

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

MYLENA CARRER

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DO GUME POR ARRASTE SOBRE A
QUALIDADE SUPERFICIAL DA PEÇA E A VIDA DA FERRAMENTA PARA O
PROCESSO DE FRESAMENTO**

CAXIAS DO SUL

2018

MYLENA CARRER

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DO GUME POR ARRASTE SOBRE A
QUALIDADE SUPERFICIAL DA PEÇA E A VIDA DA FERRAMENTA PARA O
PROCESSO DE FRESAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso da disciplina de TCC II (MEC0291A), apresentado à Universidade de Caxias do Sul como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projeto e Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Panosso Zeilmann

CAXIAS DO SUL

2018

MYLENA CARRER

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DO GUME POR ARRASTE SOBRE A
QUALIDADE SUPERFICIAL DA PEÇA E A VIDA DA FERRAMENTA PARA O
PROCESSO DE FRESAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso da disciplina de TCC II (MEC0291A), apresentado à Universidade de Caxias do Sul como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projeto e Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Panosso Zeilmann

Aprovado em 28/11/2018

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Panosso Zeilmann
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Me. Sandro Tomaz Martins
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Rafael Dallegrave Conrado
Universidade de Caxias do Sul – UCS

*“Todo o grande progresso da ciência resultou de
uma nova audácia da imaginação. ”
(John Dewey)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente aos meus pais, Paulo e Márcia Carrer, por acreditarem em mim e no meu potencial, por sempre estarem junto comigo durante esta jornada, me apoiando e me incentivando a realizar todos os meus sonhos sem deixar de ser quem eu sou.

Ao Prof. Rodrigo P. Zeilmann, meu orientador, pela paciência, pelos ensinamentos e por ter me guiado durante esse desafio, confiando no meu trabalho.

A Universidade de Caxias do Sul, por permitir a realização dos testes experimentais em seus laboratórios e por colocar à disposição todos os equipamentos e materiais necessários para a validação dos resultados.

Aos funcionários da UCS e aos integrantes do Grupo de Usinagem, que me ajudaram com as medições, validações e comprovação dos resultados.

A empresa Secta Tools e ao Sr. Marcelo L. Ruziska, por abrir as portas da sua empresa para a realização de reafiações, tratamentos e medições necessárias para a conclusão desse trabalho, disponibilizando materiais e auxílio sempre que preciso.

A Fras-le pela doação dos materiais abrasivos utilizados nos acabamentos por arraste.

A todas as pessoas que fizeram parte desse sonho, agradeço, de forma especial e não menos importante, aos meus amigos engenheiros e não engenheiros, minha irmã de sangue e meus irmãos de coração, por sempre estarem por perto para dar um conselho, um incentivo, uma ideia ou simplesmente por estarem presentes.

RESUMO

Na produção industrial, a alta produtividade e a confiabilidade dos processos são preceitos básicos, especialmente quando relacionados à usinagem. Neste contexto, a microgeometria do gume é um fator que tem influência no desgaste da ferramenta e, portanto, na vida útil da mesma, além de agir diretamente na qualidade superficial da peça usinada. Baseando-se nessas definições, esse trabalho tem como objetivo principal identificar e quantificar esses efeitos para o tratamento de acabamento por arraste. Focando principalmente nas mídias abrasivas utilizadas nesse processo como meio de remoção de material e polimento da superfície, serão testadas mídias comercial e alternativa, aplicadas ao processo de fresamento de topo reto, a fim de identificar ganhos na produção, distribuição e, por consequência, no acesso ao tratamento, que visa obter ferramentas mais competitivas e precisas. As fresas tratadas foram comparadas a uma fresa padrão, sem tratamento de superfície, para quantificar os resultados obtidos. Para a qualidade superficial da peça usinada, foram realizadas medições de rugosidade e de textura, no início e fim da vida da ferramenta. Para a avaliação de rugosidade, identificou-se que no início do processo todas as ferramentas demonstraram desempenhos semelhantes e no final do processo os melhores resultados foram apresentados pela fresa tratada com a mídia comercial. Para a avaliação de textura, os tratamentos superficiais aplicados não foram evidentes. Em relação à vida da ferramenta, as curvas de comportamento de desgaste demonstraram perda de desempenho, no caso das ferramentas tratadas. Os mecanismos de desgaste identificados foram a abrasão e a adesão.

Palavras-Chave: Fresamento de Topo Reto. Acabamento por Arraste. Mídias Abrasivas. Desgaste. Qualidade Superficial.

ABSTRACT

In industrial production, high productivity and process reliability are basic precepts, especially when related to machining. In this context, the microgeometry of the edge is a factor that influences the wear of the tool and its durability, besides acting directly on the surface quality of the machined part. Based on these definitions, this work has as main objective, to identify and quantify these effects for the drag finishing treatment. Focusing primarily on the abrasive media used in this process as removal of material and surface polishing, commercial and alternative media, applied to the straight top milling process, will be tested in order to identify gains in production, distribution and, consequently, in the access to the treatment, which aims to obtain more competitive and accurate tools. The treated tools were compared to a standard mill without surface treatment to quantify the results obtained. For the surface quality of the machined part, roughness and texture measurements were performed at the beginning and the end of the tool life. For the evaluation of roughness, it was identified that at the beginning of the process all the tools showed similar performances and at the end of the process the best results were presented by the mill treated with commercial media. For the texture evaluation, the surface treatments were not apparent. Regarding the tool life, the curves of wear behavior showed a loss of performance in the case of the drag finishing treated tools. The identified wear mechanisms were abrasion and adhesion.

KeyWords: Straight Top Milling. Drag finishing. Abrasive Medias. Wear, Surface Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fresamento frontal e periférico	18
Figura 2 – Fresamento concordante e discordante	18
Figura 3 – Formas de fresamento plano	19
Figura 4 – Representação de desgaste de flanco	22
Figura 5 – Curva padrão de comportamento do desgaste.....	23
Figura 6 – Fatores de influência sobre a qualidade superficial em usinagem	24
Figura 7 – Representação esquemática de corte e formação de cavaco	25
Figura 8 – Formação do gume postiço	25
Figura 9 – Representação esquemática do perfil de rugosidade.....	27
Figura 10 – Fator de forma do gume	28
Figura 11 – Geometrias obtidas através do tratamento do gume	29
Figura 12 – Processos para tratamento do gume	30
Figura 13 – Cinemática do processo de acabamento por arraste.....	31
Figura 14 – Suposições teóricas – Geometria do gume.....	32
Figura 15 – Fresas de metal-duro utilizadas nos testes.	37
Figura 16 – Pré-testes para formulação da Mídia Abrasiva Alternativa	39
Figura 17 – Esquema representativo das etapas dos testes experimentais	40
Figura 18 – Imagens dos gumes das fresas tratadas com SiC e Al ₂ O ₃	42
Figura 19 – Comparativo entre ferramenta sem tratamento e com tratamento alternativo.	43
Figura 20 – Imagens comparativas mídias comercial e alternativa.....	44
Figura 21 – Análise das características da ferramenta reafiada.....	45
Figura 22 – Efeitos dos tratamentos superficiais aplicados as ferramentas	46
Figura 23 – Ampliação da superfície das ferramentas	47
Figura 24 – Valores de Rugosidade para condição inicial	48
Figura 25 – Valores de Rugosidade para condição final	48
Figura 26 – Textura e perfil de Rugosidade – Fresa reafiada.....	49
Figura 27 – Textura e perfil de Rugosidade - Tratamento comercial.....	50
Figura 28 – Textura e perfil de Rugosidade - Tratamento alternativo	50
Figura 29 – Comportamentos das curvas de desgaste das condições testadas	52
Figura 30 – Comprimento usinado por condição	53
Figura 31 – Microlascamento fresa B7 – Acabamento por arraste alternativo	54
Figura 32 – Identificação dos principais mecanismos de desgaste contidos nas fresas	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correspondência entre fresas e tratamentos realizados durante os pré-testes.....	41
Tabela 2 – Relação de ferramentas utilizadas nos testes	45

LISTA DE SÍMBOLOS

L	comprimento [mm]
D	diâmetro [mm]
Z_v	usinabilidade relacionada ao desgaste
Z_s	usinabilidade relacionada ao cavaco
V_B	desgaste de flanco [mm]
V_{Bmax}	desgaste de flanco máximo [mm]
R_a	desvio médio aritmético de rugosidade [μm]
l_m	comprimento total de medição [mm]
R_z	média aritmética das rugosidades singulares [μm]
Z_i	rugosidade parcial [μm]
R_y	profundidade máxima individual de rugosidade [μm]
R_{max}	profundidade máxima individual de rugosidade [μm]
le	comprimento de medição unitário [mm]
R_p	altura máxima de rugosidade em relação à média [μm]
R_v	profundidade máxima de rugosidade em relação à média [μm]
R_q	desvio médio quadrático de rugosidade [μm]
K	fator de forma
$S\gamma$	comprimento do arredondamento na face da ferramenta [μm]
$S\alpha$	comprimento do arredondamento no flanco da ferramenta [μm]
h	espessura do cavaco não cisalhado [mm]
r	raio da ferramenta de corte [mm]
γ_e	ângulo de saída efetivo [$^\circ$]
γ	ângulo de saída nominal [$^\circ$]
v_c	velocidade de corte [m/min]
f_z	avanço por gume [mm/gume]
a_e	profundidade de corte radial [mm]
a_p	profundidade de corte axial [mm]
D_c	diâmetro de corte máximo [mm]
dm_m	diâmetro da haste da ferramenta [mm]
L_2	comprimento total da ferramenta [mm]
Z_n	número de gumes

LISTA DE ABREVIATURAS

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
CA	Casca de amendoim
CC	Casca de coco
CN	Casca de noz
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
HR _c	<i>Hardness Rockwell C</i>
ICES	Instituição Comunitária de Ensino Superior
LNTP	Laboratório de Novas Tecnologias de Produção
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
UCS	Universidade de Caxias do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO	15
1.3	OBJETIVO	16
1.3.1	Objetivo geral.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	FRESAMENTO	17
2.1.1	Tipos de Fresamento.....	17
2.1.2	Ferramentas de corte para Fresamento de topo reto	19
2.2	USINABILIDADE NO FRESAMENTO	20
2.2.1	Mecanismos e tipos de desgastes.....	21
2.2.2	Vida da Ferramenta.....	23
2.2.3	Qualidade Superficial	24
2.2.4	Textura.....	26
2.2.5	Rugosidade	26
2.3	PROCESSOS PARA TRATAMENTO DO GUME	27
2.3.1	Geometria do gume.....	28
2.3.2	Tipos de tratamento do gume	29
2.3.3	Processo de acabamento por arraste.....	30
2.3.4	Influência do tratamento do gume na vida da ferramenta e superfície da peça	31
2.3.5	Mídias abrasivas para acabamento por arraste.....	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	35
3.1.1	Definições Iniciais	35
3.1.2	Variáveis de Entrada	36
3.1.3	Variáveis de Saída.....	36
3.1.4	Ferramentas	36
3.1.5	Equipamentos.....	37
3.1.6	Corpo de Prova	37

3.2	ACABAMENTO POR ARRASTE E MÍDIAS ABRASIVAS	38
3.3	PRÉ-TESTES.....	38
3.4	TESTES EXPERIMENTAIS	40
4	RESULTADOS	41
4.1	PRÉ-TESTES.....	41
4.2	CARACTERIZAÇÃO APÓS TRATAMENTO DE GUME	43
4.2.1	Caracterização das mídias	43
4.2.2	Caracterização das ferramentas.....	44
4.3	RUGOSIDADE E TEXTURA DA PEÇA USINADA	47
4.4	DESGASTE DA FERRAMENTA	51
4.4.1	Curva de comportamento de desgaste	51
4.4.2	Mecanismos de desgaste	54
5	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS	57
	ANEXO 1.....	61
	ANEXO 2.....	62
	ANEXO 3.....	63

1 INTRODUÇÃO

O mercado está cada vez mais exigente e, quando se trata de um processo que está inserido na maioria dos seguimentos da manufatura, como a usinagem, esse cenário recebe ainda mais destaque. Devido à sua importância, a necessidade do constante aprimoramento da qualidade e desempenho de ferramentas de corte e processos de fabricação, se faz indispensável. Para que isso seja possível, as ferramentas de corte são submetidas a situações ainda mais severas, em busca de níveis mais altos de produtividade e competitividade, resultando assim em uma redução considerável na sua vida útil.

Nessa busca por melhores desempenhos na qualidade superficial de peças usinadas, e melhores resultados com relação à vida útil das ferramentas de corte, quatro características principais devem ser observadas: material, engenharia da superfície e tecnologia de revestimento, otimização da geometria e tratamento do gume¹ das ferramentas. Os estudos baseados nesses quatro aspectos culminaram no surgimento de ferramentas cada vez mais precisas e modernas. Todavia, nos últimos anos, o enfoque de pesquisa e inovação tem sido direcionado para as três primeiras características, enquanto o tratamento do gume recebeu menos destaque (RODRIGUEZ, 2009).

O processo de fabricação de ferramentas apresenta defeitos na região do gume, tais como: rebarbas, microtrincas e irregularidades. Sendo assim, os objetivos primordiais do tratamento do gume devem ser direcionados para: gerar uma geometria específica no contorno do gume (arredondada, chanfrada ou uma mescla dos dois), gerar avanços na microtopografia do gume e preparar a superfície para o processo posterior de revestimento da ferramenta ou ainda melhorar o comportamento da ferramenta com relação ao seu contato com a superfície a ser cortada (RODRIGUEZ, 2009).

Existem processos de acabamento comercializados para o tratamento do gume da ferramenta de corte. Um deles é o acabamento por arraste. Muito embora haja estudos que tratam sobre as aplicações e efeitos desse processo, as mídias² abrasivas, necessárias para a realização do tratamento, ainda recebem pouco enfoque, dificultando assim a obtenção de informações sobre a composição e propriedades da mesma. Visando resultados como a redução de custo e a melhoria de desempenho, aliados aos preceitos relacionados acima, o trabalho em questão tem como princípio propor uma mídia alternativa para o tratamento do gume por arraste.

Devido a sua característica de corte interrompido, diferentemente do processo de furação ou de torneamento, no fresamento o contato entre a peça e a ferramenta de corte é de

¹ Lado afiado de uma lâmina ou instrumento cortante.

² Meio abrasivo, o qual é utilizado no tratamento por arraste para que o atrito gerado entre ele e a ferramenta resulte em uma superfície altamente polida.

grande importância para o seu desempenho, como desgaste da ferramenta e qualidade superficial da peça, paralelas a condições de corte (KLOCKE, 2011). Por apresentar essas características, o processo de usinagem empregado a esse estudo será o fresamento de topo reto.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com a empresa alemã, OTEC (2018), especializada em tratamentos de superfície, ao utilizar técnicas para o tratamento do gume de ferramentas de corte, é possível observar melhores desempenhos com relação às seguintes características: redução do desgaste, uniformidade da rugosidade, melhor precisão, redução de vazamentos em superfícies de vedação, superfícies suaves e livres de riscos e aumento na velocidade máxima de corte,

Dessa forma, observa-se que ao investir em um tratamento específico para o gume da ferramenta, o desempenho dessa pode se tornar consideravelmente superior. Isso resulta em ganho de tempo de processo, devido ao aumento da velocidade de corte; aumento da vida útil da ferramenta (e, por consequência, redução no número de paradas para troca das mesmas); redução de custos e melhor rugosidade, gerando assim uma qualidade elevada em relação à superficialidade das peças usinadas.

Contudo, no Brasil, o investimento nesse tipo de tratamento é baixo, uma vez que os custos são altos, as informações são escassas e o tema é pouco difundido. No caso do acabamento por arraste, as dificuldades acentuam-se com o fato das mídias abrasivas utilizadas no processo serem importadas, ou seja, de alto custo e de difícil obtenção.

Alicerçado às informações propostas acima, esse estudo tem foco em propor uma mídia alternativa para esse processo de acabamento, desenvolvida nacionalmente, trazendo benefícios na assistência técnica, no custo e na distribuição. Além disso, esse estudo pode proporcionar maior acesso ao tratamento, resultando assim em um aumento na utilização do mesmo e, como consequência, contribuir para a obtenção de ferramentas mais competitivas e de alta performance.

1.2 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

Criada em 1967, a UCS é uma Instituição Comunitária de Ensino Superior (ICES) e o mais antigo estabelecimento dessa natureza na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Ela conta com 80 cursos de graduação, 24 cursos de mestrado e doutorado e uma vasta gama de laboratórios de pesquisa e desenvolvimento especializados nas mais diversas áreas de

atuação, apoiada por profissionais especializados para a realização de testes e pesquisas aliados aos seus mais de 50 anos de tradição.

Este trabalho será desenvolvido no Laboratório de Usinagem dessa instituição, onde serão realizados os estudos para a formulação da mídia alternativa a ser utilizada no tratamento de acabamento por arraste. Posteriormente, essa mídia será testada em uma ferramenta para corte do tipo fresa de topo reto. Esses resultados serão comparados aos resultados obtidos através do teste de tratamento por arraste, utilizando uma mídia comercial, em uma empresa de usinagem da região.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo geral

Esse trabalho tem como objetivo compreender e avaliar a influência do tratamento do gume por arraste, em relação à qualidade superficial da peça usinada e à vida útil da ferramenta de corte.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atendimento ao objetivo geral, foram definidos os objetivos específicos listados abaixo:

- a) compreender a técnica de tratamento do gume por arraste e suas mídias;
- b) propor uma mídia alternativa para o tratamento do gume por arraste;
- c) comparar o tratamento do gume por arraste utilizando a mídia comercial e a alternativa;
- d) avaliar a influência da utilização da mídia alternativa no tratamento do gume por arraste quanto à qualidade superficial da peça; e
- e) avaliar a influência da utilização da mídia alternativa no tratamento do gume por arraste quanto à vida útil da ferramenta.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FRESAMENTO

O fresamento é um processo de usinagem onde a ferramenta de corte opera de forma intermitente na remoção do material da peça, através do seu movimento rotativo e, muitas vezes, multicortante, que apresenta múltiplos dentes de corte (STEMMER, 2005). Nesse processo, a direção de corte é perpendicular, podendo ser também transversal ao eixo de giro da ferramenta (KÖNIG e KLOCKE, 1997; KALPAKJIAN e SCHMID, 2009; DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

Usualmente, nesse processo, a peça efetua o movimento de avanço enquanto a ferramenta realiza o movimento de corte, mantendo o eixo de giro em uma posição fixa. No entanto, a peça e a ferramenta podem assumir movimentos relativos independentes ou combinados, que permitem ao processo uma ampla variedade de operações, gerando assim superfícies planas ou curvas, ranhuras, ressaltos, roscas, engrenagens e outras configurações. (STEMMER, 2005).

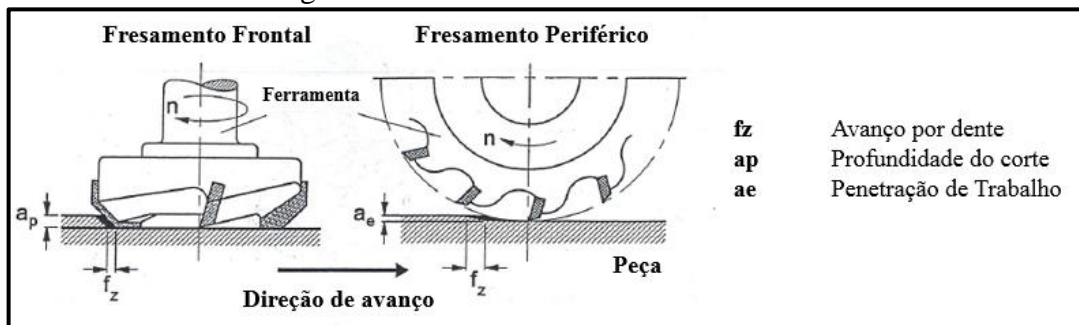
É possível destacar que a fresagem apresenta vantagens como: a variedade de formas que podem ser produzidas, a qualidade dos acabamentos superficiais, as altas taxas de remoção de cavaco e a disponibilidade de ferramentas que podem ser construídas ou associadas para produzir superfícies complexas (ZEILMANN, 2018). Por apresentar um corte interrompido, o fresamento produz solicitações térmicas e mecânicas alternantes. Por isso, o processo deve ser desenvolvido de modo a suportar a grande variação de cargas estáticas e dinâmicas (PAUCKSH et al., 2008).

2.1.1 Tipos de Fresamento

A subdivisão dos processos de fresamento é determinada pela Norma DIN 8589 (2003) que os categoriza de acordo com a superfície gerada, a forma da ferramenta e a cinemática, em: plana, circular, de forma, de geração ou de perfil. A partir da posição de corte da ferramenta, é possível classificar o processo como sendo de corte frontal ou periférico (Figura 1).

Na fresagem frontal, a superfície usinada resulta da ação combinada dos gumes localizados na periferia e na face frontal da fresa, esta geralmente em ângulo reto ao eixo da ferramenta. A superfície da peça é gerada pelo topo e pelo gume secundário da ferramenta de corte, originando assim uma superfície plana.

Figura 1 – Fresamento Frontal e Periférico

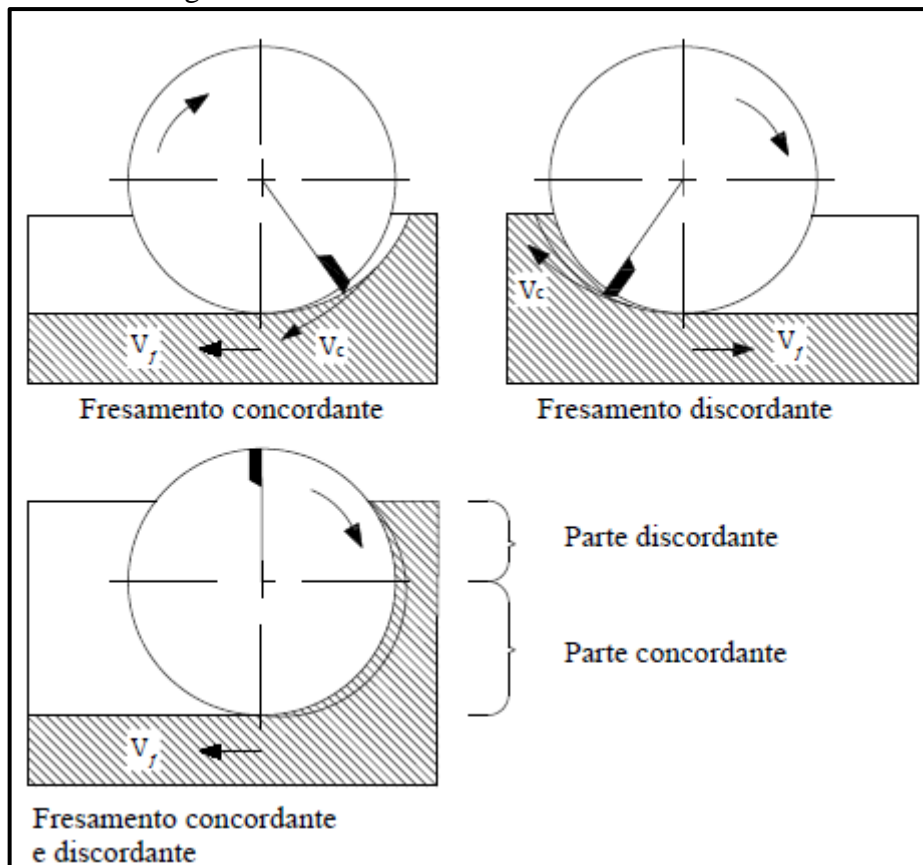


Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

Esse processo apresenta uma alta taxa de produtividade, podendo ser também caracterizado como uma operação versátil, capaz de realizar entalhes, cavidades e perfis (STEMMER, 2005; BRALLA, 2007).

Ainda se pode classificar o processo de acordo com o sentido de rotação da ferramenta e avanço da peça, sendo ele discordante ou concordante (KÖNIG e KLOCKE, 1997). No fresamento discordante, o avanço e o movimento de corte têm sentidos contrários, enquanto no fresamento concordante ele apresenta o mesmo sentido, conforme ilustrado na Figura 2.

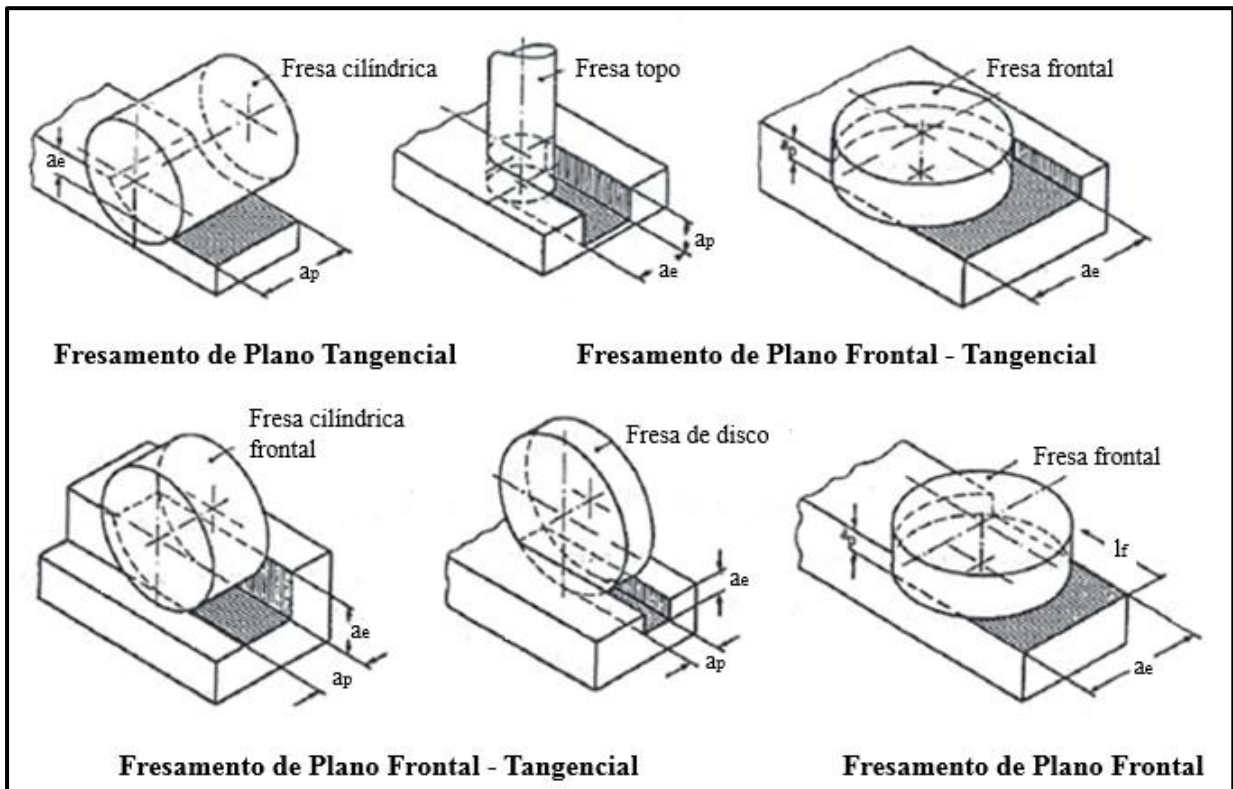
Figura 2 – Fresamento concordante e discordante



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

A utilização mais frequente do processo de fresagem é aquela que tem como objetivo obter uma superfície plana através do fresamento plano. Na Figura 3, estão relacionados os tipos de fresamento plano, de acordo com o tipo de ferramenta empregada no processo, como por exemplo, fresamento circunferencial, de topo, de disco, frontal de perfil, entre outras denominações (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

Figura 3 – Formas de Fresamento Plano



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

2.1.2 Ferramentas de corte para Fresamento de topo reto

A utilização de uma fresa de topo reto permite classificar o processo de fresamento como: contínuo, circunferencial e frontal (KÖNIG e KLOCKE, 1997). Para esse tipo de ferramenta, ainda hoje utilizam-se diâmetros pequenos, com gumes em sua face e periferia.

O processo de fresamento de topo possui uma ampla área de aplicação na indústria mecânica, onde as fresas costumam ser a parte mais flexível no sistema, uma vez que sua relação comprimento-diâmetro (L/D) é elevada (WEINGAERTNER et al., 2004). As fresas de topo podem ser utilizadas para facear, ranhurar, executar cavidades, rebaixos, matrizes, gravações, rasgos de todos os tipos e tamanhos e ainda fresar contornos. Como características principais desse processo, podemos citar a excentricidade, a deflexão e vibrações durante a

usinagem (DROZDA e WICK, 1983; KÖNIG e KLOCKE, 1997).

Em virtude da fresa de topo estar fixa por uma única extremidade, e devido à sua característica de falta de rigidez, surgem deflexões pela ação das forças de usinagem. A inclinação da ferramenta produzida por sua deflexão causa diferentes espessuras de cavaco no sentido axial, prejudicando o acabamento da peça, restringindo a produtividade e gerando esforços não-uniformes sobre os gumes.

Apesar de indesejável, por diversos aspectos, a flexibilidade da ferramenta tem como vantagem a redução de sobrecargas em situações transientes e sob vibração. Deve-se notar também que a deflexão da ferramenta tem a propriedade de atenuar os efeitos da excentricidade. Nesse caso, a espessura de cavaco a ser removida por um gume é maior do que a teórica, e as forças na usinagem também serão maiores, conduzindo a uma maior deflexão. No entanto, caso a espessura de cavaco seja menor que a teórica, o inverso ocorre. Desta forma, verifica-se que os picos máximos de força são atenuados, e os mínimos elevados (ARMAREGO e DESHPANDE, 1991).

Por apresentar tais características, aliadas ao fato da ferramenta ser rotativa, ainda é comum empregar-se materiais mais antigos, como o aço rápido, para essas aplicações. A justificativa para essa utilização é que materiais mais nobres para ferramentas de corte exigem altas rotações e altas velocidades de corte, o que dificulta e algumas vezes inviabiliza o processo (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

2.2 USINABILIDADE NO FRESAMENTO

A usinabilidade de um material sempre é observada em um contexto de processo de fabricação do material da ferramenta e das condições do corte. Sendo assim, podemos caracterizá-la como a abrangência de todas as propriedades dos materiais que têm influência no processo de usinagem, bem como todas as dificuldades que o mesmo apresenta (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

Entende-se como propriedades de usinagem de um metal aquelas que expressam o seu efeito sobre grandezas mensuráveis inerentes ao processo de usinagem dos metais, tais como a vida da ferramenta, a força de usinagem, o acabamento superficial da peça, a temperatura de corte, a produtividade e as características do cavaco (FERRARESI, 1970). Além disso, a usinabilidade depende também: do estado metalúrgico da peça, da dureza, das propriedades mecânicas do material e da sua composição química, das operações efetuadas anteriormente e do eventual encruamento do material empregado (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

Para a descrição de usinabilidade são empregadas simbologias como: Z_v e Z_s , onde v está para o desgaste, assim como s está para a formação do cavaco. Z_v descreve basicamente o comportamento do desgaste, onde, para uma certa operação, a usinabilidade deve ser aceita como boa, quando o material pode ser usinado com velocidade de corte elevada e com seção do cavaco grande, resultando assim em um desgaste pequeno da ferramenta. Já para Z_s , pode-se admitir que a usinabilidade é boa, quando a adesão do material é pequena e o corte não apresenta formações de cavaco fita ou enrolados. Além disso, a superfície é lisa e isenta de rebarbas, resultando em valores positivos com relação à qualidade superficial da peça (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

2.2.1 Mecanismos e tipos de desgastes

Durante o processo de usinagem, há uma variada gama de mecanismos de desgaste agindo simultaneamente sobre a peça e a ferramenta de corte. Devido a essa grande variedade, se torna difícil identificar e distinguir suas causas e efeitos. O tipo de desgaste predominante em uma operação de usinagem depende do material que está sendo usinado, do material da ferramenta e das condições de corte (KISHAWY et al., 2005). De todas as formas, é possível citar a oxidação, a difusão, a adesão e a abrasão como os principais mecanismos responsáveis pelo desgaste das ferramentas de corte (STEMMER, 2005; KÖNIG e KLOCKE, 1997).

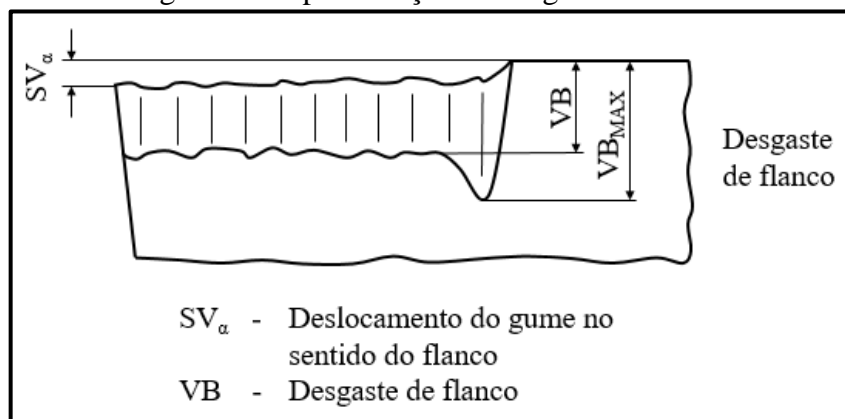
Na oxidação, altas temperaturas e a presença de ar e água, contida nos fluidos lubrificantes, são causadores de desgaste para a maioria dos metais, pois o mesmo se forma especialmente nas extremidades do contato cavaco-ferramenta (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999). Assim como na oxidação, as altas temperaturas na zona de corte também são responsáveis pelo fenômeno da difusão, que consiste na transferência de átomos de um metal para o outro. Além da temperatura, a duração do contato e a afinidade físico-química dos dois metais envolvidos na zona de cisalhamento secundário podem dar origem ao desgaste por difusão (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

Diferentemente da difusão e a oxidação, que são geradas principalmente pelos efeitos de altas temperaturas, a utilização do efeito reverso (temperaturas baixas) dá origem ao fenômeno conhecido como adesão. Esse, nada mais é que, a combinação das baixas temperaturas aliadas a baixas velocidades de corte e cargas moderadas, juntamente com o contato constante entre duas superfícies metálicas, resultando assim na migração de partículas da superfície de um metal para a superfície do outro (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999). Para minimizar esse efeito, basta utilizar o correto fluido de corte durante o processo e

ou fazer o revestimento da ferramenta com materiais de baixo coeficiente de atrito.

Contudo, dentre os desgastes citados acima, a abrasão pode ser destacada devido ao fato de poder causar tanto um desgaste de flanco (Figura 4), quanto um desgaste de cratera. No caso do desgaste de flanco, há o constante atrito da ferramenta com o material rígido (peça) e da face com um elemento flexível (cavaco) (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999). Como o desgaste abrasivo é incentivado pela presença de partículas duras no material da peça e pela temperatura de corte, que reduz a dureza da ferramenta, para que a ferramenta de corte possua uma maior resistência a esse tipo de desgaste, são necessários maiores valores de dureza à quente (FERRARESI, 1970).

Figura 4 - Representação de desgaste do flanco



Fonte: Adaptado de Klocke (2011).

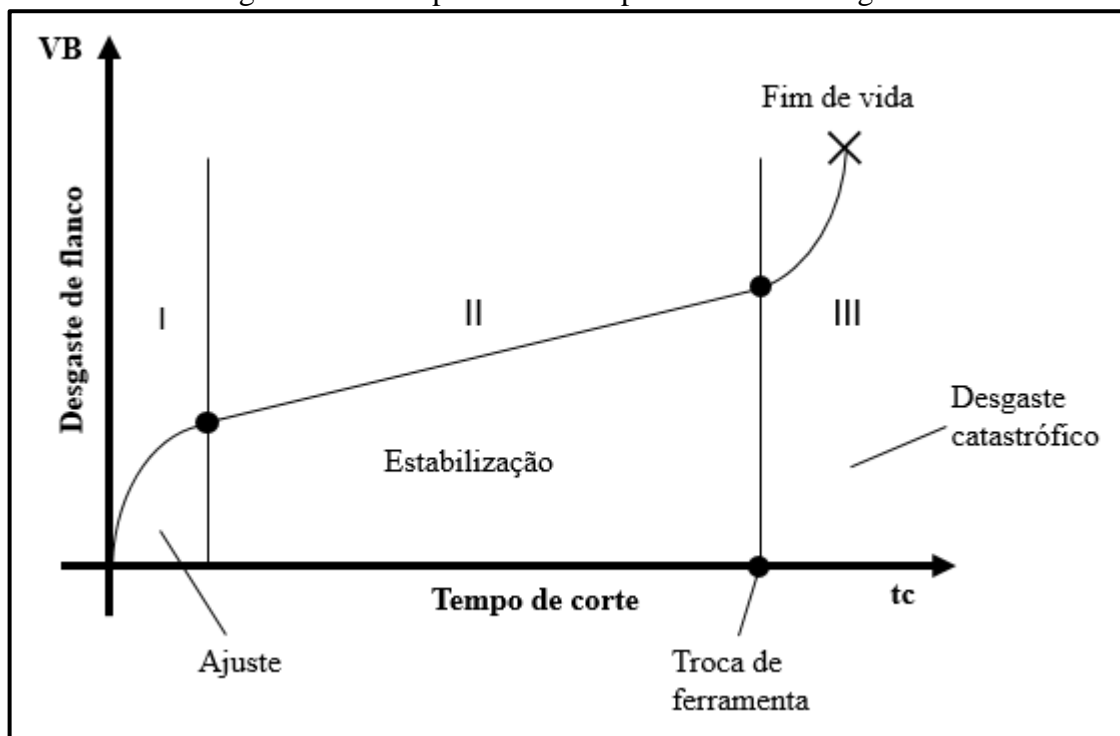
Tratando-se de medições de desgaste, é coerente observar o valor médio do desgaste de flanco (VB), e o seu valor máximo (VB_{máx}) (KÖNIG e KLOCKE, 1997; DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999). Por modificar a forma do gume da ferramenta, este tipo de desgaste prejudica o acabamento superficial da peça, podendo causar mudanças dimensionais, afetando as tolerâncias da usinagem (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

Devido à cinemática do processo de fresamento, características específicas aumentam a taxa de desgaste das ferramentas. Esse processo se caracteriza pela variação de carga térmica e mecânica decorrente da saída e reentrada da mesma. Além disso, a variação de temperatura pode causar tensões que resultam em trincas térmicas. E, ainda, a variação nas cargas mecânicas pode ocasionar o surgimento de trincas por fadiga (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

Com a evolução dos estudos do desgaste, constatou-se a existência de três estágios desde o início da utilização da ferramenta de corte até o final da sua vida útil. No estágio I, ocorre um desgaste acelerado, oriundo da adequação ao sistema tribológico envolvido. No estágio II, o corte é realizado de forma estável, fazendo com que o desgaste alcance uma taxa de aumento

constante. Por fim, no estágio III, há uma aceleração do desgaste, em que as temperaturas e tensões envolvidas ocasionam, com a continuidade do corte, o colapso da ferramenta (MACHADO et al. 2009). Em outras palavras, pode-se afirmar que, em condições de corte adequadas, as ferramentas tendem a seguir um comportamento padrão. Na Figura 5, estão ilustrados, através de um gráfico, o comportamento dos três estágios do desgaste, descritos anteriormente:

Figura 5 - Curva padrão de comportamento do desgaste



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009).

2.2.2 Vida da Ferramenta

Entende-se vida da ferramenta como o tempo em que a mesma trabalha efetivamente sem perder sua capacidade de corte, até que um critério de fim de vida, previamente estabelecido, seja atingido. Quando esse é alcançado, a ferramenta deve ser reafiada ou substituída. Sendo assim, a vida da ferramenta nada mais é que o tempo efetivo em que ela trabalha. A não substituição da ferramenta, no momento adequado, pode gerar aumento excessivo das forças de usinagem, acabamento superficial não adequado, e até colapso da ferramenta, resultando assim na quebra da mesma (FERRARESI, 1970).

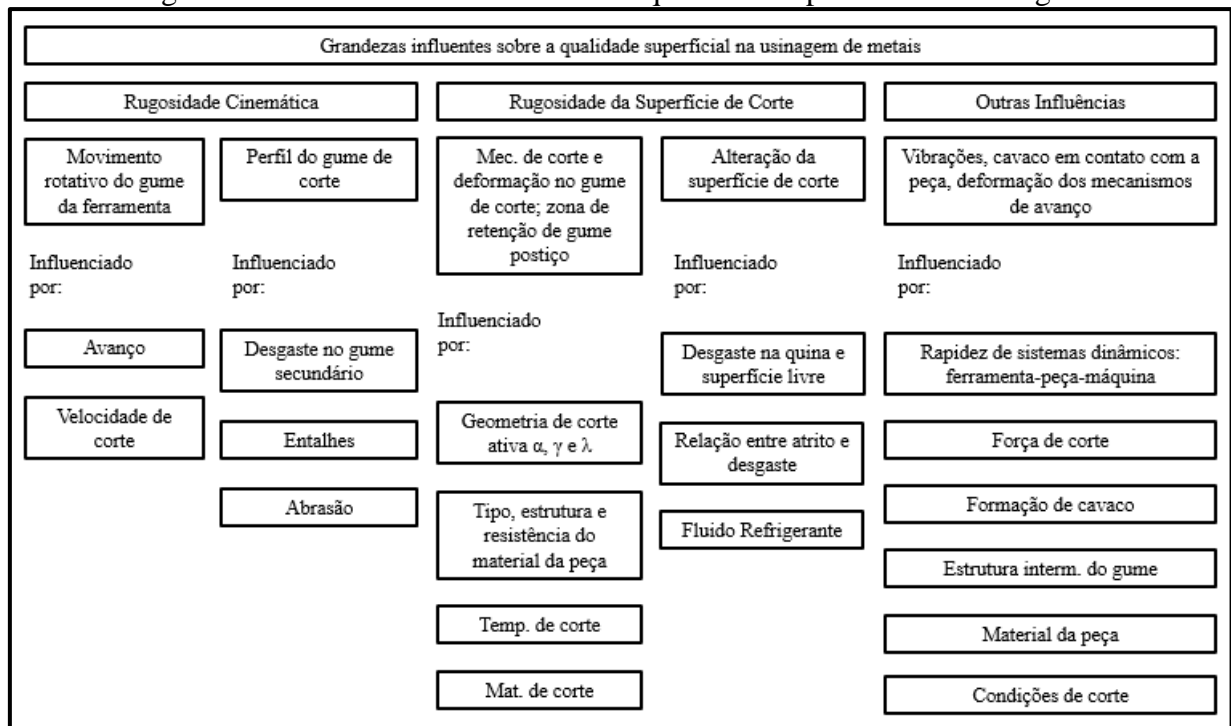
A atribuição de valores limites para os desgastes encontrados (VB e VBmáx) pode ser uma forma de determinar os valores de vida da ferramenta, bem como o tempo efetivo de

trabalho, percurso de corte, número de peças produzidas e rugosidade da peça (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 1999).

2.2.3 Qualidade Superficial

A qualidade superficial obtida por usinagem pode ser um determinante para os parâmetros iniciais exigidos para esse processo, como os critérios de condições de corte e geometria da ferramenta (KÖNIG e KLOCKE, 1997). Na Figura 6, estão representados, de forma resumida, os principais fatores que têm influência sobre a qualidade superficial na usinagem de metais.

Figura 6 - Fatores de influência sobre a qualidade superficial em usinagem

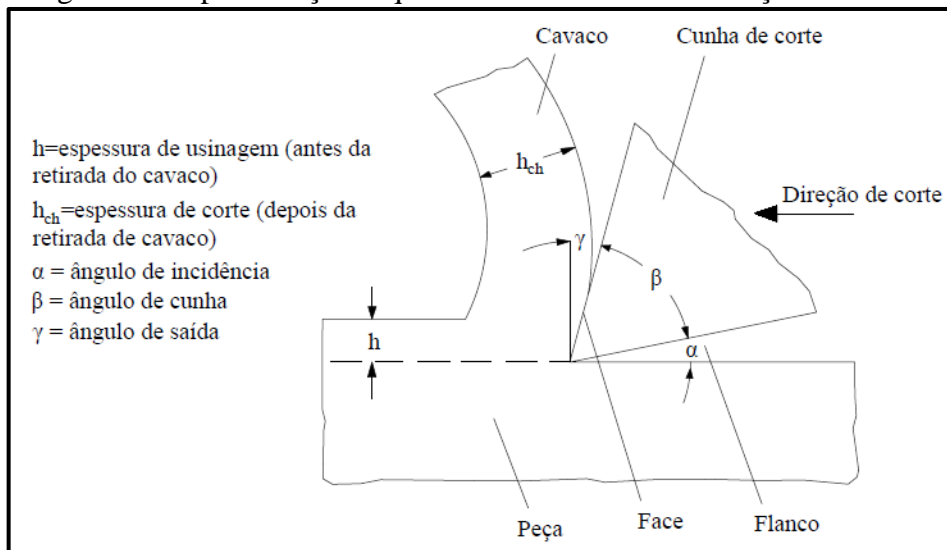


Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

No início do corte, a cunha da ferramenta penetra no material da peça, que se deforma elástica e plasticamente. Então, o material começa a escoar após ultrapassar a sua tensão máxima de cisalhamento. Devido à forma da cunha de corte, o material escoado assume a forma de cavaco, que desliza sobre a face da ferramenta (BORDIN, 2013).

A interação entre ferramenta de corte e peça usinada é de grande relevância para o entendimento da formação de superfícies e qualidade das mesmas. Essa relação é representada esquematicamente na Figura 7, que corresponde à mecânica básica do corte.

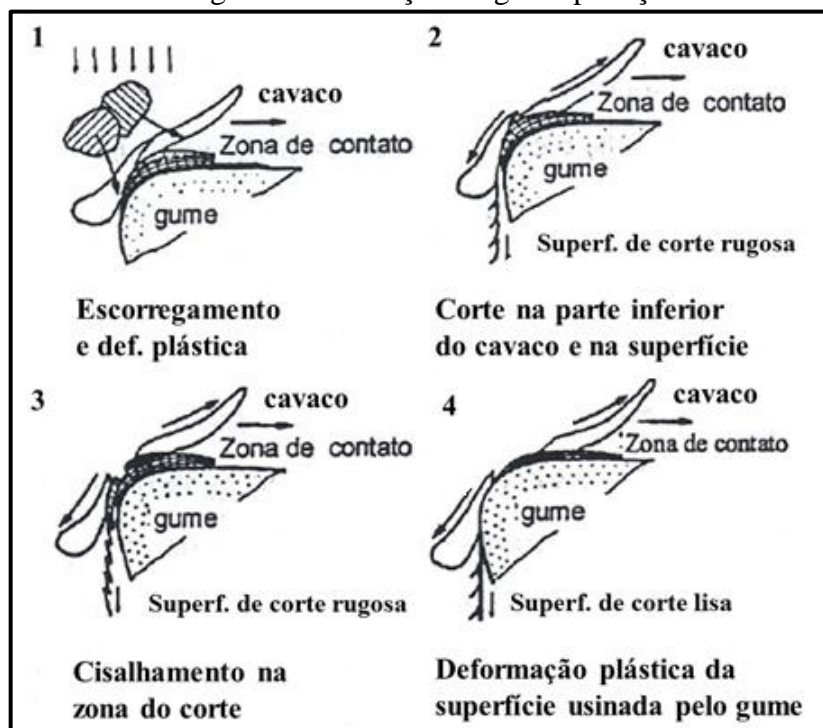
Figura 7 - Representação esquemática do corte e a formação de cavaco



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

Um dos fatores que tem influência direta na rugosidade de peças usinadas é a velocidade de corte. Para pequenas velocidades de corte, a formação do gume postiço e partículas do mesmo, que migram para a região entre a ferramenta e a superfície da peça, afetam a qualidade superficial. Já quando utilizadas maiores velocidades de corte, a formação do gume postiço deixa de ser relevante quando a faixa de formação de cavaco contínuo é alcançada (KÖNIG e KLOCKE, 1997). Na Figura 8, estão relacionadas diversas formações do gume postiço.

Figura 8 - Formação do gume postiço



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

Além disso, os ângulos da geometria da ferramenta, de saída e de posição, também devem ser levados em consideração para critérios de qualidade da superfície, pois com o aumento positivo do ângulo de saída, a rugosidade é reduzida e a diminuição do ângulo de posição pode originar vibrações regenerativas, afetando assim negativamente os resultados de superfície. De maneira geral, a formação de rugosidade é regida por fenômenos que ocorrem no gume da ferramenta que, por sua vez, têm relação direta com o comportamento do material utilizado.

2.2.4 Textura

A textura é composta pelos desvios repetitivos e randômicos da superfície real em relação à superfície geométrica da peça. Sendo assim, é possível afirmar que a superfície de uma peça usinada é composta por elementos de textura, como ondulação e rugosidade. Tratam-se também como elementos de texturas sulcos, ranhuras, e até mesmo falhas que ocorrem durante o processo de fabricação (BET, 1999).

A textura da superfície também pode ser definida como o arranjo das características da superfície, que são percebidas macrogeometricamente, à olho nu, composta de raias, falhas, crateras e trincas e, microgeometricamente, definida pelos desvios de segunda à quinta ordem (DIN 4761, 1978 apud BET, 1999). Segundo Tabenkin (1999), o acabamento ou textura pode ser descrito pela quantidade e direção dos vales e picos que compõem uma superfície, resumindo-a em três elementos básicos: rugosidade, ondulação e forma. De maneira geral, na maioria dos casos, a rugosidade tem o comprimento de onda menor que a ondulação, que por sua vez, tem o comprimento de onda menor que o desvio de forma.

Através do uso de unidades distintas de comprimento, chamados de *cut-offs*, é possível realizar a medição dos componentes da textura. O comprimento do *cut-off* juntamente com técnicas de filtros elétricos, possibilitam o dimensionamento de cada um dos componentes de forma individual (NICOLA, 2008).

2.2.5 Rugosidade

Segundo Oliveira (2006), baseando-se nos critérios de linha média, os sistemas de medição de rugosidade podem ser agrupados em três classes, conforme especificados a seguir:

R_a , rugosidade média, corresponde à média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento, dos pontos do perfil de rugosidade, em relação à linha média, dentro

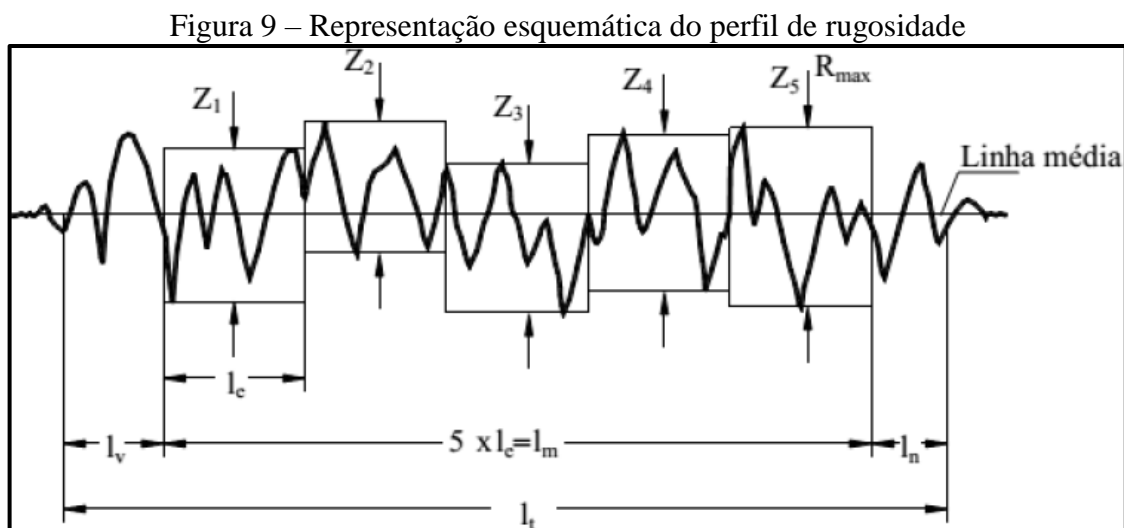
do comprimento de medição total (l_m).

R_z , que equivale à média aritmética dos cinco valores de rugosidade parcial, (Z_i), sendo a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média ao longo do comprimento da amostragem.

R_y ou $R_{m\acute{a}x}$, que corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e vale mais profundo no comprimento de medição unitário (l_e). A distância entre eles configura a profundidade total da rugosidade $R_{m\acute{a}x}$ ou R_y .

Outros parâmetros de rugosidade também podem ser observados como R_p e R_v , que são, respectivamente, o maior pico e o maior vale de uma medição em relação à média. E ainda o parâmetro R_q , que é um valor quadrático médio do perfil, que apresenta maior sensibilidade a picos e vales maiores.

A avaliação da rugosidade se dá, basicamente, fazendo uso de um apalpador mecânico em que a superfície de amostragem é percorrida, registrando os valores da superfície obtidos (NICOLA, 2008; BET, 1999; ZEILMANN, CALZA e XAXIER, 2006). O perfil obtido pode ser visualizado na Figura 9.



Fonte: Adaptado de König (1997).

2.3 PROCESSOS PARA TRATAMENTO DO GUME

Os processos para tratamento do gume consistem, principalmente, na geração da geometria do gume e na modificação da sua microtopografia, alterando assim a rugosidade e a textura das superfícies da ferramenta (face e flanco) na cunha de corte (RODRIGUEZ, 2009). Assim, se obtém uma redução dos defeitos do gume, ao mesmo tempo que ele é reforçado, a fim de aprimorar o desempenho e a confiabilidade da ferramenta de corte, aumentando a

qualidade da peça usinada (RODRIGUEZ, 2009; BOUZAKIS et al., 2009a).

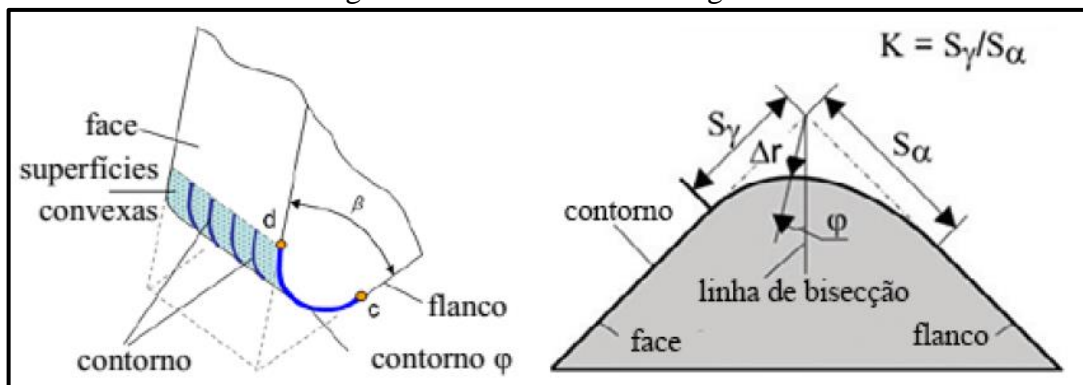
Convém destacar que um dos principais objetivos do tratamento do gume é reduzir lascamentos e criar um arredondamento e/ou chanfro na cunha de corte, para melhor a estabilidade durante a usinagem (BIERMANN e TERWEY, 2008; KARPUSCHEWSKI, BYELYAYEV, e MAIBORODA, 2009). Além disso, esse processo pode proporcionar redução de defeitos no gume, reforço da cunha de corte, aumento da vida da ferramenta e preparação da superfície da ferramenta para a aplicação de revestimentos (RODRIGUEZ, 2009).

2.3.1 Geometria do gume

Em um processo de usinagem, a geometria de uma ferramenta de corte tem efeito significativo quando se trata de parâmetros de entrada e saída (SAMBHAV, TANDON e DHANDE, 2012). Para que seja possível definir a geometria do gume adequada a uma aplicação específica, os seguintes aspectos devem ser levados em consideração: condições iniciais do gume; tipo de usinagem a ser realizada; parâmetros de processo; material da peça a ser usinada; material, macrogeometria e tratamento da ferramenta de corte (RODRIGUEZ, 2009).

Além disso, Rodriguez (2009) e Rech (2006) afirmam que é possível dividir os estudos de geometria do gume em macro, meso e microgeometria. A macrogeometria define ângulos de corte, raios de quina, quebra-cavacos e outras superfícies funcionais. Já no caso da mesogeometria, os tratamentos do gume ganham destaque devido aos contornos correspondentes à superfície convexa do mesmo. E, por fim, as microgeometrias avaliam a microtopografia do gume e da superfície.

Figura 10 - Fator de forma do gume



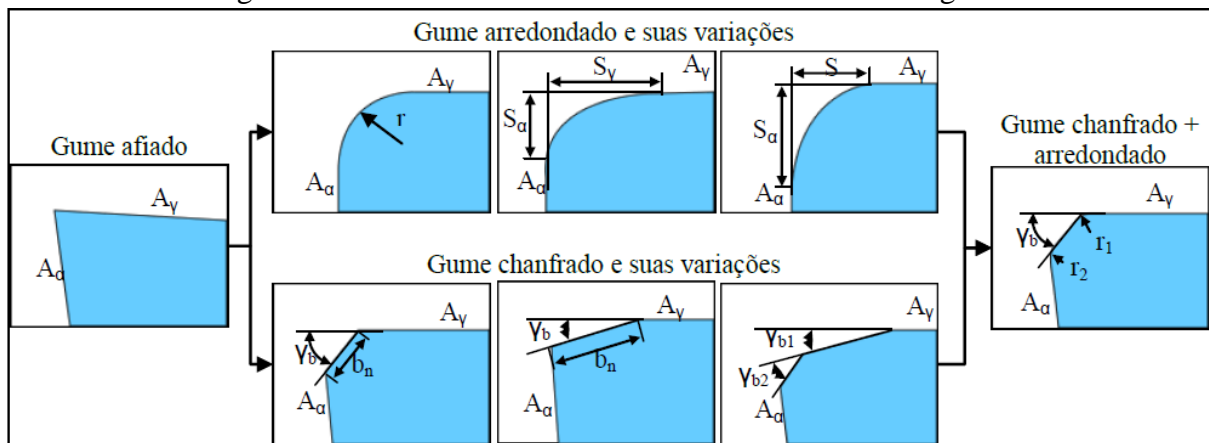
Fonte: Adaptado de Rodriguez (2009).

Dentre os parâmetros de caracterização de gume, o fator de forma (K), juntamente com

o valor do raio do gume, determina a sua orientação (AURICH e EFFGEN, 2015). O fator de forma (Figura 10), que é resultante da divisão entre os segmentos do gume S_γ e S_α , faz parte da mesogeometria da ferramenta (DENKENA, KOEHLER e REHE, 2012).

De forma geral, é possível distinguir a geometria do gume como sendo chanfrada e arredondada. A partir dessas duas geometrias, diversas outras podem ser geradas, conforme ilustrado na Figura 11:

Figura 11 - Geometrias obtidas através do tratamento do gume



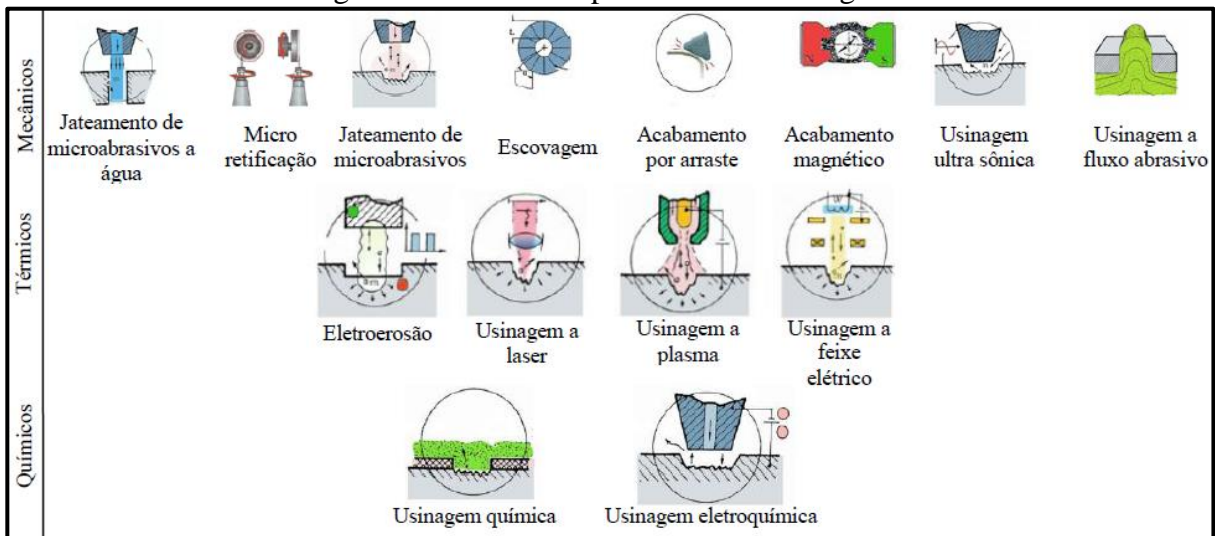
Fonte: Adaptado de Rodriguez (2009).

2.3.2 Tipos de tratamento do gume

Existem diversos processos que podem ser aplicados para a obtenção de uma geometria definida na ferramenta de corte. O objetivo do tratamento ou preparação do gume é remover material sistematicamente, agindo diretamente na geração da geometria do gume. O tratamento pode modificar a sua microtopografia, alterando assim a rugosidade e a textura das superfícies da ferramenta nas proximidades do gume (RODRIGUEZ, 2009). Consequentemente, o tratamento acaba eliminando defeitos e reforçando o gume, que obtém uma forma definida (RODRIGUEZ, 2009; BIERMANN e TERWEY, 2008; BORDIN, 2013). Entretanto, acima de qualquer outra característica, nesse tipo de processo os preceitos primordiais são a precisão e repetitividade (RODRIGUEZ, 2009).

Para cada tratamento do gume são utilizados processos tecnológicos distintos, cada qual fazendo uso de uma fonte de energia diferente para a remoção de material, podendo ser agrupados em três diferentes categorias: processos mecânicos, térmicos e químicos. Na Figura 12, é possível observar, de forma esquemática, as variedades desse tipo de processos de tratamento.

Figura 12 - Processos para tratamento do gume



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2009).

É possível afirmar-se que os processos mais utilizados são aqueles realizados através do uso de energia mecânica, podendo destacar ainda a usinagem com jato de microabrasivos como o processo mais usual (Al-ZKERI et al., 2009; BIERMANN e TERWEY, 2008; BIERMANN, WOLF e ASSMUTH, 2012; RECH, 2006). Seguem-se daí os processos de polimento, usinagem por fluxo abrasivo, acabamento por arraste e usinagem por eletroerosão (BORDIN, 2013).

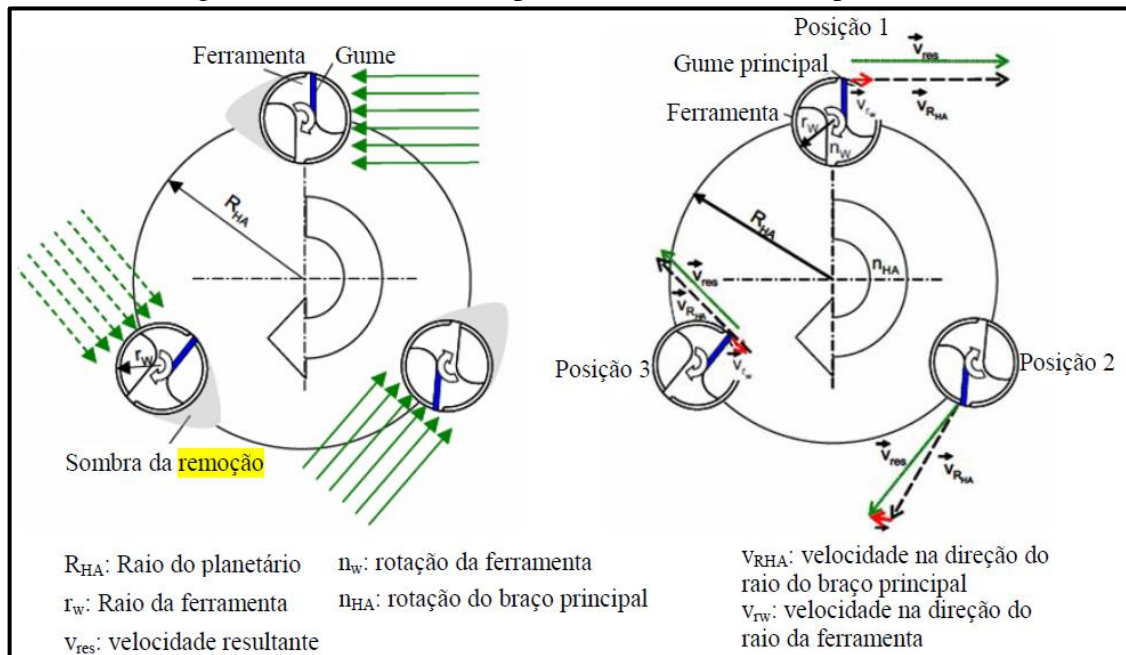
A forma do gume e sua condição são de suma importância nas operações de usinagem, assim, podendo ser classificadas conforme seu raio. Primeiramente, com raios na faixa de 5 μm , estão as ferramentas que são afiadas por processo de retífica (sem tratamento). Depois, aqueles com raio médio, de 5 a 20 μm , no qual a ferramenta é tratada com jatos abrasivos ou acabamento por arraste. E finalmente, para raios maiores, acima de 20 μm , a ferramenta passa pelo processo de escovamento (PAUCKSH, 2008; SOMMER, 2013).

2.3.3 Processo de acabamento por arraste

Retificação por arraste ou acabamento por deslizamento, também são nomenclaturas utilizadas quando nos referimos a acabamentos por arraste. O preceito fundamental desse processo constitui na imersão da ferramenta de corte em um meio abrasivo. Esse por sua vez é constituído por elementos cerâmicos com granulometrias conhecidas, utilizadas de acordo com o arredondamento do gume ou polimento desejado. O processo é realizado com o deslocamento da ferramenta através do meio, sofrendo a ação abrasiva dos grãos (OTEC, 2008).

Nesse processo de acabamento, a ferramenta é fixada e gira em torno do seu eixo, enquanto a máquina faz com que a ferramenta realize o seu movimento de translação, como ilustrado na Figura 13. Através desta combinação de movimentos, o processo resulta em um tratamento uniforme em todas as áreas da ferramenta (RISSE, 2006; OTEC, 2008).

Figura 13 - Cinemática do processo de acabamento por arraste



Fonte: Adaptado de Risse (2006).

Ferramentas rotativas podem representar um desafio para a realização de tratamentos, por conta da sua topografia complexa. O acabamento por arraste é indicado para estes casos, pois garante uma ação homogênea em toda superfície, por mais complexa que essa possa ser (PAUCKSH, 2008).

Quando a qualidade superficial é o elemento de maior importância, esse processo é recomendado, pois é confiável e reproduzível, além de gerar melhores distribuições das cargas ou um arredondamento bem definido (TIKAL, 2009). É empregado para suavização das bordas dos gumes e também para a remoção de aglomerações provenientes do processo de revestimento (BORDIN, 2013).

2.3.4 Influência do tratamento do gume na vida da ferramenta e superfície da peça

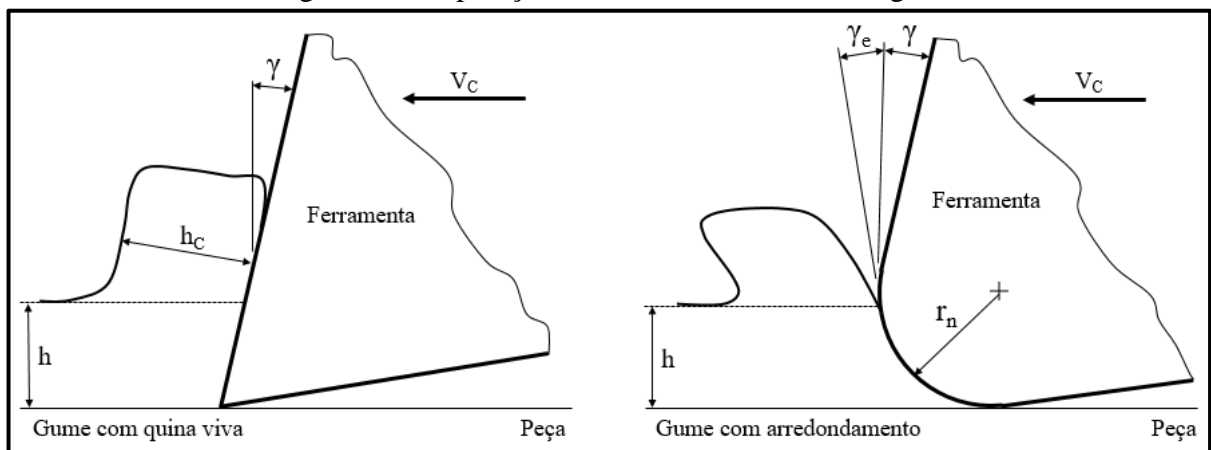
O impacto das altas temperaturas e cargas mecânicas envolvidas em um processo de corte, pode resultar no desgaste da ferramenta, durante o processo de usinagem. Com base na

afirmação anterior, é possível determinar que a qualidade da superfície usinada também é afetada pela geometria do gume da ferramenta (DENKENA, KOEHLER e REHE, 2012).

Risse (2006) afirma que no processo de acabamento, a ferramenta é tratada de forma a obter arredondamento dos gumes, desencadeando assim o aumento dos esforços na usinagem e a redução no seu desgaste em comparação com ferramentas que não são tratadas.

O raio do gume pode alterar os aspectos fundamentais da mecânica do corte, afetando as forças de corte, distribuição de temperaturas, desgaste e vida útil de ferramentas, e qualidade da superfície da peça usinada (RODRIGUEZ, 2009; BOUZAKIS et al., 2003; RANGANATH, CAMPBELL e GORKIEWICZ, 2007; RISSE, 2006). Esses efeitos acabam modificando a formação e escoamento do cavaco (Figura 14), integridade superficial da peça e a resistência ao desgaste da ferramenta (BIERMANN, WOLF e ASSMUTH, 2012).

Figura 14 - Suposições teóricas – Geometria do gume



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2009).

A mudança da geometria de corte altera o mecanismo de corte do gume. De acordo com Rodriguez (2009), Biermann, Wolf e Assmuth (2012), quando a magnitude da espessura do cavaco não cisalhado (h) for comparável ao raio da ferramenta (r_n), o ângulo de saída efetivo (γ_e) é sempre negativo, independentemente do ângulo nominal de saída (γ) ser positivo, negativo ou neutro.

Quando se trabalha com baixos avanços (furação) ou menores profundidades de corte (torneamento e fresamento), ocorre um aumento do efeito de *ploughing* (sulcamento). Esse é identificado quando a maioria do material, que é dirigido ao arredondamento/chanfro do gume principal, é plasticamente empurrado para os lados, resumindo a remoção a pequenas rebarbas, que são escoadas lateralmente ou compactadas (BIERMANN, WOLF e ASSMUTH, 2012; GONÇALVEZ, 2009).

Para uma dada condição de corte, existe um ângulo de saída negativo crítico do qual o mecanismo predominante será o sulcamento. Esse fenômeno é resultante de um ângulo de saída muito negativo ou de um ângulo de saída negativo “efetivo”, o qual existe quando o raio do gume é da ordem da profundidade de corte, quando o mesmo é ortogonal. Sendo assim, quanto maior a deflexão e compressão do material da peça, causado pelo sulcamento, maiores serão os efeitos sobre as variáveis do processo, como cargas mecânicas e qualidade da superfície (BIERMANN, WOLF e ASSMUTH, 2012; MANJUNATHAIAH e ENDRES, 2000).

Uhlmann et al. (2014) avaliaram a preparação do gume em microfresas. Entre os raios do gume de 2, 4 e 8 μm , o raio de 8 μm apresentou os melhores resultados em termos de desgaste. Porém só em 2016, Uhlmann et al., identificaram a relação do tratamento com as forças de usinagem, o desgaste e a superfície obtida.

Em uma operação de fresamento de aço 42CrMo4, foi avaliada a influência da geometria do gume no desgaste e integridade superficial da peça (DENKENA, KOEHLER e REHE, 2012). As análises indicaram que o comportamento do desgaste tem relação direta com a forma e o raio do gume da ferramenta.

Esse tema também foi estudado por Fulemová e Janda (2014), na operação de fresamento com insertos. Foi constatado que os maiores raios do gume resultaram nas maiores vidas das ferramentas para o fresamento de um aço ferrítico-martensítico. Além disso, entre os processos testados, o acabamento por arraste expressou as menores forças de corte e o menor desgaste.

2.3.5 Mídias abrasivas para acabamento por arraste

No tratamento de acabamento por arraste, as mídias abrasivas desempenham um papel de grande importância, pois a remoção do material da ferramenta de corte se dá através do movimento relativo entre a ferramenta e a o meio abrasivo utilizado no processo (UHLMANN et al, 2014). Além da capacidade de remover material, a mídia abrasiva desempenha o papel de geração das superfícies nas peças a serem usinadas (TIKAL, 2009).

Embora muitos estudiosos (Biermann, 2012; Risse, 2006; Rodriguez, 2009) tenham dedicados suas pesquisas ao efeitos do tratamento de acabamento por arraste, há pouquíssimas informações com relação às propriedades e às características das mídias abrasivas empregadas a esse processo. Assim, fez-se necessário observar outros tratamentos como o polimento com cerdas abrasivas e o jateamento de micro-abrasivos, para identificar materiais que poderiam atuar como abrasivos na formulação das mídias. Identificou-se que os materiais mais

comumente utilizados para essas aplicações são carbeto de silício (SiC) e óxido de alumínio (Al_2O_3) (RODRIGUEZ, 2009; UHLMANN, 2016).

Com base nos estudos realizadas por Ost, (2016), foi possível identificar alguns componentes que fazem parte desse meio abrasivo, que é constituído basicamente por uma substância de granulometria maior, como por exemplo, grãos de casca de noz; um aditivo abrasivo; e um ligante que serve para realizar a adesão entre os grãos e o material abrasivo. Especialmente no caso de mídias compostas de casca de noz, as mesmas recebem adição de abrasivos que têm o papel de realizar o polimento ou a retificação. O granulado em si tem como principais funções transportar o material abrasivo e agir como carga.

3 METODOLOGIA

O capítulo em questão diz respeito às metodologias que foram utilizadas para a realização dos testes experimentais. Através deles, foram comparadas, mídias comercial e alternativa. Nele também foram descritos os parâmetros para testes, bem como ferramentas, equipamentos e materiais utilizados na pesquisa. Por fim, foram expostos os procedimentos para a avaliação dos resultados obtidos, bem como, as conclusões que os referidos testes permitiram observar no capítulo seguinte.

3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A fim de realizar testes experimentais, o planejamento a ser descrito tem como objetivo propor variações de tratamento superficial de ferramentas de corte testadas em corpos de prova com dimensões definidas, através do tratamento de acabamento por arraste. Para tal, duas diferentes formulações de mídias abrasivas foram avaliadas, mantendo as mesmas condições de corte durante todo o experimento.

3.1.1 Definições Iniciais

Em se tratando de usinagem, os parâmetros de corte e processo apresentam grande influência sobre os resultados obtidos. Portanto, para que os testes realizados sejam confiáveis, e para que apenas o acabamento atue efetivamente nos resultados obtidos para vida útil da ferramenta e qualidade superficial da peça, alguns parâmetros foram fixados. Assim, a velocidade de corte (v_c) e o avanço (f_z) utilizados foram de 180 m/min e 0,06 mm/gume, respectivamente.

A estratégia de usinagem empregada ao ensaio é concordante para fresagem de topo reto, parâmetro necessário para o teste. Os ensaios de fresamento foram realizados com passes de 252 mm de comprimento, com profundidade axial (a_p) de 0,5 mm, e profundidade lateral (a_e) de 0,2 mm.

Na dissertação escrita por Ost (2016), diversas condições de usinagem foram testadas a fim de obter o melhor desempenho para a aplicação abordada e assim atingir os propósitos estudados pelo autor. Todavia, no presente trabalho a fresagem ocorreu sem a presença de fluido lubrificante. Essa condição foi escolhida para que os dados obtidos no estudo de desgaste não fossem mascarados, levando em conta variáveis que não são pertinentes para esse estudo.

3.1.2 Variáveis de Entrada

Para que sejam atendidos os objetivos propostos no estudo aqui apresentado, foram variadas as mídias utilizadas no tratamento de acabamento por arraste. Primeiramente foram realizados pré-testes (tópico 3.3) a fim de identificar qual dentre as combinações propostas é a mais adequada para o tratamento. Depois de definir a formulação da mídia, foram testadas, ambas, mídia comercial e mídia proposta (OTEC – HSC1/300), aplicadas ao processo de fresamento de topo reto.

3.1.3 Variáveis de Saída

Como variáveis de saída do processo, foram avaliados desgaste da ferramenta de corte, após acabamento por arraste, e qualidade superficial da peça usinada. Para tal avaliação, foram seguidas as determinações expostas abaixo:

Com relação ao desgaste, o critério de fim de vida foi utilizado como parâmetro de parada do teste, assim, o ensaio foi conduzido até que uma das seguintes condições fosse alcançada: desgaste de flanco máximo (V_{Bmax}) de 0,2 mm ou lascamento da ferramenta.

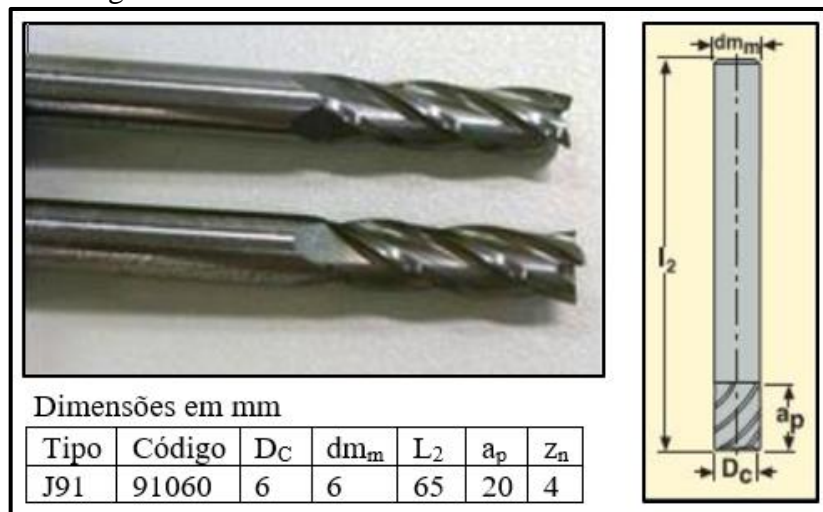
Já para a qualidade superficial, a avaliação de rugosidade e textura, foram utilizados os critérios: R_a , R_z e R_{max} , mensurados no início, no meio e no fim de vida. Já como parâmetros de medição, foram utilizados *cut-off* de 0,8 mm e 5 medições por região usinada.

3.1.4 Ferramentas

Para o trabalho em questão, foram utilizadas fresas de metal-duro de diâmetro de 6 mm e quatro gumes em cada uma delas. Tais ferramentas foram fornecidas pelo fabricante Seco Tools, de referência 91060, linha Jabro.

A fim de obter resultados mais claros com relação aos efeitos dos tratamentos superficiais propostos, optou-se por utilizar fresas não revestidas, com geometria de afiação original e que não apresentassem raio de quina. O batimento das ferramentas apresentou valores de 0,2mm. As geometrias das ferramentas utilizadas podem ser verificadas na Figura 15.

Figura 15 – Fresas de metal-duro utilizadas nos testes



Fonte: Adaptado de Ost (2016).

3.1.5 Equipamentos

Os testes foram realizados no Laboratório de Novas Tecnologias de Produção (LNTP), situado no bloco D da cidade universitária na UCS. O centro de usinagem utilizado é da marca Hartford (modelo LG-500). Seus valores de potência e rotação máxima podem chegar até 10 kW e 10.000 rpm, respectivamente.

Através de um rugosímetro portátil da marca Mitutoyo, modelo SJ-301, foram realizadas as medições de rugosidade. O equipamento tem capacidade de resolução de 0,01 μm , com raio de ponta do apalpador de diamante de 5 μm e coincidência de 90°. A textura da superfície deve ser obtida fazendo uso de um estereoscópio trinocular de medição universal (marca Entex e modelo TNE-10B). Para a obtenção das imagens, e fez-se necessário o uso de um microscópio ótico, da Nikon, modelo Epiphot 200.

Para verificar a homogeneidade das ferramentas, a mesma foi mensurada em uma máquina universal de medição de perfil Zoller modelo Genius 3, em parceria com a empresa Secta Tools. Também em parceria com essa empresa que pertencente ao Grupo Lesi, na máquina DF-3 Tool da marca alemã OTEC, foram realizados os testes de acabamento por arraste. A caracterização das ferramentas foi realizada com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo, marca Tescan, modelo Mira 3. O citado equipamento encontra-se no Laboratório Central de Microscopia, dentro da UCS.

3.1.6 Corpo de Prova

O material utilizado como corpo de prova é o aço AISI P20, de dureza média 38 HR_c, e foi escolhido pelo fato de ser muito utilizado nas indústrias de moldes e matrizes de injeção de plásticos, o que reflete, em parte, a realidade da região.

As dimensões dos corpos de prova são de 252 mm x 80 mm x 60 mm, com faces retificadas para garantir um melhor posicionamento e planicidade na fixação do equipamento que será utilizado para a realização da usinagem.

Foram utilizados dois corpos de prova, um bloco no qual ocorreu a maior parte da usinagem, e outro onde foi realizada a captura de imagens das superfícies e medições de rugosidade. Os ensaios foram divididos em 3 etapas principais: com a ferramenta nova, paradas a cada 5 metros para imagens e medições, e fim de vida.

3.2 ACABAMENTO POR ARRASTE E MÍDIAS ABRASIVAS

O tratamento de acabamento por arraste comercial foi realizado em parceria com a empresa Secta Tools, enquanto o acabamento por arraste da mídia alternativa foi realizado na UCS. Para a realização do tratamento superficial, ambas as mídias, comercial e alternativa, foram utilizadas respeitando os mesmos parâmetros do equipamento em que a ferramenta e a árvore apresentaram uma rotação de 40 rpm durante um processo com duração total de 10 minutos.

Primeiramente foi utilizada a mídia abrasiva comercial da empresa alemã OTEC, referência HSC 1/300 e, posteriormente, a mídia abrasiva caseira, cuja formulação foi determinada após pré-testes. As mídias que foram testadas são indicadas para dar melhor acabamento superficial e agir menos no arredondamento do gume da ferramenta.

3.3 PRÉ-TESTES

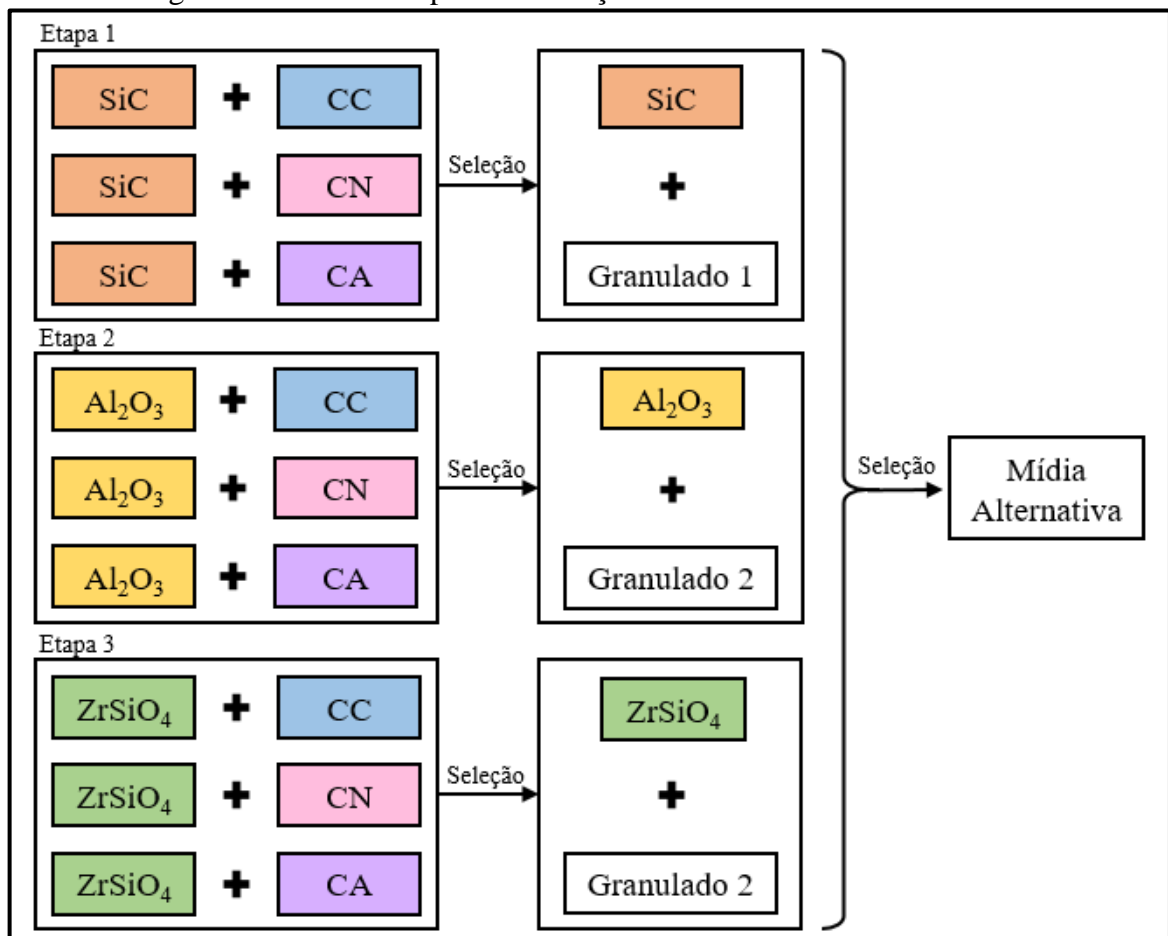
A fim de determinar quais elementos foram utilizados para compor a formulação da mídia abrasiva caseira, foi necessário testar previamente algumas possibilidades. O objetivo foi, ao utilizar materiais de fácil obtenção no Brasil, chegar a um resultado satisfatório e até próximo àquele obtido com a mídia comercial.

A formulação dependeu principalmente da determinação dos materiais que agiram como abrasivo e granulado. Foram utilizados três abrasivos de características químicas diferentes: um carbetto, um óxido e um silicato, sendo eles: Carbetto de Silício (SiC), Óxido de Alumínio (Al₂O₃) e Zirconita (ZrSiO₄). Cada um desses apresenta durezas diferentes e se esperava que a

sua ação na formulação fosse mais ou menos severa no arredondamento do gume da ferramenta. O segundo item que foi variado é aquele que age como granulado, gerando carga, e tendo o papel de transportar e empurrar o grão abrasivo para que o mesmo entre e permaneça em contato com a ferramenta. Para esse granulado, foram testados elementos naturais de texturas e durezas distintas: casca de coco (CC), casca de noz (CN) e casca de amendoim (CA), que foram moídos e apresentaram granulometria de até 0,8mm.

Os pré-testes foram divididos em três etapas, onde cada abrasivo foi combinado com os três granulados. Os pré-testes foram compostos de nove formulações, que possibilitaram identificar qual, dentre as testadas, possuiu o melhor desempenho para aplicação no tratamento de acabamento por arraste. Então essa foi utilizada para a realização dos testes e comparação com os resultados obtidos através da utilização da mídia comercial. Embora em menor escala, ou seja, utilizando o centro de usinagem do LNTP, os pré-testes foram realizados levando em conta os mesmos parâmetros de testes (40 rpm, durante 10 minutos). Na Figura 16, estão representados, de forma esquemática, como foram realizados os pré-testes.

Figura 16 – Pré-testes para formulação da Mídia Abrasiva Alternativa



Fonte: A autora (2018).

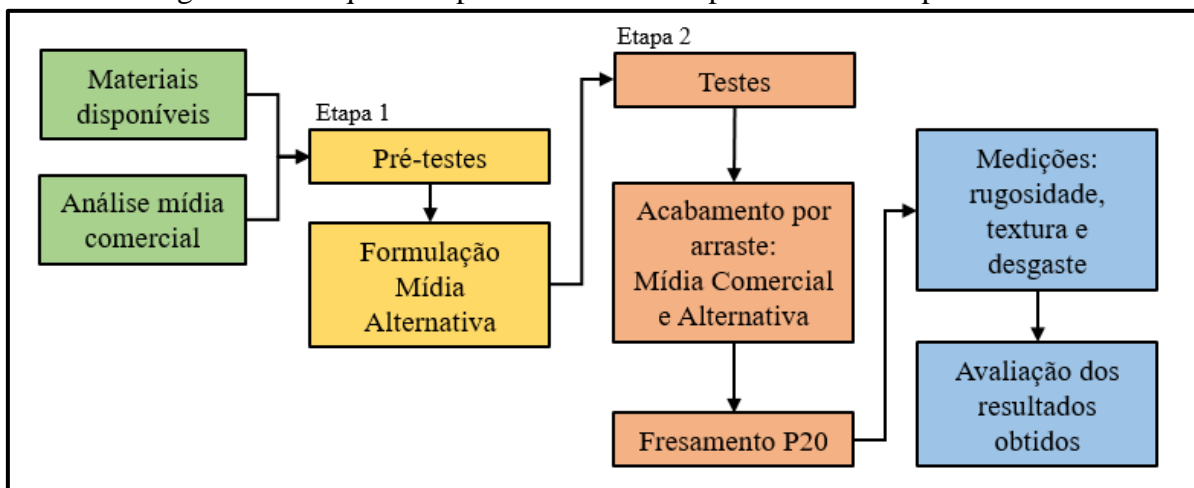
Para fazer a avaliação da mídia escolhida com base nos resultados dos pré-testes, foram analisadas as imagens obtidas através do microscópio ótico para cada um dos gumes das ferramentas. O objetivo foi identificar microlascamentos, irregularidades e atenuação das linhas de afiação. Além disso, também se tinha a intenção de avaliar o arredondamento do gume gerado por cada uma das combinações de mídias testadas, porém o equipamento universal de medição de perfil Zoller não realiza medições com resultados abaixo de 20µm, inviabilizando obter um resultados em alguns casos, por isso optou-se por não realizar tais medições devido à falta de recurso apropriado para isto.

3.4 TESTES EXPERIMENTAIS

Os testes experimentais foram divididos em duas etapas principais: pré-testes e testes. Para a realização dos pré-testes, fez-se necessário avaliar a mídia comercial e o que a compunha, para que então, a partir dos materiais disponíveis, se pudesse determinar quais formulações seriam avaliadas. Com base nos resultados obtidos, determinou-se a formulação utilizada como mídia abrasiva alternativa.

Após tratadas as ferramentas que seriam necessárias para a realização dos testes, iniciou-se a fresagem do aço P20. Para compreender os resultados obtidos, foram realizadas medições de desgaste, rugosidade e textura. Finalmente esses resultados foram utilizados para identificar se os objetivos propostos inicialmente pelo trabalho foram alcançados. Na Figura 17, o esquema mostra quais são as etapas dos testes, quais são as variáveis que influenciam cada uma delas e qual é a ordem de execução das mesmas.

Figura 17 – Esquema representativo das etapas dos testes experimentais



Fonte: A autora (2018).

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados provenientes dos tratamentos superficiais das ferramentas de corte e também dos testes experimentais de fresamento. Primeiramente são expostos os dados obtidos durante os pré-testes para que seja possível entender as abordagens adotadas e justificar as decisões tomadas durante os mesmos. Na sequência, são descritas as caracterizações das mídias abrasivas e das ferramentas utilizadas. Por fim, são analisados os efeitos dos tratamentos de gume sobre a qualidade superficial da ferramenta através da rugosidade e textura, além da vida da ferramenta, através do desgaste e seus mecanismos.

4.1 PRÉ-TESTES

Os pré-testes foram realizados vislumbrando identificar, dentre as opções, qual era a combinação de abrasivo e granulado que apresentaria o melhor desempenho para a aplicação em questão. Todas constatações e observações realizadas nos pré-testes foram de ordem qualitativa, ou seja, sem parâmetro numericamente quantificado.

O tratamento de acabamento por arraste manteve as mesmas condições de teste para as nove combinações propostas, sendo elas, 40 rotações por minuto, com duração de 10 minutos. Na Tabela 1, estão relacionadas as ferramentas utilizadas para a realização dos pré-testes e quais foram os tratamentos nelas aplicados.

Tabela 1 – Correspondência entre fresas e tratamentos realizados durante os pré-testes

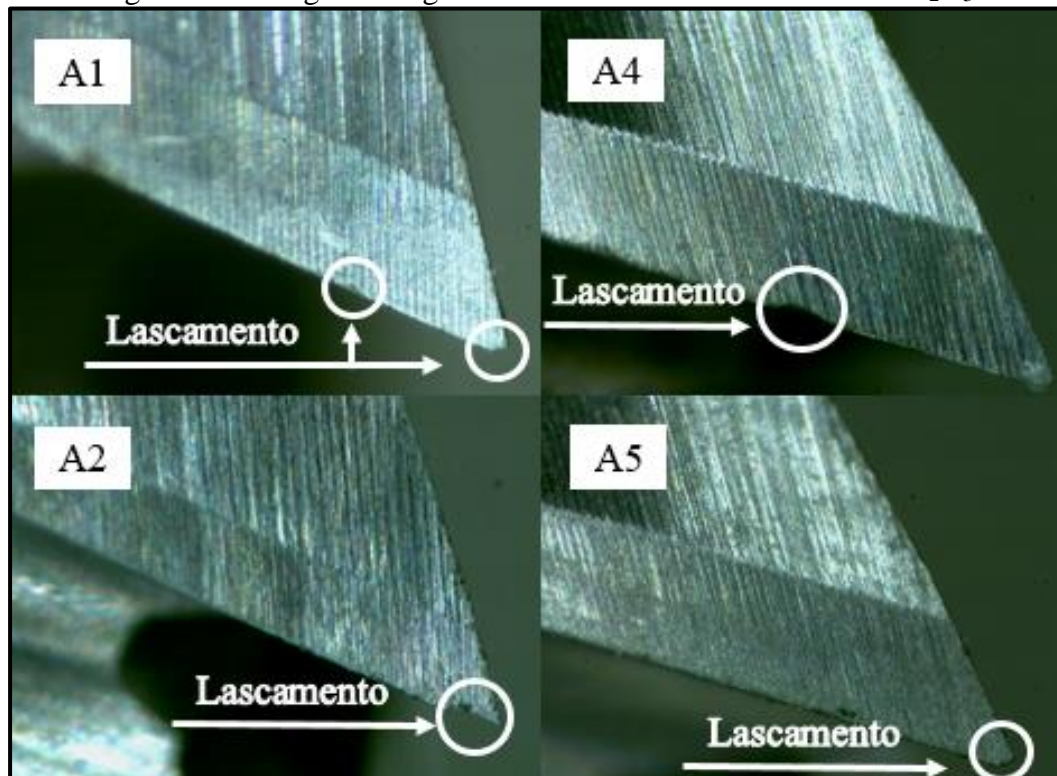
Fresa	Abrasivo	Granulado
A1	SiC	CC
A2	SiC	CN
A3	SiC	CA
A4	Al ₂ O ₃	CC
A5	Al ₂ O ₃	CN
A9	Al ₂ O ₃	CA
A12	ZrSiO ₄	CC
A17	ZrSiO ₄	CN
A18	ZrSiO ₄	CA

Fonte: A autora (2018).

Após os tratamentos, as fresas foram analisadas no microscópio ótico, com ampliações de até 45 vezes. Os resultados foram avaliados seguindo o planejamento demonstrado na figura 16, variando abrasivos e granulados, divididos em 3 etapas principais, e em cada uma delas identificou-se a ação dos abrasivos em conjunto com cada granulado. Os materiais, testados como abrasivos, sendo eles óxido de alumínio e carbeto de silício, foram inicialmente descartados. As fresas tratadas com esses materiais apresentaram microlascamentos em todas as combinações de granulados (casca de coco, casca de noz e casca de amendoim).

Com a zirconita escolhida como abrasivo, o próximo passo foi identificar qual seria o granulado apropriado para formulação da mídia proposta. Portanto, foram analisados os resultados dos mesmos em relação a cada um dos abrasivos, para que, assim, se pudesse ter uma ideia geral da atuação dos mesmos. A casca de coco e a casca de noz demonstraram que não atuam como carga e transporte do grão abrasivo, para que o mesmo entre em contato com a ferramenta. Além deles terem facilitado o surgimento de microlascamentos na região do gume, não demonstraram atuar na atenuação das linhas originárias do processo de afiação e nem agiram no arredondamento do gume de corte. Na Figura 18, é possível confrontar os resultados da fresa sem tratamento em comparação com os acabamentos por arraste que apresentaram resultados insatisfatórios.

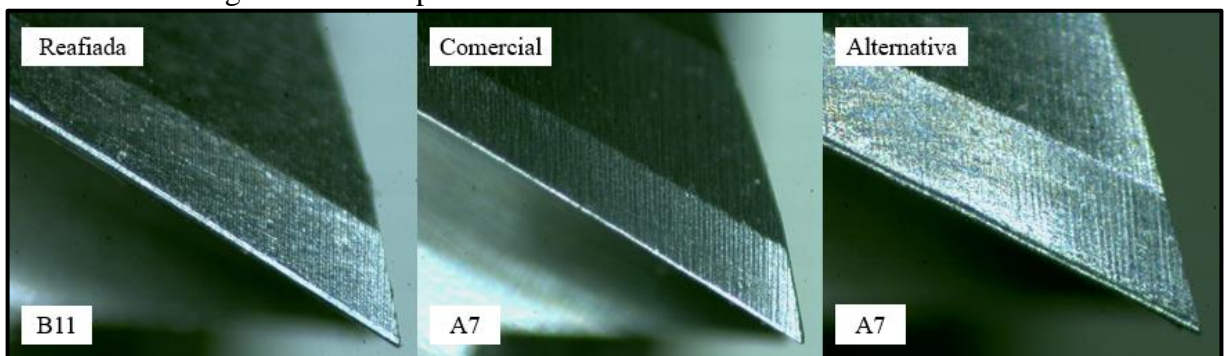
Figura 18 – Imagens dos gumes das fresas tratadas com SiC e Al₂O₃



Fonte: A autora (2018).

Com base no exposto acima, foram escolhidos o granulado e abrasivo que demonstraram estar mais próximos daquilo que se busca para o tratamento, portanto, a mídia abrasiva utilizada no acabamento por arraste alternativo é composta de zirconita e casca de amendoim. Na Figura 19, pode-se observar os três casos que foram avaliados neste trabalho. Para a atuação de óleo adesivo, altamente viscoso, optou-se pela utilização do mesmo contido na mídia comercial desenvolvida pela empresa alemã OTEC, referência HL6, a fim de obter resultados mais confiáveis sobre a ação da combinação abrasivo/granulado na mídia.

Figura 19 – Comparativo entre ferramenta sem e com tratamento



Fonte: A autora (2018).

4.2 CARACTERIZAÇÃO APÓS TRATAMENTO DE GUME

Para que fosse possível identificar a ação sobre o gume, foi realizada uma caracterização dos tratamentos, comercial e alternativo (final), aplicados nas ferramentas. Além das ferramentas, também foi realizada uma análise dos componentes responsáveis pelos tratamentos de gume. As características presentes nas mídias abrasivas tornaram-se visíveis através de imagens de microscopia eletrônica de varredura.

4.2.1 Caracterização das mídias

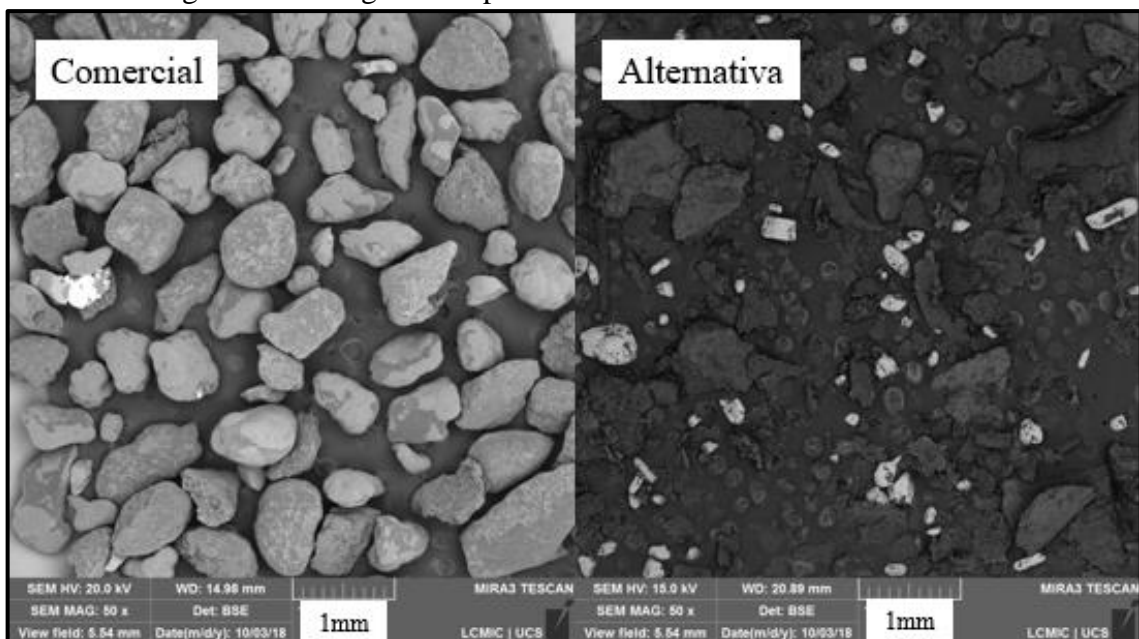
Ambas as mídias, comercial e alternativa, foram analisadas no MEV. A mídia comercial em questão é conhecida pela referência HSC 1/300 da fabricante OTEC e é composta por óxido de alumínio e casca de noz. Já a mídia alternativa, escolhida através dos pré-testes, é composta por zirconita e casca de amendoim. O óleo adesivo (OTEC HL6) é o mesmo para ambas as mídias.

Na figura 20, pode-se observar as imagens realizadas através da microscopia eletrônica das duas mídias. A comercial apresenta uma granulometria homogênea de 0,4mm até 0,8mm,

onde a casca de noz atuou de forma efetiva no transporte do abrasivo. É possível observar que abrasivo e granulado se unem, formando um grão só.

Diferentemente da mídia comercial, a alternativa apresentou visivelmente grãos separados de abrasivo e granulado, facilitando assim a identificação de quais correspondem à zirconita e à casca de amendoim. Também fica evidente a grande quantidade de pó de casca de amendoim que não foi descartada no processo de peneiramento, demonstrando assim a falta de homogeneidade da granulometria do material. Além disso, a zirconita utilizada como abrasivo também apresenta divergências com relação à granulometria, e isso se faz igualmente visível na imagem. O material abrasivo foi proveniente de uma doação, inviabilizando a escolha de uma moagem específica, então a mídia alternativa apresenta uma faixa maior de granulometria, 0,25mm até 0,8mm. Tais observações podem ser comprovadas na Figura 20.

Figura 20 – Imagens comparativas mídias comercial e alternativa



Fonte: A autora (2018).

4.2.2 Caracterização das ferramentas

A caracterização das ferramentas tem como objetivo entender os efeitos dos tratamentos superficiais, baseando-se nas características originais das ferramentas utilizadas. No presente estudo, foram utilizadas 14 fresas inteiriças de metal-duro (pré-testes e testes). Todas as ferramentas foram reafiadas para que as mesmas pudessem apresentar novamente sua condição original. O processo de reafiação foi realizado pela empresa Secta Tools, no mesmo

equipamento, respeitando, portanto, os mesmos parâmetros. Nenhuma fresa foi descartada no processo. Na Tabela 2, estão relacionadas as ferramentas utilizadas para a realização dos testes e quais são os tratamentos aos quais elas foram submetidas.

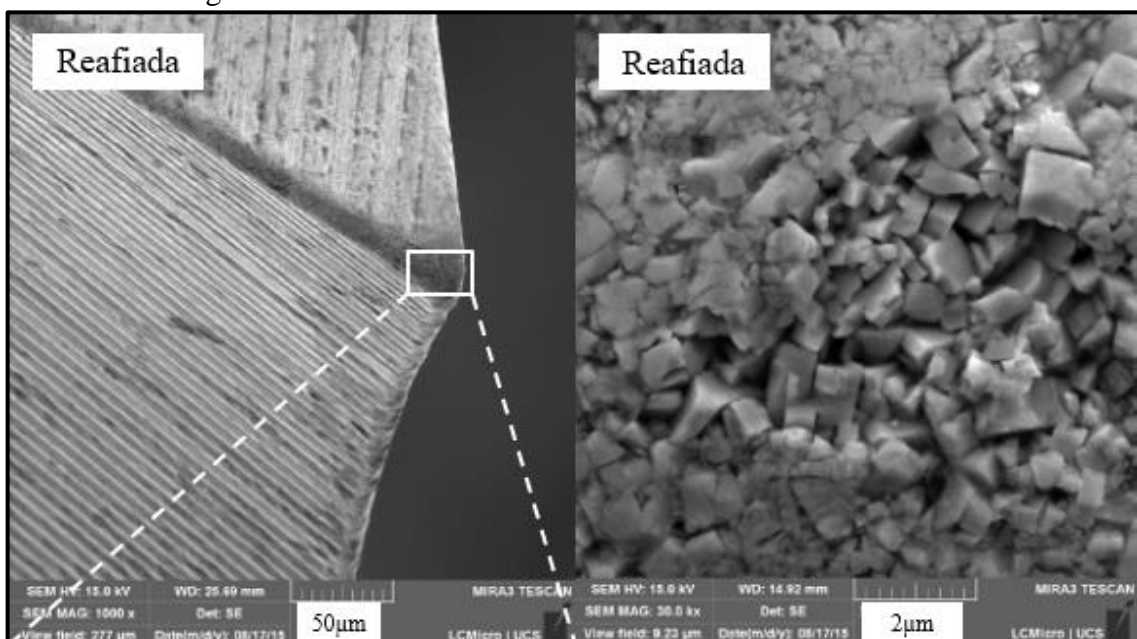
Tabela 2 – Relação de ferramentas utilizadas nos testes

Fresa	Tratamento	Réplica
B11	Sem tratamento – Condição original	Não
A7	Acabamento por Arraste Comercial	Não
B4	Acabamento por Arraste Comercial	Sim
B7	Acabamento por Arraste Alternativo	Não
B8	Acabamento por Arraste Alternativo	Sim

Fonte: A autora (2018).

A condição da ferramenta original (reafiada) foi analisada por Ost (2016), no microscópio eletrônico de varredura. Na Figura 21, pode-se observar a quina da ferramenta e, do lado direito da imagem, a estrutura granular do metal duro. É possível identificar também as irregularidades já presentes na ferramenta original, bem como as marcas de afiação bem pronunciadas, oriundas do processo de fabricação. As irregularidades em questão podem propiciar o aparecimento de trincas devido ao acúmulo de tensões naquela região (OST, 2016).

Figura 21 – Análise das características da ferramenta reafiada

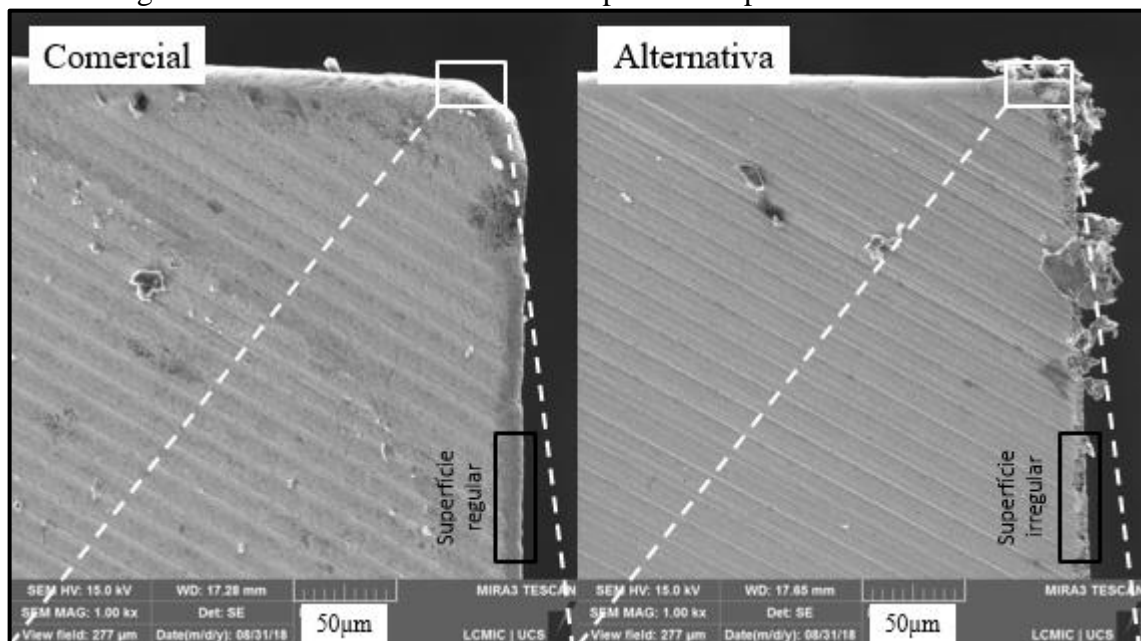


Fonte: Adaptado de Ost (2016).

As condições de ferramenta tratadas superficialmente foram igualmente analisadas, com o auxílio do MEV, a fim de diferenciar os efeitos de cada uma delas. A ferramenta tratada através do acabamento por arraste comercial apresenta uma superfície mais definida, se comparada à condição de ferramenta reafiada. Ela apresenta menos irregularidades, e marcas de afiação mais sutis. Também fica evidente que houve um arredondamento homogêneo nos gumes da ferramenta, ficando visualmente mais acentuado na região da quina.

Já a fresa tratada pelo acabamento por arraste alternativo apresentou linhas de reafiação menos pronunciadas que a ferramenta reafiada, porém mais definidas, quando comparadas ao tratamento comercial. Com relação ao arredondamento do gume, pôde-se observar diferenças entre os resultados nos gumes da face e do topo. O gume do topo apresentou um arredondamento com superfície mais irregular do que na face e na quina o efeito de arredondamento foi menos efetivo do que o realizado pelo tratamento com a mídia comercial. Tais análises estão contempladas na Figura 22.

Figura 22 – Efeitos dos tratamentos superficiais aplicados as ferramentas

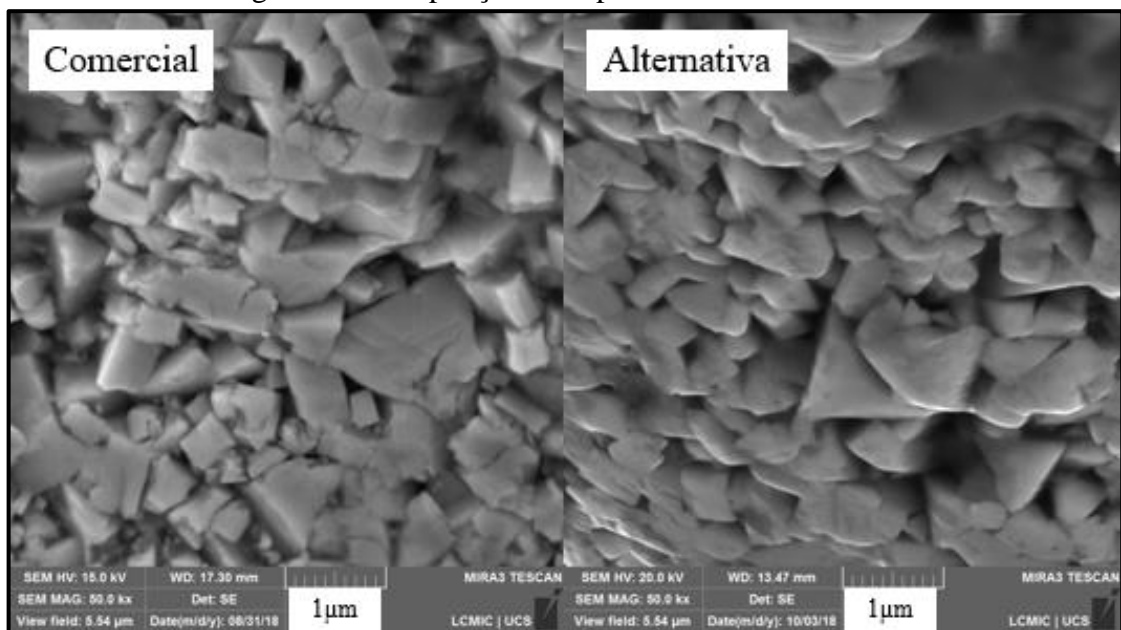


Fonte: A autora (2018).

Através do uso da máquina de medição universal de perfil Zoller, foi possível medir o arredondamento do gume da ferramenta tratada com a mídia comercial e os valores encontrados ficaram entre 20µm e 22µm. Contudo a medição do arredondamento realizado com o uso da mídia alternativa não pode ser realizada, pois o equipamento em questão não consegue medir valores abaixo de 20µm, inviabilizando assim a obtenção dos resultados para essa condição.

Analisando as imagens de superfície das ferramentas tratadas através do acabamento por arraste (Figura 23) e comparando-as com a fresa em seu estado original (Figura 21), não foi possível constatar diferenças significativas. Apenas observou-se que a fresa sem tratamento apresenta uma superfície menos homogênea que a das fresas tratadas, no entanto, tais observações não são conclusivas, pois as fresas tratadas apresentaram imagens muito semelhantes em que apenas ficam evidentes os vazios que não foram preenchidos durante o processo de fabricação (metalurgia do pó).

Figura 23 – Ampliação da superfície das ferramentas



Fonte: A autora (2018).

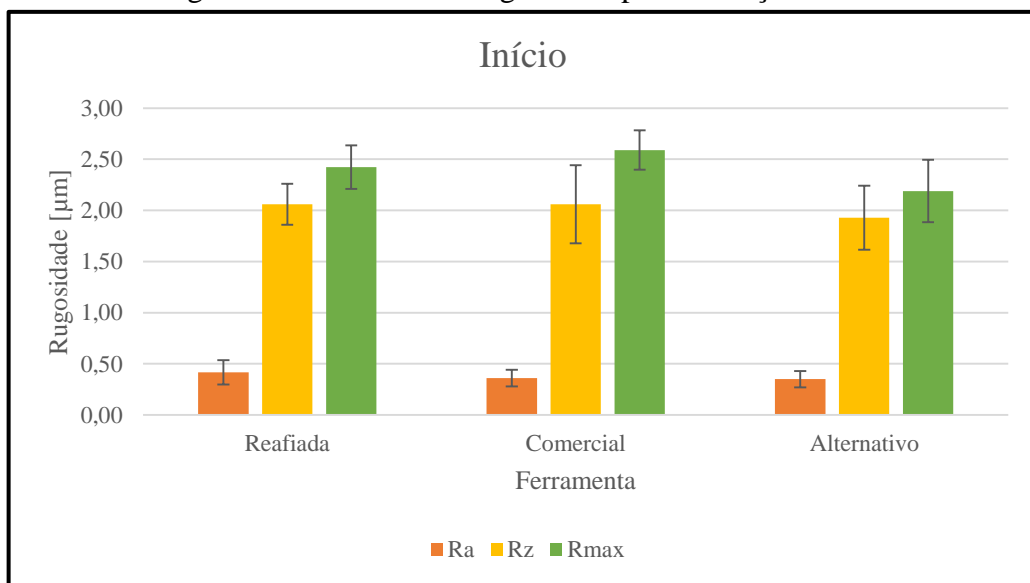
4.3 RUGOSIDADE E TEXTURA DA PEÇA USINADA

Para os resultados de qualidade superficial, dados quantitativos e qualitativos foram avaliados. Para fins de rugosidade, foram registrados valores de início, com a ferramenta nova, e fim, com a ferramenta desgastada ($0,2\text{mm}$ de $VB_{\text{máx}}$), onde foram avaliados os parâmetros R_a , R_z e R_{max} em $[\mu\text{m}]$. Também foi avaliada a textura, com *cut-off* de $0,8\text{ mm}$, e registro de imagens nos mesmos trechos acima descritos.

Conforme explicação prévia, os valores medidos para rugosidade foram concentrados no início e no final de cada ferramenta. Para todas as condições testadas, identificou-se que os valores de rugosidade tenderam a ser maiores no início do processo. Isso é um comportamento esperado, e tal observação foi previamente sinalizada por König (1997), com relação ao critério de qualidade superficial.

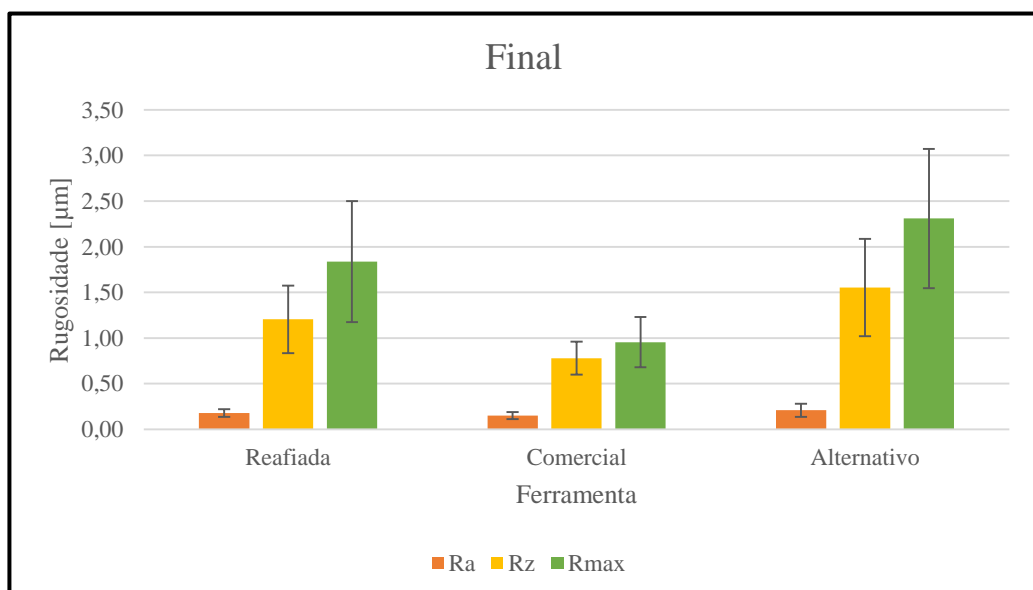
Em se tratando de rugosidade, nem sempre é desejado obter os menores valores, mas sim, encontrar uma estabilidade no decorrer das medições (OST, 2016). No início da usinagem, os valores medidos para rugosidade se mantiveram em um patamar de similaridade entre as ferramentas. No final, mesmo com uma queda significativa nos valores medidos, a ferramenta tratada com a mídia alternativa apresentou o maior R_{max} , demonstrando uma diferença maior entre pico e vale na região medida. Nas Figuras 24 e 25, é possível visualizar, através dos gráficos, os resultados obtidos para as três condições estudadas.

Figura 24 – Valores de Rugosidade para condição inicial



Fonte: A autora (2018).

Figura 25 – Valores de Rugosidade para condição final

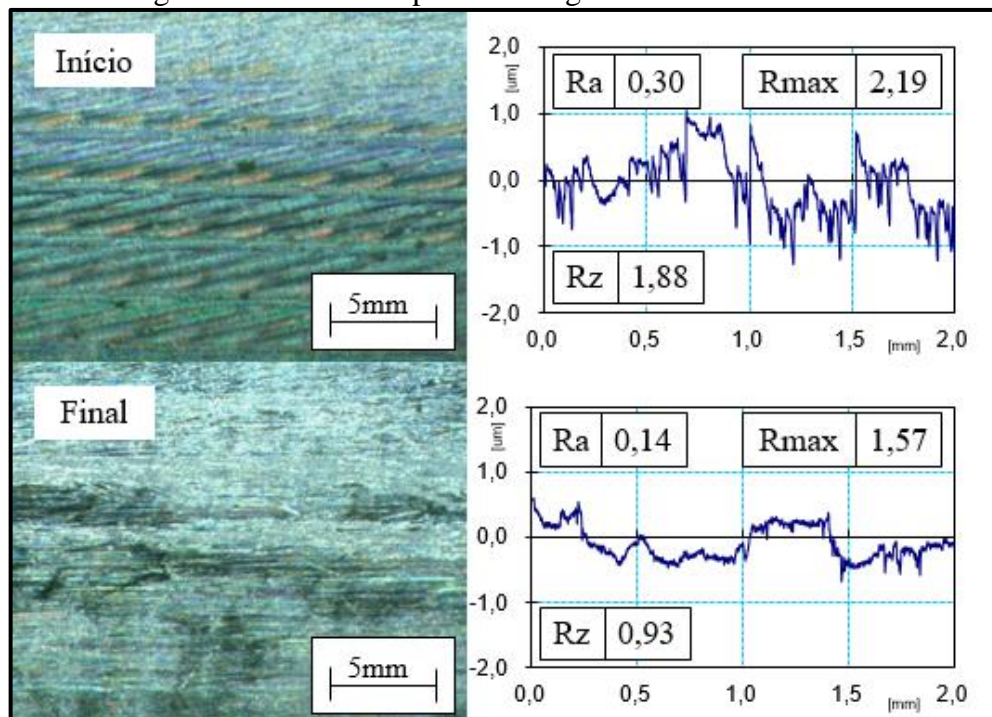


Fonte: A autora (2018).

Para rugosidade, todas as ferramentas apresentaram resultados similares no início do processo, com pequenas variações que se encontram dentro da normalidade para ferramentas de metal-duro. No final do processo, as ferramentas tratadas com a mídia comercial apresentaram valores menores para rugosidade e variação mais constante para o desvio padrão. Os resultados de R_{max} da ferramenta tratada com a mídia alternativa apresentaram os valores mais expressivos no final do processo.

Assim como para a rugosidade, a textura também foi analisada nas condições de início e fim do processo de usinagem. Na condição de ferramenta apenas reafiada, a superfície de início mostrou marcas de passagem bem definidas e um perfil de rugosidade contendo padrões que se repetiram linearmente. Na superfície de final, desgastada, foi possível observar a ausência de marcas definidas, como no início. A diferença dos valores obtidos foi considerável entre os dois estados e a superfície mostrou-se sem padrão, com algumas marcas de passagem mais pronunciadas. Tais observações podem ser comprovadas na Figura 26, a seguir.

Figura 26 – Textura e perfil de Rugosidade - Fresa reafiada

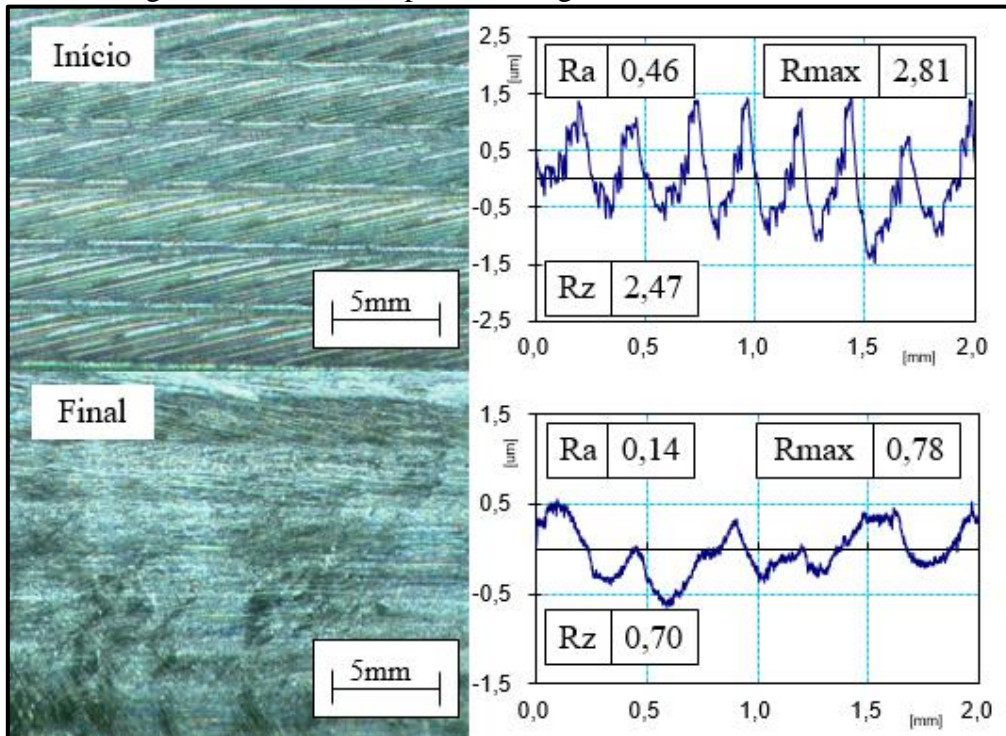


Fonte: A autora (2018).

Assim como para a ferramenta em seu estado original (reafiada), para a condição com o acabamento por arraste comercial, no início, a textura apresentou um padrão definido e com linhas de passagem marcadas. No final da vida da ferramenta, embora irregular, ainda foi possível visualizar um padrão de passagem horizontal da ferramenta. Além disso, os valores de rugosidade diminuíram consideravelmente e se mantiveram estáveis durante as medições. Na

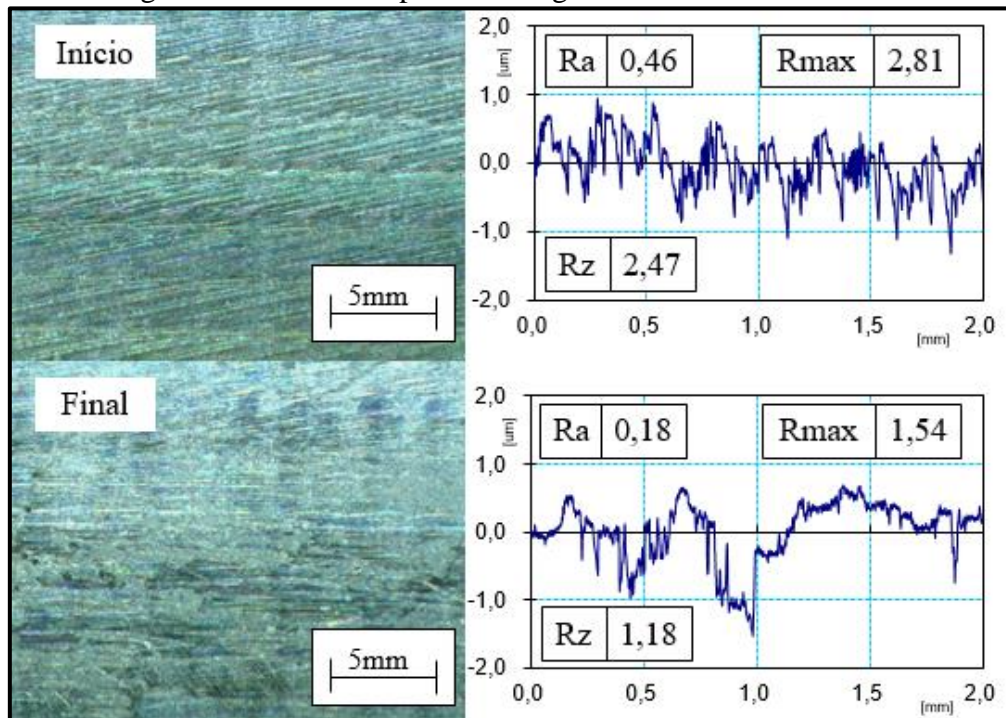
Figura 27, as análises descritas podem ser verificadas.

Figura 27 – Textura e perfil de Rugosidade - Tratamento comercial



Fonte: A autora (2018).

Figura 28 – Textura e perfil de Rugosidade - Tratamento alternativo



Fonte: A autora (2018).

O acabamento por arraste alternativo mostrou uma variação menos constante dos valores de rugosidade, mesmo apresentando uma condição de resultados mais elevados no início e menores no final. Para o quesito de textura, no início foram visíveis as marcações horizontais do corte da ferramenta. Tais marcas eram mais suaves, se comparadas às deixadas pela ferramenta tratada com a mídia comercial. Contudo, no final, a superfície demonstrou uma falta de padrão acentuada, mostrada na Figura 28.

4.4 DESGASTE DA FERRAMENTA

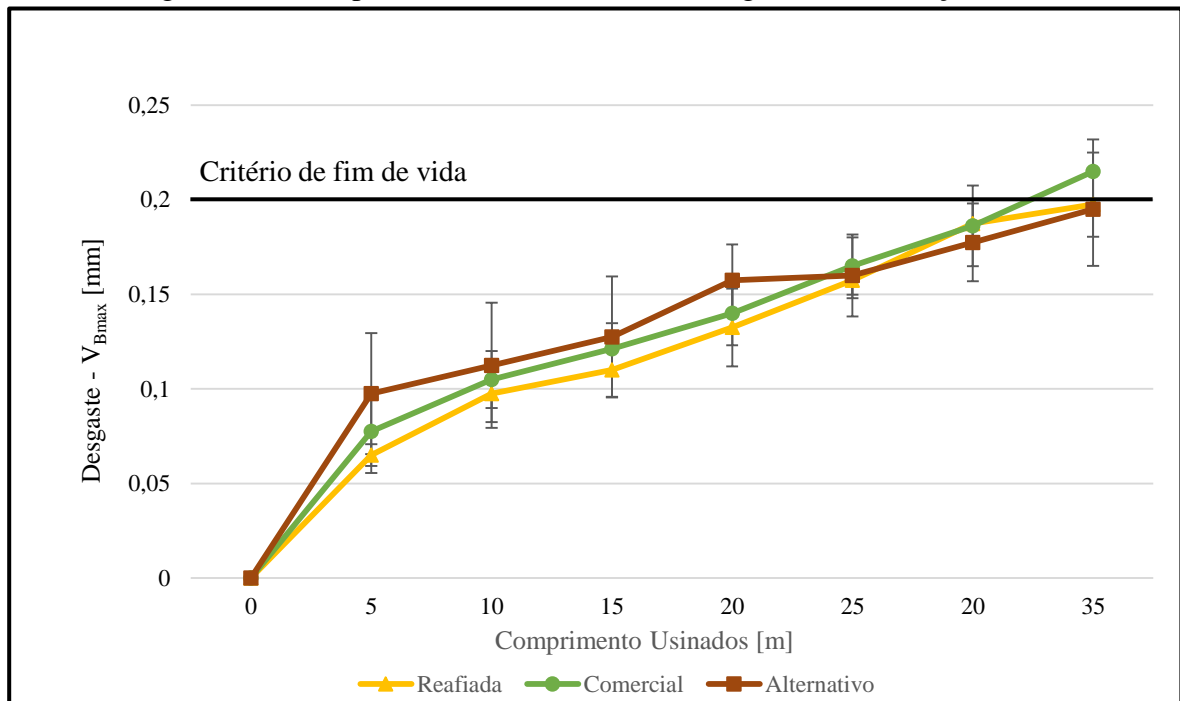
Para completar as análises relativas a esse trabalho, nesta seção são apresentados os resultados de desgaste das ferramentas e os seus mecanismos. Para que isso fosse possível, foram mostradas as curvas de comportamento de desgaste das ferramentas, especificando os comprimentos usinados, para cada uma das condições analisadas durante os testes práticos.

4.4.1 Curva de comportamento de desgaste

Os valores de desgaste foram medidos durante todo o processo de usinagem. As paradas para medições foram realizadas de cinco em cinco metros usinados. A partir dos valores encontrados, foi possível gerar as curvas de comportamento do desgaste para cada uma das ferramentas e a sua correspondência está relacionada na Tabela 2. Para as ferramentas tratadas superficialmente, os testes foram replicados uma vez e, na condição de ferramenta reafiada, os valores encontrados foram comparados aos obtidos por Ost, 2016.

Os ensaios foram conduzidos até a ferramenta apresentar um desgaste de flanco máximo igual a 0,2 mm. Nos três casos, as curvas apresentaram valores de início mais acentuados. Depois, o crescimento se tornou estável, conforme ilustrado na Figura 5. O estágio III não pôde ser comprovado, pois nenhuma das ferramentas atingiu o estado de desgaste catastrófico da mesma.

Figura 29 – Comportamentos das curvas de desgaste das condições testada



Fonte: A autora (2018).

Na Figura 29, pôde-se observar o comportamento das curvas de desgaste para cada um dos casos relativos aos testes experimentais. A ferramenta, na condição reafiada, apresentou um desempenho semelhante ao encontrado por Ost (2016), no qual a ferramenta usinou 38m até atingir seu fim de vida. No caso da ferramenta B11, reafiada, o comprimento usinado foi de 35,4m. Esse resultado apresentou um pequeno déficit em seu desempenho, que pode ser explicado pelos diferentes métodos de fixação da peça no centro de usinagem, em que, no primeiro, caso se fez uso de um cone hidráulico e, no segundo caso, a fixação se deu através de uma pinça mecânica. Além disso, em qualquer processo de usinagem pode haver uma diferença nos valores encontrados de até 20%, podendo ser esta outra explicação para tal variação.

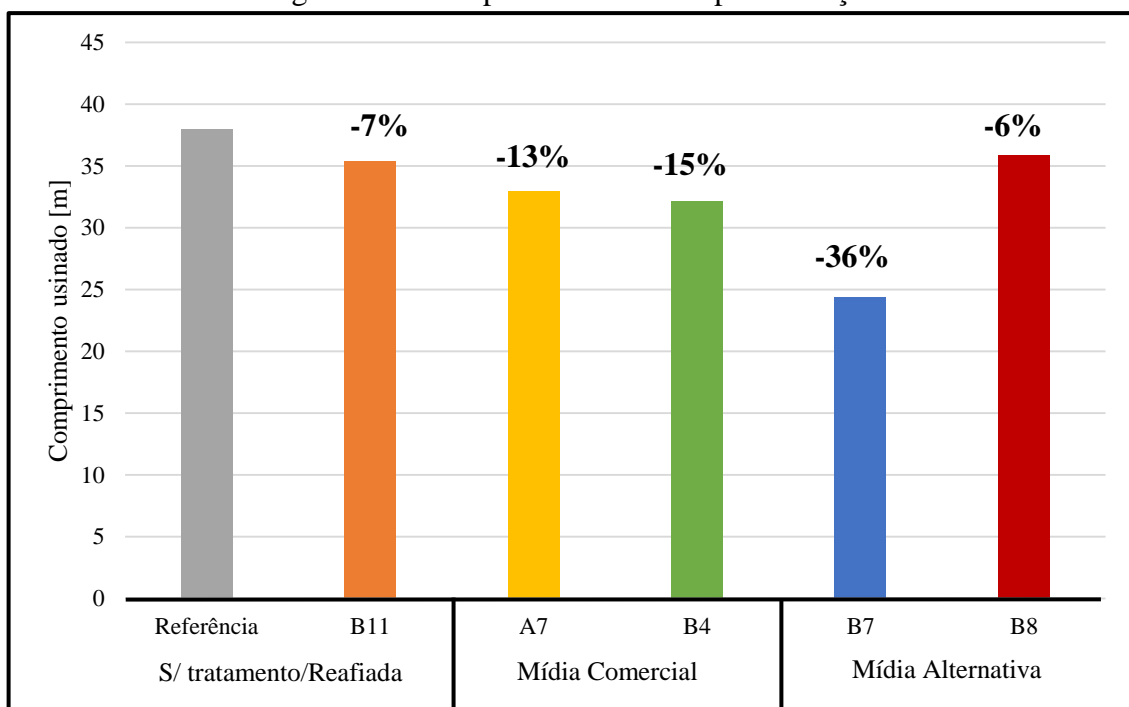
A ferramenta tratada com a mídia comercial e sua réplica apresentaram comportamentos de desgaste semelhantes durante todo o processo até chegar ao seu fim de vida. Entretanto, o tratamento não garantiu ganhos na vida útil da ferramenta, pois ambas apresentaram valores de metros usinados inferiores à ferramenta apenas reafiada, ou seja, 33m e 32,2m, respectivamente.

O tratamento, tanto comercial quanto alternativo não trouxe melhoras para a vida da ferramenta, mantendo todas as ferramentas em um patamar de similaridade. A mídia comercial utilizada nesse caso, OTEC HSC 1/300, apresenta melhores desempenhos em ferramentas de aço rápido e teve como premissa principal proporcionar ganhos na qualidade superficial da peça usinada, e não no desgaste da ferramenta (OTEC, 2018). Ost, 2016, utilizou uma mídia com

base de casca de noz e diamante que proporcionou uma vida maior e também uma superfície usinada mais homogênea e com melhores resultados.

No caso do acabamento por arraste alternativo, a fresa original e réplica demonstraram resultados distintos, mesmo que os parâmetros dos testes não tenham sido alterados. A ferramenta B7 usinou 24,4m, contra 35,9m da ferramenta B8. Na Figura 30, é possível observar, de forma individual, quantos metros cada uma das ferramentas usinou até chegar no parâmetro de parada de testes de $VB_{max} = 0,2mm$.

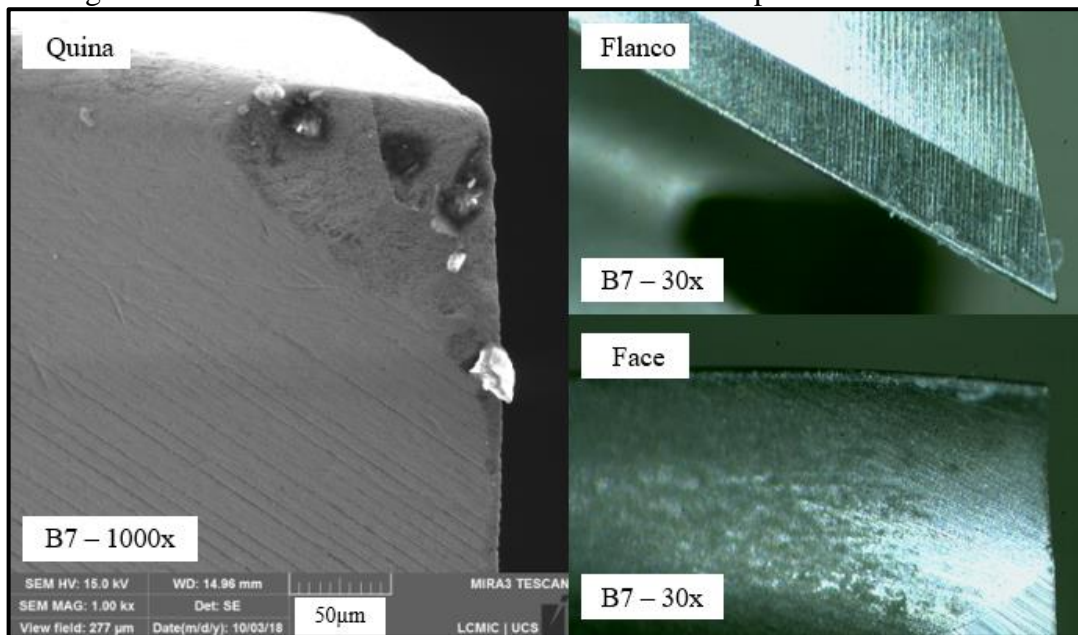
Figura 30 – Comprimento usinado por condição



Fonte: A autora (2018).

Analisando a fresa B7, cuidadosamente, através do MEV, identificou-se um microlascamento na região da quina que pode ter influenciado a sua falha prematura. Os resultados dessa ferramenta não foram utilizados para a elaboração da curva de comportamento de desgaste ilustrado na Figura 29 e tampouco foi considerada para as conclusões dos resultados do acabamento. No entanto, a ferramenta não foi descartada antes do processo de usinagem pois, olhando-a com ampliação de 10 vezes no microscópio ótico, tal defeito não se fez visível, conforme orientação da norma ISO 3685 (1993). O microlascamento acima descrito pode ser comprovado na Figura 31, a seguir.

Figura 31 – Microlascamento fresa B7 – Acabamento por arraste alternativo



Fonte: A autora (2018).

4.4.2 Mecanismos de desgaste

Nesta seção, foram identificados os principais mecanismos de desgaste originados pelo processo de usinagem. Analisando cada uma das ferramentas, os mecanismos visualmente encontrados foram a abrasão e adesão.

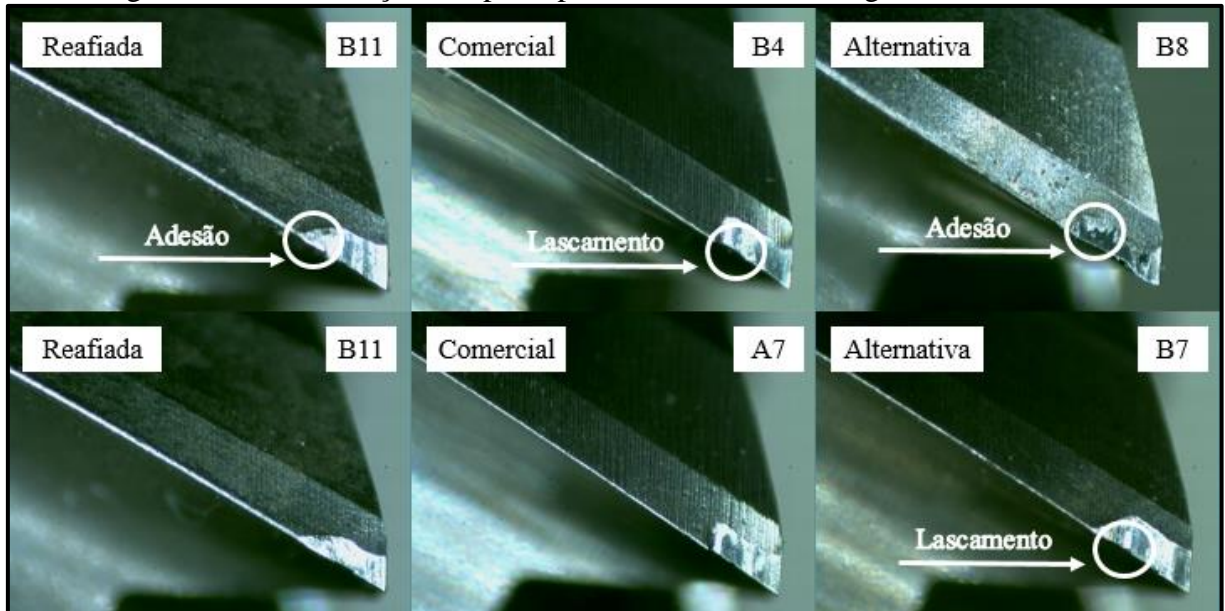
A abrasão pode ser destacada como mecanismo de desgaste predominante, pois pôde ser observada através das marcas de desgaste bem definidas presentes em todas as fresas, marcas estas com aparência semelhante em todos os casos. Esse mecanismo de desgaste é o principal responsável pelo desgaste de flanco, que ao atingir 0,2mm (V_{Bmax}) foi utilizado como critério de parada de testes.

Observou-se também a presença de microlascamentos, ferramentas B4 e B7, que podem ser provenientes da adesão. Segundo Ost (2016), a condição de corte a seco facilita o aparecimento da adesão como mecanismo de desgaste, condição essa utilizada para a realização dos experimentos em questão. Além disso, muitas vezes o fenômeno da adesão é relacionado a baixas velocidades de corte, todavia o mesmo também pode ser atribuído a operações onde o corte é conduzido de forma intermitente. Nesse caso o material aderido é removido subsequentemente, levando consigo fragmentos da ferramenta.

Na ferramenta B8, parece que houve adesão do material do corpo de prova na ferramenta de corte. Isso pode ter acontecido devido à incorporação do material, no gume da ferramenta, que deveria ser empurrado para a extremidade da ferramenta e eliminado na forma de cavaco.

Na região onde ocorreu a adesão do material foram produzidas superfícies ásperas e irregulares. O aparecimento da adesão também pode estar relacionado a altas rugosidades da ferramenta. Todas as constatações descritas acima podem ser comprovadas na Figura 32.

Figura 32 – Identificação dos principais mecanismos de desgaste contidos nas fresas



Fonte: A autora (2018).

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse trabalho foram fundamentais para a compreensão do tratamento de acabamento por arraste e os seus efeitos sobre a qualidade superficial da peça usinada e a vida da ferramenta para o processo de fresamento. Com base na composição da mídia utilizada para o tratamento, foi possível propor materiais alternativos para a aplicação. A mídia alternativa foi composta de zirconita, casca de amendoim e um óleo altamente viscoso.

A caracterização das ferramentas proporcionou melhor entendimento de como os tratamentos agiram na superfície das ferramentas. Dentre as condições testadas, a ferramenta tratada com a mídia comercial apresentou os melhores resultados de superfície. A atuação do tratamento foi mais homogênea e proporcionou bons resultados na suavização das linhas de afiação da ferramenta. Além disso, também ficou evidente que o tratamento agiu uniformemente no arredondamento do gume. As linhas de afiação da ferramenta tratada com a mídia alternativa foram ligeiramente atenuadas, porém o arredondamento dos gumes não se deu de forma homogênea, apresentando diferenças visíveis entre eles. De todas as formas, ambos os resultados apresentaram ganhos com relação à superfície da ferramenta sem tratamento que apresentou irregularidades e marcas de afiação bem pronunciadas.

Os valores das medições de rugosidade, no início do processo foram bastante similares em todas as condições testadas. Para o final do processo, a ferramenta tratada com a mídia comercial apresentou os valores mais estáveis ao longo das medições, ou seja, com menos variações e com os menores valores. Ainda para o final do processo, a ferramenta tratada com a mídia comercial apresentou o maior valor de R_{max} , demonstrando falta de uniformidade acentuada na superfície gerada.

Os tratamentos testados não proporcionaram resultados evidentes para a avaliação de textura. Para as três condições estudadas, as texturas obtidas para o início do processo apresentaram linhas de passagem bem definidas aliadas a padrões que se repetiam. Já no final do processo, as imagens obtidas apresentavam resultados irregulares e sem padrão definido.

Foi possível identificar que os tratamentos de acabamento por arraste, comercial e alternativo, não proporcionaram resultados significativos sobre a vida da ferramenta. Todas as ferramentas apresentaram comprimentos usinados e comportamentos das curvas de desgaste com resultados similares, dentro dos padrões de variação para metal-duro (20%).

Em relação ao desgaste, todas as ferramentas apresentaram comportamentos parecidos. Os mecanismos de desgaste mais presentes foram a abrasão, para o desgaste de flanco, e adesão.

REFERÊNCIAS

- ARMAREGO, E. J. A.; DESHPANDE, N. P., Computerized End-Milling Force Predictions with Cutting Models Allowing for Eccentricity and Cutter Deflections. **Annals of the CIRP**, v. 40, n. 1, p. 25-29, 1991.
- AI-ZKERI, I.; RECH, J.; ALTAN, T.; HAMDI, H.; VALIORGUE, F. Optimization of the cutting edge geometry of coated carbide tools in dry turning of steels using a finite element analysis. **Machining Science and Technology**, n. 13, p. 36-51, 2009.
- AURICH J. C., EFFGEN C., Influence of the machining conditions when preparing cutting edges with elastic bonded grinding wheels. **Production Engineering. Research and Development**, 9:329–336, 2015.
- BET L., **Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e sondas ópticas tipo seguidor**, Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 243p, 1999.
- BIERMANN, D.; TERWEY, I. Cutting edge preparation to improve drilling tools for HPC processes, **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, n. 1, 76-80, 2008.
- BIERMANN, D.; WOLF, M.; ASSMUTH, R. Cutting edge preparation to enhance the performance of single lip deep hole drills. **Procedia CIRP**, n. 1, p.172 – 177, 2012.
- BRALLA J. G., Handbook of Manufacturing Processes. **Industrial Press**, 2007.
- BORDIN F. M., **Efeito do tratamento da microgeometria de brocas helicoidais de metal-duro sobre a integridade superficial dos furos**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 128p, 2013.
- BOUZAKIS, K.-D.; MICHAILEDIS, N.; SKORDARIS, G.; KOMBOGIANNIS, S.; HADJIYIANNIS, S.; EFSTATHIOU, K.; PAVLIDOU, E.; ERKENS, G.; RAMBADT, S.; WIRTH, I. Optimization of the cutting edge roundness and its manufacturing procedures of cemented carbide inserts, to improve their milling performance after a PVD coating deposition. **Surface and Coatings Technology**, n.163 –164, p. 625–630, 2003.
- BOUZAKIS, K.-D.; GERARDIS, S.; KATIRTZOGLU, G.; MAKRIMALLAKIS, S.; BOUZAKIS, A.; CREMER, R.; FUSS, H.-G. Application in milling of coated tools with rounded cutting edges after the film deposition. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, n. 58, 61-64, 2009a.
- DINIZ A. E., MARCONDES F. C., COPPINI N. L., **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. MM Editora. 1999.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 8589**: Fertigungsverfahren Spanen - Teil 0: Allgemeines; Einordnung, Unterteilung, Begriffe; dimensions. Alemanha, 2003.
- DENKENA, B.; KOEHLER, J.; REHE, M. Influence of the Honed Cutting Edge on Tool

- Wear and Surface Integrity in Slot Milling of 42CrMo4 Steel. **Procedia CIRP**, n. 1, p. 190 – 195, 2012.
- DROZDA T. J., WICK, C. (Ed.), Tool and Manufacturing Engineers Handbook – Machining. 4. ed. Dearborn, Michigan: **Society of Manufacturing Engineers**. v. 1, 1983.
- FERRARESI D., **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: E. Blucher, 3v, 1970.
- FULEMOVÁ J., JANDA Z., Influence of the Cutting Edge Radius and the Cutting Edge Preparation on Tool Life and Cutting Forces at Inserts with Wiper Geometry. **Procedia Engineering**, 69:565–573, 2014.
- GONÇALVEZ, A. M. **Usinabilidade do carbeto de tungstênio no torneamento com ferramenta de diamante**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP. 124 p., 2009.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3685**: Tool-life testing with single-point turning tools. 2 ed. Suíça, 1993.
- KALPAKJIAN S., SCHMID S. R., **Manufacturing Engineering and Technology**. Sixth edition. Pearson. 2009.
- KARPUSCHEWSKI, B., BYELYAYEV, O., MAIBORODA, V.S. Magneto-abrasive machining for the mechanical preparation of high-speed steel twist drills. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, n. 58, 295-298, 2009.
- KISHAWY H. A., DUMITRESCU M., NG E. G., ELBESTAWI M.A., Effect of coolant strategy on tool performance, chip morphology and surface quality during high-speed machining of A356 aluminum alloy. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 45–2:219–227, 2005.
- KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren Band 1: Drehen, Fräsen, Bohren**. 6. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1997.
- MACHADO A. R., COELHO R. T., ABRÃO A. M., SILVA M. B., **Teoria da usinagem dos materiais**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 384 p. 2009.
- MANJUNATHAIAH, J.; ENDRES, W.J. A new model and analysis of orthogonal machining with an edge-radiused tool. **Transactions of the ASME**, n. 122, pp. 384-390, 2000.
- NICOLA, G.L. **Análise de superfícies fresadas por diferentes estratégias em aço AISI H13 endurecido**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 137p, 2008.
- OLIVEIRA J.M., **Caracterização da Integridade de Superfícies Usinadas para produção de moldes e matrizes**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 110p, 2006.
- OST C. A., **Análise da qualidade superficial no fresamento de aço p20 com diferentes tratamentos de ferramentas e condições de lubrificarrefrigerantes**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 103p, 2016.

OTEC. **Edge Rounding and Polishing of Tools**. Apresentação, 2008.

OTEC PRÄZISIONSFINISH GMBH (Alemanha). **HSC Granulates**. 2018. Disponível em: <<https://www.otec.de/en/products/media/dry-finishing/dry-grinding-granulate/>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

PAUCKSH E., HOLSTEN S., LINß M., TIKAL F., **Zerspantechnik: Prozesse, Werkzeuge, Technologien**, 12. Vieweg-Teubner, 2008.

RANGANATH, S.; CAMPBELL, A.B.; GORKIEWICZ, D.W. A model to calibrate and predict forces in machining with honed cutting tools or inserts. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, n. 47:5, p. 820-840, 2007.

RECH J., Influence of cutting tool coatings on the tribological phenomena at the tool–chip interface in orthogonal dry turning. **Surface & Coatings Technology**, 200:5132–5139, 2006.

RODRIGUEZ C. J. C., **Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing**. Tese de Doutorado, Universidade de Kassel, Alemanha. 205p., 2009.

RISSE, K. **Einflüsse von Werkzeugdurchmesser und Schneidkantenverrundung beim Bohren mit Wendelbohrern in Stahl**. Dissertação de Mestrado, RWTH Aachen, Aachen, 153p., 2006.

SAMBHAV K., TANDON P., DHANDE S.G., Geometric modeling and validation of twist drills with a generic point profile. **Applied Mathematical Modeling**, n. 36, p. 2384–2403, 2012.

SOMMER H., **Untersuchung von Schneidkanten-architekturen im Bezug auf den Zerspanprozess**. Giesserei Technik Kassel, 2013.

STEMMER C. E., **Ferramentas de corte I**. 6. ed. Florianópolis: UFSC/FEPese, 2v. 2005.

TABENKIN, Alex. **Surface finish: a machinist's tool. A design necessity**. Mar. 1999. Disponível em: <<https://www.mmsonline.com/articles/surface-finish-a-machinist39s-tool-a-design-necessity>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

TIKAL F., Schneidkantenpräparation: Ziele, Verfahren und Messmethoden. **Kassel University Press**, 2009.

UHLMANN E., OBERSCHMIDT D., KUCHE Y., LÖWENSTEIN A., Cutting Edge Preparation of Micro Milling Tools. **Procedia CIRP**, 14:349–354, 2014.

UHLMANN E., OBERSCHMIDT D., KUCHE Y., LÖWENSTEIN A., Influence of cutting edge preparation on the performance of micro milling tools. **Procedia CIRP**, 46:214–217, 2016.

UHLMANN E., OBERSCHMIDT D., KUCHE Y., LÖWENSTEIN A., WINKER I., Effects of different cutting edge preparation methods on micro milling performance. **Procedia CIRP**,

46:352–355, 2016.


WEINGAERTNER W. L., SCHROETER R. B., POLLI M. L., GOMES J. O., PAES A., **Influência do comprimento em balanço da ferramenta sobre a estabilidade dinâmica do fresamento de topo reto à altas velocidades.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ZEILMANN, R. P.; CALZA, D. C.; XAXIER, E. B. Influência das condições de aplicação de fluido lubrificante sobre a qualidade superficial para o processo de furação. Anais do 17º **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.** Foz do Iguaçu, 2006.

ZEILMANN, R. P. **GEODEF.** Caxias do Sul: Notas de Aula, 2018. 59 slides, color.


ANEXO 1

Boletim Técnico Silicato de Zircônio

		BOLETIM TÉCNICO		
PRODUTO: Zirconita		REFERÊNCIAS: MAZ – 60		REVISÃO: 07
1- Composição Básica: Silicato de Zircônio				
2- Características físico-químicas:				
Características Informativas		Características de Especificação		
Aspecto	Coloração marrom	Propriedades	Especificação Minasolo	Especificação Fras-le
Massa específica	4,40 g/cm ³		Propriedades	
Fusão total	2.700°C	Teor de voláteis	-	0,0 – 1,0
pH	6,0 – 8,0	Retenção em # 60	5,0 – 15,0%	5,0 – 20,0%
Densidade aparente	2,7 g/cm ³	Retenção em # 100	30,0 – 50,0%	30,0 – 50,0%
		Fundo	30,0 – 65,0%	30,0 – 65,0%
		(Zr,Hf)O ₂	Mín. 60,00%	50,0 – 70,0%
		SiO ₂	Máx. 36,50%	25,0 – 36,5%
		Al ₂ O ₃	Máx. 5,00%	0,0 – 7,0%
		Fe ₂ O ₃	Máx. 1,00%	-
		TiO ₂	Máx. 2,00%	-
<i>Características apenas de caráter informativo, não sendo objeto de avaliação no recebimento.</i>		<i>Características a serem avaliadas a cada lote recebido.</i>		
3- Embalagem:				
▪ Sacos de papel kraft de 3 folhas com peso líquido de 25 kg.				
4- Aspectos diagnósticos:				
▪ Pó, solúvel em água, inodoro, não inflamável, não perecível, atóxico.				
5- Manuseio e estocagem:				
▪ Manuseio em local arejado e com boa ventilação.				
▪ Estocar em local seco com empilhamento máximo de 2 pallets.				
6- Proteção Individual:				
▪ Recomenda-se o uso de máscaras de proteção (P2), óculos de proteção e luvas de PVC.				
7- Aplicações principais:				
▪ Produzida sob rigoroso processo de qualidade, para atender à fabricação dos sofisticados produtos de alta tecnologia.				
8- Prazo de validade do produto:				
▪ Indeterminado.				
ELABORADO: <i>Coord. Da Qualidade</i>		APROVADO: <i>Gerente Técnico e Comercial</i>		DATA: 01/10/2016
<small>Item alterado na última revisão: Excluída a validade do documento.</small>				
MINASOLO COMÉRCIO E REPRESENTAÇÕES LTDA Rua Canuto Saraiva, 715 - Mooca - São Paulo - SP- CEP: 03113-010 Fone/Fax: 2604-3033 ou 2604-5797 e-mail minasolo@minasolo.com.br CNPJ: 48.580.096/0001-30 INSC: 109.770.529.117 C:\Users\00026606\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.IE5\56HY95HZ\Zirconita MAZ 60.doc Página 1 de 1				

ANEXO 2

Boletim Técnico Óxido de Alumínio

 **alteo**
A NEW WORLD OF TUBULAR

Gardanne, on 11/21/2015


Analysis certificate

addressee :			
Customer ref. :	dated 11/02/2015		
Order :	331257	Shipping advice :	GARDA 90162
Product :	AC44B6 01SACCD		
Shipped on :	11/20/2015		
Quantity :	10,000 tons		
Lot n° :	15315825		
Analysis certificate to the attention of			
Fax n° :			
Email :			

		Analysis
Physical characteristics		
Wet sieving > 45µm	%	0.70
particule size d50	µm	5.52
Chemical characteristics		
Na2O total	ppm	3100
CaO	ppm	240
SiO2	ppm	110
Fe2O3	ppm	120

NB : Cilas laser measurement

Quality Control,




Alteo Gardanne
 Direction Commerciale
 Route de Biver – B.P. 43
 13541 Gardanne Cedex – FRANCE
 Tél. +33 4 42 65 22 22 - Fax +33 4 42 65 20 01

Copy *Mélanie Demonnaz*

This certificate is in compliance with the European norm EN 10204-3.1

ANEXO 3

Boletim Técnico Carbetto de Silício

																																											
ESPECIFICAÇÃO DE PRODUTO																																											
Cliente	Código Cliente 10,613.00																																										
Produto 1200F	Código Produto SIKA REF																																										
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Granulometria</th> <th>R/P</th> <th>MIN</th> <th>MAX</th> <th>UNID</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>325 #</td> <td>45 um</td> <td>R</td> <td></td> <td>1.0</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>400 #</td> <td>+38 um</td> <td>R</td> <td></td> <td>5.0</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>F-PAN ...</td> <td>F-PAN ...</td> <td>R</td> <td>94.0</td> <td></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Malvern</td> <td>d (10) %</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Malvern</td> <td>d (50) %</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Malvern</td> <td>d (90) %</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		Granulometria		R/P	MIN	MAX	UNID	325 #	45 um	R		1.0	%	400 #	+38 um	R		5.0	%	F-PAN ...	F-PAN ...	R	94.0		%	Malvern	d (10) %				µm	Malvern	d (50) %				µm	Malvern	d (90) %				µm
Granulometria		R/P	MIN	MAX	UNID																																						
325 #	45 um	R		1.0	%																																						
400 #	+38 um	R		5.0	%																																						
F-PAN ...	F-PAN ...	R	94.0		%																																						
Malvern	d (10) %				µm																																						
Malvern	d (50) %				µm																																						
Malvern	d (90) %				µm																																						
PROPRIEDADES FÍSICAS																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PROPIEDADES</th> <th>MIN</th> <th>MAX</th> <th>UNID</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G.M. - MI</td> <td></td> <td></td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>		PROPIEDADES	MIN	MAX	UNID	G.M. - MI			%																																		
PROPIEDADES	MIN	MAX	UNID																																								
G.M. - MI			%																																								
PROPRIEDADES QUÍMICAS																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ELEMENTO</th> <th>MIN</th> <th>MAX</th> <th>UNID</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fe Livre</td> <td></td> <td></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>SiC</td> <td>88.000</td> <td></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>H2O</td> <td></td> <td>1.000</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>		ELEMENTO	MIN	MAX	UNID	Fe Livre			%	SiC	88.000		%	H2O		1.000	%																										
ELEMENTO	MIN	MAX	UNID																																								
Fe Livre			%																																								
SiC	88.000		%																																								
H2O		1.000	%																																								
<small>Analisado de acordo com a norma FEPA 45GB 1985</small>																																											
EMBALAGEM																																											
OBSERVAÇÃO																																											
Nº Especificação 03.255	REFERÊNCIA	DATA DE REVISÃO 22/06/2015																																									
<small>Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Ltda - Divisão Materiais Cerâmicos Rodovia BR 265 Km 208 - Barboena - MG - Brasil - CEP 36202-630 +55 32 3339-1700 Fax +55 32 3339-1796 FQ 188 - REV 03 Escritório São Paulo +55 11 3616-4098 Fax +55 11 3616-4948 - http://www.refractorygrains.saint-gobain.com - sic@saint-gobain.com</small>																																											

Fonte: Saint Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Civil Ltda (2015).