

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

ROBSON LUAN RODRIGUES

ESTUDO COMPARATIVO DA LUBRI-REFRIGERAÇÃO CONVENCIONAL E  
OTIMIZADA NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO FERRO FUNDIDO FC200

JARAGUÁ DO SUL

Junho/2019

ROBSON LUAN RODRIGUES

Estudo Comparativo Da Lubri-Refrigeração Convencional E Otimizada No Processo  
De Torneamento Do Ferro Fundido Fc200

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Tiago da Silva, Mestre

JARAGUÁ DO SUL

Junho/2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

Rodrigues, Robson Luan

Estudo Comparativo Da Lubri-Refrigeração Convencional  
E Otimizada No Processo De Torneamento Do Ferro Fundido  
Fc200 / Robson Luan Rodrigues ; orientação de Tiago  
da Silva. Jaraguá do Sul, SC, 2019.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -  
Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .  
Inclui Referências.

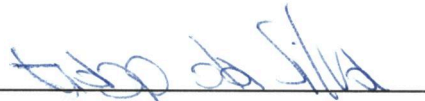
1. Fluido de corte. 2. Lubri-refrigeração. 3. Torneamento.  
I. Silva, Tiago da. II. Instituto Federal de  
Santa Catarina. . III. Título.

ROBSON LUAN RODRIGUES

ESTUDO COMPARATIVO DA LUBRI-REFRIGERAÇÃO CONVENCIONAL E  
OTIMIZADA NA USINAGEM POR TORNEAMENTO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em  
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de  
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo  
indicada.


Jaraguá do Sul, 18 de junho de 2019



Prof. Me. Tiago da Silva

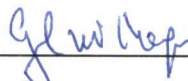
Orientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul – RAU



Prof. Me. Delcio Luis Demarchi

IFSC – Campus Jaraguá do Sul – RAU



Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas

IFSC – Campus Jaraguá do Sul – RAU

## RESUMO

O constante avanço tecnológico aumenta a disputa entre empresas para se manter no mercado. Transformar e inovar sua forma de produção, garantindo reduções de desperdícios e de custos, são formas de se manter competitivo. Com esta ideia, em um processo de usinagem de peças, procura-se buscar uma forma de reduzir os seus custos de fabricação, assim como buscar a melhor qualidade possível. A utilização do fluido de corte aumenta o custo da usinagem, devido a sua manutenção, descarte e demais cuidados. No entanto, a utilização do fluido traz benefícios na usinagem como o aumento da vida útil das ferramentas de corte, auxílio na limpeza durante a usinagem, e na redução das alterações das propriedades mecânicas do material usinado. Isto demonstra porque o fluido de corte é tão utilizado na usinagem. Portanto este trabalho trata-se de uma pesquisa aplicada, em uma indústria que efetua a usinagem de peças de ferro fundido cinzento FC200. O objetivo é comparar qual método de lubri-refrigeração tem melhor desempenho entre o método convencional e o método otimizado, no processo de torneamento. Para isso, foi feito o estudo sobre as formas utilizadas de aplicação de fluido de corte, entre o método convencional do processo já definido pela própria indústria e um bico otimizado. O bico otimizado foi desenvolvido seguindo um formato proposto pela literatura estudada e adaptado às características da indústria. Através das variações destas configurações, realizou-se a usinagem de diversas peças para cada método, com uma execução de réplica de teste para uma maior confiabilidade. Com os dados analisados em laboratórios, os principais aspectos estudados, foram o desgaste das duas ferramentas, utilizadas para usinar o componente, e rugosidade superficial do material usinado. Constatou-se a melhor eficiência do bico proposto, tendo este maior eficiência em ambos aspectos estudados, de desgaste e rugosidade superficial.

Palavras-Chave: Fluido de corte - Lubri-refrigeração - Torneamento

## **ABSTRACT**

The reach of technologies raises a dispute between companies to stay in the market. Transforming and innovating your way of production, ensuring reductions in waste and costs, are ways to stay competitive. With this idea, in a process of machining parts, it is sought to find a way to reduce its manufacturing costs, as well as to seek the best possible quality. The use of cutting fluid increases the cost of machining due to maintenance, disposal and other care. However, the use of the fluid brings benefits in the machining as the increase of the life of the tools of cut, aid in the cleaning during the machining, and in the reduction of the changes of the mechanical properties of the machined material. This demonstrates why cutting fluid is so widely used in machining. Therefore, this work is an applied research in an industry that machining parts of FC200 gray cast iron. The objective is to compare which lubrication-cooling method has the best performance between the conventional method and the optimized method in the turning process. For this, the study was performed on the forms of application of cutting fluid, between the conventional method of the process already defined by the industry itself and an optimized nozzle. The optimized nozzle was developed following a design proposed by the literature studied, and adapted to the characteristics of the industry. Through the variations of these configurations, several parts were machined for each method, with a test replica execution for greater reliability. With the data analyzed in laboratories, the main aspects studied were the wear of the two tools, used for machining the component, and surface roughness of the machined material. It was verified the best efficiency of the proposed nozzle, having this greater efficiency in both aspects studied, wear and surface roughness.

Keywords: Cutting fluid - Lubri-refrigeration - Turning

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Furação de corda puxada .....	14
Figura 2: Parâmetros de Torneamento .....	16
Figura 3: Formação do cavaco e plano de cisalhamento .....	17
Figura 4: Formas do cavaco - 1) Em fita; 2) Helicoidal; 3) Espiral; 4) Em lascas .....	18
Figura 5: Tipos de ferramentas.....	21
Figura 6: Ferramenta de barra para torneamento e suas partes construtivas.....	23
Figura 7: Ângulos das arestas de corte, no sistema de referência da ferramenta, no torneamento cilíndrico. ....	24
Figura 8: Ângulos de cunha, saída e de folga da ferramenta .....	24
Figura 9: Formas de insertos e suas influências .....	26
Figura 10: Microestrutura dos Ferros Fundidos a) Maleável b) Branco c) Cinzento..	27
Figura 11: Aplicação de Fluido de Corte em Processo de Furação .....	30
Figura 12: Exemplos de Métodos de Aplicação do Fluido de Corte .....	32
Figura 13: Modelo de Bico Otimizado .....	33
Figura 14: Modelo Bico Convencional, Corte em Perfil .....	35
Figura 15: Modelo Bico Otimizado, Corte em Perfil.....	35
Figura 16: Simulação de Usinagem do Bico Otimizado .....	36
Figura 17: Bicos em Vista Superior – a) Bico convencional – b) Bico otimizado.....	36
Figura 18: Modelo do Corpo de Prova dos Ensaios .....	37
Figura 19: Insertos de Corte – a) Inseto de desbaste – b) Inseto de acabamento..	38
Figura 20: Flancos Utilizados do Inseto - a) Flanco 1 - b) Flanco 2 .....	38
Figura 21: Jatos de Fluido de Corte - a) Jato de fluido do bico principal - b) o jato lançado pelo bico secundário: .....	40
Figura 22: Comparação Entre Ensaios - a) Bico otimizado - b) o bico convencional. ....	41
Figura 23: Corpo de Prova com Rugosidade Avaliada .....	42
Figura 24: Processo de Medição de Desgaste da Ferramenta .....	42
Figura 25: Comparação de Desgaste na Face de Saída de Cavaco do Inseto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado.....	43
Figura 26: Comparação de Desgaste na Face de Saída do Cavaco – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado .....	44
Figura 27: Desgaste do Flanco 1 do Inseto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado .....	44
Figura 28: Desgaste do Flanco 1 do Inseto de Acabamento – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado .....	45
Figura 30: Desgaste do Flanco 2 do Inseto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado .....	46
Figura 31: Desgaste no Flanco 2 do Inseto de Acabamento – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado .....	47
Figura 32: Gráfico Comparativo de Desgaste do Flanco 2 nos Insetos .....	47
Figura 33: Desgaste na Ponta do Inseto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado .....	48
Figura 34: Desgaste na Ponta do Inseto de Acabamento – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado .....	49
Figura 35: Gráfico Comparativo de Desgaste de Ponta nos Insetos.....	49
Figura 36: Desgaste no Revestimento do Inseto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado .....	50

Figura 37: Gráfico Comparativo de Desgaste do Inserto de Desbaste .....	51
Figura 38: Gráfico Comparativo de Desgaste do Inserto de Acabamento.....	51
Figura 39: Gráfico Comparativo de Rugosidade Superficial Média (Ra) .....	53



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 Objetivos .....	12
1.1.1 Objetivo geral .....	12
1.1.2 Objetivo específico .....	12
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Usinagem .....</b>	<b>13</b>
2.1.1 Histórico da Usinagem.....	14
2.1.2 Torneamento .....	15
2.1.3 Formação do Cavaco.....	16
2.1.3.1 Tipos de Cavaco .....	18
2.1.4 Temperatura de Corte .....	19
2.1.5 Ferramentas de Corte.....	20
2.1.5.1 Ferramentas de corte e suas partes construtivas .....	22
2.1.5.2 Insetos de Usinagem .....	25
<b>2.2 Ferro Fundido .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3 Lubri-refrigeração .....</b>	<b>28</b>
2.3.1 Função da lubri-refrigeração .....	28
2.3.2 Problemas Causados à Saúde e Meio Ambiente.....	30
2.3.3 Funcionamento do Lubri-refrigerante.....	30
2.3.4 Métodos de Aplicação da Lubri-refrigeração.....	31
2.3.4 Modelo de Bico Otimizado .....	33
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
3.1 Modelagem e Fabricação do Bico Otimizado .....	34
3.2 Ensaio Realizados .....	37
3.3 Medição da Rugosidade .....	41
3.4 Medição do Desgaste da Ferramenta.....	42
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
4.1 Desgaste da Ferramenta .....	43
4.1.1 Desgaste na Face de Saída do Cavaco.....	43
4.1.2 Desgaste do Flanco 1 .....	44
4.1.3 Desgaste do Flanco 2 .....	46
4.1.4 Desgaste de Ponta.....	48

4.1.5 Desgaste Geral .....	50
4.2 Consumo de Fluido de Corte .....	52
4.3 Rugosidade Superficial .....	52
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE A – Valores dos Desgastes Ocorridos nos Insertos .....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE B – Valores das Medidas de Rugosidade dos Corpos de Prova.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O constante avanço tecnológico aumenta a disputa entre empresas para se manter no mercado. Transformar e inovar sua forma de produção, garantindo reduções de desperdícios e de custos, e entregar um produto com uma melhor qualidade, são formas de se manter competitivo.

Para a produção de diversos tipos de produtos, as indústrias utilizam o processo de usinagem. Esta operação, é definida por dar forma, acabamento e dimensões a uma peça por meio de remoção de material. As ferramentas de corte empregadas para realizar esta remoção, sempre foram muito exigidas, sendo utilizadas até seus limites para que o máximo de aproveitamento fosse retirado delas.

Durante a usinagem um grande aumento de temperatura acontece e com isso o desgaste da ferramenta aumenta. Então, para estender a vida útil de uma ferramenta, sempre foi uma solução comum para esse problema a refrigeração com fluido de corte.

Esta refrigeração traz como principais benefícios o aumento na vida útil das ferramentas de corte, facilitar a remoção e quebra de cavaco, e ameniza as alterações nas propriedades mecânicas do material. Isso demonstra porque o fluido de corte é tão utilizado na usinagem (RUNGE; DUARTE, 1989).

O fluido de corte traz este benefício para a usinagem, porém junto a ele alguns pontos negativos estão associados. Traz riscos ao meio ambiente podendo poluir ar, água e solo durante a sua utilização, durante o descarte ou durante o seu processamento. A saúde de quem trabalha com este produto também pode ser afetada, causando diversos tipos de câncer, danos no aparelho respiratório e dermatites (STEPHENSON; AGAPIOU, 2016).

O fluido eleva diretamente os custos de produção, devido a necessidade de descarte, monitoramento e manutenção do produto. Um dos grandes desafios da indústria é conseguir otimizar a utilização de fluido de corte, e assim surge a pergunta: como melhorar a eficiência da lubri-refrigeração, para reduzir os custos de processo e melhorar a qualidade do produto no processo de fabricação de peças por usinagem?

Para atingir o objetivo deste estudo, foi avaliado qual o melhor método, entre dois bicos para aplicação de fluido de corte, visando os maiores benefícios para este processo, em termos de qualidade do produto e redução de desgaste de ferramenta. Além de adquirir e disseminar o conhecimento tecnológico sobre o processo.

Com estes benefícios, os custos de produção também diminuirão, pois no processo de usinagem, o custo com ferramentas representa uma importante fatia dos gastos totais. Os produtos terão também uma melhor qualidade, diminuindo a sua rugosidade.

Uma pesquisa aplicada foi realizada em uma indústria. Para aprimorar a forma de lubri-refrigeração ensaios práticos foram realizados na própria empresa, durante a produção dos componentes.

Foram feitas comparações, entre realizar uma usinagem com diferentes formas de lubri-refrigeração, variando entre a utilização do bico convencional, este já utilizado no processo padrão da indústria, e um bico otimizado, que foi desenvolvido seguindo um formato proposto pela literatura estudada. O fluido utilizado é sintético, a base de água.

Os resultados obtidos em campo foram analisados e medidos em laboratório, onde tanto a rugosidade superficial dos componentes, quanto os desgastes das duas ferramentas foram verificados. Posteriormente os dados foram avaliados para possibilitarem uma discussão sobre a eficiência do bico otimizado, em relação ao convencional.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é comparar qual método de lubri-refrigeração tem melhor desempenho entre o método convencional e o método otimizado, no processo de torneamento do Ferro Fundido FC200.

### **1.1.2 Objetivo específico**

- a) Desenvolver o bico otimizado, baseado em um modelo proposto pela literatura.
- b) Usinar uma quantidade de peças para que os insertos apresentem desgaste, e variar os bicos de aplicação de fluido.
- c) Avaliar a superfície usinada das amostras dos testes, para medir a rugosidade.
- d) Avaliar o desgaste das ferramentas, através de um estereoscópio.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A compreensão de alguns conceitos se torna necessário para que se alcance os objetivos deste trabalho. Autores e pesquisadores como Shaw (2005), Trent e Wright (2000), trazem um entendimento da usinagem como o funcionamento do arrancamento de material. Este conhecimento é necessário para que possa existir uma análise do real benefício do fluido de corte.

### 2.1 Usinagem

Entende-se que a fabricação é a transformação de uma matéria-prima em um produto. O que caracteriza o processo de fabricação, que faz essa transformação, são as modificações pelas quais passam a matéria-prima, durante o processo até seu estágio final.

Cada processo de fabricação possui suas próprias características, que os distinguem dos demais. Como por exemplo a soldagem, faz uma junção de peças adicionando um metal fundido entre elas. A conformação que deforma plasticamente até obter a geometria esperada. Ou a fundição que funde um metal e depois vaza-o em um molde para que este obtenha a forma desejada (SANTOS; SALES, 2007).

O processo de fabricação por usinagem permite obter o produto transformando a matéria-prima através da remoção de material em forma de cavaco. Pode-se definir cavaco, como uma porção de material com forma geométrica irregular, retirado da peça por uma ferramenta (SANTOS; SALES, 2007; FERRARESI, 1970).

Segundo Santos e Sales (2007), a usinagem é dividida em duas categorias, que se distinguem pelo tipo de energia aplicada para remoção de material. A usinagem convencional remove o material por cisalhamento, devido a ação de uma ferramenta de corte.

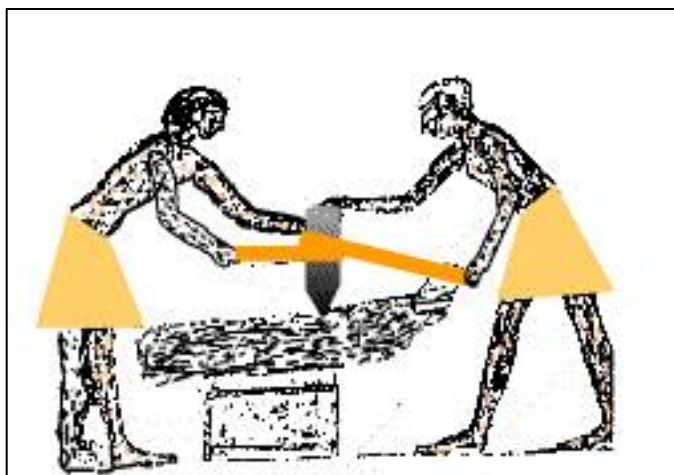
Alguns exemplos destes processos são o torneamento, furação e o fresamento. A usinagem não convencional, possui diversas outras energias aplicáveis que podem remover o material de uma peça, como nos processos de plasma, laser, ultrassom, entre outros.

### 2.1.1 Histórico da Usinagem

Para Santos e Sales (2007) e Machado et al. (2009), como basicamente a usinagem é caracterizada por transformar uma matéria-prima em produto através de uma remoção de material, pode-se dizer que o início da usinagem em épocas remotas foi na Idade da Pedra Lascada. Quando o homem começou a produzir seus artefatos e ferramentas rudimentares.

Muito tempo depois houve um grande avanço quando se transformou um movimento de translação em rotação. Aplicando este princípio para fazer furações, sendo conhecido como furação de corda puxada assim mostrado na figura 1. Como primeira contribuição relevante, John Wilkinson construiu em 1774 uma máquina para mandrilar cilindros de maquinas a vapor garantindo maiores precisões.

Figura 1: Furação de corda puxada



Fonte: Santos e Sales (2007)

A revolução industrial impulsionou também a indústria Metalmeccânica, e dessa forma apareceram novas máquinas-ferramentas, que eram responsáveis por fabricar outras variedades de máquinas e também instrumentos, podendo substituir em várias atividades parte do trabalho humano. A necessidade por novas tecnologias foi o motivo que alavancou a criação de novos processos.

Henry Maudslav desenvolveu em 1797 o primeiro torno com avanço automático, que permitia produzir roscas com passos definidos. Em 1860 surgiu a retificadora, e a primeira fresadora universal veio a ser criada em 1862 por J.R. Brown. E assim os processos de usinagem começam a surgir um após o outro.

Produtos mais duráveis e feitos de materiais mais difíceis de serem usinados

surgiram pelo século XX dando força e importância aos processos não convencionais de usinagem. Estes possuem melhor capacidade para fabricá-los. Além das garantias dimensionais mais apertadas e dos ótimos acabamentos superficiais que estes trazem (MACHADO et al., 2009).

### 2.1.2 Torneamento

O torneamento, que é um exemplo de usinagem convencional, é um dos processos mais comumente utilizados na usinagem. O material a ser usinado é fixado em uma placa e rotacionado enquanto uma ferramenta que fica presa firmemente no porta-ferramenta e que avança com movimentos constantes ao eixo de um plano, faz a remoção de material da peça (TRENT; WRIGHT, 2000).

Os parâmetros de corte que são grandezas de deslocamento da peça ou da ferramenta, assim como a geometria da ferramenta de corte, são os dois fatores que possuem as maiores influências sobre este processo de torneamento, alterando de forma significativa na qualidade do produto final, e no tempo de vida útil da ferramenta.

De acordo com Machado et al. (2009), os movimentos e velocidades que diretamente influenciam na remoção são:

- a) Velocidade de corte: é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido do corte. E no torneamento por ser um processo com movimento de rotação, a velocidade de corte é diretamente dependente da rotação e do diâmetro da peça. Quanto maior a rotação e o diâmetro, maior será a velocidade com que a aresta de corte passará pelo ponto de referência. A velocidade de corte pode ser calculada pela equação (1).

$$vc = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \quad (1)$$

Onde:

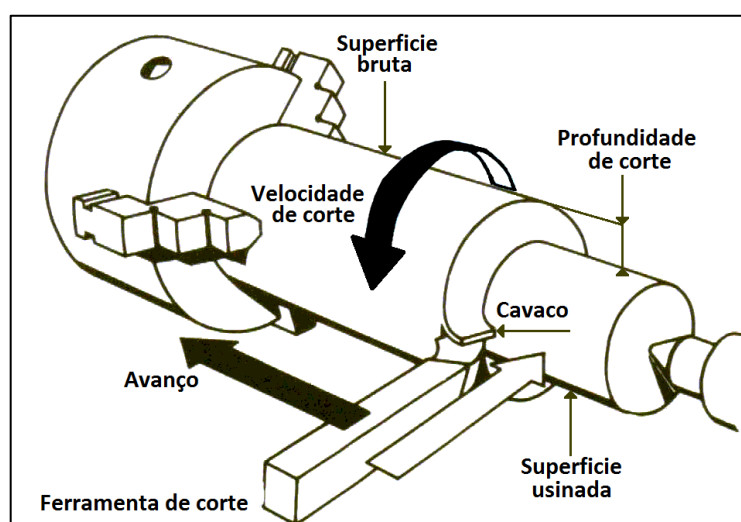
vc = Velocidade de corte (m/min).

d = Diâmetro da peça (mm).

$n$  = Número de rotações por minuto.

- b) Movimento de avanço: realizado entre a peça e a aresta de corte, o qual, com o movimento de corte provoca a retirada contínua de cavaco. Este medido pela distância que a ferramenta percorre por tempo ou revolução da peça.
- c) Profundidade de corte: é a profundidade, ou largura de penetração da ferramenta em relação a peça, esta é medida perpendicularmente ao plano de trabalho. Estes parâmetros apresentados podem ser observados na figura 2.

Figura 2: Parâmetros de Torneamento



Fonte: Adaptado de Barbosa (2015)

### 2.1.3 Formação do Cavaco

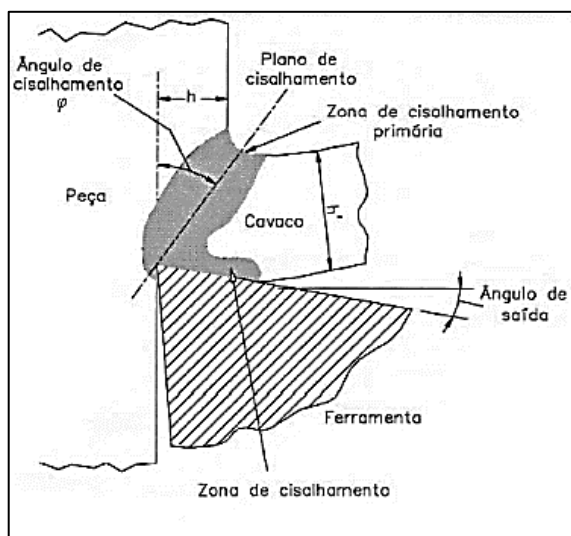
Para Trent e Wright (2000), a penetração da ferramenta na peça faz uma porção pequena de material se deformar plasticamente, e é denominada processo de corte. Este processo aumenta as tensões e faz com que ocorra o cisalhamento e escoamento pela superfície da ferramenta, formando o cavaco. Neste processo, todo o volume de metal removido, como dito, é plasticamente deformado, e assim uma grande quantidade de energia é necessária para formar o cavaco e continuar o movimento de avanço.

O corte dos metais envolve o cisalhamento concentrado ao longo de um plano chamado plano de cisalhamento. O ângulo entre o plano de cisalhamento e a direção de corte é chamado de ângulo de cisalhamento. Quanto menor o ângulo de saída, maior a variação da direção de fluxo do cavaco, maior sua deformação e menor o ângulo de cisalhamento. Consequentemente, maior a razão  $h / h'$  vista na figura 3,



chamada de grau de recalque (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Figura 3: Formação do cavaco e plano de cisalhamento



Fonte: Santos e Sales (2007)

Com estas medidas é possível determinar qual a quantidade de deformação que o cavaco sofreu, e também descobrir a velocidade de saída deste. O cavaco é formado basicamente por quatro etapas.

- Deformação elástica ou recalque;
- Deformação plástica;
- Ruptura;
- Movimento do cavaco sobre a superfície da ferramenta;

Durante a usinagem, quando a ferramenta penetra na peça para remover o cavaco, a ferramenta exerce uma força de compressão contra a peça, recalcando uma parte de material elástica e plasticamente. A deformação plástica aumenta até que a tensão de cisalhamento seja alta o suficiente, para fazer esse material deslizar pela ferramenta, mas ainda sem que esse material seja rompido da peça.

A região entre a peça e o material recalcado recebe o nome de plano de cisalhamento. Conforme a ferramenta continuar a penetrar na peça, haverá uma ruptura completa ou parcial neste plano, dependendo das condições de corte e da ductilidade do material (MACHADO et al., 2009).

Continuando o movimento da ferramenta relativa a peça ocorre o escorregamento dessa porção de material que foi cisalhada e deformada, sobre a

superfície de saída da ferramenta, paralelamente a sua face. Simultaneamente, uma nova porção de material já está se formando, adjacente a porção que acabou de se romper, repetindo novamente o fenômeno ocorrido (MACHADO et al., 2009).

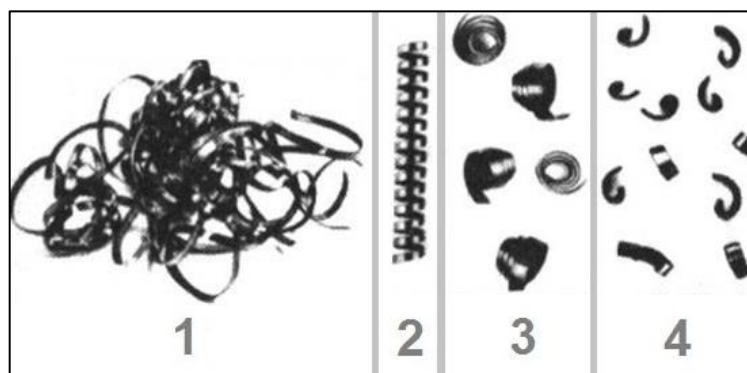
A formação do cavaco influencia diversos fatores ligados à usinagem, tais como o desgaste da ferramenta, os esforços de corte, o calor gerado na usinagem, a penetração do fluido de corte, entre outros. Estão também envolvidos com o processo de formação do cavaco aspectos econômicos e de qualidade da peça, segurança do operador e também a utilização adequada da máquina-ferramenta (SANTOS; SALES, 2007).

### 2.1.3.1 Tipos de Cavaco

O cavaco é variável em forma e tamanho nas operações de usinagem. Em baixas velocidades de corte, os materiais frágeis como o ferro fundido cinzento, podem ser produzidos em lascas. Esse cavaco descontínuo é uma das principais classes de forma de cavacos e tem a vantagem prática de ser facilmente eliminado da área de corte.

Uma quantidade grande de deformação ocorre na região de corte em um intervalo de tempo curto, e nem todos os metais e ligas podem suportar esta tensão sem fratura. No entanto, sob a maioria das condições de corte, metais dúcteis e ligas não fraturam no plano de cisalhamento, e um cavaco contínuo é produzido (Figura 4). Cavacos contínuos podem adotar muitas formas, como fita, helicoidal e espiral. (TRENT; WRIGHT, 2000).

Figura 4: Formas do cavaco - 1) Em fita; 2) Helicoidal; 3) Espiral; 4) Em lascas



Fonte: Adaptado de Diniz, Marcondes e Coppini (2013)

A forma do cavaco interfere em diversos fatores e pode trazer diversos problemas como Diniz, Marcondes e Coppini (2013) apontam:

- a) Possíveis danos a peça e ferramenta: O cavaco em forma de fita pode se enrolar na peça e danificar seu acabamento superficial. Desta mesma forma, pode também ao se enrolar, atingir a interface peça-ferramenta e causar a quebra da ferramenta.
- b) Armazenamento e manuseio do cavaco: Um cavaco longo ocupa um volume muito maior, sendo mais difícil de manipular.
- c) Forças de corte, vida útil da ferramenta e temperatura: Para aumentar a capacidade de quebra do cavaco, aumentando a deformação deste, pode-se exagerar nos esforços de corte, reduzindo a vida útil da ferramenta e aumentando a temperatura de corte.
- d) Segurança do trabalhador: O cavaco longo pode atingir o operador e machucá-lo. Este também pode ficar emaranhado, e ao tentar remove-lo, causar acidentes.

#### **2.1.4 Temperatura de Corte**

Stephenson e Agapiou (2016) afirmam que durante o corte do metal, para deformar uma porção de material e superar o atrito entre a ferramenta e a peça, uma forma de energia é utilizada. Praticamente toda essa energia acaba sendo convertida em calor, gerando altas temperaturas nas regiões próximas a área que foi removido o cavaco e na ferramenta.

As forças envolvidas na usinagem são relativamente baixas se comparadas com outros processos de fabricação de metais, como o forjamento. A camada de material que é removida é fina e para isso basta uma força de algumas dezenas ou centenas de quilos. Porém, devido a pequena área de contato, acaba tornando a tensão de corte exercida, umas das maiores de todas as operações de processamento de metal (TRENT; WRIGHT, 2000).

As temperaturas de corte afetam o desempenho da usinagem. E para Stephenson e Agapiou (2016) estas influenciam nas propriedades mecânicas do material a ser usinado. Também possuem forte influência na vida útil da ferramenta,

pois conforme a temperatura aumenta, faz com que a ferramenta tenha sua dureza diminuída ou se desgaste mais rapidamente.

O parâmetro que mais influencia na temperatura é a velocidade de corte. Com o aumento desta, a força de corte diminui e a taxa da qual a energia se dissipa aumenta. Também influenciam na temperatura, mas com menos intensidade, o ângulo de inclinação da ferramenta e a profundidade de corte.

Segundo Stephenson e Agapiou (2016), em uma velocidade de corte de 300m/min, a temperatura na interface ferramenta-cavaco é de aproximadamente:

- a) 400°C para uma liga de alumínio com dureza Brinell de 100.
- b) 750°C para o ferro fundido cinzento com dureza Brinell de 200.
- c) 1000°C para um aço dúctil com dureza Brinell de 200.

### **2.1.5 Ferramentas de Corte**

O processo de corte é algo que todos conhecem, como por exemplo utilizar uma faca com duas faces e que possui um pequeno ângulo incluso, para o corte de um pão. Se a faca for bem afiada o corte será feito com o uso de força reduzida, separando as partes do alimento cortado.

O corte de metais não funciona desta forma, pois possuem ligas muito duras, com isso se faz necessário utilizar uma ferramenta que possua uma cunha de grande ângulo, e que se dirija assimetricamente em direção ao material, para retirar pequenas camadas, de forma que a ferramenta suporte a tensão requerida (TRENT; WRIGHT, 2000).

O formato que a ferramenta tem impacta diretamente em seu desempenho de usinagem. Este afeta a qualidade das peças produzidas e quando bem projetado garante uma longa vida útil. Alguns exemplos de ferramentas podem ser vistos na figura 5.

Boas escolhas para a sua construção garantem menores custos de produção para uma peça, ou seja, a ferramenta afeta enormemente na economia de um processo. Cada processo possui também uma grande gama de escolhas de ferramentas de corte (STEPHENSON; AGAPIOU, 2016).

Figura 5: Tipos de ferramentas



Fonte: Pxhere (2017)

Para Weingaertner e Schroeter (1991) conhecer o processo de corte utilizado, e como o cavaco é formado mecanicamente, ajuda a entender e tornar esse meio de fabricação economicamente viável. Através de análises, é possível escolher quais as melhores formas de se construir uma ferramenta de corte, para se atingir tal objetivo.

Santos e Sales (2007) dizem que para a construção de uma ferramenta é necessário um material que possua dureza e tenacidade para suportar as tensões e condições agressivas. Também é necessário ter propriedades mecânicas de resistência as altas temperaturas geradas pela usinagem e resistência ao desgaste.

Existe uma gama enorme de materiais utilizados para confeccionar ferramentas de corte, cada um com características e valores de custos de produção diferentes. Os mais conhecidos ou utilizados são:

- a) Aços-carbono: Propriedades de dureza e resistência ao desgaste. Porém com o aumento da temperatura essas características mecânicas diminuem, conseqüentemente gerando baixa produtividade em sua utilização.
- b) Aços-rápido: Com propriedades similares aos Aços-carbono, porém após uma alteração em sua composição química e sofrer tratamento térmico, este recebe melhores resistências a temperaturas elevadas. Devido a seu baixo custo de produção e boas características, este ainda é um dos materiais mais utilizados nos dias de hoje para produção de ferramentas de corte.
- c) Ligas fundidas: Feitas a base de cobalto e cromo, estas se comparadas com o aço-rápido, saem na frente, pois possuem durezas e resistências a temperatura

mais elevadas. Porém a escassez de matéria-prima, aumentando seu custo de produção, levou-as ao desuso.

- d) Ferramentas de metal duro: Produzido a partir do carboneto de tungstênio e cobalto, ambos em pó, e outras ligas. Com excelentes propriedades de dureza e resistência ao desgaste. Este foi um dos marcos na evolução dos materiais para ferramenta de corte, e amplamente utilizado na atualidade.
- e) Ferramentas de Cerâmica: Compostas de materiais metálicos e não metálicos, possuem alta resistência ao calor e ao desgaste, porém devido a sua fragilidade e seu alto custo acabam tendo uma aplicação limitada.
- f) Ultraduros: Com altíssimas durezas, superior a 3000 HV, materiais como o diamante natural, nitreto de bório cúbico (CBN), e diamante sintético policristalino (PCD). Possuem boa tenacidade, ótima resistência ao desgaste e um alto custo. Destes materiais citados, o mais indicado para usinagem do ferro fundido é o CBN, devido a sua afinidade química.

Além de escolher o material a ser utilizado para sua construção, pode-se revestir esta ferramenta, melhorando suas características. O revestimento funciona como uma barreira entre a peça e a ferramenta, aumentando sua resistência ao desgaste, a temperatura e a reações químicas. Dessa forma, possibilitam trabalhar em condições mais agressivas (STEPHENSON; AGAPIOU, 2016).

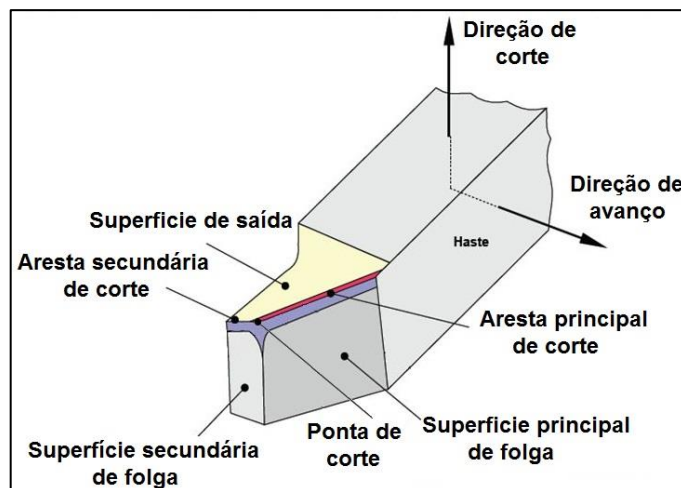
Os métodos de aplicação mais utilizados de revestimento são o CVD, que realiza uma deposição de vapor químico, e também o PVD, que realiza uma deposição por vapor físico. O CVD possui em geral, melhores características se comparado ao PVD, porém possui uma gama menor de materiais em que pode aplicar o revestimento.

#### 2.1.5.1 Ferramentas de corte e suas partes construtivas

A ferramenta de corte possui diversas formas e características que influenciam na usinagem, como ângulos, arestas, e planos que compõe toda sua geometria. Estas partes podem ser vistas na figura 6. Segundo Santos e Sales (2007), as ferramentas apresentam tais partes construtivas:

- a) Cunha de corte: formada pelas superfícies de saída e de folga da ferramenta. Através do movimento de corte, os cavacos se formam sobre a cunha cortante.
- b) Superfície de saída: superfície pela qual o cavaco desliza. Superfície de folga: define a folga entre a ferramenta de corte e a superfície de trabalho.
- c) Arestas de corte: compostas pelas superfícies de folga e de saída. Dessa forma são definidas a aresta principal e a aresta secundária de corte.
- d) Aresta principal de corte: a cunha de corte a  $90^\circ$  da direção do avanço, quando observada no plano de trabalho.
- e) Aresta secundária de corte: outra cunha de corte, que aponta a uma direção contrária à do avanço, vista no plano de trabalho.
- f) Ponta de corte: intersecção das duas arestas de corte, primária e secundária.

Figura 6: Ferramenta de barra para torneamento e suas partes construtivas



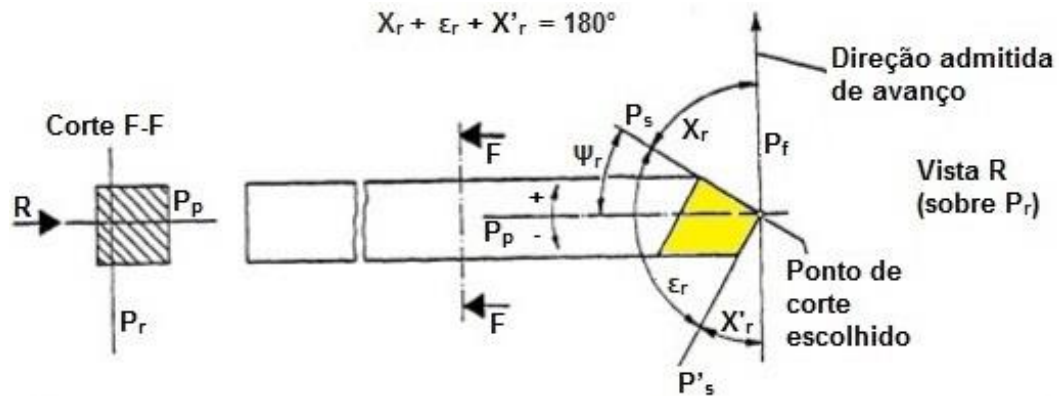
Fonte: Adaptado de Martin e Ferreira (2015)

Machado et al. (2009) afirmam que os ângulos descritos a seguir e demonstrados na figura 7, possuem um papel importante durante o corte, e por esse fator, suas configurações precisam ser determinadas com cuidado e muita análise.

O ângulo de posição ( $X_r$ ), que geralmente varia entre  $45^\circ$  a  $95^\circ$ , possui funções como distribuir as tensões de corte no início e no fim de corte de forma favorável, e também este influencia na direção de saída do cavaco.

O ângulo de ponta ( $\epsilon_r$ ) é definido pelo formato da ferramenta, por exemplo, em insertos triangulares  $60^\circ$  e para insertos quadrados  $90^\circ$ . Este ângulo tem como principal função assegurar a resistência da ponta da ferramenta, e sua capacidade de dissipar o calor.

Figura 7: Ângulos das arestas de corte, no sistema de referência da ferramenta, no torneamento cilíndrico.



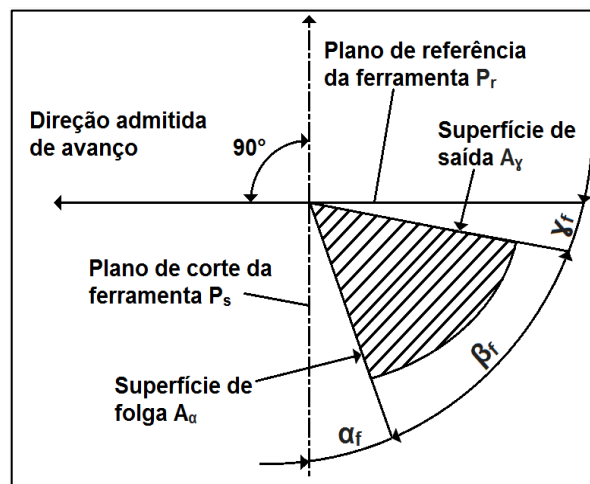
Fonte: Adaptado de Diniz, Marcondes e Coppini (2013)

Ainda para Machado et al. (2009), o ângulo de saída da ferramenta ( $\gamma$ ), é o ângulo entre o plano de referência da ferramenta ( $P_r$ ) e a superfície de saída ( $A_\gamma$ ). Este influencia na força e na potência necessárias ao corte, pois quanto menor o ângulo menor será o encruamento do material do cavaco. Conseqüentemente, o acabamento da peça e a temperatura de corte também serão afetados.

O ângulo de folga ( $\alpha_f$ ) evita o atrito entre a superfície de folga e a peça. Quando muito alto a cunha da ferramenta perde resistência, aumentando as chances de quebrar. Se for muito baixo a cunha pode não penetrar adequadamente na peça e prejudicar também o acabamento.

O Ângulo de cunha da ferramenta, é o ângulo entre a superfície de folga ( $A_\alpha$ ) e a superfície de saída ( $A_\gamma$ ). Podendo estes ângulos serem observados na figura 8 a seguir:

Figura 8: Ângulos de cunha, saída e de folga da ferramenta



Fonte: Adaptado de Diniz, Marcondes e Coppini (2013)



Outras características importantes, segundo Machado et al. (2009) são o raio de ponta e o quebra-cavaco. O raio de ponta define a resistência mecânica que a ponta da ferramenta irá ter e possui grandes influências no acabamento superficial deixado na peça. O quebra-cavaco por sua vez é uma alteração na geometria da ferramenta, que tem como principal função provocar uma fratura periódica do cavaco.

O formato longo do cavaco prejudica em diversos fatores como acabamentos superficiais da peça, aumento da força de usinagem, aumento de temperatura e prejudica o acesso do fluido lubri-refrigerante. Uma opção comum é o uso de ferramentas com quebra-cavaco para controlar o seu comprimento.

Existem diversos tipos de ferramentas com quebra-cavacos, estas com alterações na sua superfície de saída para que causem uma curvatura mais acentuada nos cavacos, fazendo com que se quebrem por flexão.

#### 2.1.5.2 Insertos de Usinagem

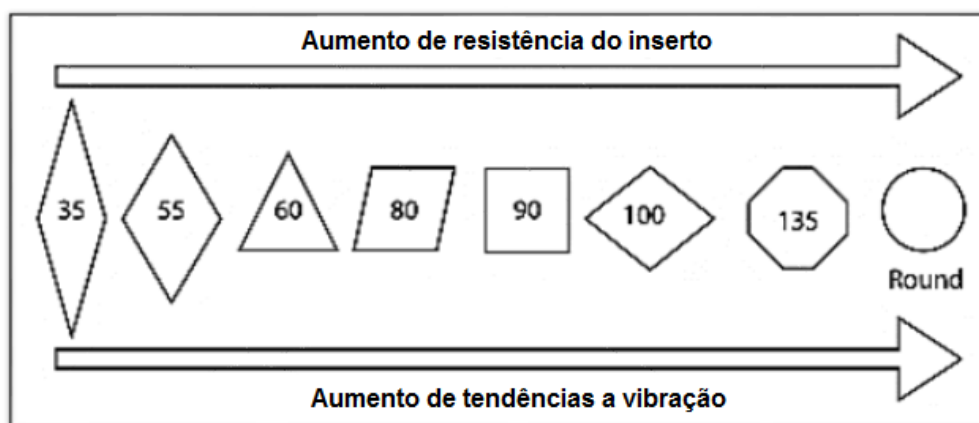
Definindo a ferramenta de corte com seu tipo de material, suas partes e seus ângulos, pode-se fabricar uma ferramenta que traga as melhores influências na força de corte, saída do cavaco, desgaste de ferramenta, qualidade superficial, entre outras, para se alcançar o melhor desempenho.

Segundo Stephenson e Agapiou (2016), o processo de torneamento é realizado principalmente com ferramentas de corte de ponto único de contato. No passado, estas ferramentas eram inteiriças e sólidas, já atualmente, o mais comum é o uso de insertos de usinagem removíveis.

Estes insertos possuem diversas formas, que determinam algumas características da ferramenta. Quanto maior for o ângulo incluído, da parte interna do inserto, maior será a velocidade com que a ferramenta dissipará o calor, e maior também será a sua força. Além disso, o seu formato influencia no número de arestas de corte que este inserto possuirá.

O ângulo incluído possui uma seleção limitada por fatores como tolerâncias exigidas, material e geometria da peça e quantidade de material a ser removido. Conforme for aumentado a tendência a ocorrência de vibrações cresce. Como exemplo, um inserto redondo possui máxima resistência da aresta, sendo ótimos para desbaste, e também possuem o máximo de números de arestas de corte. Sendo exemplificando o este aumento de resistência e tendência a vibrações na figura 9.

Figura 9: Formas de insertos e suas influências



Fonte: Adaptado de Stephenson e Agapiou (2016)

## 2.2 Ferro Fundido

Para Shaw (2005), os ferros fundidos são ligas de ferro que possuem de 2 a 4% de carbono. O modo com que são produzidos, adicionando elementos de liga ou controlando o seu resfriamento, influencia diretamente em suas propriedades mecânicas. Esses modos de produção, acabam alterando também o seu reticulado cristalino.

Segundo Chiaverini (2005), quando o reticulado cristalino do ferro fundido muda, acaba alterando as fases de sua microestrutura. Algumas das fases conhecidas são:

- a) Austenita: É deformável como o ferro, pouco dura, apresenta grande resistência ao desgaste, não magnética, e é o constituinte mais denso dos aços e não é atacada por reagentes.
- b) Ferrita: É o constituinte básico e mais dúctil das ligas de ferro, porém é o mais tenaz, e o mais maleável.
- c) Cementita: É muito frágil e dura, muito resistente ao cisalhamento, porém com baixa usinabilidade.
- d) Perlita: mistura de duas fases, ferrita e cementita, A perlita é mais dura e resistente que a ferrita, porém mais branda e maleável que a cementita.
- e) Grafita: Esta acaba que por diminuir à resistência a fadiga e a dureza. Também melhora a usinabilidade do material e melhora condutividade térmica.

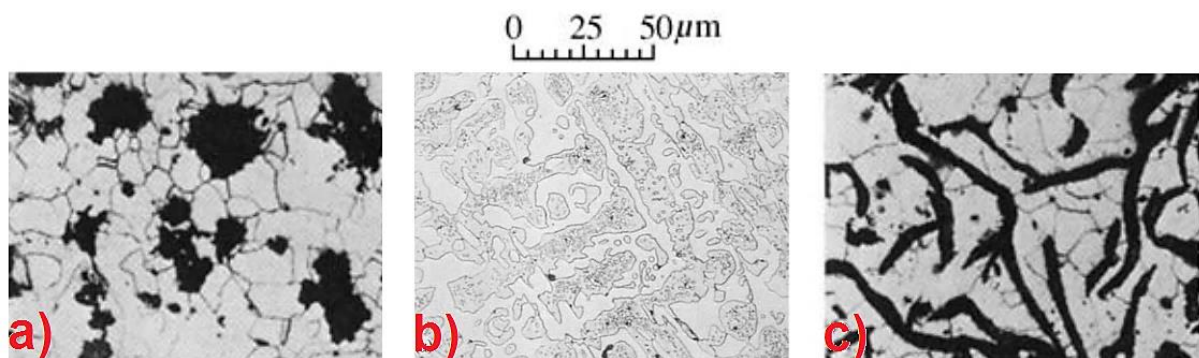
Shaw (2005) diz que referente à produção do ferro fundido, quando resfriado rapidamente, obtém-se o ferro fundido branco, este que consiste em partículas de cementita em uma matriz de perlita, o que torna-o um material de elevada resistência a abrasão e elevada dureza.

Se o ferro fundido branco for aquecido até 870°C e mantido a esta temperatura por dois ou mais dias, e resfriado lentamente, se tornara um ferro fundido maleável, com alta resistência mecânica, resiliência e baixa ductilidade, devido a cementita se converter em grafita e austenita quando o ferro é resfriado. Porém este processo acaba tendo um alto custo.

Por outro lado, quando produzido e resfriado a uma taxa lenta, acaba produzindo o conhecido e amplamente utilizado ferro fundido cinzento, que é formado principalmente por flocos de grafita, ferrita ou perlita. Tem como característica elevada usinabilidade, baixo custo e facilidade de fabricação.

Chiaverini (2005), afirma que dentre as diversas ligas de ferro fundido, o cinzento é o mais utilizado. Suas características de boa resistência mecânica, excelente usinabilidade e boa capacidade de amortecimento, fazem dele uma ótima escolha para a produção de uma peça. Exemplos da microestrutura do ferro fundido podem ser observados na figura 10.

Figura 10: Microestrutura dos Ferros Fundidos a) Maleável b) Branco c) Cinzento



Fonte: Adaptado de Shaw (2005)

A composição química do ferro fundido cinzento fica dentro da seguinte faixa:

Elemento	%
C	2,50% a 4,00%
Si	1,00% a 3,00%
Mn	0,20% a 1,00%
S	0,02% a 0,25%
P	0,02% a 1,00%

O ferro fundido cinzento tende a não causar uma cratera na face da ferramenta, conseqüentemente, ferramentas de carboneto de tungstênio, frágeis, porém resistentes ao desgaste, podem ser usadas (SHAW, 2005).

Souza et al. (2005) confirma que na usinagem do ferro fundido cinzento, o cavaco é diretamente influenciado pela forma que possui a grafita. Durante o processo da usinagem, a ferramenta começa comprimindo o material, e ocorre uma concentração de tensão nas extremidades, e por elas serem interconectadas, se cria um plano de propagação de trincas à frente do gume. Conforme ocorre o avanço da ferramenta, é removido o material completamente, e com uma menor força de corte.

Na usinagem, a ferramenta de corte não fica todo o tempo em contato com o material, pois uma porção de material é removida à frente da ferramenta, gerando crateras. O arrancamento de material contribui para a liberação da grafita que age como lubrificante e piora a rugosidade da superfície usinada.

## 2.3 Lubri-refrigeração

Para Diniz, Marcondes e Coppini (2013), durante o corte é gerado uma grande quantidade de calor, isso devido a energia necessária para deformar o cavaco e ao atrito entre a peça, ferramenta e cavaco. Pode-se reduzir a formação de calor através de lubrificação, diminuindo o atrito, e extrair o calor através de refrigeração da ferramenta e da peça.

### 2.3.1 Função da lubri-refrigeração

Como principais funções da lubri-refrigeração estão combater o calor gerado no processo e diminuir o desgaste da ferramenta, fator este que contribui muito no encarecimento da produção de um determinado produto. Também minimizar a

dilatação térmica da peça, para que se possa trabalhar com tolerâncias mais precisas e diminuir os danos térmicos que podem acabar alterando a estrutura superficial da peça.

Desta forma Runge e Duarte (1989) apontam que a seleção correta do fluido influencia também diretamente sobre a produtividade, custo operacional e a qualidade do acabamento da peça. Estes também auxiliam em retirar o cavaco da região de corte e na limpeza. Ainda por sua vez, acabam contribuindo ao evitar corrosão e oxidação das superfícies metálicas.

Boothroyd e Knight (1988), assim como Sanchez, Nalon e Palma (2011), apontam que a correta utilização do fluido de corte, traz uma melhora no acabamento final de um componente usinado. Este reduz o aparecimento de uma aresta postiça de corte, que seria um acúmulo de material na ponta da ferramenta de corte, e esta aresta por sua vez acaba aumentando a rugosidade da superfície usinada.

Stephenson e Agapiou (2016) indicam que tanto o método de aplicação quanto o tipo do fluido de corte, são de extrema importância nos resultados obtidos. Os fluidos de corte são comumente classificados como óleos puros, fluidos à base de água, fluidos gasosos, névoas de óleo e fluidos criogênicos. Fluidos à base de água incluem óleos emulsionáveis, fluidos semi-sintéticos, e fluidos sintéticos.

Na usinagem do ferro fundido, Shaw (2005) indica que se um fluido de corte é usado, é importante que ele seja livre de óleo. Aparentemente, o filme oleoso evita a propagação de grafite sobre a face de inclinação da ferramenta, sendo que o grafite atua como um lubrificante sólido. Um refrigerante comumente usado para usinar o ferro fundido é a água, juntamente com um inibidor de ferrugem. A aplicação de fluido de corte sobre um processo de usinagem pode ser observada na figura 11.

Figura 11: Aplicação de Fluido de Corte em Processo de Furação



Fonte: Gabaldo (2009)

### 2.3.2 Problemas Causados à Saúde e Meio Ambiente

Apesar de ajudar muito em diversos fatores, e principalmente contra os efeitos prejudiciais do calor, os fluidos de corte possuem os seus próprios efeitos prejudiciais. Estes contêm inúmeros constituintes químicos nocivos ao meio ambiente. O seu descarte é uma atividade difícil de se realizar, e sua reciclagem é cara, e cada vez mais rigorosas são as regulamentações ambientais que controlam esta e outras atividades (THAKUR; RAMAMOORTHY; VIJAYARAGHAVAN, 2009).

A exposição aos fluidos de corte em forma líquida ou em névoa podem trazer diversos efeitos adversos à saúde. Os meios mais comuns de exposição são pelo contato dérmico (pele) e a inalação. Também pode acontecer de forma menos comum, através de um corte aberto ou pela ingestão oral. Seus efeitos à saúde podem incluir toxicidade, distúrbios respiratórios, dermatites, infecções microbianas e até mesmo câncer (STEPHENSON; AGAPIOU, 2016).

### 2.3.3 Funcionamento do Lubri-refrigerante

O fluido de corte tem como função primária refrigerar em altas velocidades de corte, e lubrificar nas baixas. A refrigeração, segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2013), retira o calor da região da peça e ferramenta e acontece de forma mais eficiente quando o fluido utilizado possuir:

- a) Baixa viscosidade para fluir bem;
- b) Alta condutividade térmica e alto calor específico;
- c) Capacidade de se espalhar bem no material para estabelecer um bom contato térmico.

A lubrificação, por sua vez, permite uma redução no atrito entre a ferramenta e o cavaco formado pela usinagem. Facilita o fluxo do cavaco, reduz a força e a potência de corte, e assim, a geração de calor. E para que funcione de forma eficaz, algumas das características esperadas de um fluido são:

- a) Viscosidade ideal para fluir e também aderir nas superfícies da ferramenta;
- b) Boas propriedades antisoldantes e antifricção;
- c) Resistência para não vaporizar em pressões e temperaturas elevadas.

Segundo Santos e Sales (2007), o fluido acaba perdendo o seu efeito de lubrificação em altas velocidades da ferramenta ou peça, no torneamento, devido a tendência em fazer o fluido ser direcionado para fora. Neste caso o fluido age apenas como refrigerante.

Mazurkiewicz, Kubala e Chow (1989) apontam que foram realizados estudos detalhados para compreender o mecanismo de resfriamento e lubrificação observado na interface da ferramenta-cavaco. Mostrou-se que a face da ferramenta não é totalmente lisa, e possui picos e vales. O cavaco quando desliza sobre ela acaba tocando apenas nos picos. Entre estes picos e vales acabam se formando canais capilares que atraem o fluido de corte, onde este exerce sua função.

As condições na interface da ferramenta-cavaco são extremamente severas. A temperatura e a pressão localizadas nesses pontos são altíssimas, e para que haja uma boa eficiência do uso do fluido de corte, deve-se aplicá-lo a uma velocidade suficiente para ser absorvido pelo menos até uma profundidade monomolecular antes do contato de quebra do cavaco (MAZURKIEWICZ; KUBALA; CHOW, 1989).

#### **2.3.4 Métodos de Aplicação da Lubri-refrigeração**

Existem métodos variados para se aplicar o fluido de corte. Este pode ser aplicado de diferentes posições, com diferentes direções e também com velocidades

variadas. Assim como também é possível modificar a própria forma do jorro de fluido de acordo com a aplicação definida (SANTOS; SALES, 2007).

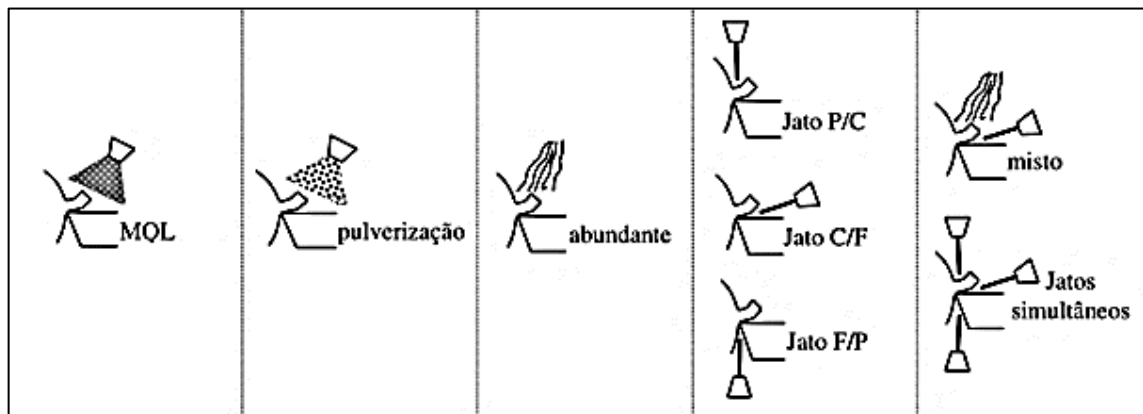
Segundo Sanchez, Nalon e Palma (2011), estes são alguns exemplos de formas do jorro do fluido:

- a) Abundante: Com menor pressão e maior área de contato;
- b) Jato: Possuindo uma maior pressão e menor área de contato;
- c) MQL (mínima quantidade de fluido de corte): Névoa formada pela mistura de fluido de corte e ar comprimido.
- d) Pulverização: Múltiplas gotas aplicadas sob pressão.

As direções mais comuns de aplicação do fluido de corte são na interface C/F (cavaco-ferramenta), nas costas do cavaco entre P/C (peça e cavaco), e no contato entre F/P (ferramenta e peça) no flanco da ferramenta. Ainda é possível fazer aplicações simultâneas. Estas formas de aplicações, assim como os tipos de jorros podem ser observados na figura 12.

Machado et al. (2009) salientam que não existe uma melhor direção de aplicação geral, porém possuem algumas diferenças. Em P/C é inadequado quando a usinagem produz cavacos emaranhados que dificultariam o acesso do fluido até a ferramenta. Em C/F deve ser utilizado quando for aplicado sob pressão, e em F/P pode ajudar a reduzir ainda mais o desgaste da ferramenta e melhorar o acabamento superficial.

Figura 12: Exemplos de Métodos de Aplicação do Fluido de Corte



Fonte: Adaptado de Sanchez, Nalon e Palma (2011)



### 2.3.4 Modelo de Bico Otimizado

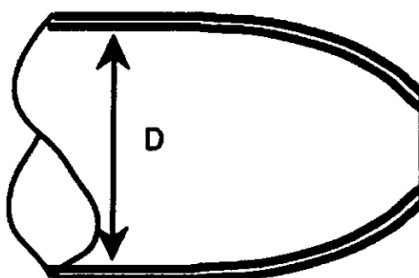
A lubri-refrigeração otimizada parte do conceito de utilizar um bocal diferenciado que proporcione uma nova forma de aplicação de fluido de corte. Para que tenha uma eficiência diferenciada, procura-se variar entre alguns fatores como velocidade de aplicação, ângulo de abertura e posicionamento (OIKAWA et al., 2011).

Webster, Cui e Mindek jr. (1995), mostraram que na retificação, a aplicação a alta velocidade de um fluido à base de água é muito mais difícil se comparado com óleos puros. Devido a sua menor viscosidade, este acaba se dispersando ao usar bicos convencionais, e requer que o operador posicione o bico o mais próximo possível para minimizar a dispersão do jorro.

Outro problema com a aplicação do fluido de corte é a barreira de ar que precisa ser superada, esta criada pela alta rotação do rebolo na retificação. A barreira de ar acaba a contribuir para a dispersão do jorro, diminuindo a eficácia da ação refrigerante.

Para reduzir a turbulência e queda de pressão do jato de fluido e também ajudar a não se dispersar, um novo formato de bico, visto na figura 13, foi então desenvolvido por Webster, Cui e Mindek jr. (1995). Este modelo faz com que o fluido se concentre e centralize de forma uniforme no bico, com a curvatura próxima a saída.

Figura 13: Modelo de Bico Otimizado



Fonte: Webster, Cui e Mindek jr. (1995)

### **3 METODOLOGIA**

Com o objetivo de melhorar a eficiência da lubri-refrigeração para tentar reduzir os custos de processo e melhorar a qualidade do produto no processo de fabricação de peças por usinagem, este trabalho de pesquisa aplicada propõe um modelo de bico para aplicação de fluido refrigerante, como proposta para otimizar um processo de torneamento já executado em uma indústria.

Este bico foi indicado em outro estudo por Webster, Cui e Mindek jr. (1995), originalmente para a utilização no processo de retificação. Porém questionou-se que se em um processo de torneamento ele também é eficaz.

Os testes práticos realizados foram feitos em campo utilizando componentes fabricados em ferro fundido FC200. Quatro ensaios foram feitos, comparando a eficiência do bico convencional contra a do otimizado, com 40 peças usinadas em cada ensaio totalizando 160 peças.

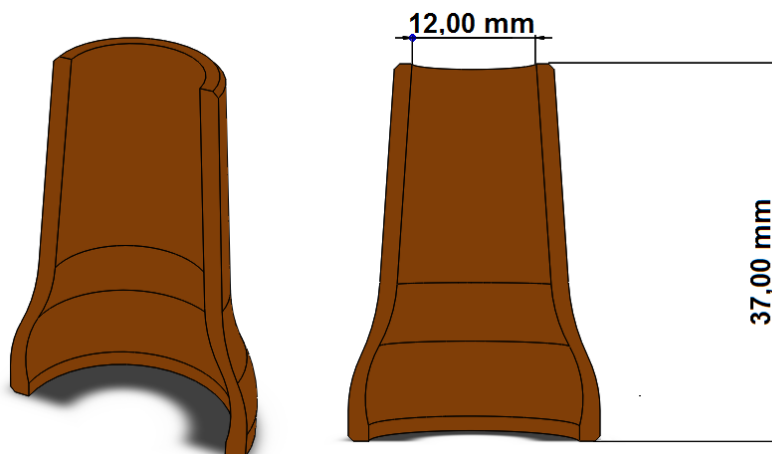
Posterior aos ensaios foram feitas as medições da rugosidade da primeira e última peça de cada ensaio, para que pudesse verificar o quanto o desgaste influenciaria ao final do ensaio, para avaliação da eficiência da lubri-refrigeração neste acabamento superficial além da medição do desgaste dos insertos.

#### **3.1 Modelagem e Fabricação do Bico Otimizado**

Através do trabalho desenvolvido por Mazurkiewicz, Kubala e Chow (1989), observou-se que a aplicação do fluido de corte a uma velocidade maior, traz maiores benefícios na remoção do calor.

O bico convencional utilizado no processo atual da indústria estudada. Este apresenta um jato de fluido com turbulência e acaba se dispersando e não atingindo com pressão o ponto em que a ferramenta entrava em contato com a peça. Na figura 14 é possível visualizar a geometria de um modelo de bico convencional.

Figura 14: Modelo Bico Convencional, Corte em Perfil

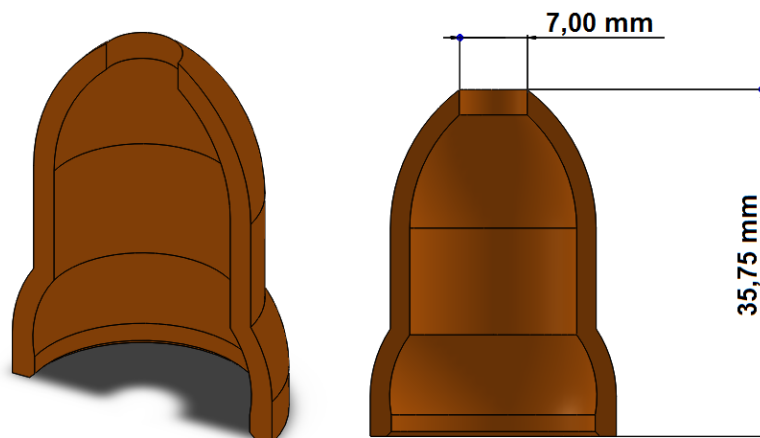


Fonte: O autor (2019)

Webster, Cui e Mindek jr. (1995) mostrou em seus estudos, um modelo viável para fabricação e utilização de um bico otimizado que visa aumentar a pressão de aplicação do fluido de corte, e também diminuir a dispersão do fluido deixando o escoamento mais laminar possível.

Assim para projetar um bico otimizado, foi seguido o modelo apresentado por Webster, Cui e Mindek jr. (1995). Com o auxílio do software SolidWorks foi realizada a sua modelagem, adaptando o modelo proposto para se encaixar nas conexões distribuidoras de fluido de corte da máquina. Sua modelagem pode ser vista na figura 15.

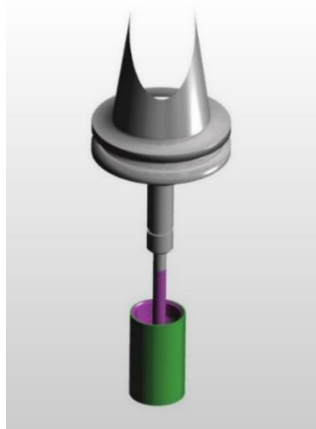
Figura 15: Modelo Bico Otimizado, Corte em Perfil



Fonte: O autor (2019)

Com o projeto concluído, a fabricação do bico feito de Nylon foi realizada por usinagem em uma fresadora CNC da marca ROMI, a qual utilizou um programa feito com o software EdgeCam. Na figura 16 a simulação da usinagem do bico.

Figura 16: Simulação de Usinagem do Bico Otimizado

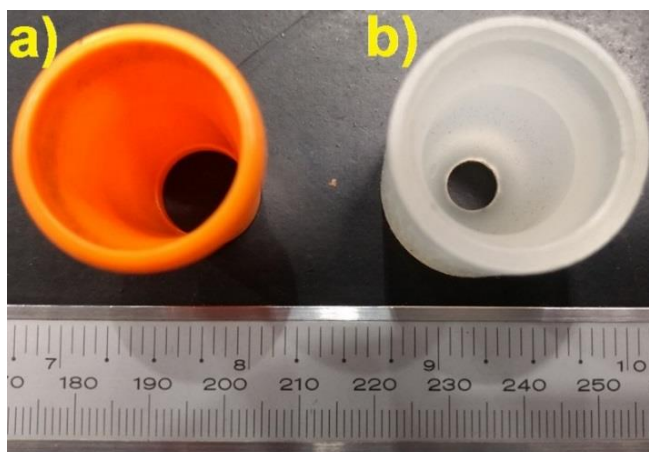


Fonte: O autor (2019)

Ao fim da usinagem um teste foi realizado, conectando este bico nas conexões distribuidoras de fluido de corte, para verificar se o bico otimizado atendia as necessidades e se era possível a sua fixação nas conexões distribuidoras de fluido de corte.

Neste primeiro teste o bico cumpriu as necessidades. Para uma comparação visual está demonstrado na figura 17 abaixo ambos bicos com suas partes internas expostas.

Figura 17: Bicos em Vista Superior – a) Bico convencional – b) Bico otimizado



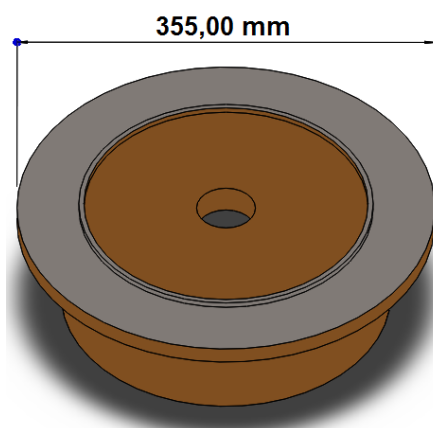
Fonte: O autor (2019)

### 3.2 Ensaaios Realizados

Para testar e poder analisar a influência do novo modelo de bico, foram realizados ensaios na usinagem de um determinado produto. A usinagem deste componente foi feita pelo processo de torneamento, em um torno CNC da marca Mazak.

O componente a ser usinado, tem como seu material, o ferro fundido cinzento FC200, e é mostrado na figura 18. O produto é uma tampa flangeada com um diâmetro externo de  $\text{Ø}352$  mm, sendo parte de um motor elétrico. Esta tampa é o corpo de prova para os ensaios aplicados. A parte na cor cinza, representa a área onde será feita a usinagem.

Figura 18: Modelo do Corpo de Prova dos Ensaios



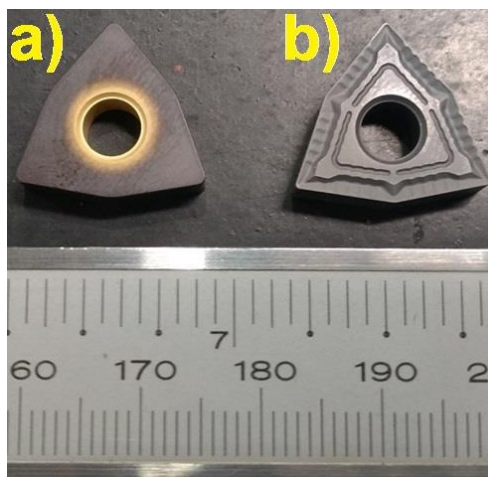
Fonte: O autor (2019)

O produto usinado passa por uma fase de desbaste, onde uma ferramenta remove a maior parte do material necessário, e por fim outra ferramenta faz o acabamento, deixando a peça com as medidas finais. Cada ferramenta trabalha com parâmetros de corte diferentes.

Para o desbaste neste processo de torneamento é utilizado uma ferramenta com o inserto WNMA 080408 ISO K, este possui em sua ponta um raio de 0,8 mm e não possui quebra cavaco. Este inserto de metal duro possui uma cobertura feita por CVD (deposição química de vapor) para lhe dar melhores características mecânicas.

Para o acabamento neste processo de torneamento foi utilizado uma ferramenta com o inserto WNMG 080404 NG IC428 ISO K, este possui em sua ponta um raio de 0,4 mm e possui quebra cavaco. Este inserto de metal duro possui uma cobertura feita por CVD de  $\text{TiC}+\text{Al}_2\text{O}_3$ .

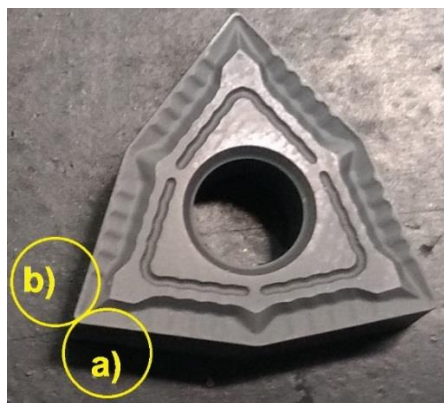
Figura 19: Insertos de Corte – a) Inseto de desbaste – b) Inseto de acabamento



Fonte: O autor (2019)

Devido a usinagem necessária para este componente, em certos momentos o flanco do inserto que executava a remoção do cavaco, propriamente dita, acabava variando, pois em horas a ferramenta executava avanços longitudinais, e em outras um avanço radial em sentido a peça. O flanco da aresta utilizada variava entre o flanco 1 e o flanco 2, mostrados na figura a seguir:

Figura 20: Flancos Utilizados do Inseto - a) Flanco 1 - b) Flanco 2



Fonte: O autor (2019)

Foram realizados no total quatro conjuntos de ensaios, e em cada conjunto 40 corpos de provas foram usinados. O torneamento dos corpos de prova foi feito utilizando o bico convencional, e uma réplica foi realizada para maior confiabilidade dos dados obtidos. Posteriormente foi efetuado a troca para o bico otimizado e executado a usinagem, e também mais uma réplica deste.

Os parâmetros utilizados para a usinagem dos corpos de prova não variaram, a não ser a mudança do bico, e que para cada ensaio, a aresta utilizada do inserto foi trocada. Estão dispostos na tabela a seguir os parâmetros:

Quadro 1: Parâmetros de Usinagem

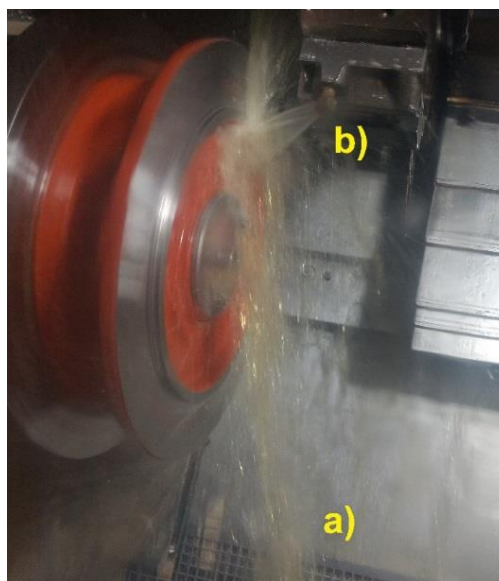
<b>Operação de Desbaste</b>					
<b>Bico/Teste</b>	<b>Avanço (mm/rot)</b>	<b>Velocidade de Corte (m/min)</b>	<b>Profundidade de Corte (mm)</b>	<b>Tempo Total de Contato (min)</b>	<b>Distancia Total de Corte (mm)</b>
Convencional 1	0,35	350	0,2 à 2,8	22,0	2920
Convencional 2	0,35	350	0,2 à 2,8	22,0	2920
Otimizado 1	0,35	350	0,2 à 2,8	22,0	2920
Otimizado 2	0,35	350	0,2 à 2,8	22,0	2920
<b>Operação de Acabamento</b>					
Convencional 1	0,2	250	0,25 à 0,4	40,7	2176
Convencional 2	0,2	250	0,25 à 0,4	40,7	2176
Otimizado 1	0,2	250	0,25 à 0,4	40,7	2176
Otimizado 2	0,2	250	0,25 à 0,4	40,7	2176

Fonte: O autor (2019)

Nota-se que a profundidade de corte é variada, devido às etapas de usinagem utilizadas durante o programa CNC.

Além da aplicação de lubri-refrigeração feita pelo bico, simultaneamente o processo já possui ao suporte da ferramenta, um bico secundário que lança o fluido de corte. O bico secundário não foi alterado neste estudo para os ensaios. Já em sua aplicação, este por sua vez, sempre irá atingir o mesmo ponto, independente do movimento da ferramenta, e fica a uma distância de 15 cm do ponto de usinagem.

Figura 21: Jatos de Fluido de Corte - a) Jato de fluido do bico principal - b) o jato lançado pelo bico secundário:



Fonte: O autor (2019)

Com isto, nota-se que acontece uma aplicação simultânea de fluido de corte. Quando o flanco 1 do inserto é utilizado, em uma determinada parte da usinagem, ambos jatos de fluido são direcionados para onde ocorre o contato entre a ferramenta e a peça (F/P). Já na utilização do flanco 2 do inserto, o bico principal atinge as costas do cavaco, direcionado entre a peça e o cavaco (P/C), enquanto o bico secundário, atinge a interface cavaco-ferramenta (C/F).

O fluido de corte utilizado foi o sintético, do tipo a base de água, Microcut 510 F. O bico possuía direção fixa, porém alinhado de forma que pudesse sempre atingir o ponto em que ocorria a usinagem, localizado a uma distância de aproximadamente 60 cm da ferramenta e era direcionado de baixo para cima.

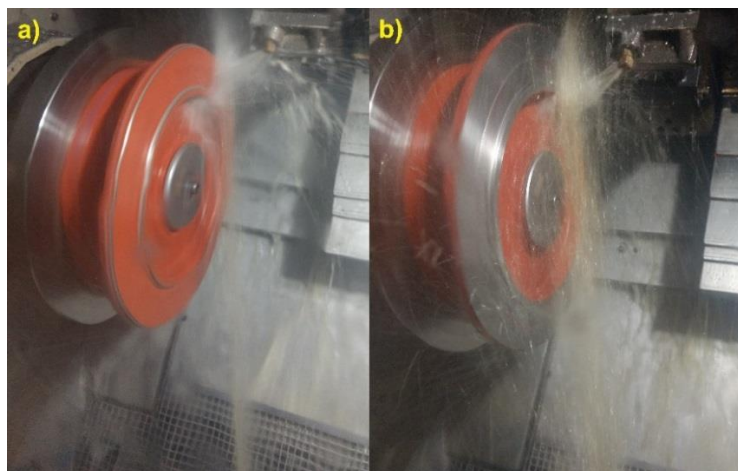
O método convencional apresentou uma vazão de 0,64 l/min, enquanto o método otimizado que teve uma redução no diâmetro de saída, acabou apresentando uma vazão menor e não proposital em seu projeto, com 0,5 l/min. Todos estes parâmetros eram os utilizados pela indústria.

O número de 40 peças para cada ensaio, foi o maior possível para que os testes pudessem ser feitos dentro da indústria sem atrapalhar o seu fluxo produtivo. Com esta quantidade de peças houve um tempo considerável para que houvesse um desgaste. Para a ferramenta de desbaste, o tempo total de contato entre a peça e cada aresta avaliada, foi cerca de 22,0 minutos. Onde foi distribuído em 3,6 minutos de usinagem no flanco 1 e 18,4 minutos no flanco 2 do inserto.



Já para o acabamento, devido a suas condições de cortes menos agressivas, o tempo foi maior, atingindo cerca de 40,7 minutos. Distribuídos também, de forma que o flanco 1 estivesse em contato com a peça por 3,3 minutos e o flanco 2 com os restantes 37,4 minutos. Seguindo os métodos demonstrados foram então executados os ensaios, exposto na figura 22:

Figura 22: Comparação Entre Ensaios - a) Bico otimizado - b) o bico convencional.



Fonte: O autor (2019)

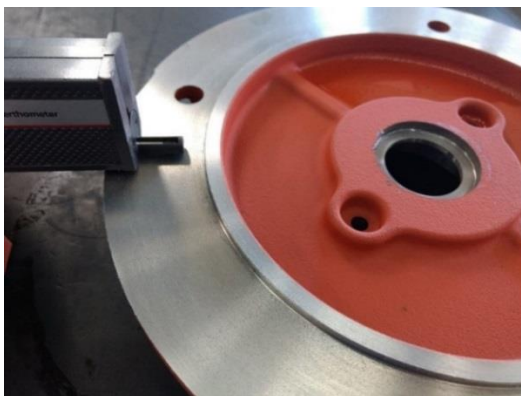
### 3.3 Medição da Rugosidade

Para acompanhar as influências da lubri-refrigeração no acabamento superficial, a primeira e última peça de cada conjunto de ensaios, foram levadas para medir a sua rugosidade. Desta forma pode-se analisar a ação do fluido de corte aplicado desde a primeira peça, até a última, onde um desgaste já teria acontecido na ferramenta.

Utilizando um rugosímetro da marca Mahr, a medição foi então realizada ( $R_a$ ). O aparelho foi configurado para medir a rugosidade média, medida em uma extensão total de 5,6 mm, e o cutoff efetivo foi de 0,8 mm, com 5 exemplos para tirar a média, a uma velocidade de 0,5 mm/s. O aparelho foi posicionado de maneira que o apalpador se dirigisse de forma alinhada ao centro da peça.

Foram realizadas quatro medições em cada componente, espaçadas a  $90^\circ$  uma da outra. Antes de cada medição, o apalpador e as superfícies a serem medidas foram limpas, para que ficassem isentos de cavacos e com o menor número de partículas de sujeiras, o que acarretaria em alterações da medida real.

Figura 23: Corpo de Prova com Rugosidade Avaliada



Fonte: O autor (2019)

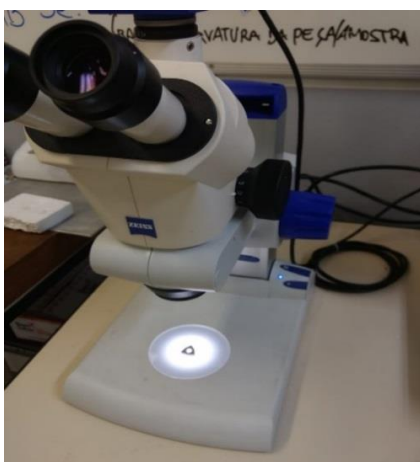
### 3.4 Medição do Desgaste da Ferramenta

Para que fosse possível medir o desgaste de um inserto, foi necessário o uso de um estereoscópio, este da marca Zeis, integrado com câmera e conectado a um computador. Com os diversos modos de ampliação pode-se investigar os desgastes presentes em toda a aresta do inserto.

O desgaste da ponta do inserto, assim como também os do flanco 1 e flanco 2, foram medidos posicionando-os, de forma que as devidas partes ficassem expostas à lente do estereoscópio. Após a obtenção das imagens, a medição foi efetuada com o uso de um software.

Para um maior entendimento, o processo de medição de desgaste pode ser observado na figura a seguir:

Figura 24: Processo de Medição de Desgaste da Ferramenta



Fonte: O autor (2019)

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a obtenção de todos os dados referentes a rugosidade e ao desgaste da ferramenta, pode-se realizar uma análise dos resultados da eficiência das diferentes aplicações de lubri-refrigeração, executadas pelos dois tipos de bico no processo de torneamento.

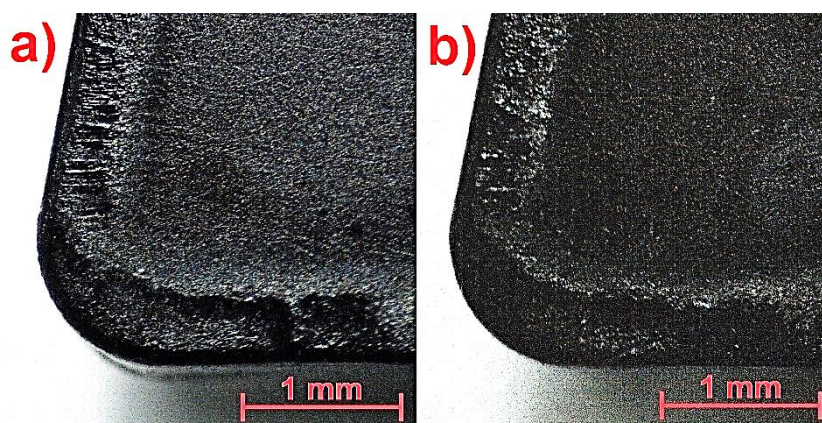
### 4.1 Desgaste da Ferramenta

Os insertos de desbaste e de acabamento, demonstraram desgastes que foram avaliados conforme os dados obtidos. Para exemplificar e discutir os dados obtidos foram selecionados os insertos que obtiveram maiores valores de desgaste.

#### 4.1.1 Desgaste na Face de Saída do Cavaco

A figura 25 a seguir demonstra a face da ponta de corte do inserto de desbaste:

Figura 25: Comparação de Desgaste na Face de Saída de Cavaco do Inserto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado

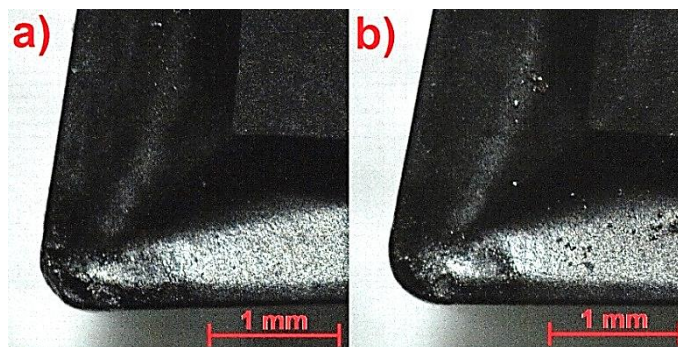


Fonte: O autor (2019)

De uma forma visual, sem medições, pode se observar o desgaste que ocorreu com os dois insertos, pela extensão dos dois flancos e na ponta de corte. O comprimento deste desgaste está de acordo com a profundidade de corte utilizada durante a usinagem, que foi de até 2,8 mm. Sendo assim, não houve diferenças visíveis entre ambos métodos.

A figura 26 apresenta os desgastes obtidos nos insertos de acabamento.

Figura 26: Comparação de Desgaste na Face de Saída do Cavaco – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado



Fonte: O Autor (2019)

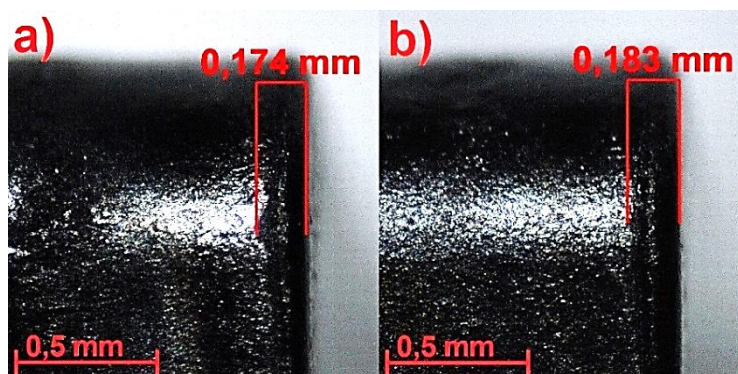
Como o acabamento utilizou baixa profundidade de corte, entre 0,25 mm a 0,4 mm e o raio de ponta do inserto era de 0,4 mm, pode se observar visualmente, que ocorreu apenas em sua ponta um maior desgaste utilizando o bico convencional, onde houve maiores danos com o método convencional.

#### 4.1.2 Desgaste do Flanco 1

As imagens apresentadas a seguir serão dos testes que apresentaram os maiores desgastes, entre o primeiro teste e a réplica. Ao fim, todas as medidas estarão representadas em um gráfico, com os valores dos resultados obtidos.

Na figura 27, tem-se o desgaste do flanco 1 dos insertos de desbaste.

Figura 27: Desgaste do Flanco 1 do Inserto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado

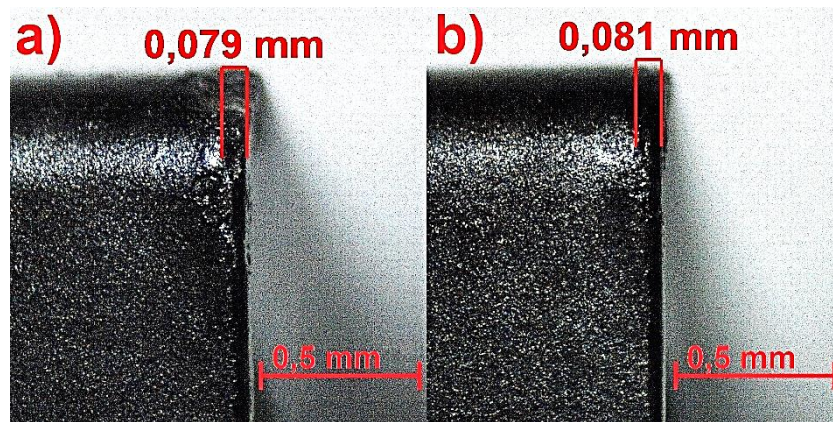


Fonte: O autor (2019)

Neste flanco onde ocorre pouco tempo de contato com a peça, dentre as 40 peças usinadas é possível observar desgastes bem similares entre os dois métodos. Além disso houve apenas a utilização como aresta de corte principal, por apenas 3,6 minutos o que justifica o baixo desgaste.

O desgaste sofrido no flanco 1 do inserto de acabamento é demonstrado na figura 28.

Figura 28: Desgaste do Flanco 1 do Inserto de Acabamento – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado

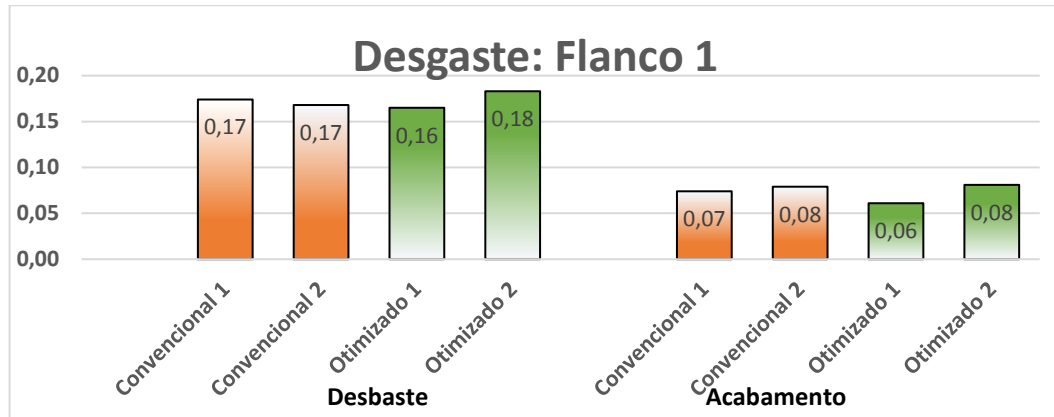


Fonte: O autor (2019)

Como explicado anteriormente, a profundidade de corte da usinagem com o inserto de acabamento, foi menor ou igual ao raio da ponta do inserto. Agora é possível observar em um termo quantitativo, que não houve maiores desgastes no flanco destes insertos, e em ambas as medições foram muito similares.

Na figura 30, tem-se a comparação dos resultados obtidos de todos os desgastes de flanco 1 sofridos no inserto de desbaste e no de acabamento.

Figura 30: Gráfico Comparativo de Desgaste do Flanco 1 nos Insertos

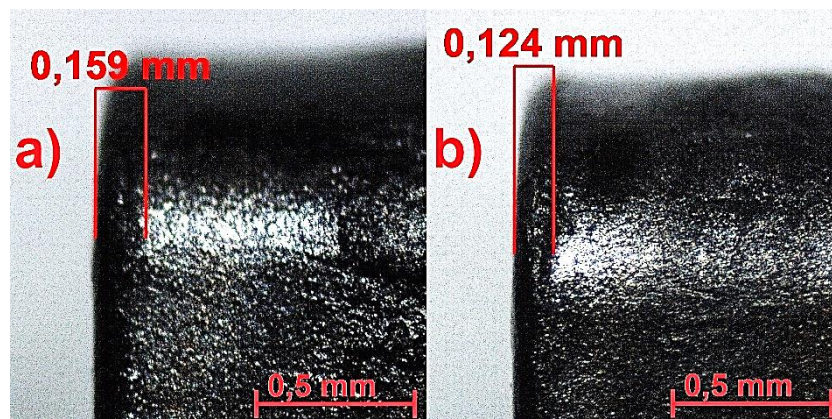


Fonte: O autor (2019)

#### 4.1.3 Desgaste do Flanco 2

Na figura 30 é possível reparar na distinção entre os desgastes sofridos entre os insertos.

Figura 29: Desgaste do Flanco 2 do Inserto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado

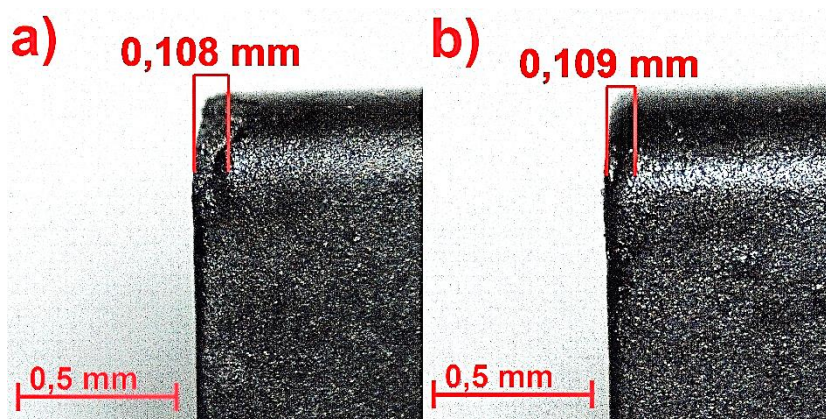


Fonte: O autor (2019)

O flanco 2 do inserto de desbaste foi muito mais utilizado como aresta principal pois ficou com um tempo de contato de aproximadamente 18,4 minutos, 510% mais utilizado do que o flanco 1. Com isso ele foi submetido a muito mais tempo sofrendo os efeitos prejudiciais do calor. Assim, comparando os desgastes, o modo otimizado teve melhores resultados, garantindo menos danos a ferramenta.

A figura 31 apresenta o flanco 2 do inserto de acabamento, com os desgastes sofridos.

Figura 30: Desgaste no Flanco 2 do Inserto de Acabamento – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado

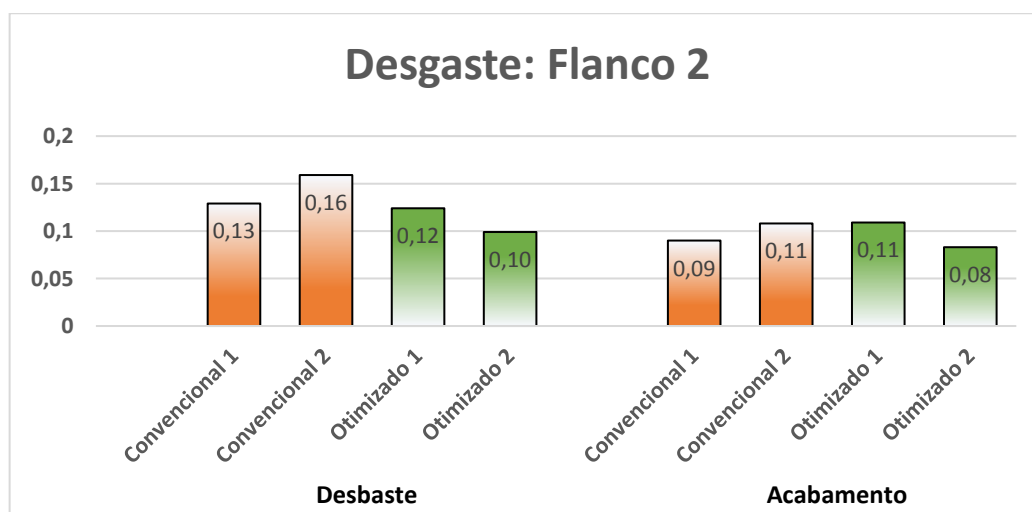


Fonte: O autor (2019)

Neste flanco 2 o caso é semelhante ao flanco 1 deste mesmo inserto, onde a profundidade de corte é baixa e o desgaste ocorre mais na ponta, livrando os flancos de sofrerem grandes desgastes. No método convencional e otimizado os resultados de desgaste também são muito semelhantes.

A figura 32, traz um gráfico comparando os resultados que foram obtidos dos desgastes de flanco 2 nos insertos.

Figura 31: Gráfico Comparativo de Desgaste do Flanco 2 nos Insertos



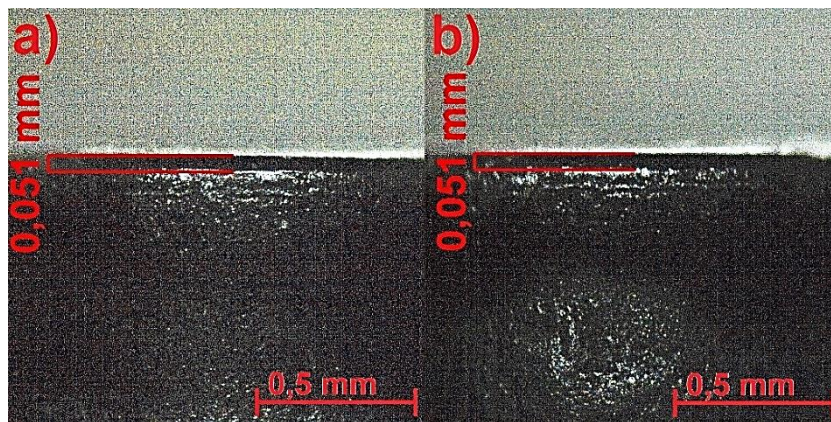
Fonte: O autor (2019)

#### 4.1.4 Desgaste de Ponta

As imagens da ponta do inserto que está sempre em contato direto durante a remoção do material, nos demonstra algumas características a respeito da eficiência da lubri-refrigeração.

A seguir, a figura 33 mostra a comparação do desgaste de ponta no inserto de desbaste, para o bico convencional e o otimizado.

Figura 32: Desgaste na Ponta do Inserto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado



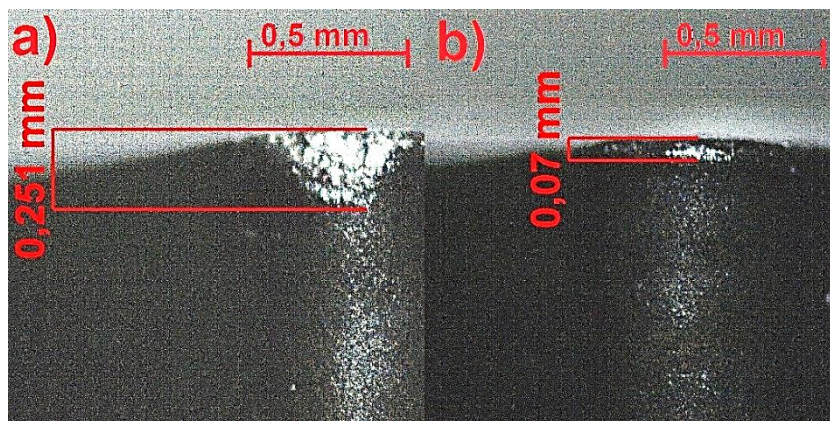
Fonte: O autor (2019)

A diferença entre a eficiência de ambas formas de aplicação de fluido de corte, não foi significativa para este desgaste na ponta de corte. Pode-se notar que nos flancos ocorreram desgastes maiores do que este na ponta. Quando o avanço utilizado é muito agressivo a ponta de corte acaba se desgastando muito, então uma hipótese levantada foi que o avanço utilizado era relativamente baixo, poupando assim a vida útil desta parte do inserto.



No entanto, observando a ponta do inserto de acabamento na figura 34, pode-se notar boas diferenças na eficiência da lubri-refrigeração.

Figura 33: Desgaste na Ponta do Inserto de Acabamento – a) Utilização do bico convencional – b) Utilização do bico otimizado

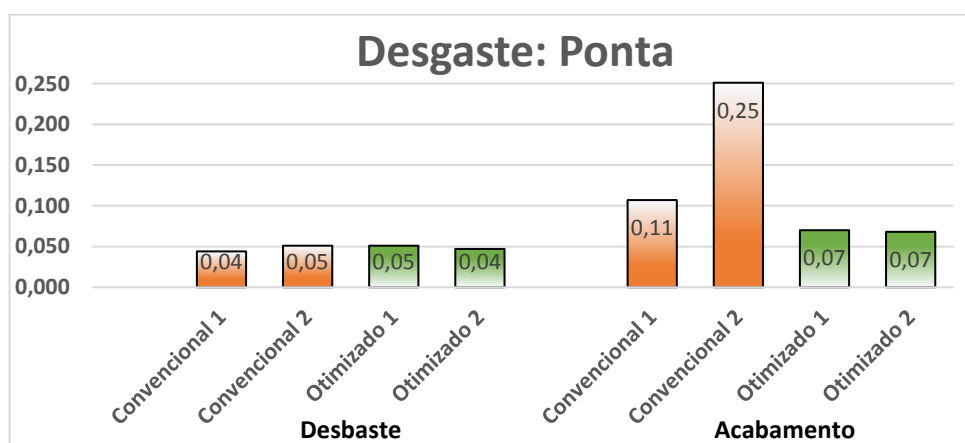


Fonte: O autor (2019)

Um desgaste 358% maior ocorreu no inserto de acabamento utilizando o bico convencional, comparando com o desgaste ocorrido utilizando o bico otimizado. Com a baixa profundidade de corte, e a grande utilização da ponta do inserto, observa-se aqui que o método convencional não pode trazer neste ponto de difícil acesso a eficácia na remoção de calor.

Um gráfico apresentado na figura 35, mostra a comparação dos resultados obtidos, referentes aos desgastes de ponta dos insertos de acabamento e desbaste em ambos métodos de lubri-refrigeração aplicados.

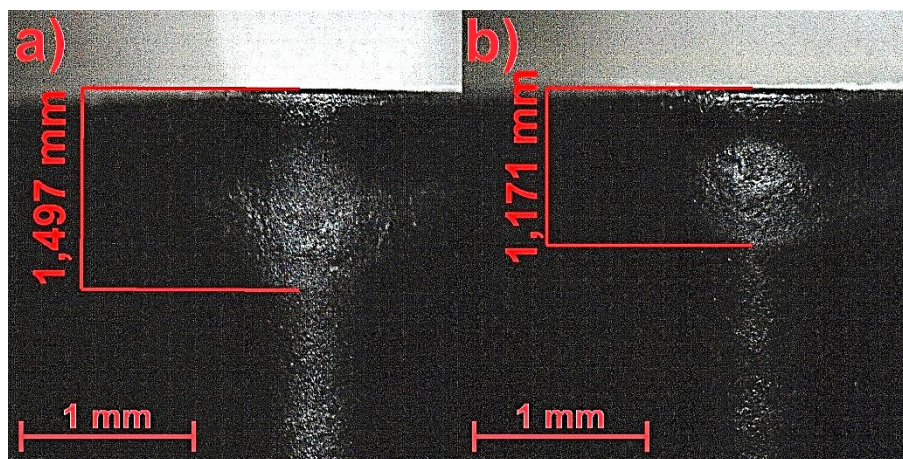
Figura 34: Gráfico Comparativo de Desgaste de Ponta nos Insertos



Fonte: O autor (2019)

Além destes desgastes de ponta já apresentados, no inserto de desbaste pode-se notar um possível desgaste no revestimento da ferramenta e que está demonstrado na figura 36 a seguir.

Figura 35: Desgaste no Revestimento do Inserto de Desbaste – a) Utilização do bico convencional –  
b) Utilização do bico otimizado



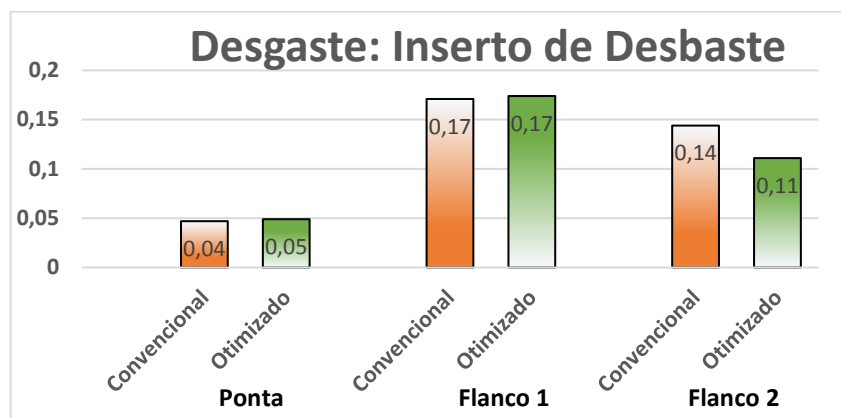
Fonte: O autor (2019)

Analisando a ponta de corte, foi notado que durante a usinagem a cobertura do inserto nesta área foi se desgastando. O método de aplicação com o bico otimizado, mostrou ser eficiente se comparado com o método convencional para prevenir este desgaste.

#### 4.1.5 Desgaste Geral

Os diversos desgastes ocorridos foram mensurados e já analisados. Para uma compreensão maior foram feitos gráficos comparando a eficiência dos dois métodos de lubri-refrigeração para todos os desgastes estudados, com os valores médios entre os ensaios e as réplicas, apresentado na figura 37 o desgaste para o inserto de desbaste.

Figura 36: Gráfico Comparativo de Desgaste do Inseto de Desbaste



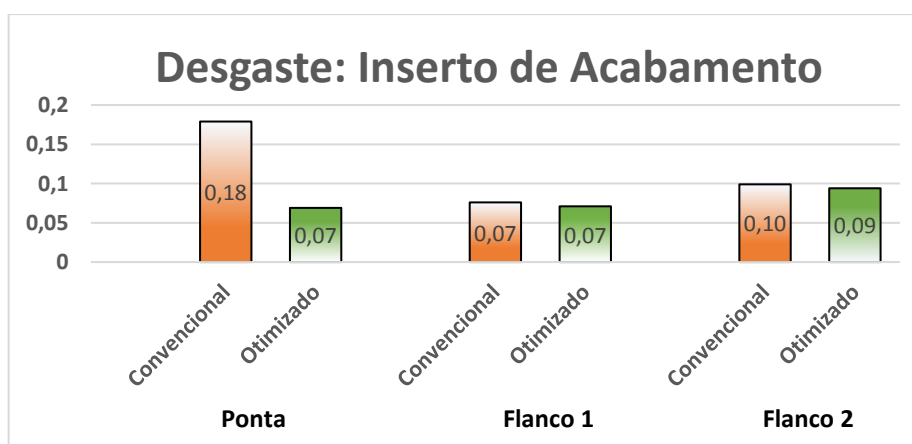
Fonte: O autor (2019)

No inserto de desbaste o desgaste de ponta e flanco 1 tiveram diferenças pequenas, na casa dos milésimos de milímetro. O grande diferencial para o aumento da vida útil do inserto está na redução de desgaste do flanco 2, quando utilizado o método otimizado de lubri-refrigeração. O desgaste foi reduzido em 29% no flanco 2. Este teve 84% do total de tempo de contato deste inserto, sendo mais exigido para a remoção de material.

Porém, o flanco 1 que teve um tempo de contato menor, e mais baixa profundidade de corte, acabou se desgastando mais. A hipótese levantada foi de que este usinava uma área da peça que possuía uma maior dureza. O encaixe da tampa em determinada parte do processo de usinagem.

A Figura 38 faz a comparação de todos os desgastes estudados no inserto de acabamento:

Figura 37: Gráfico Comparativo de Desgaste do Inseto de Acabamento



Fonte: O autor (2019)

No caso dos insertos de acabamento, variações de desgastes na casa dos milésimos de milímetro aconteceram em ambos os flancos, comparando os dois métodos de aplicação de fluido de corte. O grande diferencial está no desgaste de ponta em 260% com a utilização do bico otimizado.

Afim de sanar demais dúvidas, os valores de todos os desgastes obtidos estão disponíveis no apêndice A.

#### **4.2 Consumo de Fluido de Corte**

Com a modificação do bico aplicador de fluido de corte, a vazão com que este era jorrado acabou sendo reduzida, de forma não intencional. Esta vazão do bico convencional que era de 0,64 l/min, passou a ser reduzida para 0,5 l/min, quando este bico foi substituído pelo otimizado.

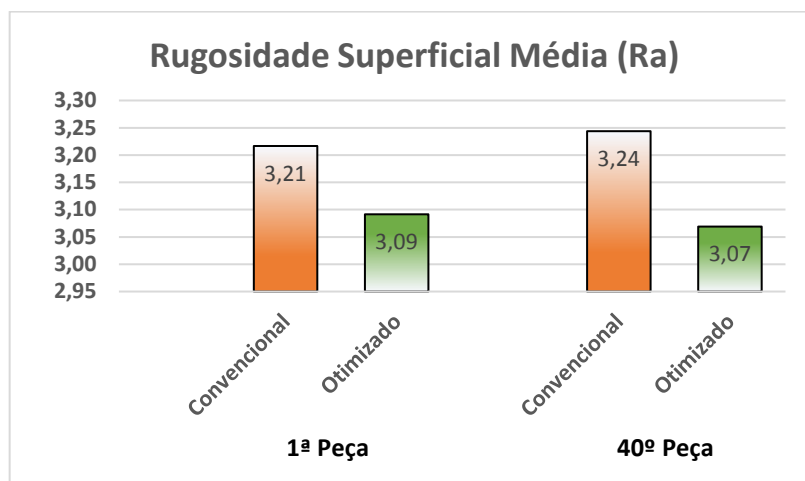
O formato do bico otimizado, que possui um diâmetro maior na entrada, e faz com que todo esse fluido se concentre na ponta, saindo por um diâmetro menor, acaba que por restringir e diminuir a vazão. Desta forma, o consumo final de fluido acaba que por diminuir.

O consumo de fluido de corte com as vazões apresentadas, no caso do método convencional, é cerca de 27% maior que o otimizado. Uma redução muito significativa, pensando em todo o custo que é necessário para se adquirir, manter e descartar este fluido.

#### **4.3 Rugosidade Superficial**

Os corpos de provas que obtiveram suas medições de rugosidade superficial (Ra) do acabamento final, apresentaram as seguintes médias:

Figura 38: Gráfico Comparativo de Rugosidade Superficial Média (Ra)



Fonte: O autor (2019)

A eficiência com forma otimizada de aplicação do fluido de corte, foi de apenas alguns milésimos visível neste gráfico, que reúne as médias dos valores de rugosidade obtidos. Uma melhora de 0,15  $\mu\text{m}$  em média, para a primeira e a quadragésima peça, sendo insignificante para a qualidade deste produto.

Ao decorrer da usinagem das 40 peças, é possível observar que o desgaste que ocorreu nas ferramentas, quase não causou uma variação na rugosidade do material. A variação apresentada entre os valores de rugosidade, das primeiras e das quadragésimas peças, tendem a ser de uma certa alternância natural da própria forma de medição.

Mazurkiewicz, Kubala e Chow (1989), explicaram que o fluido deve ser aplicado a uma velocidade suficiente para uma boa eficiência. Enquanto Boothroyd e Knight (1988) e Sanchez, Nalon e Palma (2011) citaram, que a boa utilização melhora a rugosidade.

Com isto, há indícios de que o aumento da velocidade de aplicação do fluido de corte, proporcionado pelo novo formato do bico otimizado, foi eficiente da mesma forma como a literatura indica.

Os valores de todas as medidas obtidas da rugosidade estão disponíveis no apêndice B.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do bico otimizado para a aplicação de fluido de corte foi realizado de forma que pudesse ser aplicado na indústria, substituindo o bico convencional. Com isto foi proposto avaliar qual o melhor bico para aplicação de fluido de corte, visando redução de custos no processo, e uma maior qualidade superficial dos produtos.

Após os testes práticos realizados dentro da própria indústria alvo, que já possui um processo definido para o torneamento dos componentes, as análises foram feitas em laboratório e identificaram os efeitos dos dois métodos de lubri-refrigeração sobre as peças e ferramentas.

- A rugosidade se mostrou similar ao utilizar ambos os bicos.

- No inserto de acabamento, o bico otimizado trouxe melhoras na vida útil, com cerca de 260% de redução de desgaste de ponta.

- No inserto de desbaste, houve uma redução de desgaste do flanco 2 de 29% ao utilizar o bico otimizado.

- O desgaste de revestimento do inserto de desbaste, na parte da ponta, apresentou uma diminuição de cerca de 22%, ao utilizar o bico otimizado.

- O consumo de fluido de corte foi cerca de 27% menor utilizando o bico otimizado.

Houve indícios de que para este número de peças o bico otimizado foi eficiente na aplicação de fluido de corte, possibilitando ser uma escolha viável. Porém para uma afirmação mais concreta, seria necessário um estudo completo da curva de desgaste da ferramenta até o fim de sua vida útil.

Como sugestão de trabalho futuro, indica-se desenvolver um estudo com um maior número de peças, para buscar comprovar a eficiência do bico otimizado, para que se possa identificar se existe um real aumento na vida útil de uma ferramenta com a aplicação de fluido de corte por parte deste.

Outra sugestão seria procurar equilibrar os desgastes das ferramentas, que apresentaram desgastes desiguais em suas partes da ponta e flancos, e com isto, gerar um melhor aproveitamento da ferramenta. Através de alterações de parâmetros, aumentando a velocidade de corte para o desbaste e a profundidade de corte na ferramenta de acabamento.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, Carlos Sampaio. **Torneamento**. 2015. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAE0J8AD/torneamento>>. Acesso em: 21 maio 2019.
- BOOTHROYD, Geoffrey; KNIGHT, Winston A.. **Fundamentals of Machining and Machine Tools**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1988.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, 2005.
- DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem Dos Materiais**. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013.
- FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1969.
- GABALDO, Sander. **Fluidos de corte**. 2009. Disponível em: <<http://usinagemsemsegredos.blogspot.com/2009/12/fluidos-de-corte-pedido-de-nossos.html>>. Acesso em: 21 maio 2019.
- MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Eitora Blucher, 2009
- MARTIN, Carlos Alberto; FERREIRA, João Carlos Espíndola. **Geometria da Ferramenta**. 2015. Disponível em: <[http://www.grima.ufsc.br/cnc/transparencias/usinagem/Aula7\\_GeometriaDaFerramenta\\_v1.pdf](http://www.grima.ufsc.br/cnc/transparencias/usinagem/Aula7_GeometriaDaFerramenta_v1.pdf)>. Acesso em: 21 maio 2019.
- MAZURKIEWICZ, M.; KUBALA, Z.; CHOW, J.. **Metal Machining With High-Pressure Water-Jet Cooling Assistance—A New Possibility**. Asme, 1989.
- OIKAWA, M. H. et al. **Cerâmicas avançadas no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho com rebolos diamantados com a técnica da mínima quantidade de lubrificação e refrigeração otimizada**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2011.
- PXHERE (Ed.). **Ferramentas**. 2017. Disponível em: <<https://pxhere.com/pt/photo/937436>>. Acesso em: 21 maio 2019.
- RUNGE, Peter R. F.; DUARTE, Gilson N. **Lubrificantes nas indústrias**. 1. ed. São Paulo : Triboconcept, 1989.
- SANCHEZ, Luiz Eduardo de Angelo; NALON, Luis Jacinto; PALMA, Geraldo Luiz. **AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE DIFERENTES MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE NO TORNEAMENTO DE UM AÇO DE DIFÍCIL USINAGEM**. Caxias do Sul: Abcm, 2011.

SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. **Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Artliber, 2007.

SHAW, Milton C.. **METAL CUTTING PRINCIPLES**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 2005.

SOUZA, J. V. C. et al.  **$\beta$ -SI<sup>3</sup>N<sub>4</sub> CUTTING TOOLS OBTAINING FOR MACHINING OF THE GRAY CAST IRON**. New York: Springer, 2005.

STEPHENSON, David A.; AGAPIOU, John S.. **Metal Cutting Theory and Practice**. 3. ed. Boca Raton: Crc Press, 2016.

THAKUR, D. G.; RAMAMOORTHY, B.; VIJAYARAGHAVAN, L.. **Optimization of Minimum Quantity Lubrication Parameters in High Speed Turning of Superalloy Inconel 718 for Sustainable Development**. Chennai: World Academy Of Science, Engineering And Technology, 2009.

TRENT, Edward; WRIGHT, Paul. **Metal Cutting**. 4. ed. Woburn: Butterworth–heinemann, 2000.

WEBSTER, J. A.; CUI, C.; MINDEK JR., R. B.. **Grinding Fluid Application System Design**. Connecticut: Cirp Annals, 1995.

WEINGAERTNER, Walter Lindolfo; SCHROETER, Rolf Bertrand. **Tecnologia de Usinagem do Alumínio e suas Ligas**. 2. ed. São Paulo: Alcan Alumínio do Brasil, 1991.



## APÊNDICE A – Valores dos Desgastes Ocorridos nos Insertos

<b>Desgaste Flanco 1</b>			
<b>Desbaste</b>			
<b>Bico</b>	<b>Teste 1 (mm)</b>	<b>Teste 2 (mm)</b>	<b>Média (mm)</b>
<b>Convencional</b>	0,174	0,168	0,171
<b>Otimizado</b>	0,165	0,183	0,174
<b>Acabamento</b>			
<b>Bico</b>	<b>Teste 1 (mm)</b>	<b>Teste 2 (mm)</b>	<b>Média (mm)</b>
<b>Convencional</b>	0,074	0,079	0,077
<b>Otimizado</b>	0,061	0,081	0,071
<b>Desgaste Flanco 2</b>			
<b>Desbaste</b>			
<b>Bico</b>	<b>Teste 1 (mm)</b>	<b>Teste 2 (mm)</b>	<b>Média (mm)</b>
<b>Convencional</b>	0,129	0,159	0,144
<b>Otimizado</b>	0,124	0,099	0,112
<b>Acabamento</b>			
<b>Bico</b>	<b>Teste 1 (mm)</b>	<b>Teste 2 (mm)</b>	<b>Média (mm)</b>
<b>Convencional</b>	0,09	0,108	0,099
<b>Otimizado</b>	0,083	0,109	0,096
<b>Desgaste Ponta</b>			
<b>Desbaste</b>			
<b>Bico</b>	<b>Teste 1 (mm)</b>	<b>Teste 2 (mm)</b>	<b>Média (mm)</b>
<b>Convencional</b>	0,044	0,051	0,048
<b>Otimizado</b>	0,051	0,047	0,049
<b>Acabamento</b>			
<b>Bico</b>	<b>Teste 1 (mm)</b>	<b>Teste 2 (mm)</b>	<b>Média (mm)</b>
<b>Convencional</b>	0,107	0,251	0,179
<b>Otimizado</b>	0,068	0,07	0,069
<b>Desgaste Ponta Macro</b>			
<b>Desbaste</b>			
<b>Bico</b>	<b>Teste 1 (mm)</b>	<b>Teste 2 (mm)</b>	<b>Média (mm)</b>
<b>Convencional</b>	1,497	1,47	1,484
<b>Otimizado</b>	1,171	1,157	1,164

## APÊNDICE B – Valores das Medidas de Rugosidade dos Corpos de Prova

<b>Bico Convencional 1</b>					
<b>Peça</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Média</b>
<b>1°</b>	3,562	3,232	3,586	3,095	3,369
<b>40°</b>	3,118	3,059	3,295	3,153	3,156
<b>Bico Convencional 2</b>					
<b>Peça</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Média</b>
<b>1°</b>	2,855	3,04	3,243	3,12	3,065
<b>40°</b>	3,508	3,1	3,302	3,415	3,331

<b>Bico Otimizado 1</b>					
<b>Peça</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Média</b>
<b>1°</b>	3,207	3,024	3,31	3,032	3,143
<b>40°</b>	2,93	3,141	3,206	3,123	3,100
<b>Bico Otimizado 2</b>					
<b>Peça</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>Média</b>
<b>1°</b>	3,08	2,954	3,106	3,019	3,040
<b>40°</b>	3,056	3,051	3,004	3,041	3,038