

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

**ANDERSON BECKER**

**ESTUDO DO FRESAMENTO DE CABEÇOTES DE MOTOR MISTOS  
DE ALUMÍNIO E AÇO COM DIFERENTES  
FERRAMENTAS DE CORTE**

**TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2017**

**ANDERSON BECKER**

**ESTUDO DO FRESAMENTO DE CABEÇOTES DE MOTOR MISTOS  
DE ALUMÍNIO E AÇO COM DIFERENTES  
FERRAMENTAS DE CORTE**

Trabalho de Diplomação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica, do Departamento Acadêmico de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador(a): Prof. Me. Karen Juliana Vanat

**PONTA GROSSA**

**2017**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Estudo do Fresamento de cabeçotes de motor mistos de alumínio e aço com diferentes ferramentas de corte

por

Anderson Becker

Este Trabalho de Diplomação foi apresentado em **27/10/2017**, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Me. Karen Juliana Vanat

Prof. Orientador

---

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho

Membro titular

---

Prof. Dr. Davi Fusão

Membro titular

---

Prof. Dr. Luciano Augusto Lourençato  
Responsável pelos Trabalhos Diplomação

---

Prof. Dr. Oscar Regis Junior  
Coordenador do Curso  
UTFPR - Campus Ponta Grossa

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais Gerson e Janete, que sempre me apoiaram e incentivaram de todas as formas possíveis durante a realização do curso.

A minha Professora e Orientadora Me. Karen Juliana Vanat pela atenção, orientação, ajuda e dedicação durante as etapas deste trabalho.

A empresa Retimattos Retífica de Motores, que disponibilizou todo o maquinário e ferramental necessário para a realização deste trabalho.

A empresa Lâmina Technologies do Brasil, pela amostra de insertos doados para realização deste trabalho.

E todas as outras pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus pela força e iluminação durante o caminho percorrido.

## RESUMO

BECKER, Anderson. **Estudo do fresamento de cabeçotes de motor mistos de alumínio e aço com diferentes ferramentas de corte.** 2017. 50 p. Trabalho de Diplomação de Tecnologia em Fabricação Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

O fresamento de cabeçotes com antecâmara é um processo de fabricação de extrema dificuldade e importância, pois o cabeçote é uma peça complexa, com vários orifícios, caracterizando uma usinagem com corte interrompido, e necessita de ótimo acabamento para funcionar de maneira eficiente. Uma das consequências deste tipo de fresamento é o elevado desgaste dos insertos utilizados, devido ao tipo de corte e da variação da matéria-prima do cabeçote. O resultado desse desgaste elevado é o péssimo acabamento superficial no cabeçote, bem como a troca frequente da ferramenta de corte a cada passe de usinagem. A utilização do inserto de corte que gere uma superfície com bom acabamento e sofra o menor desgaste possível é um problema recorrente no ramo das retíficas de motores. O objetivo deste trabalho foi selecionar insertos que fossem capazes de usinar o alumínio e o aço de forma eficiente, sofrendo o menor desgaste possível, e gerando uma superfície com bom acabamento. Foi analisado de forma visual o desgaste dos insertos e o acabamento da superfície usinada do cabeçote, com a variação do avanço de usinagem, sendo o único parâmetro que a máquina utilizada permitia que fosse variado. A utilização do inserto RDMT 1003 MO LT3000, foi a mais satisfatória para as necessidades da empresa, em relação ao acabamento superficial do cabeçote e desgaste desse.

**Palavras-chave:** Fresamento. Cabeçotes com Antecâmara. Insertos. Desgaste. Acabamento Superficial.

## ABSTRACT

BECKER, Anderson. **Study of the milling of mixed aluminum and steel engine heads with different cutting tools**. 2017. 50 p. Diplomation Work of Technology in Mechanical Manufacture - Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2017.

The milling of heads with antechamber is a process of manufacture of extreme difficulty and importance, because the head is a complex part, with several holes, characterizing a machining with interrupted cut, and needs great finishing to work efficiently. One of the consequences of this type of milling is the high wear of the inserts used, due to the type of cut and the variation of the raw material of the head. The result of this high wear is the poor surface finish on the head, as well as the frequent changing of the cutting tool at each machining pass. The use of the cutting insert which generates a surface with good workmanship and the least possible wear is a recurring problem in the field of engine grinding. The objective of this work was to select inserts that were capable of machining aluminum and steel efficiently, suffering the least possible wear, and generating a surface with a good finish. The wear of the inserts and the finishing of the machined surface of the head were analyzed visually with the variation of the machining advance, being the only parameter that the machine used allowed to be varied. The use of the insert RDMT 1003 MO LT3000, was the most satisfactory for the needs of the company, in relation to the surface finish of the head and wear of the same.

**Keywords:** Milling. Heads with Antechamber. Inserts. Wear. Surface Finishing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes estacionários.....	13
Figura 2 - Componentes Móveis. ....	14
Figura 3 - Cabeçote com Antecâmara.....	15
Figura 4 - Antecâmara de turbilhonamento.....	16
Figura 5 - Pré-câmara de combustão.....	16
Figura 6 - Exemplos de condições extremas de trabalho.....	17
Figura 7- Máquina para fresamento. ....	21
Figura 8 - Fresamento frontal e periférico. ....	22
Figura 9 - Exemplo de faceamento no processo fresamento. ....	24
Figura 10 - Insertos e ângulos de posição, a) Inserto 45°, b) Inserto 90°, e c) Inserto redondo. ....	24
Figura 11 - Exemplo de ângulo folga.....	25
Figura 12 - Fresas de insertos intercambiáveis.....	26
Figura 13 - Exemplos de desgaste de ferramentas de corte.....	27
Figura 14 - Causas do desgaste na usinagem. ....	29
Figura 15 – Equipamento utilizado: a) Fresadora convencional, b) Disco porta-ferramenta.....	31
Figura 16 - Suporte para insertos intercambiáveis.....	32
Figura 17 - Inserto RCGT 1003M0-AS IC20.....	32
Figura 18 - Inserto RDMT 1003 M0 LT 3000.....	33
Figura 19 - Cabeçote com antecâmara (Kia Sportage).....	34
Figura 20 - Antecâmara do cabeçote. ....	35
Figura 21 - Desgaste do primeiro inserto, variando a velocidade de avanço: .....	36
Figura 22 – Desgaste do segundo inserto, variando a velocidade de avanço: .....	37
Figura 23 – Antes e depois da usinagem do cabeçote: a) bruto, b) 1° inserto, c) 2° inserto. ....	38
Figura 24 - Passes com velocidade de avanço 20 mm/min: a) 1° passe, b) 2° passe, c) 3° passe. ....	39
Figura 25 - Passes com velocidade de avanço 30 mm/min: a) 1° Passe, b) 2° Passe, c) 3° Passe.....	40
Figura 26 - Passes com velocidade de avanço 40 mm/min: a) 1° Passe, b) 2° Passe, c) 3° Passe.....	40

Figura 27 – Passes com velocidade de avanço 20 mm/min: a) 1º passe, b) 2º passe, c) 3º passe. ....	41
Figura 28 - Passes com velocidade de avanço 30 mm/min: a) 1º passe, b) 2º passe, c) 3º passe. ....	41
Figura 29 - Passes com velocidade de avanço 40 mm/min: a) 1º passe, b) 2º passe, c) 3º passe. ....	42
Figura 30 - Cabeçote após usinagem com avanço de 20 mm/min.....	43
Figura 31 – Influência da velocidade de avanço: a) 30 mm/min, b) 40 mm/min.....	43
Figura 32 – Influência da velocidade de avanço: a) 20 mm/min, b) 30 mm/min, c) 40 mm/min.....	44
Figura 33 – Ampliações com velocidade de avanço: a) 20 mm/min, b) 30 mm/min, c) 40 mm/min.....	44



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros fixos e características do disco de corte. ....	34
Tabela 2 - Cronograma de ensaios. ....	35

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	PROBLEMA	11
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	Objetivo geral	12
1.3.2	Objetivos específicos	12
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>13</b>
2.1	MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	13
3.1	CABEÇOTE DO MOTOR	14
3.1.1	Antecâmara de turbilhonamento	15
3.1.2	Pré-câmara	16
3.2	DESGASTE DAS PEÇAS MECÂNICAS DE UM MOTOR	17
3.3	ALUMÍNIO	18
3.4	AÇO	19
3.5	PROCESSOS DE USINAGEM	20
3.5.1	Processo de Retífica de Motores	20
3.5.2	Fresamento	20
3.6	PARÂMETROS DE CORTE	22
3.6.1	Profundidade de corte	22
3.6.2	Velocidade de avanço	23
3.6.3	Rotação	23
3.6.4	Velocidade de corte	23
3.7	FERRAMENTAS DE CORTE	23
3.8	DESGASTE E AVARIAS DA FERRAMENTA	27
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>31</b>
4.1	EQUIPAMENTOS	31
4.2	INSERTOS	32
4.2.1	Inserto RCGT 1003M0-AS IC20	32
4.2.2	Inserto RDMT 1003 M0 LT 3000	33
4.3	PARÂMETROS DE USINAGEM	33
4.4	CABEÇOTE COM ANTECÂMARA	34
4.5	DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>36</b>
5.1	DESGASTE DO INSERTO RCGT 1003 MO AS IC20	36

5.2	DESGASTE DO INSERTO RDMT 1003 M0 LT 3000.....	37
5.3	ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DO CABEÇOTE COM ANTECÂMARA.....	37
5.4	ANÁLISE PASSE A PASSE .....	39
5.4.1	Inserto RCGT 1003 MO AS IC20.....	39
5.4.2	Inserto RDMT 1003 MO LT3000 .....	41
5.4.3	Superfície do cabeçote .....	43
5.5	DIFICULDADES ENCONTRADAS .....	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As peças mecânicas das máquinas sofrem desgaste de acordo com o tempo de uso. Os motores de combustão interna, utilizados em veículos automotivos, conforme sofrem desgaste, perde eficiência e seu funcionamento é comprometido. Para torná-los funcionais e eficientes novamente, as peças dos motores de combustão interna são submetidas ao processo de recondicionamento e recuperação, seguindo características técnicas, sendo popularmente conhecido como processo de retífica de motores.

Veículos automotores que utilizam o óleo diesel como combustível (como por exemplo caminhonetes e veículos utilitários esportivos - suv's) possuem peças mecânicas específicas, como o cabeçote do motor com antecâmara, constituído em maioria de liga de alumínio e com antecâmara de aço.

Os cabeçotes de motor com antecâmara são utilizados para motores com injeção indireta, que possuem a câmara de combustão dividida em duas partes, numa das quais é injetado o combustível para produzir uma combustão parcial, a antecâmara ou pré-câmara. As paredes da antecâmara mantêm alta temperatura a fim de auxiliar a preparação e a ignição do combustível, que se inflama e queima parcialmente na antecâmara. Este tipo de combustão em duas fases é mais silencioso, porém necessita de manutenção adequada dos motores.

Um dos grandes desafios no processo de retífica de motores, é o fresamento do cabeçote com antecâmara, devido a diferença de matéria-prima utilizada na sua fabricação, que exige uma seleção criteriosa de ferramentas de corte/insertos intercambiáveis que produzam superfícies com bom acabamento para ambos os materiais, pois a ferramenta influencia no acabamento e aspecto visual da superfície, bem como no desempenho do cabeçote.

### 1.1 PROBLEMA

Escolher a melhor ferramenta de corte para o fresamento do cabeçote de motor com antecâmara que produza características superficiais similares aos dois materiais com bom acabamento.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Para empresas do ramo de retíficas de motores, o fresamento de cabeçotes com antecâmara é um grande desafio, pois o cabeçote é construído com dois materiais de características diferentes, portanto, estudar a melhor ferramenta de corte que proporcione aos dois materiais características superficiais semelhantes após o fresamento torna-se relevante.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi estudar as características superficiais obtidas após o fresamento de cabeçotes com antecâmara, em relação ao aspecto visual da superfície e acabamento obtido com diferentes insertos, selecionando o inserto que proporcione os melhores resultados, analisando o desgaste dos insertos após a usinagem.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Selecionar insertos para fresamento de cabeçotes com antecâmara;
- Usinar em fresadora convencional o cabeçote com antecâmara utilizando os insertos selecionados;
- Analisar o aspecto visual da superfície do cabeçote após o fresamento com cada inserto;
- Avaliar de forma visual o desgaste dos insertos utilizados;
- Indicar o melhor inserto para o fresamento de cabeçotes de motor com antecâmara.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Nos motores de combustão interna à diesel não há a utilização de centelha de ignição, apenas o ar é comprimido no cilindro (camisa) e ocorre a elevação da temperatura e pressão no interior do cilindro, durante a compressão do ar. Ao entrar em contato com o diesel injetado ocorre a combustão e a explosão, movimentando os componentes internos (MAHLE, 2016).

Um motor de combustão interna é composto de bloco, cabeçote e cárter, que compõem as partes estacionárias do motor, e os pistões, bielas e árvore de manivelas (virabrequim), que compõem as partes móveis do motor. A Figura 1 apresenta os componentes estacionários de um motor (MAHLE, 2016).

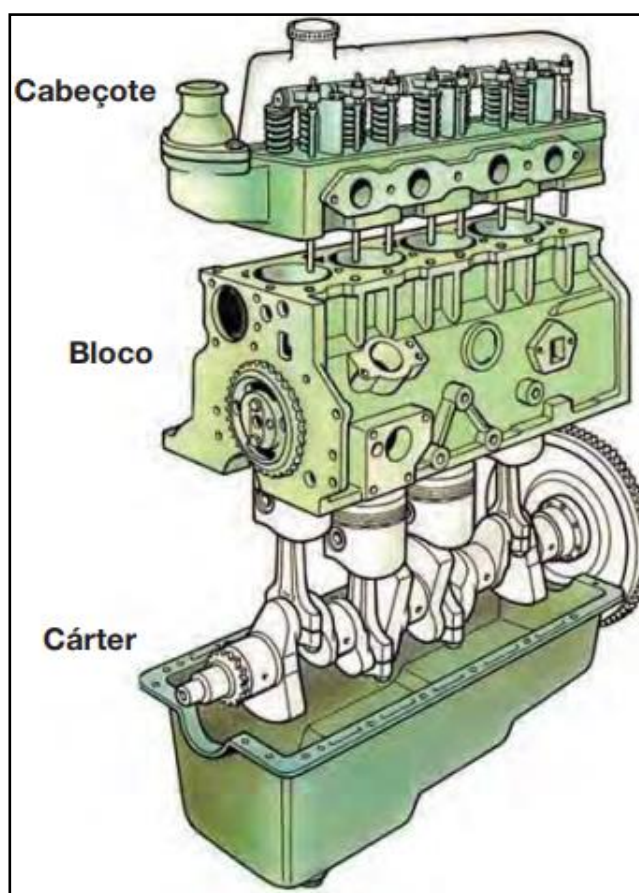
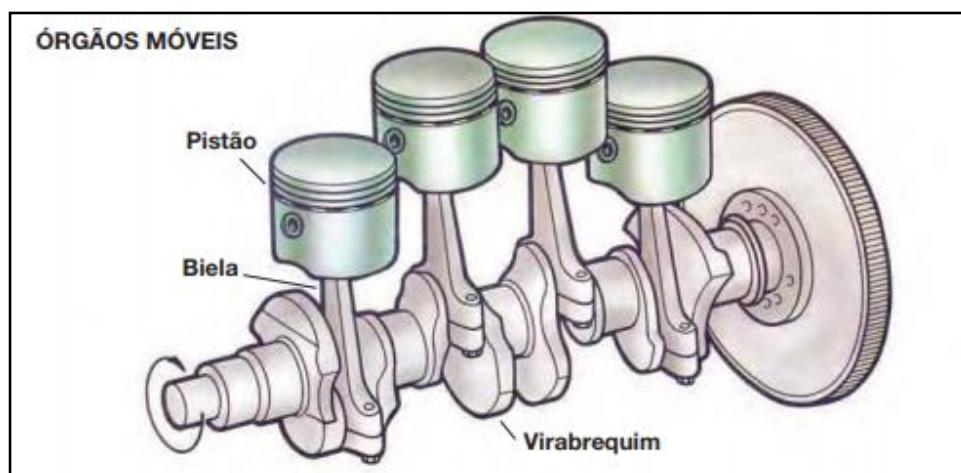


Figura 1- Componentes estacionários.  
Fonte: Manual Curso de Motores Mahle (2016).

Os componentes móveis podem ser visualizados na Figura 2.



**Figura 2 - Componentes Móveis.**  
**Fonte: Manual Curso de Motores Mahle (2016).**

Os pistões de um motor de combustão interna, são acoplados nos furos do cilindro (camisa) no bloco e transmitem a força gerada na explosão para a biela e posteriormente para a árvore de manivelas (virabrequim), rotacionando o conjunto. As bielas são destinadas a transmitir o movimento do pistão, ocasionado pela explosão, à árvore de manivelas (virabrequim), além de funcionar como ligação entre os pistões e a árvore de manivelas (BOSCH, 2005).

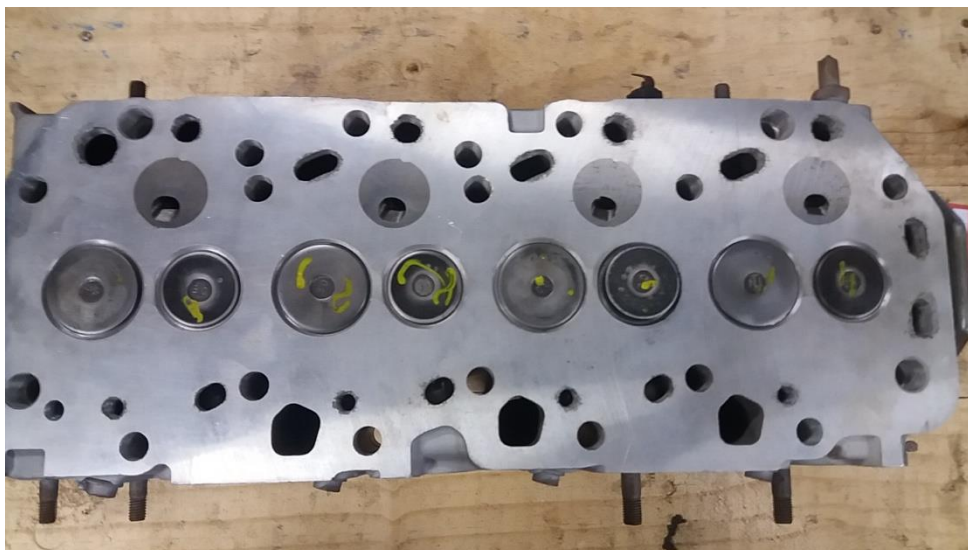
A árvore de manivelas (virabrequim) é o eixo do motor, encontra-se no interior do bloco e é constituída de eixos fixos, acoplados no bloco e os eixos móveis, onde são acopladas as bielas. O virabrequim recebe o movimento alternado das bielas e transforma em movimento rotativo (BOSCH, 2005).

### 3.1 CABEÇOTE DO MOTOR

O cabeçote do motor serve como uma tampa para o bloco e o conjunto cilindros/pistões, no qual os pistões comprimem a mistura de combustível/ar contra o cabeçote, ou somente o ar como no caso de motores a diesel, conforme sua construção (MAHLE, 2016).

Os cabeçotes com antecâmara, ou pré-câmara, são utilizados em motores do sistema de injeção indireta de diesel, onde existem duas câmaras de combustão, a antecâmara localizada no cabeçote e a câmara principal, formada pelo cilindro (camisa), pistões e o próprio cabeçote (STONE, 1992).

A finalidade de uma antecâmara é acelerar o processo de combustão, a fim de aumentar a potência do motor e sua velocidade (STONE, 1992). A Figura 3 apresenta exemplo de um cabeçote com antecâmara.



**Figura 3 - Cabeçote com Antecâmara.**  
Fonte: O autor.

De acordo com Stone (1992), a antecâmara deve ser construída de um material resistente ao calor, uma vez que as temperaturas na garganta (local de ligação entre a antecâmara e a câmara principal) durante a compressão do ar podem ultrapassar 700 °C. Segundo Bosch (2005) existem dois tipos de antecâmara, denominadas de antecâmara de turbilhonamento e pré-câmara.

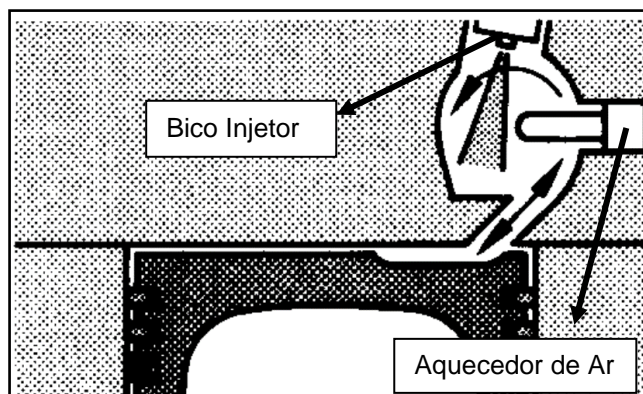
### 3.1.1 Antecâmara de turbilhonamento

A antecâmara de turbilhonamento apresenta um formato interno quase esférico compreendendo 50% do volume total de compressão e fica localizada na extremidade da câmara de combustão principal. O funcionamento deste tipo de antecâmara baseia-se através do intenso turbilhonamento do ar durante o curso de compressão, que ao entrar na antecâmara, apresenta a criação de um vórtice (BOSCH, 2005).

Como a injeção do combustível neste caso é excêntrica, este é direcionado para o sentido do vórtice de ar e para a parede da antecâmara, para que possa evaporar completamente, assegurando a qualidade da combustão (BOSCH, 2005).



A Figura 4 apresenta um exemplo de antecâmara de turbilhonamento.

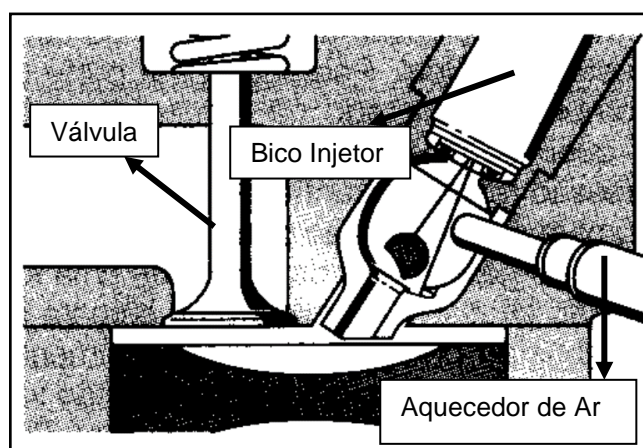


**Figura 4 - Antecâmara de turbilhonamento.**  
Fonte: Bosch (2005).

Este tipo de antecâmara é utilizado para altas velocidades e produz menor consumo de combustível, definido pela grande turbulência do ar criada pela antecâmara, assegurando uma combustão de qualidade (BOSCH, 2005).

### 3.1.2 Pré-câmara

A pré-câmara fica localizada no centro da câmara de combustão principal e a passagem entre elas é feita com vários orifícios, para permitir a mistura completa dos gases de combustão com o ar de combustão principal (BOSCH, 2005). A Figura 5 apresenta um exemplo de pré-câmara.



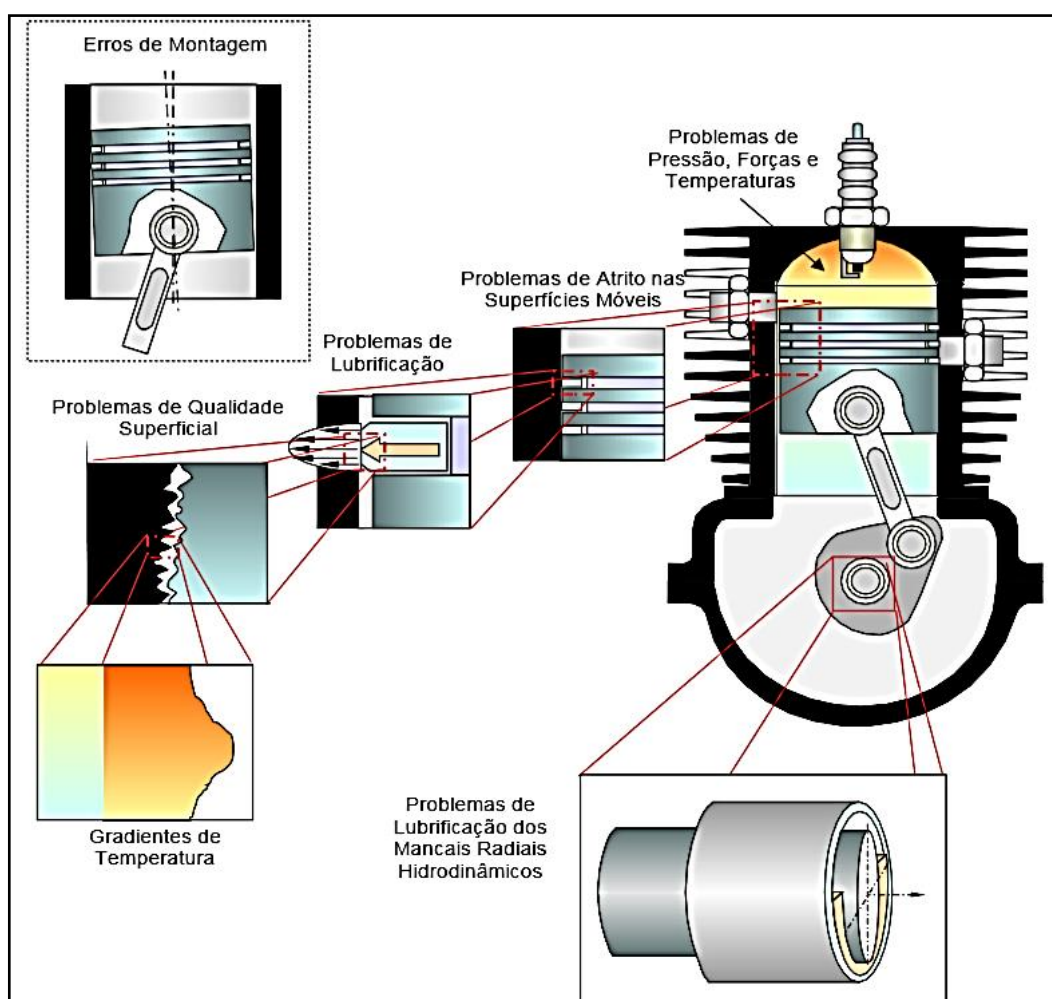
**Figura 5 - Pré-câmara de combustão.**  
Fonte: Bosch (2005).

Para a realização deste trabalho foi utilizado um cabeçote com antecâmara de turbilhonamento.

### 3.2 DESGASTE DAS PEÇAS MECÂNICAS DE UM MOTOR

As peças mecânicas que compõem um motor de combustão interna, destinado a veículos automotivos, sofrem desgaste com o tempo de uso e, como consequência, começam a falhar. Assim como qualquer outro equipamento, essas falhas, também podem ser decorrentes da falta de manutenção, desgaste de operação e reparos inapropriados no motor (MAHLE, 2016).

Conforme Stoeterau (2004), os motores de combustão interna estão sujeitos a condições tribológicas extremas que podem provocar desgaste, perda de eficiência e mal funcionamento, sendo influenciadas por elevadas pressões e temperaturas, déficit de lubrificação nos locais de movimento, regimes de trabalho variáveis, problemas de qualidade superficial e erros de montagem. A Figura 6 apresenta um exemplo destas condições extremas.



**Figura 6 - Exemplos de condições extremas de trabalho.**  
Fonte: Stoeterau (2004).

### 3.3 ALUMÍNIO

Devido suas características e propriedades, tais como o baixo peso específico, alta resistência a corrosão, alta condutibilidade térmica e elétrica, o alumínio é o metal não-ferroso mais consumido no mundo e utilizado em variados produtos no mercado, como estruturas de aeronaves, latas, peças automotivas (como blocos de motor e cabeçotes) entre outros (ABAL, 2007; CALLISTER, 2008).

O alumínio, na sua forma pura, tem como fator limitador a baixa resistência mecânica, onde a adição de elementos de liga possibilita seu emprego em produtos que exigem resistência mecânica mais elevada, sendo então utilizado nas indústrias de aeronaves e de automóveis, com o intuito de diminuir o peso das peças, o consumo de combustível e a emissão de gases poluentes (ABAL, 2007).

Conforme Cunha (2012), a escolha da liga de alumínio-silício como material de fabricação para cabeçotes é feita com base na complexidade do cabeçote, e também porque a adição de silício eleva a fluidez do alumínio líquido no momento do vazamento no molde de fundição, para a fabricação dos cabeçotes.

Diniz, Marcondes e Coppini (2001) explicam que o alumínio é um metal de fácil usinagem, porém as ligas de alumínio-silício apresentam uma maior dificuldade devido a abrasão proporcionada pelas partículas de silício presentes na liga, podendo danificar a ferramenta de corte e provocando o desgaste da mesma.

Uma característica da usinagem do alumínio é o seu alto coeficiente de dilatação térmica, que durante a usinagem e aquecimento da peça, pode influenciar na obtenção de tolerâncias baixas, devido a esse fator, recomenda-se que a peça seja mantida com baixa temperatura (DINIZ, MARCONDES E COPPINI, 2001; FERRARESI, 2003).

Um dos detalhes importantes da ferramenta de fresamento para o alumínio, é sobre o escoamento e formação do cavaco, devido a facilidade com que ocorrem as marcas de arranhões na superfície usinada (SANDVIK COROMANT, 2017a).

A tendência à formação de aresta postiça de corte na usinagem do alumínio puro é maior em relação aos aluminios ligados, devido à baixa dureza, pois em condições normais de usinagem os cavacos formados são longos e pode ocorrer o empastamento do cavaco na superfície de saída da ferramenta (DINIZ, MARCONDES E COPPINI, 2001).

### 3.4 AÇO

O aço é um metal formado de uma liga de ferro-carbono e suas propriedades mecânicas são caracterizadas pelo teor de carbono presente na liga, usualmente abaixo de 1%. Os aços podem ser classificados em aços com baixo, médio e alto teor de carbono, além de existirem subclasses dentro de cada classe principal (CALLISTER, 2008).

Aços carbono comuns apresentam em sua composição, além do balanço de carbono, elementos como manganês, silício, fósforo e enxofre, sempre presentes na composição como resultado da matéria-prima utilizada na sua fabricação. A adição de elementos de liga na composição de um aço influencia nas suas características, como no aumento das propriedades mecânicas, melhor usinabilidade, temperabilidade facilitada em tratamentos térmicos, aumento da resistência ao desgaste e entre outros (CHIAVERINI, 1986).

Para sanar problemas de limitação dos aços carbonos, existe os aços ligados. A adição de elementos de liga no aço, são realizadas quando se precisa de propriedades particulares, tais como, aumento da dureza, aumento da resistência ao calor, aumentar a resistência ao desgaste, melhorar a resistência a corrosão (CHIAVERINI, 1986).

Na usinagem de aços, o fator predominante é a dureza do material. Os aços com baixo teor de carbono, baixa dureza e alta ductilidade, apresentam na maioria dos casos a possibilidade do surgimento da aresta postiça de corte e a grande consequência deste desgaste na ferramenta de corte é a diminuição da sua vida útil, bem como o acabamento superficial deficiente obtido (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2001).

Aços com valores maiores de dureza do que os aços com baixo teor de carbono possuem maior usinabilidade, porém ao aumentar a dureza, a ferramenta pode sofrer desgaste abrasivo e desgaste por difusão. Esses dois fatores influenciam negativamente a usinabilidade dos aços (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2001).

### 3.5 PROCESSOS DE USINAGEM

Conforme Ferraresi (2003), a operação de usinagem é o processo que transforma matérias-primas em forma de barras de metais em uma determinada peça, com dimensão, formato, acabamento ou um conjunto desses três elementos, através da retirada de material na forma de cavaco. Entende-se por cavaco a quantidade de material retirada da peça pela atuação da ferramenta de corte.

#### 3.5.1 Processo de Retífica de Motores

A retífica é um processo de recuperação e recondicionamento de peças e componentes, a fim de restabelecer as características de funcionalidade e eficiência de um motor (ABNT, 1996).

O motor sujeito à retífica é um motor que ao longo do tempo de uso sofreu desgaste, falhas e foi desmontado, inspecionado, avaliadas suas condições e componentes, confirmando a necessidade de retificação. O processo de retífica recupera as características de funcionalidade, desempenho e eficiência originais do motor (ABNT, 1996), pois sua função é de reparar danos e falhas no motor a fim de aumentar a sua vida útil.

Todas as peças que compõem um motor estão sujeitas ao atrito e elevadas temperaturas, fazendo com que ocorra o desgaste de seus componentes. O aumento do tempo de uso do motor (quilometragem) provoca o aumento do desgaste, necessitando de retificação (FEAM, 2016).

#### 3.5.2 Fresamento

De acordo com Ferraresi (2003), fresamento é o processo de usinagem utilizado para obtenção de superfícies de diferentes formatos e dimensões, geralmente utilizando uma ferramenta multicortante, rotacionando em relação ao seu próprio eixo e a peça deslocando-se em movimentos estabelecidos contra a ferramenta de corte.

A Figura 7 apresenta exemplo de uma máquina para fresamento.

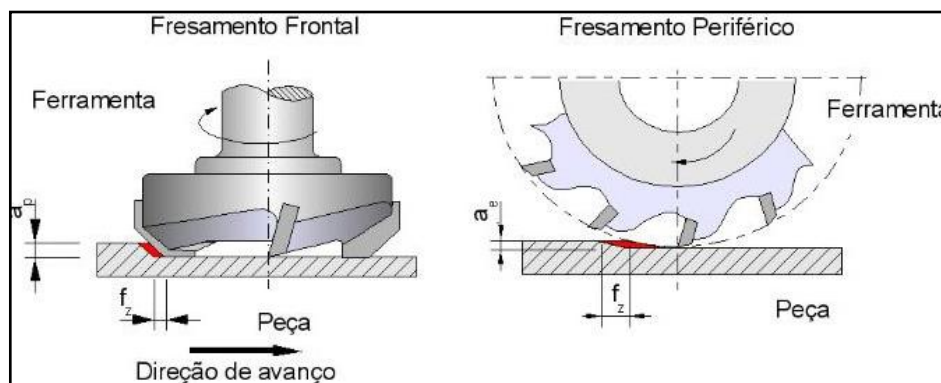


**Figura 7- Máquina para fresamento.**  
Fonte: Direct Industry (2017a).

O fresamento é um processo de usinagem na qual a remoção de material ocorre entre intervalos de corte dos vários dentes da ferramenta multicortante. Na maioria dos fresamentos, a peça fixada na mesa da máquina realiza o movimento de avanço, em baixa velocidade, enquanto que a ferramenta de corte realiza o movimento de corte rotacionando a elevadas velocidades, usinando a peça conforme as formas e dimensões desejadas (STEMMER, 1995; DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 2001).

Conforme Diniz, Marcondes e Coppini (2001) a fresa (ferramenta de corte utilizada no processo de fresamento), é encontrada comercialmente nas mais variadas formas e dimensões, fazendo com que o processo de fresamento seja utilizado em uma ampla gama de produtos. As fresas podem ser classificadas segundo as suas características físicas, como o método de fresagem (periférica e frontal), a sua forma geométrica, a forma de incidência de corte, a montagem da fresa na máquina, aplicação das fresas, tipos de canais e o sentido de corte (STEMMER, 1995).

A Figura 8 apresenta um exemplo de classificação de fresas segundo o seu método de fresagem.



**Figura 8 - Fresamento frontal e periférico.**  
**Fonte: Adaptado de Fresamento - Tudo Sobre Usinagem.**

### 3.6 PARÂMETROS DE CORTE

No fresamento, assim como em todos os outros processos de usinagem, existem parâmetros de corte que devem ser considerados para realizar a usinagem de um determinado material. Esses parâmetros descrevem quantitativamente os movimentos realizados durante a usinagem, as dimensões e outras características que serão obtidas durante o processo (CIMM, 2017).

#### 3.6.1 Profundidade de corte

Profundidade de corte, é um conceito que denomina a profundidade de penetração da ferramenta de corte em relação a superfície da peça a ser usinada. A profundidade de corte é medida perpendicularmente à superfície de trabalho a ser usinada (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2001; FERRARESI, 2003).

Os valores de profundidade de corte são de extrema importância no fresamento, pois valores muito baixos, não são econômicos, gera calor excessivo durante a usinagem, influência na vibração e no controle dos cavacos, e para valores muito elevados há um alto consumo de potência, pode ocorrer a quebra da pastilha e as forças de cortes aumentam (SANDVIK COROMANT, 2017b).

### 3.6.2 Velocidade de avanço

Compreende-se por velocidade de avanço, a velocidade instantânea do movimento de avanço a partir do gume da ferramenta de corte, utilizado como referência a peça a ser usinada (STEMMER, 1995).

No fresamento, a escolha de valores para a velocidade de avanço depende dos fatores que influenciam durante a usinagem, como o tipo de fresa, o acabamento superficial a ser obtido, o material da ferramenta de corte a ser utilizada, potência da máquina, entre outros (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2001).

### 3.6.3 Rotação

Rotação ou também chamada de velocidade do fuso, medida em rotações por minuto (rpm), é um termo designado para determinar o número de rotações da ferramenta por minuto no seu eixo. Os valores para rotação são determinados de acordo com o material a ser usinado, considerando a velocidade de corte, material e tipo de ferramenta, capacidade do equipamento, entre outros, para evitar danos à ferramenta de corte, à peça e à máquina (SANDVIK COROMANT, 2017c).

### 3.6.4 Velocidade de corte

A velocidade de corte é a velocidade tangencial e instantânea de um ponto de referência da ferramenta de corte, causada pela rotação da ferramenta ao redor da peça, segundo a direção e sentido de corte (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2001; FERRARESI, 2003).

Segundo Stemmer (1995), denomina-se velocidade de corte, a velocidade imediata da ferramenta de corte em rotação, tendo como referência a aresta de corte em relação a peça a ser usinada.

## 3.7 FERRAMENTAS DE CORTE

Para a escolha correta das ferramentas de corte, o tipo de máquina disponível é um dos principais fatores a ser considerado, além do tipo de operação, dimensões e material a ser usinado (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2001).

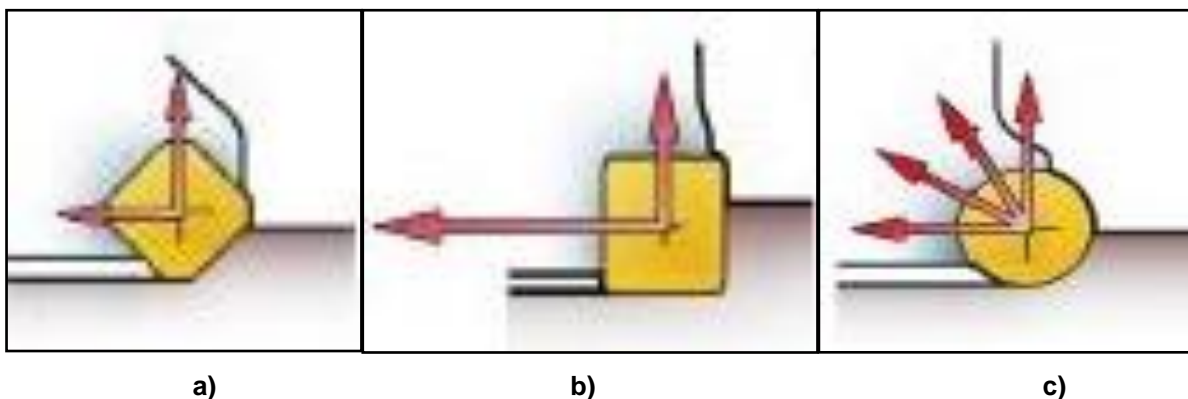


Para operação de faceamento no processo de fresamento, é recomendado o uso de fresas do tipo frontal. Uma indicação para peças mais largas são as fresas com dentes postiços de metal duro, que podem usinar dimensões maiores em apenas um passe (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2001). Um exemplo de faceamento no processo fresamento pode ser visto na Figura 9.



**Figura 9 - Exemplo de faceamento no processo fresamento.**  
Fonte: Direct Industry (2017b).

Os insertos com ângulo de posição de  $45^\circ$  são os mais utilizados na operação de faceamento no fresamento, porém os insertos redondos e os insertos destinados para usinar cantos de  $90^\circ$  aparecem cada vez mais neste tipo de operação. Uma das vantagens sobre a utilização de um inserto redondo é seu gume cortante, que compreende todo seu diâmetro, podendo ser utilizado diversas vezes, apenas rotacionando o inserto (SANDVIK COROMANT, 2017d). A Figura 10 demonstra esquematicamente os insertos.

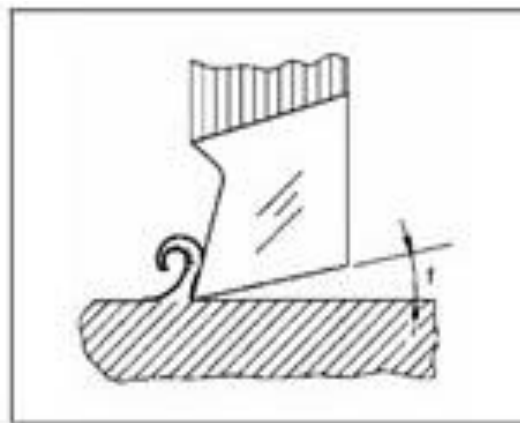


**Figura 10 - Insertos e ângulos de posição, a) Inserto  $45^\circ$ , b) Inserto  $90^\circ$ , e c) Inserto redondo.**  
Fonte: Sandvik Coromant - Faceamento Geral.

Os insertos de 45° são indicados para o fresamento geral, melhoram a redução de vibrações em balanços longos e o efeito de afinamento de cavacos permite o aumento da produtividade. Os insertos de 90° são indicados para fresamento de paredes finas, indicados para peças com fixação deficiente e a usinagem de cantos vivos. Os insertos redondos são indicados para fresamento geral, onde o número de gumes é influenciável no processo (SANDVIK COROMANT, 2017d).

Para o inserto redondo, o ângulo de folga tem grande influência sobre a resistência da aresta de corte. O ângulo de folga previne a fricção entre face lateral da ferramenta e a peça usinada o que resulta em avanço suave. Está localizado entre a superfície de folga e o plano de corte, dependendo principalmente da resistência do material da ferramenta e da peça a usinar (STEMMER, 1995).

Se o ângulo de folga é pequeno, a aresta de corte da ferramenta não penetra convenientemente no material, perdendo o corte rapidamente, onde há grande geração de calor, o que prejudica o acabamento superficial. Se for grande o ângulo de folga, a aresta de corte da ferramenta perde resistência, podendo soltar pequenas lascas ou quebrar (STEMMER, 1995). A Figura 11 demonstra o um exemplo de ângulo de folga.



**Figura 11 - Exemplo de ângulo folga.**  
Fonte: Stemmer (1995).

De acordo com Stemmer (1995), a fresa frontal deve ter o diâmetro maior do que a largura a ser fresada, e as demais fresas devem ter o diâmetro 1,5 vezes maiores do que a penetração de trabalho sobre a peça.

Uma consequência de utilizar fresas de diâmetro igual ao da largura a ser fresada, é que a formação do cavaco com pequena espessura e saída da ferramenta, provocando desgaste abrasivo muito acelerado do gume da ferramenta e a possibilidade do surgimento de aresta postiça de corte (STEMMER, 1995).

A aresta postiça, é formada pelo contato do cavaco a uma determinada pressão na face do gume. Esse fenômeno acontece geralmente quando se utiliza velocidades de corte baixas na usinagem de materiais dúcteis. A parte inferior do cavaco mantém contato sem escoamento, e com o tempo, o cavaco sem escoamento, adere na aresta de corte, encruando e se deformando, formando assim uma aresta postiça de corte devido ao aumento da resistência mecânica causada pelo encruamento (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2001).

Quando a largura da peça for muito grande, utilizam-se cabeçotes com insertos soldados, porém com o avanço da tecnologia, trocaram-se os insertos permanentes por insertos de metal duro intercambiáveis, fixados às fresas de forma mecânica por intermédio de parafusos ou grampos. A grande vantagem deste tipo de fresa, é a possibilidade de se utilizar vários tipos de insertos com fácil substituição, quando os mesmos apresentarem desgaste (STEMMER, 1995). A Figura 12 ilustra dois exemplos de fresa com insertos intercambiáveis.



**Figura 12 - Fresas de insertos intercambiáveis.**  
Fonte: Direct Industry (2017c).

### 3.8 DESGASTE E AVARIAS DA FERRAMENTA

A ferramenta de corte é solicitada térmica e mecanicamente durante a usinagem. Como nem o material da peça, nem o material da ferramenta são homogêneos, uma série de avarias e desgastes de naturezas distintas podem ser observados na ferramenta de corte ao longo de sua utilização (Figura 13) (KÖNIG, KLOCKE, 1999).

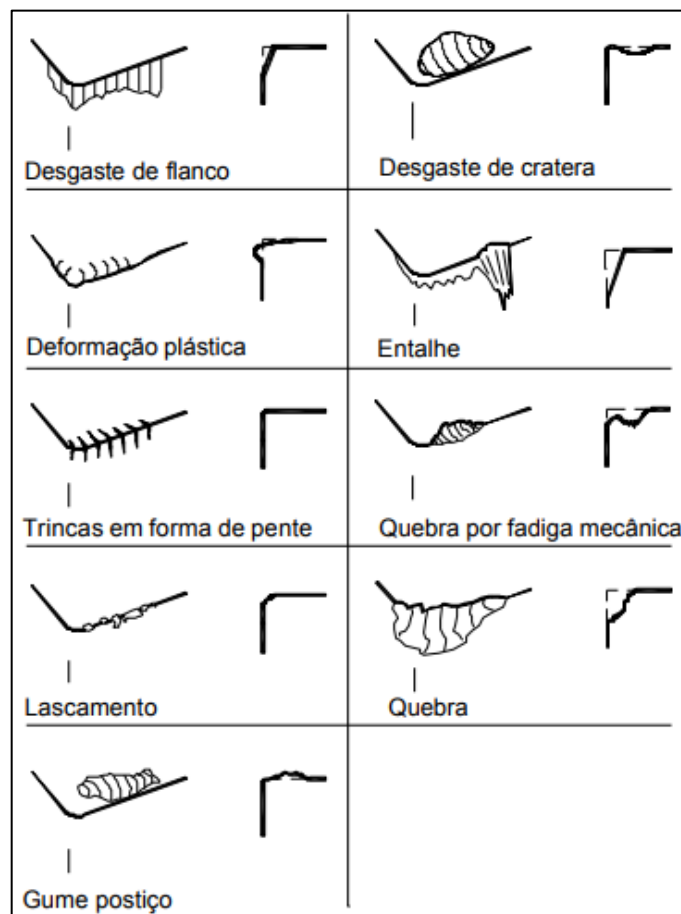


Figura 13 - Exemplos de desgaste de ferramentas de corte.  
Fonte: Markus, 2001.

Lascamento: é resultante da quebra de pequenos fragmentos do gume durante a operação de corte. São causas do lascamento o limite de resistência do material da ferramenta excedido em áreas localizadas devido a vibrações, variações microestruturais na peça ou a quebra do gume postiço. Forças de corte excessivas muitas vezes levam a micro e macrolascamentos do gume ou da quina, principalmente quando os ângulos de cunha ou de quina da ferramenta são muito pequenos (KÖNIG, KLOCKE, 1999).

Fissuras transversais, longitudinais ou em forma de pente: em cortes interrompidos, o gume da ferramenta é submetido a solicitações térmicas e mecânicas alternadas. Estas solicitações alternadas em conjunto com as tensões de tração residuais na superfície de ferramenta, durante o ciclo de resfriamento, podem levar ao surgimento de fissuras transversais e longitudinais ao gume, principalmente em materiais de ferramenta com pouca tenacidade (KÖNIG, KLOCKE, 1999).

Deformação plástica do gume: ocorre quando o material da ferramenta amolece devido às altas temperaturas, e escoamento pelo efeito das forças de usinagem. Estas deformações plásticas também ocorrem em metais-duros e cermetes, entretanto sob maiores temperaturas e esforços do que nas ferramentas de aço rápido e aço ferramenta. Metais-duros tendem a maiores deformações quanto maior for o teor de ligante (SCHROETER, WEINGAERTNER, 2002).

Desgaste de entalhe: ocorre na região de interface entre o contato peça/ferramenta/cavaco, no lado exposto da superfície de corte. A formação do entalhe é resultado da ação das rebarbas produzidas nas bordas do cavaco, as quais apresentam uma taxa de encruamento maior que na parte central do cavaco, tornando-se uma região com dureza mais elevada, envolvendo um mecanismo de aderência e arrancamento. O aumento progressivo do entalhe pode levar à quebra da ferramenta de corte e um pior acabamento superficial (KÖNIG, KLOCKE, 1999).

Desgaste de flanco e cratera: as formas de desgaste mais regulares e previsíveis são o desgaste de flanco e de cratera. Em decorrência disto, procura-se estabelecer condições de corte, na usinagem de metais, onde estas formas de desgastes, principalmente o desgaste de flanco, são dominantes sobre o fim de vida da ferramenta de corte. Além disso, a presença eventual de entalhes dificulta a interpretação precisa da marca de desgaste de flanco (KÖNIG, KLOCKE, 1999).

Algumas ferramentas possuem, em sua superfície de saída, os chamados quebra-cavacos, destinados além da quebra do cavaco, proporcionar um melhor escoamento e formação do cavaco. O desgaste de cratera possui semelhança com o quebra-cavaco, influenciando na formação do cavaco (FERRARESI, 2003).

Em decorrência das solicitações térmicas e mecânicas elevadas, o desgaste da ferramenta, de uma forma geral, é relativamente rápido. Diversos mecanismos de desgaste em geral agem simultaneamente, de forma que tanto sua causa quanto seu efeito dificilmente podem ser distinguidos entre si (KÖNIG, KLOCKE, 1999).

O mecanismo de abrasão ocorre em toda a faixa de temperatura a qual é submetida uma ferramenta de corte. A adesão se limita a velocidades de corte baixas, ao passo que mecanismos de difusão e oxidação só ocorrem de forma acentuada para velocidades de corte elevadas, conforme mostra a Figura 14 (KÖNIG, KLOCKE, 1999).

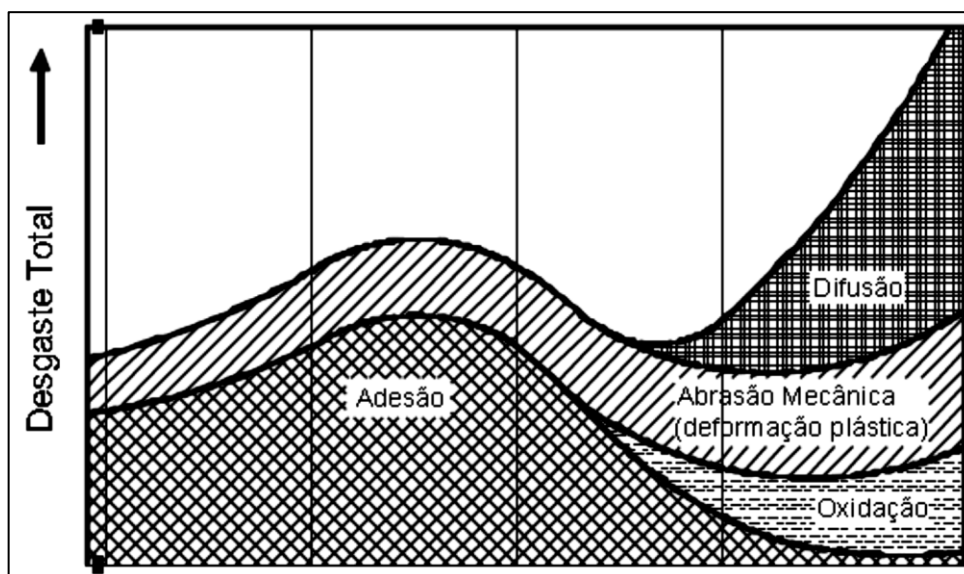


Figura 14 - Causas do desgaste na usinagem.  
Fonte: Adaptado de König, Klocke, 1999.

Adesão: para ocorrer adesão é necessário que haja afinidade entre o material da peça e o material da ferramenta. Além disto, a temperatura, o tempo e a pressão de contato devem estar situados em uma faixa de valores adequados. Para materiais que apresentam um encruamento acentuado, a adesão leva à formação do gume postiço (KÖNIG, KLOCKE, 1999).

Abrasão mecânica: ocorre devido à presença de partículas duras no material da peça. O cisalhamento de partes do gume postiço e sua extrusão pela interface superfície de corte/flanco levam a um desgaste mais acentuado (KÖNIG, KLOCKE, 1999).

Difusão: no estado sólido, consiste na transferência de átomos pertencentes à rede cristalina de um material para a rede cristalina de outro material, constituída de elementos que apresentam afinidade entre si. Quanto maior for a afinidade, a temperatura de contato, o tempo de contato e o nível de agitação atômica, maior será a atividade de difusão entre a ferramenta e o cavaco (DROZDA, WICK, 1983; FERRARESI, 2003).

Oxidação: após o corte do material, muitas vezes são observadas cores de revenimento na região de contato entre o cavaco e a ferramenta, que são provocadas pela oxidação da ferramenta. Esta só ocorre se a temperatura for suficientemente elevada e se houver a presença de oxigênio na região aquecida. Na usinagem do aço com ferramenta de metal-duro, para temperaturas de corte acima de 800 °C, o mecanismo de oxidação ocorre de forma mais intensa (DROZDA, WICK, 1983; KÖNIG, KLOCKE, 1999).

Solicitações mecânicas e térmicas: danificações do gume como microquebras, fissuras transversais e longitudinais, bem como deformação plástica, advém de solicitações térmicas e mecânicas excessivas (SCHROETER, WEINGAERTNER, 2002).

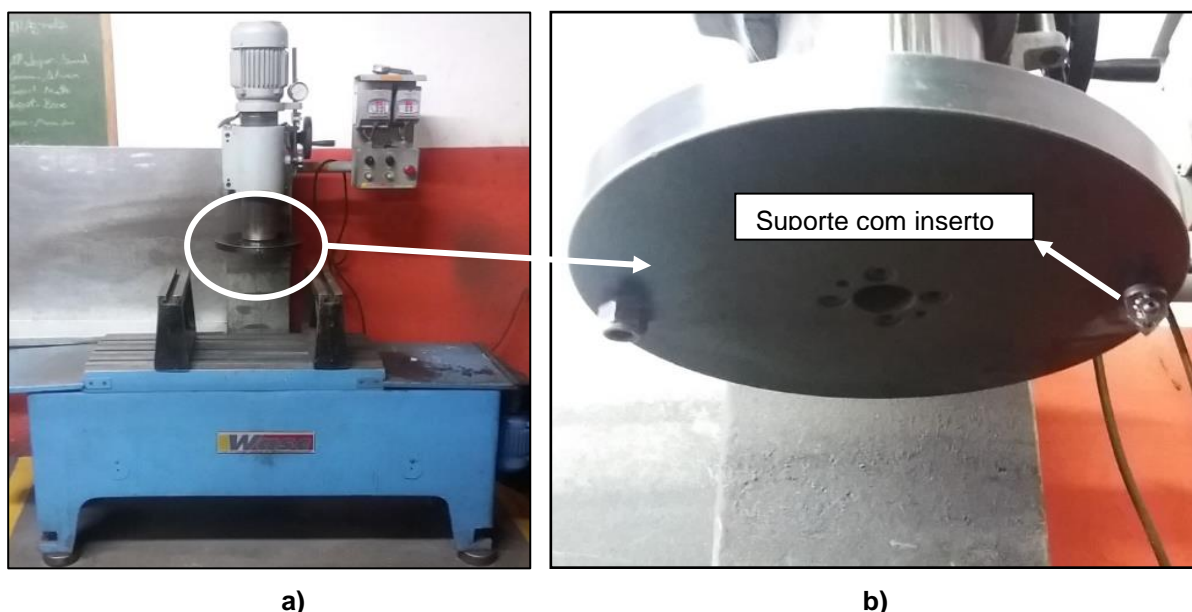
### 3 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi de natureza aplicada, qualitativa e de caráter exploratório. Seus procedimentos técnicos foram realizados em campo de forma experimental. A metodologia para a realização deste trabalho foi baseada na análise visual da superfície do cabeçote com antecâmara e na análise visual do desgaste dos inserts selecionados durante e após o fresamento.

#### 4.1 EQUIPAMENTOS

O equipamento utilizado para a realização deste trabalho consiste de uma fresadora convencional, específica para fresamento de cabeçotes e blocos do motor em geral. Esta máquina é equipada com um cabeçote/disco-porta ferramentas de 275 mm de diâmetro, sendo esta dimensão padronizada, devido a maioria dos cabeçotes e blocos possuírem uma largura significativa, assim é possível usinar toda a área superficial do cabeçote e/ou bloco com apenas um passe de fresamento.

O disco-porta ferramentas possui um único acoplamento para fixar o suporte com o inserto, portanto o fresamento é realizado com apenas uma ferramenta de corte, e neste caso, a ferramenta é composta de um suporte com um inserto intercambiável. A Figura 15 apresenta a fresadora utilizada e o disco citado.



a) b)  
Figura 15 – Equipamento utilizado: a) Fresadora convencional, b) Disco porta-ferramenta.  
Fonte: O autor.



## 4.2 INSERTOS

Para a escolha dos insertos, buscou-se no mercado de ferramentas de corte aqueles que fossem capazes de usinar os dois materiais, do cabeçote de alumínio e da antecâmara de aço. Esta seleção foi baseada do tipo de suporte disponível para os insertos (Figura 16), por este permite apenas insertos intercambiáveis de forma arredondada, com furo central.



**Figura 16 - Suporte para insertos intercambiáveis.**  
Fonte: O autor.

### 4.2.1 Inseto RCGT 1003M0-AS IC20

O primeiro inserto a ser escolhido foi o RCGT 1003M0-AS IC20 indicado pelo principal fornecedor de ferramentas da empresa, na qual foi realizado o trabalho. De acordo com o fabricante Iscar (2017), este inserto da classe IC20 é indicado para a usinagem de semi-acabamento, acabamento final de alumínio, ferro fundido e aço inoxidável. A Figura 17 apresenta o primeiro inserto selecionado.



**Figura 17 - Inseto RCGT 1003M0-AS IC20.**  
Fonte: Adaptado de Iscar 2017.

Este inserto foi disponibilizado pela empresa onde foi realizado o trabalho, para fins acadêmicos.

#### 4.2.2 Inseto RDMT 1003 M0 LT 3000

O segundo inserto selecionado foi o RDMT 1003 M0 LT 3000, porque abrange uma gama de materiais que podem ser usinados e também pelo seu formato arredondado, atendendo o critério do suporte. O inserto foi disponibilizado pela empresa Lâmina Technologies do Brasil, para fins de pesquisa acadêmica. De acordo com Lâmina Technologies do Brasil (2017) a classe do inserto LT3000 é indicada para operações de fresamento, usinagem de aços em geral, ferro fundido, alumínio e ligas resistente ao calor. A Figura 18 apresenta um exemplo do inserto.



**Figura 18 - Inseto RDMT 1003 M0 LT 3000.**  
**Fonte: Adaptado de Lâmina Technologies do Brasil.**

Os insertos selecionados são arredondados, com 10 mm de diâmetro e com ângulo de saída positivo, que proporciona a diminuição da força de corte e de avanço, melhora o acabamento superficial e a formação do cavaco (STEMMER, 1995). A principal diferença dimensional entre eles é o ângulo de folga, sendo 7° para o inserto RCGT 1003M0-AS IC20 e 15° para o inserto RDMT 1003 MO LT3000.

#### 4.3 PARÂMETROS DE USINAGEM

Os parâmetros de usinagem utilizados para a realização dos ensaios foram estabelecidos com base na experiência adquirida na empresa, sobre as atuais condições de usinagem, tais como máquina disponível, ferramenta de corte, tipo de fresamento e material dos cabeçotes.

Para a realização dos ensaios, foi variado o parâmetro que mais influenciava na usinagem dos cabeçotes, de acordo com o histórico de usinagem da empresa onde foi realizado o trabalho, sendo a velocidade de avanço.

A profundidade de corte, a rotação da ferramenta e velocidade de corte foram mantidos fixos, porque em ensaios preliminares, a variação destes parâmetros exigiu grande esforço da máquina, prejudicando seu funcionamento. Os parâmetros selecionados e características do disco de corte estão representados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Parâmetros fixos e características do disco de corte.**

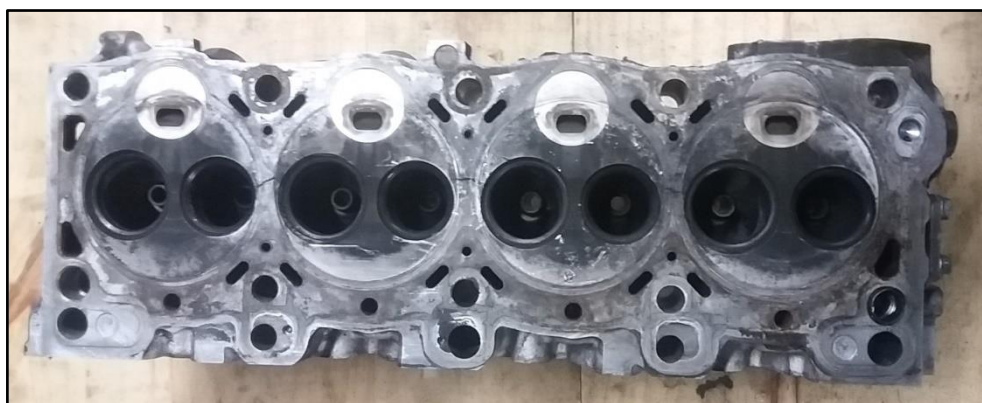
Parâmetro	Valor
Diâmetro do Disco (mm)	275
Área total de corte (mm <sup>2</sup> )	59.365,625
Profundidade de Corte (mm)	0,04
Rotação Por Minuto (RPM)	350
Velocidade de Corte (m/min)	302,2

**Fonte: O Autor.**

#### 4.4 CABEÇOTE COM ANTECÂMARA

O cabeçote para motor a diesel, utilizado nos ensaios, é de um veículo Sportage da marca KIA, sendo o único disponibilizado pela empresa na qual foram realizados os ensaios, pois era usado e estava trincado, sendo irrecuperável.

Para a realização dos ensaios, foi fresada a face do cabeçote. A Figura 19 apresenta uma foto da face do cabeçote com antecâmara.



**Figura 19 - Cabeçote com antecâmara (Kia Sportage).**

**Fonte: O autor.**

O cabeçote possui antecâmara de turbilhonamento e apresenta dois materiais diferentes na face. A ampliação da antecâmara pode ser visualizada na Figura 20.



**Figura 20 - Antecâmara do cabeçote.**  
**Fonte: O autor.**

A antecâmara é feita de aço e o material restante do cabeçote é de alumínio.

#### 4.5 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

A análise dos insertos e da superfície do cabeçote foi realizada visualmente, a partir de imagens captadas com auxílio da câmera de celular e de uma lupa comum, para ampliar a superfície dos insertos. Este método foi utilizado devido à ausência de instrumentos e equipamentos de análise no local. As imagens foram captadas após cada passe realizado, para cada ensaio determinado. Os ensaios foram realizados de acordo com o cronograma da Tabela 2.

**Tabela 2 - Cronograma de ensaios.**

Inserto	Número do ensaio (3 passes de usinagem cada ensaio)	Parâmetros variáveis	Parâmetros fixos		
		Velocidade de Avanço (mm/min)	Profundidade de corte (mm)	Rotação (RPM)	Número de passes
RCGT 1003M0- AS IC20	1	20	0,04	350	3
	2	30			
	3	40			
RDMT 1003 M0- LT 3000	1	20			
	2	30			
	3	40			

**Fonte: O autor.**

De acordo com a Tabela 2, foram feitos três ensaios com cada ferramenta, onde cada ensaio era realizado com 3 passes de usinagem, variando a velocidade de avanço e mantendo a profundidade, rotação e número de passes fixos.

Como são três passes com cada ensaio, totalizou-se em um número de 18 passes, onde foram captadas imagens tanto da ferramenta, quanto da superfície do cabeçote, somando a este total uma imagem obtida previamente aos ensaios, para efeito de comparação. Cada ensaio foi realizado somente uma vez, pois foi disponibilizado somente um cabeçote para este trabalho.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise das imagens captadas, foi possível estudar o desgaste dos insertos, de acordo com o descrito na literatura, e avaliar o acabamento superficial do cabeçote, durante os passes dos ensaios e após o fresamento.

##### 5.1 DESGASTE DO INSERTO RCGT 1003 MO AS IC20

Este inserto apresentou craterização e quebra, abrangendo o flanco do inserto de forma significativa no primeiro ensaio, com 20 mm/min de velocidade de avanço. Ocorreu lascamento da aresta de corte com leve craterização para o avanço de 30 mm/min, se comparado ao primeiro ensaio. Já com a velocidade de avanço de 40 mm/min, ocorreu lascamento da aresta de corte, sem sofrer quebra ou craterização. A Figura 21 apresenta estes resultados.



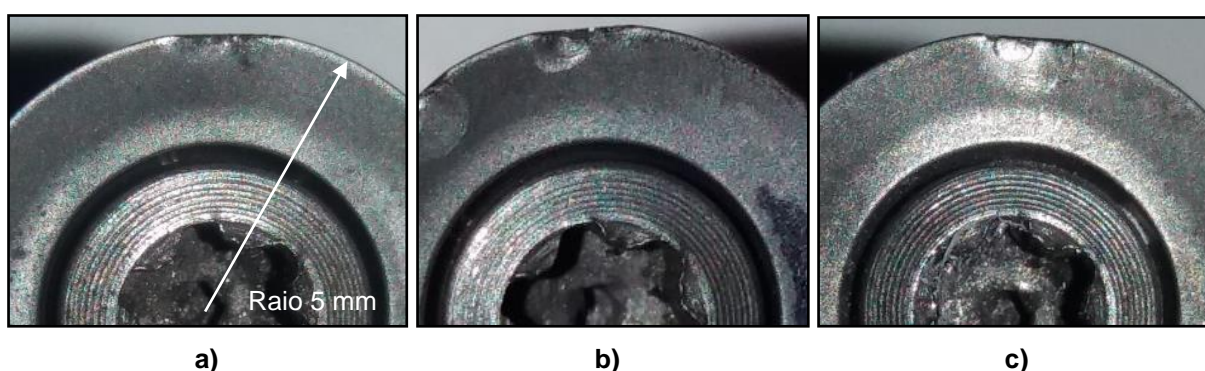
a) b) c)  
**Figura 21 - Desgaste do primeiro inserto, variando a velocidade de avanço:  
a) 20 mm/min, b) 30 mm/min e c) 40 mm/min.**

Fonte: O autor.

O desgaste do inserto era esperado devido a usinagem difícil, influenciada pelo corte interrompido e pelos dois tipos de materiais na superfície do cabeçote. Quando o inserto encontrava com o aço, a máquina apresentava maior esforço de corte, representado pelos ruídos mais elevados, devido a maior resistência do aço.

## 5.2 DESGASTE DO INSERTO RDMT 1003 M0 LT 3000

Comparando as imagens obtidas ao final dos ensaios (somando os três passes), observou-se que o inserto apresentou lascamento da aresta de corte com o avanço de 20 mm/min. Com a velocidade de avanço de 30 mm/min, o inserto sofreu lascamento seguido de desgaste por cratera. Já com 40 mm/min, o inserto sofreu craterização de forma mais significativa, resultando na quebra do gume. A Figura 22 apresenta estes resultados.



**Figura 22 – Desgaste do segundo inserto, variando a velocidade de avanço:  
a) 20 mm/min, b) 30 mm/min e c) 40 mm/min.**

**Fonte: O autor.**

Analisando um inserto em relação ao outro, os dois apresentaram as mesmas características de desgaste após a usinagem, de lascamento, craterização e quebra. Não foi observado outro tipo de desgaste, como por exemplo de entalhe, trincas ou de flanco. Analisando os inserts de forma geral, observou-se que o inserto RCGT 1003 MO AS IC20, marca Iscar, para as maiores velocidades de avanço apresentou resistência ao desgaste ligeiramente maior, e o segundo inserto RMDT 1003 MO LT3000, da marca Lâmina, apresentou desgaste menor para o avanço de 20 mm/min.

## 5.3 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DO CABEÇOTE COM ANTECÂMARA

A superfície do cabeçote após a usinagem, independente do inserto utilizado, ficou com marcas na forma de arranhões na região em que a usinagem atinge a antecâmara de aço, para todos os ensaios realizados. As marcas apareceram a cada vez que o inserto passava pela antecâmara, onde ao sair da antecâmara, e encontrar novamente com o alumínio, ocorriam os arranhões.



Estes arranhões podem ser resultantes da retirada de cavaco do aço, que ao encostar no alumínio, este cavaco de aço mais resistente, acaba arranhando a superfície mais dúctil do alumínio. O desgaste do inserto pode justificar os arranhões devido aos pequenos lascamentos do mesmo, mas a quebra da aresta de corte descarta este caso, devido a diminuição da área de contato com a superfície. A formação de aresta postiça também seria uma causa dos arranhões, porém não foi observada nas imagens captadas dos insertos. A Figura 23 apresenta os resultados.

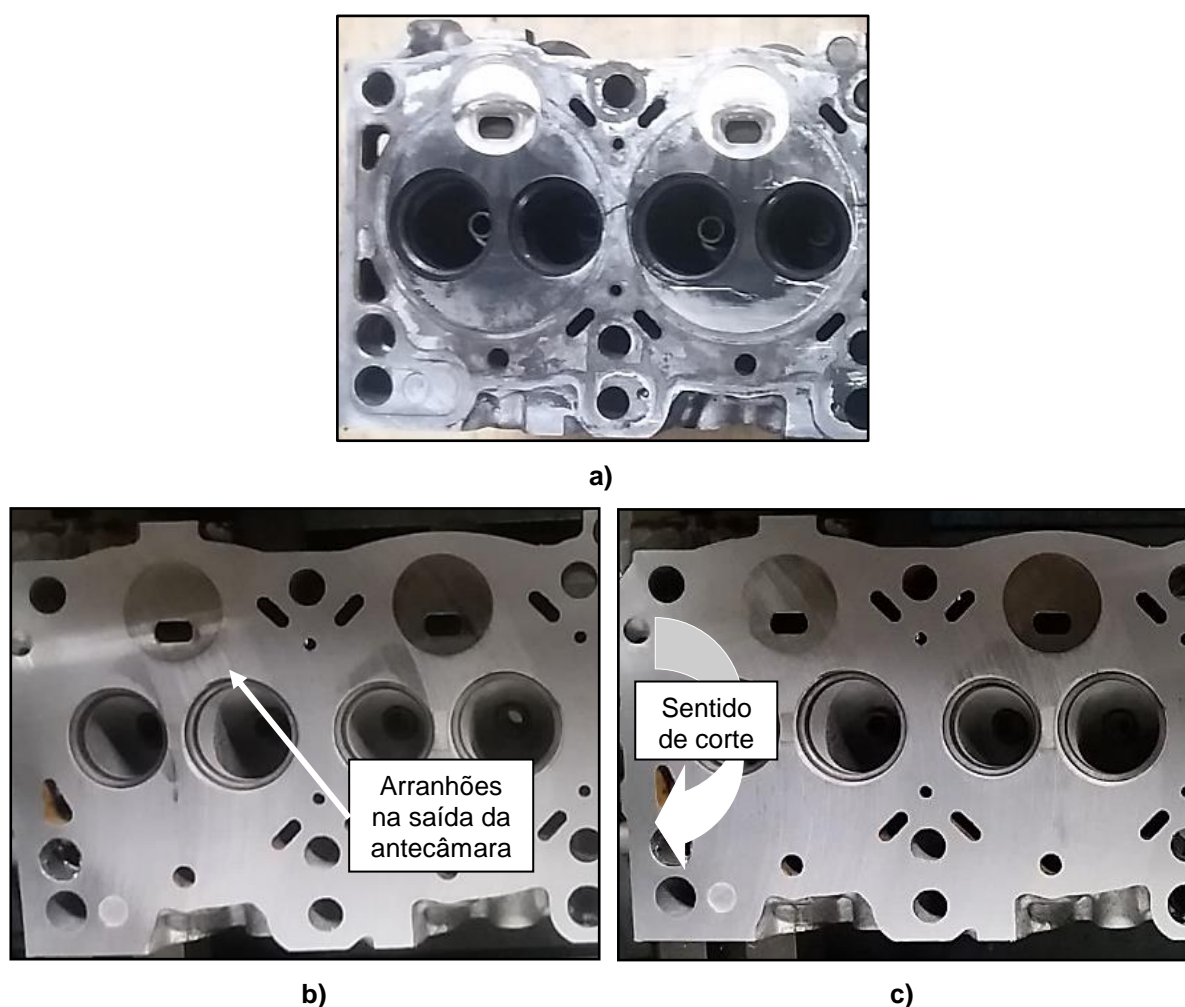


Figura 23 – Antes e depois da usinagem do cabeçote: a) bruto, b) 1° inserto, c) 2° inserto.  
Fonte: O autor.

Na Figura 23, as imagens b) e c) são referentes a usinagem com velocidade de avanço de 30 mm/min, do inserto RCGT 1003 MO AS IC20 e do inserto RDMT 1003 MO LT3000, respectivamente, cuja velocidade de avanço promoveu os melhores resultados de acabamento superficial entre as demais.

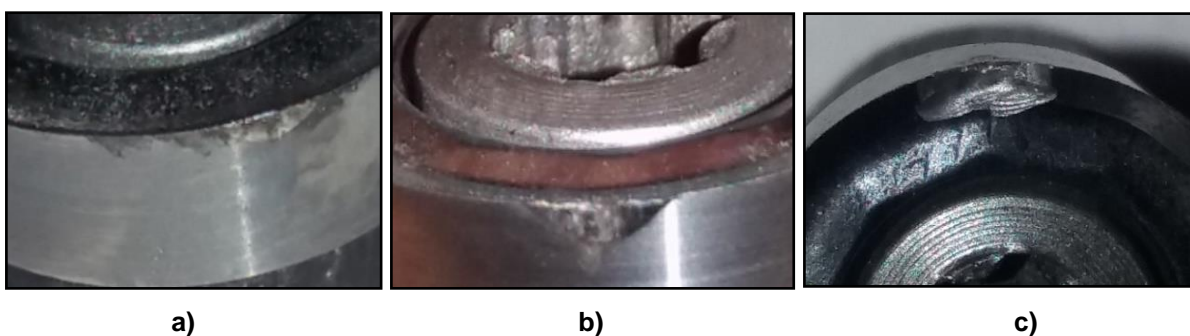
Além da análise visual, durante a usinagem também foi observada uma alteração no ruído gerado no processo de fresamento do cabeçote, ocorrida na interface de troca entre os dois materiais. Quando ocorreu a usinagem da antecâmara de aço, percebeu-se que ficou mais alto o ruído, se comparado com a usinagem somente de alumínio.

#### 5.4 ANÁLISE PASSE A PASSE

A influência da velocidade de avanço foi estudada analisando os resultados após cada passe individual, para cada ensaio com os insertos utilizados.

##### 5.4.1 Inseto RCGT 1003 MO AS IC20

O inserto RCGT 1003 MO AS IC20 apresentou desgaste da aresta de corte, para a velocidade de avanço de 20 mm/min, porém no primeiro passe foi no flanco do inserto, como pode ser visualizado na Figura 24-a), aumentando no segundo passe, onde evoluiu para craterização, e finalizando o desgaste com a quebra da aresta de corte no terceiro e último passe.

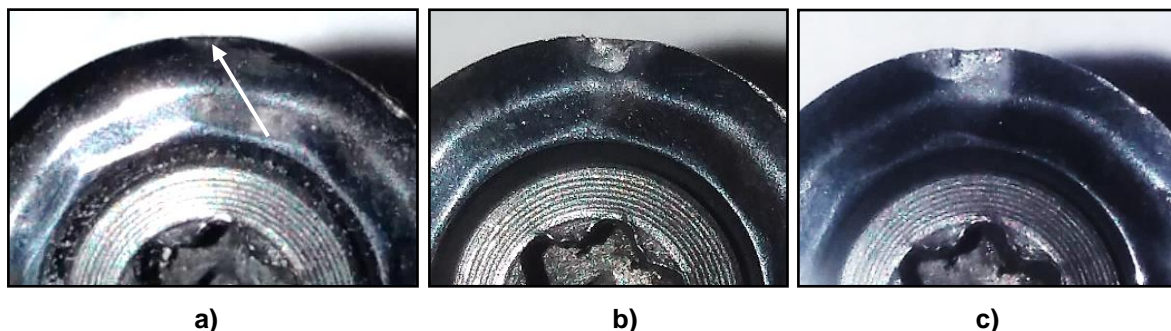


**Figura 24 - Passes com velocidade de avanço 20 mm/min: a) 1º passe, b) 2º passe, c) 3º passe.  
Fonte: O autor.**

Como o desgaste ficou localizado inicialmente no flanco do inserto, as imagens foram captadas da lateral do inserto para melhor visualização. Já na imagem c) da Figura 24, o inserto foi mantido na posição inicial para apresentar a quebra da aresta de corte.

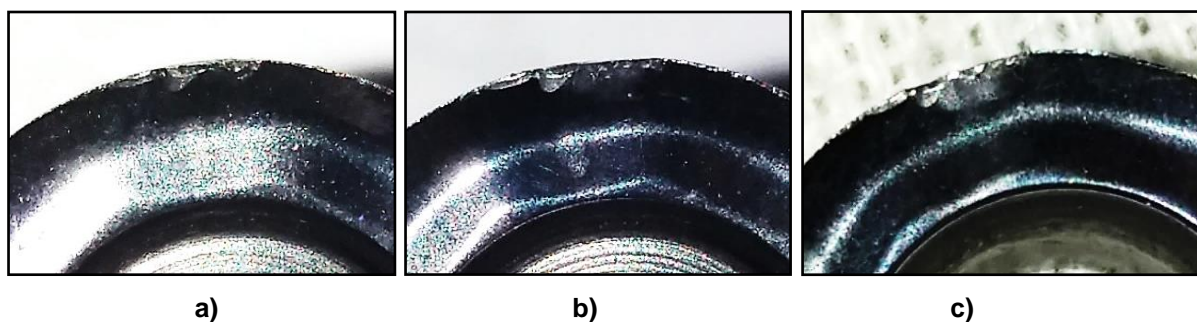


No ensaio com avanço de 30 mm/min, também ocorreu o lascamento da aresta de corte, porém de forma menor no primeiro passe, aumentando com craterização no segundo passe, e ao terceiro passe, aumentando o lascamento e a craterização, de acordo com o apresentado na Figura 25.



**Figura 25 - Passes com velocidade de avanço 30 mm/min: a) 1º Passe, b) 2º Passe, c) 3º Passe.**  
Fonte: O autor.

Observou-se o lascamento no primeiro passe (Figura 25-a) iniciando e evoluindo após os demais passes de usinagem. Para o ensaio com avanço de 40 mm/min também ocorreu o lascamento da aresta de corte, nos três passes, evoluindo a cada passe, e gerando uma craterização menos acentuada no terceiro passe. A Figura 26 apresenta esta evolução do lascamento para o ensaio de 40 mm/min de velocidade de avanço.

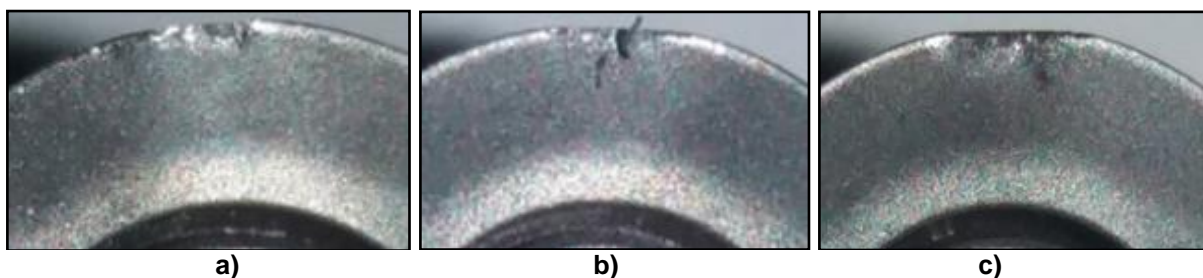


**Figura 26 - Passes com velocidade de avanço 40 mm/min: a) 1º Passe, b) 2º Passe, c) 3º Passe.**  
Fonte: O autor.

Nos três ensaios ocorreu desgaste da aresta de corte de forma gradativa com o aumento dos passes com o primeiro inserto. Com o avanço de 20 mm/min, o desgaste foi mais localizado no flanco do inserto até que a aresta de corte sofresse a quebra, porém, para a velocidade de avanço de 40 mm/min, o desgaste ficou praticamente somente com lascamentos, sendo no terceiro e último passe que foi aparecendo a craterização na superfície do inserto.

#### 5.4.2 Inseto RDMT 1003 MO LT3000

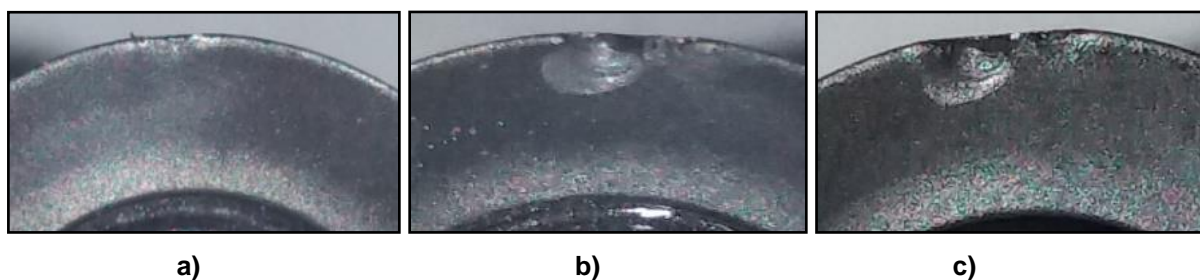
Durante a usinagem com o avanço de 20 mm/min, o inserto apresentou desgaste da aresta de corte do tipo lascamento, evoluindo no segundo passe com leve trincamento, até que no terceiro passe sofreu também craterização e entalhe. A Figura 27 apresenta esta evolução do desgaste, a cada passe de usinagem.



**Figura 27 – Passes com velocidade de avanço 20 mm/min: a) 1º passe, b) 2º passe, c) 3º passe. Fonte: O autor.**

Como observado nas imagens da Figura 27, a aresta de corte sofreu desgaste maior no terceiro passe, acumulado dos passes anteriores devido a perda da resistência, decorrente das condições de ensaio e do ângulo de folga do inserto, resultando em quebra da aresta de corte do inserto.

O inserto também apresentou lascamento da aresta de corte no ensaio com avanço de valor 30 mm/min (Figura 28) no primeiro passe, porém esse lascamento foi menor, se comparado com o ocorrido na velocidade de avanço de 20 mm/min.

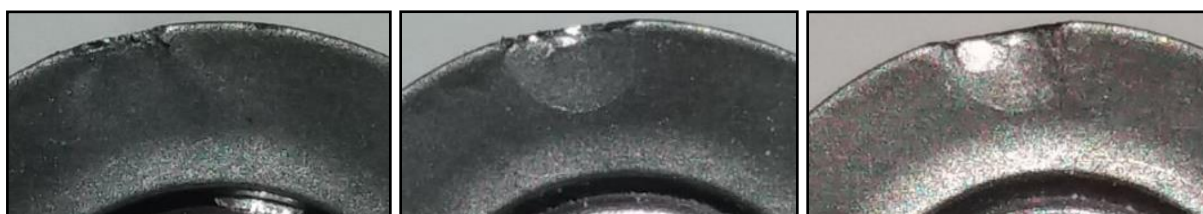


**Figura 28 - Passes com velocidade de avanço 30 mm/min: a) 1º passe, b) 2º passe, c) 3º passe. Fonte: O autor.**

Analisando a sequência de imagens na Figura 28, verificou-se que o lascamento da aresta no primeiro passe foi mínimo em relação ao do segundo passe, onde também ocorreu desgaste por cratera. A craterização aumentou e ocorreu também quebra no terceiro passe.

Apesar da craterização que já prejudica o desempenho e inutiliza a aresta de corte, foi realizado o terceiro passe devido a política da empresa, para realizar o fresamento no menor tempo possível, tornando a troca seguida do inserto um tempo a mais e desnecessário, caso este não esteja prejudicando de forma significativa o acabamento superficial do cabeçote.

No ensaio utilizando velocidade de avanço de 40 mm/min, ocorreu desgaste similar ao ensaio realizado com velocidade de avanço de 30 mm/min, entretanto, foi mais agressivo do que o anterior, como pode ser observado na Figura 29, devido a maior velocidade de avanço.



a) b) c)  
**Figura 29 - Passes com velocidade de avanço 40 mm/min: a) 1º passe, b) 2º passe, c) 3º passe.**  
Fonte: O autor.

Apesar do desgaste um pouco maior observado na Figura 29, na imagem da letra c) não foi observado entalhe na aresta de corte, visto que a circularidade não foi afetada no local da craterização, como ocorreu nas Figuras 27-c) e 28-c).

Comparando os três ensaios, todos apresentaram desgaste elevado da aresta de corte no inserto, sendo gradativo o desgaste com o aumento do número de passes. O inserto utilizado com a velocidade de avanço de 20 mm/min sofreu o menor desgaste considerando a soma total de três passes de usinagem.

Independente dos ensaios, em todos os casos, após o terceiro passe, a aresta de corte do inserto tornou-se incapaz de realizar novos passes, devido ao acabamento ruim que proporcionaria caso fosse reutilizado. No entanto, como a aresta é circular, basta rotacionar o inserto para que uma nova aresta de corte e intacta estivesse pronta para utilização. Com o aumento dos valores de velocidade de avanço, o desgaste no inserto também aumentou, sendo mais elevado para a velocidade de avanço de 40 mm/min.

Analisando ambos os insertos, foi observado que o primeiro possui menor resistência com a velocidade de avanço de 20 mm/min, e o segundo foi ao contrário, pois apresentou menor resistência com a velocidade de avanço de 40 mm/min.

### 5.4.3 Superfície do cabeçote

A usinagem com o inserto RCGT 1003 MO AS IC20 apresentou problemas com a velocidade de avanço de 20 mm/min, que devido à quebra na aresta de corte do inserto, os danos à superfície do cabeçote foram significativos, provocando a interrupção do último passe de usinagem. A Figura 30 apresenta este resultado.

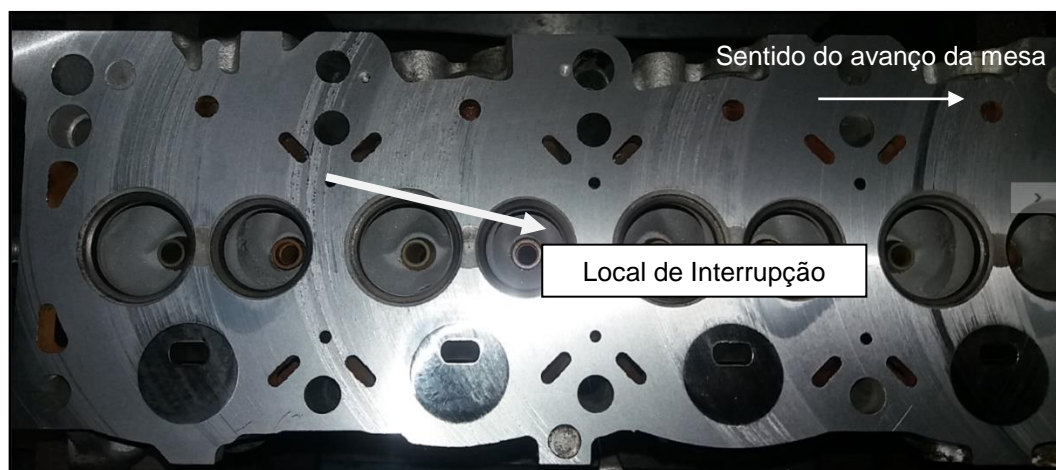


Figura 30 - Cabeçote após usinagem com avanço de 20 mm/min.

Fonte: O autor.

Este resultado observado na Figura 30, representa a inviabilização do uso do inserto com uma velocidade de avanço de 20 mm/min, que após a quebra, provoca danos profundos na superfície do cabeçote, promovendo um acabamento ruim nessa região. Para os ensaios com velocidade de avanço de 30 mm/min e 40 mm/min, os resultados foram satisfatórios, de acordo com o exigido na empresa, apesar de apresentar marcas de arranhões e riscos na superfície acabada, conforme apresenta a Figura 31.

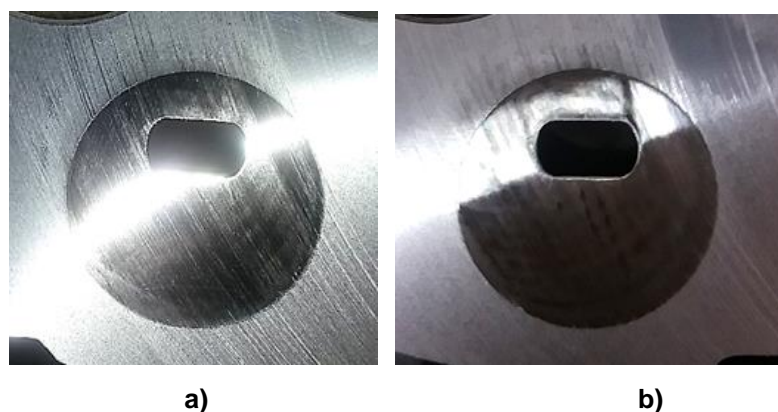


Figura 31 – Influência da velocidade de avanço: a) 30 mm/min, b) 40 mm/min.

Fonte: O autor.



Com o inserto RDMT 1003 M0 LT 3000, a superfície do cabeçote apresentou resultados satisfatórios de acordo com o exigido pela empresa, apesar de também apresentar marcas de arranhões e riscos na superfície acabada. Foram satisfatórios os resultados porque a ferramenta de corte utilizada pela empresa, antes do estudo, produzia um acabamento inferior ao obtido com este inserto.

A Figura 32 apresenta um comparativo da superfície do cabeçote após os 3 ensaios realizados.

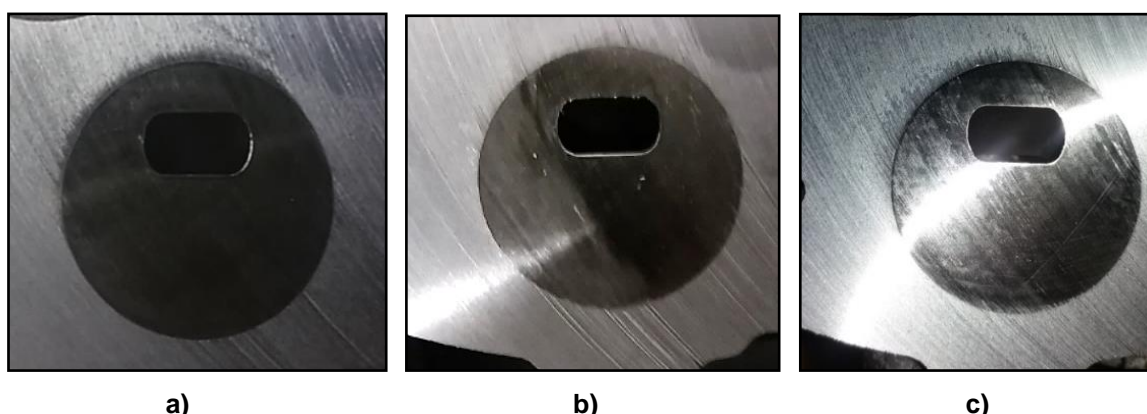


Figura 32 – Influência da velocidade de avanço: a) 20 mm/min, b) 30 mm/min, c) 40 mm/min.  
Fonte: O autor.

De acordo com a Figura 32, o cabeçote ficou com marcas de arranhões em sua superfície, para as três velocidades de avanço utilizadas. Os arranhões começaram a aparecer depois que o inserto usinava a antecâmara, onde a cada saída do aço, quando entrava em contato com o alumínio, riscava a superfície do cabeçote, prejudicando o acabamento. Os arranhões citados podem ser visualizados nas ampliações da Figura 33, na região de passagem pela antecâmara do cabeçote.

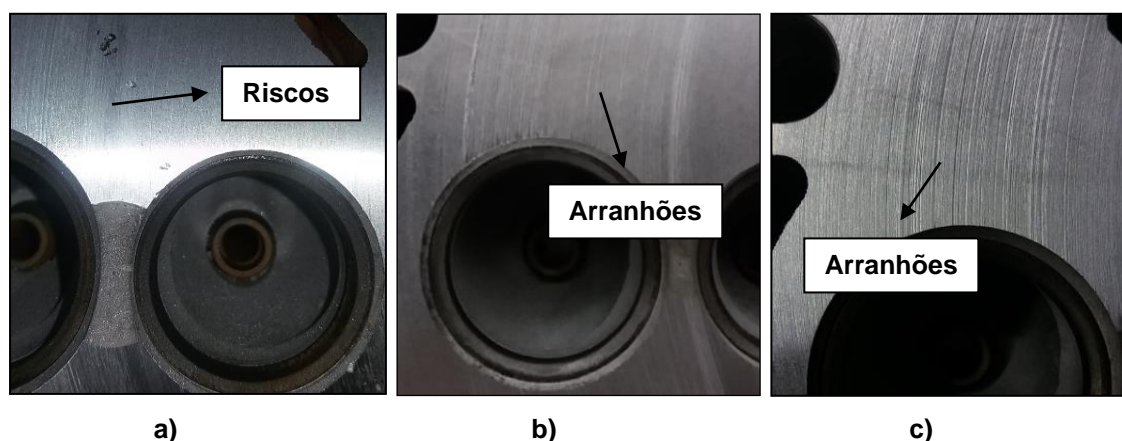


Figura 33 – Ampliações com velocidade de avanço: a) 20 mm/min, b) 30 mm/min, c) 40 mm/min.  
Fonte: O autor.

Conforme apresenta a Figura 33, os arranhões mais profundos foram obtidos durante a usinagem com a velocidade de avanço de 40 mm/min, prejudicando a superfície do cabeçote. Esses arranhões mais profundos podem comprometer o encaixe do cabeçote com o bloco do motor, com o tempo de uso, com atrito, vibração, má vedação e entre outros problemas futuros.

Esses arranhões foram aparentes somente na região da antecâmara, pois nas demais regiões onde o inserto só tinha contato com o alumínio, o acabamento ficou de acordo com o desejado pela empresa.

## 5.5 DIFICULDADES ENCONTRADAS

- A máquina utilizada no trabalho já estava bastante desgastada, evidenciado este desgaste pelo valor apresentado no painel digital da mesma, que não correspondia com o avanço real da mesa. Para contornar este problema, foi realizado um ensaio determinando um valor no painel digital que concordava com os avanços definidos na metodologia deste trabalho.

- Dificuldade de obtenção do inserto RDMT 1003 MO LT3000 da linha Magia, da marca Lâmina Technologies do Brasil, contornada através do contato direto com o fabricante, que patrocinou os insertos para os ensaios.

- O local de realização do trabalho, pois como os resultados deveriam ser o mais próximo possível da realidade da empresa, os ensaios foram realizados na mesma, que se encontra em outra cidade, impossibilitando a medição da rugosidade superficial com instrumento específico e a análise microscópica dos insertos após cada passe com cada velocidade de avanço.

- Obtenção do cabeçote com antecâmara, pois como são cabeçotes destinados a motores de combustão interna específicos, não são fáceis de serem encontrados. Só foi possível realizar o trabalho porque o cabeçote disponibilizado pela empresa estava trincado e sem possibilidade de recuperação. Em relação ao cabeçote, como não foi possível conseguir outro igual para realizar os ensaios, e ao final do trabalho foi observado que o limite de retirada de material foi ultrapassado, portanto, já inviabilizaria o cabeçote para uso futuro.

- Etapas pré-usinagem, como o ajuste da máquina, a fixação do cabeçote e no momento de conferir a planicidade do mesmo, para que o fresamento ocorresse na superfície completa e dentro da tolerância exigida pela empresa.

## 5 CONCLUSÕES

O inserto que apresentou melhores resultados foi o inserto RDMT 1003 MO LT3000, da marca Lamina Technologies do Brasil, em relação à resistência ao desgaste do mesmo e também em relação ao acabamento superficial do cabeçote.

O inserto da marca Lâmina é mais indicado para velocidade de avanço abaixo de 30 mm/min, e o inserto da marca Iscar, é mais indicado para fresamento com velocidade de avanço acima deste valor. Ambos os insertos proporcionaram resultados satisfatórios para a mesma velocidade de avanço intermediária.

Comparando com a ferramenta de corte utilizada antes deste trabalho, o formato circular do inserto permitiu um maior tempo útil de usinagem, pois antes a ferramenta era retirada para reafiação, e com o inserto redondo, a troca do mesmo diminuiu devido ao seu rotacionamento, diminuindo as paradas da máquina, sendo reutilizado até completa utilização da aresta de corte do inserto.

A superfície do cabeçote após os ensaios, apresentou bom acabamento superficial de acordo com as necessidades da empresa, porém, ainda assim com arranhões e riscos profundos na região da antecâmara.

Como sugestão de trabalhos futuros, a principal indicação é realizar ensaios com mais de um cabeçote igual, para verificar se o desgaste foi igual e garantir que não seja ultrapassada a medida mínima estipulada pelo fabricante do cabeçote.

## REFERÊNCIAS

ABAL, Associação Brasileira de Alumínio. **Fundamentos e aplicações do alumínio**. 2ed. São Paulo: ABAL, 2007. 68 p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13032-1996**: Execução de Retíficas de Motores. Rio De Janeiro: ABNT, 1996. 7 p.

BOSCH, R. **Manual de tecnologia automotiva**. 25 ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2005. 1231 p.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e engenharia dos materiais**: Uma Introdução. 7 ed. Rio De Janeiro: LTC Editora, 2008. 705 p.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica**: Processos de Fabricação e Tratamento. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. 388 p.

CIMM, Centro de Informações Metal Mecânica. **Variáveis e parâmetros de corte**. Disponível em: <[http://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/4861-variaveis-e-parametros-de-corte#.wxu0hkltniu](http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4861-variaveis-e-parametros-de-corte#.wxu0hkltniu)>. Acesso em: 23 jul. 2017.

CUNHA, R. P. da. **Caracterização mecânica e metalográfica de uma liga de alumínio empregada para cabeçote de motor flex**. 2012. 85 f. Tese (Mestrado Engenharia Metalúrgica e Materiais) - Escola Politécnica - USP, São Paulo, 2012.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 3.ed. São Paulo: Artliber, 2001. 244 p.

DIRECT INDUSTRY. **Fresadora de 3 eixos**. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/kent-industrial/product-18544-903601.html>>. Acesso em: 01 nov. 2017a.

DIRECT INDUSTRY. **Fresas de alta precisão**. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/fresa-alta-precisao-214377.html>>. Acesso em: 30 ago. 2017b.

DIRECT INDUSTRY. **Sandvik Coromant**. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/sandvik-coromant/product-819485.html>>. Acesso em: 19 ago. 2017c.



DROZDA, T. J.; WICK, C. **Tool and manufacturing engineers handbook – Machining**, n. 4. v.1. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 1983. p. 1.1-1.66, p. 10.1-10.76.

FEAM, FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Guias técnicos ambientais**. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/2016/producao\\_sustentavel/guias-tecnicos-ambientais/cartilha-industria-automotiva.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2016/producao_sustentavel/guias-tecnicos-ambientais/cartilha-industria-automotiva.pdf)>. Acesso em: 09 jul. 2017.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 11 ed. São Carlos: Edgard Blucher, 2003. 751 p.

ISCAR. **Grade IC20**. Disponível em: <<http://www.iscar.com/ecatalog/grade.aspx?grade=ic20&item=5540022&fnum=743&mapp=0>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren, Band 1: Drehen, Fräsen, Bohren**. 6. ed. Berlin: Springer Verlag, 1999. 471p.

LÂMINA TECHNOLOGIES DO BRASIL. **Geometria RDMT**. Disponível em: <<https://www.lamina-tech.ch/produtos>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

MAHLE. **Manual técnico: Curso Mahle Metal Leve Motores De Combustão Interna**. 1 ed.: Mahle Aftermarket, 2016. 230 p.

MARKUS, W. **Aspectos Tecnológicos da Minimização e Eliminação de Fluido de Corte no Processo de Torneamento com Insertos de Metal-duro Revestido com TiN**. 2001. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANDVIK COROMANT. **Fresamento de alumínio**. Disponível em: <[http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/getting\\_started/milling\\_different\\_materials/aluminium\\_milling](http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/getting_started/milling_different_materials/aluminium_milling)>. Acesso em: 23 jul. 2017a.

SANDVIK COROMANT. **Torneamento geral**. Disponível em: <[http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general\\_turning/how-to-achieve-good-component-quality/tool-life](http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general_turning/how-to-achieve-good-component-quality/tool-life)>. Acesso em: 31 ago. 2017b.

SANDVIK COROMANT. **O processo de fresamento**. Disponível em: <[http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/formulas\\_and\\_definitions/the\\_milling\\_process](http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/formulas_and_definitions/the_milling_process)>. Acesso em: 19 ago. 2017c.

SANDVIK COROMANT. **Faceamento geral**. Disponível em: <[http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/application\\_overview/face\\_milling/general\\_face\\_milling](http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/application_overview/face_milling/general_face_milling)>. Acesso em: 23 jul. 2017d.

SCHROETER, R. B.; WEINGAERTNER, W. L. **Tecnologia da Usinagem com Ferramentas de Geometria Definida - Parte 1**. 2002. 355 p. Apostila. Notas de aula.

STEMMER, C. E.. **Ferramentas de corte 2**. 2 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995. 313 p.

STOETERAU, R. L. **Tribologia**: Apostila. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina - Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Mecânica, 2004. 172 p.

STONE, R. **Introduction to internal combustion engines**. 2 ed. Houndmills, Basingstoke, Hampshire and London: MACMILLIAN, 1992. 574 p.