excel.

Tabela 01: Coeficiente de swirl do cabeçote que não prioriza o turbilhonamento.

| <u>Calculo do Coeficiente de Swirl</u>            |            |                                                        |             |
|---------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------|-------------|
|                                                   |            |                                                        |             |
| Nmeter (RPM)                                      | 366        | Pressão da Banca ( $\Delta P$ )(inH <sub>2</sub> O)    | 28          |
| Diametro do cilindro (mm)                         | 85         | Pressão da Banca ( $\Delta P$ )(Pa)                    | 6974,29628  |
| Diametro do cilindro (m)                          | 0,085      | Coeficiente Politrópico $\gamma$ (cp/cv)               | 1,4         |
| Pressão Atmosférica (hPa)                         | 926        | Densidade do Escoamento ( $\rho$ )(kg/m <sup>3</sup> ) | 1,033702835 |
| Pressão Atmosférica (Pa)                          | 92600      |                                                        |             |
| R dos Gases                                       | 287        | Fluxo do Cabeçote (CFM)                                | 194,2       |
| Temperatura Ambiente °C                           | 22         | Fluxo do Cabeçote (m <sup>3</sup> /s)                  | 0,088721172 |
| Temperatura Ambiente (K)                          | 295,15     | Vazão mássica (kg/s)                                   | 0,091711328 |
| Densidade Ambiente ( $\rho$ )(kg/m <sup>3</sup> ) | 1,09316647 | <u>Coeficiente de Swirl</u>                            | 0,104183536 |
|                                                   |            |                                                        |             |
| <u>Legenda</u>                                    | <u>Cor</u> |                                                        |             |
| Entrada de dados                                  |            |                                                        |             |
| Constantes                                        |            |                                                        |             |
| Resultados                                        |            |                                                        |             |

Fonte: Autor.

Tabela 02: Coeficiente de swirl do cabeçote que prioriza o turbilhonamento.

| <u>Calculo do Coeficiente de Swirl</u>            |            |                                                        |          |
|---------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------|----------|
|                                                   |            |                                                        |          |
| Nmeter (RPM)                                      | 2105       | Pressão da Banca ( $\Delta P$ )(inH <sub>2</sub> O)    | 28       |
| Diametro do cilindro (mm)                         | 85         | Pressão da Banca ( $\Delta P$ )(Pa)                    | 6974,296 |
| Diametro do cilindro (m)                          | 0,085      | Coeficiente Politrópico $\gamma$ (cp/cv)               | 1,4      |
| Pressão Atmosférica (hPa)                         | 925        | Densidade do Escoamento ( $\rho$ )(kg/m <sup>3</sup> ) | 1,025572 |
| Pressão Atmosférica (Pa)                          | 92500      |                                                        |          |
| R dos Gases                                       | 287        | Fluxo do Cabeçote (CFM)                                | 197,4    |
| Temperatura Ambiente °C                           | 24         | Fluxo do Cabeçote (m <sup>3</sup> /s)                  | 0,090183 |
| Temperatura Ambiente (K)                          | 297,15     | Vazão mássica (kg/s)                                   | 0,092489 |
| Densidade Ambiente ( $\rho$ )(kg/m <sup>3</sup> ) | 1,084636   | Coeficiente de Swirl                                   | 0,589484 |
|                                                   |            |                                                        |          |
| <u>Legenda</u>                                    | <u>Cor</u> |                                                        |          |
| Entrada de dados                                  |            |                                                        |          |
| Constantes                                        |            |                                                        |          |
| Resultados                                        |            |                                                        |          |

Fonte: Autor.

Com os resultados obtidos nos testes realizados, pode-se observado que no cabeçote onde se buscou maior swirl, a sua vazão também foi elevada juntamente ao turbilhonamento. A tabela 02, apresenta um coeficiente de swirl de aproximadamente 0,59, enquanto a tabela 01, que representa o modelo de câmara convencional, apresenta valor aproximado de 0,10. Isso demonstra que cabeçotedesenvolvido com o novo modelo de câmara, tem velocidade tangencial dentro do cilindro 5,9 vezes superior ao modelo convencional. Como foi encontrado na própria literatura, isso irá gerar uma combustão mais rápida e eficiente, podendo até ser diminuído o avanço de ignição.

O novo desenho da câmara de combustão, tem a finalidade de fazer com queo fluxo de ar que sai da válvula de admissão, tangencie as paredes do cilindro, gerando um aumento no swirl. Outro ponto importante que influenciou nos

resultados obtidos, foi o deslocamento da boca do duto em relação ao centro da sede de válvula. Com uma diferença maior entre a boca e o interno da sede, a tendência é que o fenômeno se inicia anteriormente à válvula, fazendo o fluxo se reorganizar ao redor do eixo da válvula e aumentando sua eficiência volumétrica, o que explica o aumento da vazão de ar. Algo parecido com o exemplo apontado por HEYWOOD (1988), com os dutos helicoidais.

## **5. CAPÍTULO 5**

### **5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos resultados obtidos nos testes e com a literatura pesquisada, fica evidente que o fenômeno presente nos motores que possuem uma válvula de admissão por cilindro, denominado swirl, é muito importante para uma combustão eficiente, e que se devidamente manipulado pode ajudar a aumentar a vazão volumétrica do cabeçote.

Observa-se que os dois aspectos analisados nos cabeçotes, fluxo e swirl, são bastante interligados e interagem bastante entre si. Porém na literatura, e ao longo dos testes realizados, pode-se identificar que o fluxo quando priorizado, não eleva o swirl, e em alguns casos pode até anular o fenômeno por completo. Já priorizando o swirl, conseguimos obter um resultado de turbilhonamento satisfatório, além de aumentar a vazão do cabeçote.

Outro ponto favorável ao swirl, mesmo que este não faça parte do foco da pesquisa, é o fato que este fenômeno pode auxiliar no desenvolvimento de motores mais econômicos e com uma emissão de gases reduzida, uma vez que ele presente no motor, existe uma tendência de um aproveitamento maior da mistura.

Portanto, a conclusão que se obteve com a pesquisa, é de que o swirl tem prioridade no momento de desenvolver um cabeçote para competição, mesmo que para isso o fluxo de ar do cabeçote tenha que ser um pouco prejudicado. Um cabeçote com bom fluxo e swirl, apresenta inúmeras vantagens sobre aquele que apresenta apenas um bom fluxo de ar.

## 6. CAPÍTULO 6

### 6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido ao curto espaço de tempo para realização da pesquisa, baseando-se na infinidade de assuntos que poderiam ser falados sobre cabeçotes para motores de combustão interna, não foi possível abordar todos os braços que o tema envolve.

Dessa forma, deixa-se o caminho aberto para novas pesquisas sobre o desenvolvimento de cabeçotes. Um ramo para ser pesquisado seria o dos combustíveis e sua influência nos cabeçotes e conseqüentemente nos motores, pois existem câmaras de combustão que aceitam melhor e apresentam mais rendimento com alguns combustíveis em relação a outros.

Outra ramificação que pode ser estudada é a do retrabalho nas peças do cabeçote para que apresente mais *swirl*, visto que, de acordo com essa pesquisa, a rotação e o turbilhonamento da mistura ar-combustível são fatores de grande importância no ganho de potência.

Para a complementação dessa pesquisa, outra sugestão seria a verificação do ganho de potência em dinamômetro, fazendo comparações entre cabeçotes que apresentam mais *swirl* e os que apresentam mais vazão, pois este trabalho, foi direcionado aos testes em bancada de fluxo, para avaliar o comportamento da mistura apenas no cabeçote, mas não se teve uma comprovação em testes com um motor completo.

Ainda sobre o *swirl*, pode-se avaliar como o sentido de rotação do fenômeno (horário ou anti- horário) influencia no ganho de potência.

Além dessas sugestões, um ramo de pesquisa muito interessante seria o estudo do *tumble*, que é a turbulência da mistura ar-combustível, porém num sentido oposto ao *swirl*, sendo que este ocorre apenas em cabeçotes com mais de uma válvula de admissão por cilindro.

## 7. REFERÊNCIAS

- AUTORACING, - *Potência dos motores F1 de 1950 aos dias de hoje* – 2015- Disponível em: <http://www.autoracing.com.br/forum/index.php?showtopic=77577> – acessado em : 20/03/2018 00h e 54 min;
- BRUNETTI, F. *Motores de Combustão Interna*. São Paulo: Blucher, 2012.
- CAMATA ,Mauricio Bishop *Análise da influência de diferentes geometrias de retificador de fluxo no desempenho de um sensor tipo \"impulse swirl meter\" utilizado para medição de cabeçotes* -2016- Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USP\\_720b48dd1211139bb7b7790cbb942d44](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USP_720b48dd1211139bb7b7790cbb942d44) - acessado em: 21/05/2018 as 2h 00 min;
- DIAS, Anderson – *Detalhes do cabeçote para motores Otto automotivos*- 2015- Disponível em: <http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2015/09/detalhes-do-cabecote-para-motores-otto-automotivos/> - acessado em: 21/05/2018 as 01h 54 min;
- HEYWOOD, John B. *Internal Combustion Engine Fundamental*. McGraw-Hill, 1988.
- RACING, MTR – *Produtos* - Disponível em: <https://www.mtracing.com.br> – Acessado em: 12/10/2018 as 6h 24min.
- PASSOS, Rodrigo – *Tudo que você precisa saber sobre fluxo de cabeçotes* – 2017 – Disponível em: <https://www.flatout.com.br/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-fluxo-de-cabecotes/> - acessado em: 21/05/2018 as 01h 45 min;

- SAENZ, *-Fluxômetros* – 2016 – Disponível em:  
<http://www.saenzdynos.com.ar/flujometros.php> - acessado em: 12/06/2018 as  
00h 50min;

## 8. ANEXOS

**ANEXO 01: GRÁFICO COMPARATIVO COM OS DADOS DE SWIRL E FLUXO DOS DOIS MODELOS DE CABEÇOTE.**



**ANEXO 02: TABELA COMPARATIVA COM OS DADOS DE SWIRL E FLUXO DOS DOIS MODELOS DE CABEÇOTE.**

