

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

MATHEUS LAZZARI

**ANÁLISE SOBRE A UTILIZAÇÃO DE MÍDIA ALTERNATIVA PARA A TÉCNICA
DE TRATAMENTO DE GUME POR ARRASTE**

CAXIAS DO SUL

2022

MATHEUS LAZZARI

**ANÁLISE SOBRE A UTILIZAÇÃO DE MÍDIA ALTERNATIVA PARA A TÉCNICA
DE TRATAMENTO DE GUME POR ARRASTE**

Trabalho de conclusão de curso da disciplina TCC II (MEC0291AG), 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

2022

MATHEUS LAZZARI

**ANÁLISE SOBRE A UTILIZAÇÃO DE MÍDIA ALTERNATIVA PARA A TÉCNICA
DE TRATAMENTO DE GUME POR ARRASTE**

Trabalho de conclusão de curso da disciplina TCC II (MEC0291AG), 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 20 / 07 / 2022

Banca Examinadora

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

Prof. Dr. Leandro Luís Corso
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Marcos Alexandre Luciano
Universidade de Caxias do Sul - UCS

RESUMO

As produções em grande escala necessitam de alta qualidade e confiabilidade para garantir resultados eficazes durante o processo de usinagem com fresas de topo reto. Nessas circunstâncias, o desgaste precoce da ferramenta de metal duro está diretamente relacionado com a redução da vida útil e com os efeitos proporcionados na qualidade superficial. Através da preparação da superfície de corte e modificação da microgeometria do gume, é possível obter resultados satisfatórios com a utilização de métodos de tratamento superficial de ferramentas. Dentre os diversos tipos de preparação, pode-se mencionar o tratamento de gume pela técnica de arraste com a utilização de mídia alternativa composta por zirconita ($ZrSiO_4$) e grãos de poliamida 66 com 30 % de fibra, mantendo a faixa de granulometria entre 0,43 e 1,2 mm. As fresas tratadas com a técnica de arraste foram analisadas antes e após o polimento e submetidas a testes de fresamento no corpo de prova, resultando em 15 e 20 m de comprimento usinado, o que significa uma redução de 60,5 e 47,4 % em relação aos dados da fresa de referência. Por fim, os resultados mensurados para o desgaste de flanco máximo, comprimento usinado e a qualidade superficial (rugosidade e textura), foram confrontados com resultados extraídos de estudos anteriores de fresas na condição reafiada, fresas polidas com a mídia comercial da OTEC e com as fresas tratadas com a mídia alternativa mais recente, composta por casca de amendoim.

Palavras-chave: Fresamento; desgaste; tratamento de gume; qualidade superficial; acabamento por arraste; mídia abrasiva.

ABSTRACT

Large-scale productions require high quality and reliability to ensure effective results during the straight end milling process. In these circumstances, early wear of the carbide tool is directly related to the reduction of the useful life and the effects provided on the surface quality. Through the preparation of the cutting surface and modification of the microgeometry of the edge, it is possible to obtain satisfactory results with the use of methods of surface treatment of tools. Among the different types of preparation, one can mention the edge treatment by the drag technique with the use of alternative media composed of zirconite ($ZrSiO_4$) and polyamide 66 grains with 30% fiber, keeping the granulometry range between 0.43 and 1.2 mm. The cutters treated with the drag technique were analyzed before and after polishing and subjected to milling tests on the specimen, resulting in 15 and 20 m of machined length, which means a reduction of 60.5 and 47.4 % in relation to the reference cutter data. Finally, the measured results for maximum flank wear, machined length and surface quality (roughness and texture) were compared with results extracted from previous studies of milling cutters in the resharpened condition, milling cutters polished with OTEC commercial media and with the milling cutters treated with the latest alternative peanut shell media.

KeyWords: Milling; wear; cutting edge preparation; surface quality; drag finishing; abrasive media.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fresamento frontal e tangencial.....	14
Figura 2 – Fresamento concordante e discordante.....	15
Figura 3 – Variações de fresamento plano.....	16
Figura 4 – Exemplos de fresas de topo reta.....	17
Figura 5 – Desgastes e avarias.....	19
Figura 6 – Comportamento da evolução do desgaste.....	20
Figura 7 – Medição da rugosidade Ra, Ry e Rz.....	22
Figura 8 – Geometria do gume.....	24
Figura 9 – Principais tratamentos de gume.....	25
Figura 10 – Cinemática do processo.....	26
Figura 11 – Arredondamento da aresta de corte pela técnica de arraste.....	26
Figura 12 – Mídias para acabamento a úmido.....	28
Figura 13 – Mídias para acabamento a seco.....	29
Figura 14 – Comparação do desgaste.....	30
Figura 15 – MEV com ampliação de 1000 vezes.....	32
Figura 16 – Fluxograma de atividades.....	34
Figura 17 – Resultado da moagem do granulado de PA 66.....	38
Figura 18 – Mídia alternativa.....	39
Figura 19 – Ampliação da mídia alternativa.....	40
Figura 20 – Mídia alternativa de casca de amendoim.....	40
Figura 21 – Fresa A19 reafiada e sem tratamento.....	43
Figura 22 – Fresa A20 reafiada e sem tratamento.....	43
Figura 23 – Fresa A19 após o tratamento.....	45
Figura 24 – Fresa A20 após o tratamento.....	45
Figura 25 – Desgaste de flanco máximo da fresa A19.....	46
Figura 26 – Desgaste de flanco máximo da fresa A20.....	47
Figura 27 – Mecanismo de desgaste na fresa A19.....	48
Figura 28 – Mecanismo de desgaste na fresa A20.....	49
Figura 29 – Curva de comportamento de desgaste das fresas A19 e A20.....	50
Figura 30 – Comparativo da curva de comportamento de desgaste.....	51
Figura 31 – Comparativo de comprimento usinado por condição.....	52
Figura 32 – Valores de rugosidade para o início e fim de vida de A19 e A20.....	54

Figura 33 – Comparativo de valores de rugosidade para a condição inicial.....	55
Figura 34 – Comparativo de valores de rugosidade para a condição final.....	55
Figura 35 – Textura e perfil de rugosidade pela fresa A19.....	56
Figura 36 – Textura e perfil de rugosidade pela fresa A20.....	57
Figura 37 – Acúmulo de zirconita no polimento	58
Figura 38 – Acúmulo de zirconita no recipiente metálico.....	59
Figura 39 – Vista de topo da fresa A20.....	60
Figura 40 – Vistas da face e do flanco das fresas B7 de Carrer (2018) e A20.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de corte.....	36
Tabela 2- Batimento do giro da ferramenta.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO	11
1.3	OBJETIVO	12
1.3.1	Objetivo geral	12
1.3.2	Objetivos específicos	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	USINAGEM	13
2.2	FRESAMENTO	13
2.2.1	Tipos de fresamento	14
2.2.2	Fresamento de topo	16
2.3	USINABILIDADE	17
2.3.1	Avarias e desgaste da ferramenta	18
2.3.2	Vida de ferramenta	20
2.3.3	Textura	21
2.3.4	Rugosidade	21
2.4	TRATAMENTO DE GUME	23
2.4.1	Geometria do gume	23
2.4.2	Tipos de tratamento de gume	24
2.4.3	Tratamento de gume pela técnica de arraste	25
2.4.4	Mídias abrasivas	27
2.4.5	Efeito do tratamento de gume sobre o desgaste	29
2.5	POLIAMIDA	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	ESTUDO DE CASO	33
3.2	FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES	33
3.3	PLANEJAMENTO DA PROPOSTA DE ESTUDO	35
3.3.1	Parâmetros de teste	35
3.3.2	Corpo de prova	36
3.3.3	Ferramenta	37

3.3.4 Equipamentos	37
3.3.5 Mídias.....	37
3.4 PREPARAÇÃO DA MÍDIA ALTERNATIVA.....	38
3.5 TÉCNICA DE POLIMENTO POR ARRASTE	41
4 RESULTADOS	42
4.1.1 Caracterização das ferramentas.....	42
4.2 DESGASTE DAS FERRAMENTAS.....	46
4.2.1 Mecanismos de desgaste.....	47
4.2.2 Curvas de comportamento de desgaste.....	49
4.3 QUALIDADE SUPERFICIAL DO CORPO DE PROVA.....	53
4.3.1 Rugosidade	53
4.3.2 Textura.....	56
4.4 POSSÍVEIS CAUSAS DO BAIXO RENDIMENTO.....	58
5 CONCLUSÃO	61
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

Com a constante procura pela otimização dos processos de fabricação para atender a elevada demanda na produção industrial, mantendo a alta qualidade e confiabilidade, fez-se necessária a utilização de meios alternativos e tecnológicos relacionados à questão de usinagem (DENKENA, KOEHLER e REHE, 2012).

O processo de usinagem consiste na remoção de material ou desgaste mecânico da matéria-prima em contato com a ferramenta de corte, ambos fixados em máquina ou equipamento (convencional ou CNC) capaz de realizar a operação desejada, conforme a necessidade, qualidade superficial e precisão (REBEYKA, 2016). Dentre esses processos, encontra-se a usinagem por fresamento que se destaca por sua versatilidade na fabricação de componentes complexos, tanto em sua geometria quanto na sua superfície, abrangendo diversas áreas desde a automobilística até a área da saúde.

Segundo Rodriguez (2009), para um ganho considerável em relação à vida útil das ferramentas de corte e adequado acabamento na superfície usinada, deve-se observar quatro principais características: material da ferramenta, engenharia da superfície em relação à tecnologia de revestimento, otimização da geometria de corte e uma nova abordagem na preparação do gume.

Existem alguns processos utilizados para o tratamento do gume como: polimento com esponjas abrasivas, escovação por cerdas abrasivas, jateamento, acabamento magnético e tratamento por arraste. Essas aplicações tendem a reduzir possíveis defeitos como: irregularidades, micro-trincas e rebarbas do processo de fabricação da ferramenta. Tais defeitos podem resultar na diminuição de sua vida útil ou seu descarte total, alteração nas tolerâncias dimensionais e rugosidade indesejada na superfície usinada (RODRIGUEZ, 2009 e ZEILMANN, 2013).

O tratamento superficial do gume pela técnica de arraste consiste na imersão da ferramenta em um meio abrasivo, enquanto executa movimentos circulares gerando atrito entre as partes em contato, removendo material a uma determinada taxa e gerando uma superfície extremamente polida (BOGDAN, 2013). Sua principal vantagem é garantir a boa repetibilidade e uniformidade no arredondamento do gume. Os resultados dependem da velocidade do movimento da ferramenta no meio abrasivo, característica geométrica, granulometria da mídia e sua composição.

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma mídia alternativa capaz de gerar resultados satisfatórios, utilizando-se de insumos disponíveis no mercado nacional e baseando-se em teses de mesmo assunto como os estudos realizados por Uhlmann et al. (2014), Carrer (2018), Girardelo (2019) e Patricio (2021).

1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme OTEC (2008), empresa alemã especializada em tratamentos superficiais, as técnicas utilizadas para o tratamento de gume de ferramentas de corte possibilitam melhores desempenhos em relação à redução do desgaste, uniformidade da rugosidade, precisão, superfícies lisas e livres de estrias e o aumento na velocidade de corte.

Ao utilizar técnicas específicas para o tratamento superficial, é possível obter ganhos significativos no desempenho da ferramenta, resultando em maior precisão, diminuição no tempo de operação e paradas para trocas, otimização nos parâmetros de corte, confiabilidade, aumento da resistência ao desgaste e, principalmente, redução de custos (CARRER, 2018).

No Brasil, há pouco investimento nesse método devido às taxas elevadas de importação das mídias abrasivas, equipamentos específicos para o processo e a carência de informações sobre o tema (ZEILMANN, 2013).

Com base nessas informações, o presente trabalho tem como foco principal desenvolver uma mídia alternativa de baixo custo e fácil acesso, assim como, testar e avaliar seu desempenho, confrontando seus resultados com teses anteriores de mesmo tema.

1.2 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

Fundada em 1967, a Universidade de Caxias do Sul é uma Instituição Comunitária de Educação Superior, com atuação direta na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Com mais de 50 anos de experiência e tendo como missão fundamental contribuir para a realização de propósito de vida, ela conta com 85 cursos de graduação, 29 mestrados e doutorados, 800 laboratórios em 12 cidades e mais de 100 mil pessoas formadas em diversas áreas do conhecimento.

O presente trabalho foi totalmente elaborado nas dependências do Laboratório de Usinagem e no Laboratório de Polímeros dessa instituição, onde foram realizados estudos para a obtenção e preparação da mídia alternativa para o tratamento de gume por arraste, a qual foi testada em uma ferramenta de corte do tipo fresa de topo de metal duro. Utilizando-se equipamentos para medições de desgaste e rugosidade superficial, os resultados dos testes de usinagem com a ferramenta polida foram avaliados e comparados com resultados extraídos de trabalhos anteriores.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo geral

Analisar a mídia alternativa para o tratamento de arraste e verificar a sua influencia sobre a vida da ferramenta.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo proposto, as seguintes atividades foram previstas:

- a) compreender a técnica de tratamento de gume por arraste e suas consequências;
- b) elaborar uma mídia alternativa para a técnica utilizada;
- c) avaliar a influência da mídia alternativa quanto à vida útil da ferramenta;
- d) avaliar a influência da mídia alternativa quanto à qualidade superficial da peça;
- e) e comparar os resultados obtidos da mídia alternativa em relação aos resultados de trabalhos anteriores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Fabricar consiste basicamente em alterar a matéria bruta com o intuito de obter um produto acabado. Os processos de fabricação são classificados em duas grandes categorias: fabricação com remoção de material e fabricação sem remoção de material. Quando ocorre a remoção de material, o processo denomina-se fabricação por usinagem (REBEYKA, 2016).

2.1 USINAGEM

A usinagem é o processo de fabricação realizado por máquinas operatrizes, que consiste na remoção de sobremetal e na transformação da matéria-prima, atendendo às exigências de forma, exatidão dimensional e acabamento superficial da peça a ser trabalhada, conforme ABNT NBR 6175-1983.

A remoção do excesso de material por meio da ferramenta de corte em contato com a peça é definida por cavaco. O cavaco caracteriza-se por apresentar forma geométrica irregular devido aos mecanismos envolvidos na sua formação como: recalque, aresta postiça de corte, superfície de saída da ferramenta e a formação periódica do cavaco relacionada à variação da velocidade de corte (FERRARESI, 1970).

Conforme Machado et al (2015), o processo de usinagem torna-se complexo e simples ao mesmo tempo. É complexo em razão das dificuldades em determinar as imprevisíveis condições ideais de corte, e simples, porque uma vez determinada essas condições, o cavaco se forma corretamente, dispensando qualquer tipo de intervenção do operador.

2.2 FRESAMENTO

Existem diversos tipos de processos de usinagem, como: torneamento, rosqueamento, furação, erosão, aplainamento, alargamento, polimento, brunimento, serramento, brochamento, mandrilamento e fresamento. Dentre essa vasta gama de possibilidades o fresamento se destaca pela sua versatilidade, sendo capaz de realizar diversas operações de usinagem com ferramentas e máquinas adequadas, podendo substituir alguns dos outros processos citados.

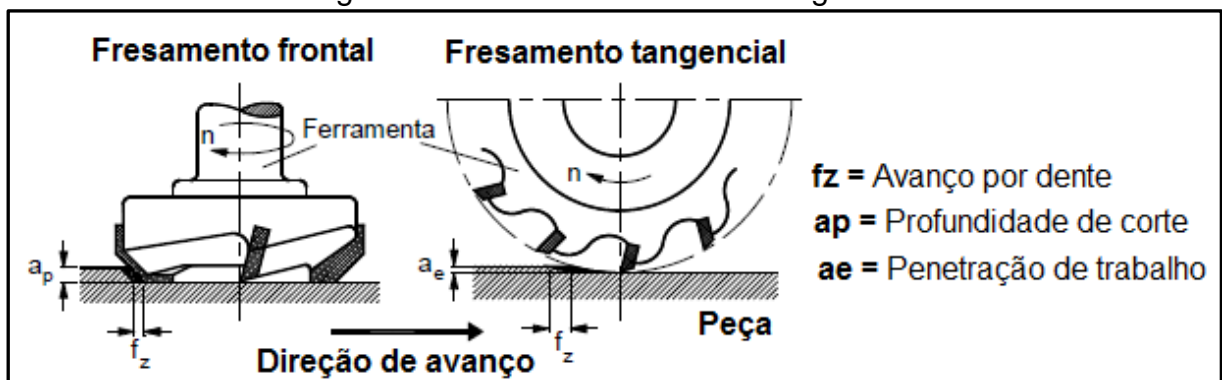
Conforme Ferraresi (1970), o fresamento é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies variadas com a utilização de ferramentas multicortantes que giram em torno de seu próprio eixo de rotação, enquanto a peça realiza movimentos transversais e longitudinais em relação ao eixo da ferramenta, contribuindo para a elevada remoção de material e formação do cavaco.

Zeilmann (2020) destaca as principais vantagens do fresamento como: elevada taxa de remoção de material, qualidade superficial, ampla variedade de formas e geometrias que podem ser obtidas e a disponibilidade de ferramental para gerar superfícies complexas.

2.2.1 Tipos de fresamento

O fresamento pode ser classificado em dois tipos básicos: fresamento cilíndrico tangencial e fresamento frontal. No fresamento cilíndrico tangencial, a superfície gerada encontra-se paralela ao eixo de rotação da ferramenta ou, em alguns casos especiais, ocorre quando o eixo for inclinado em relação à superfície originada na peça. No fresamento frontal, o eixo de rotação é perpendicular à superfície plana. Alguns processos podem apresentar as duas combinações, resultando em alta taxa de produtividade capaz de fabricar perfis, cavidades e alguns modelos de entalhe (FERRARESI, 1970). A Figura 1 ilustra a diferença do fresamento tangencial e do frontal, bem como o sentido de deslocamento da peça em relação ao giro da ferramenta.

Figura 1 – Fresamento frontal e tangencial

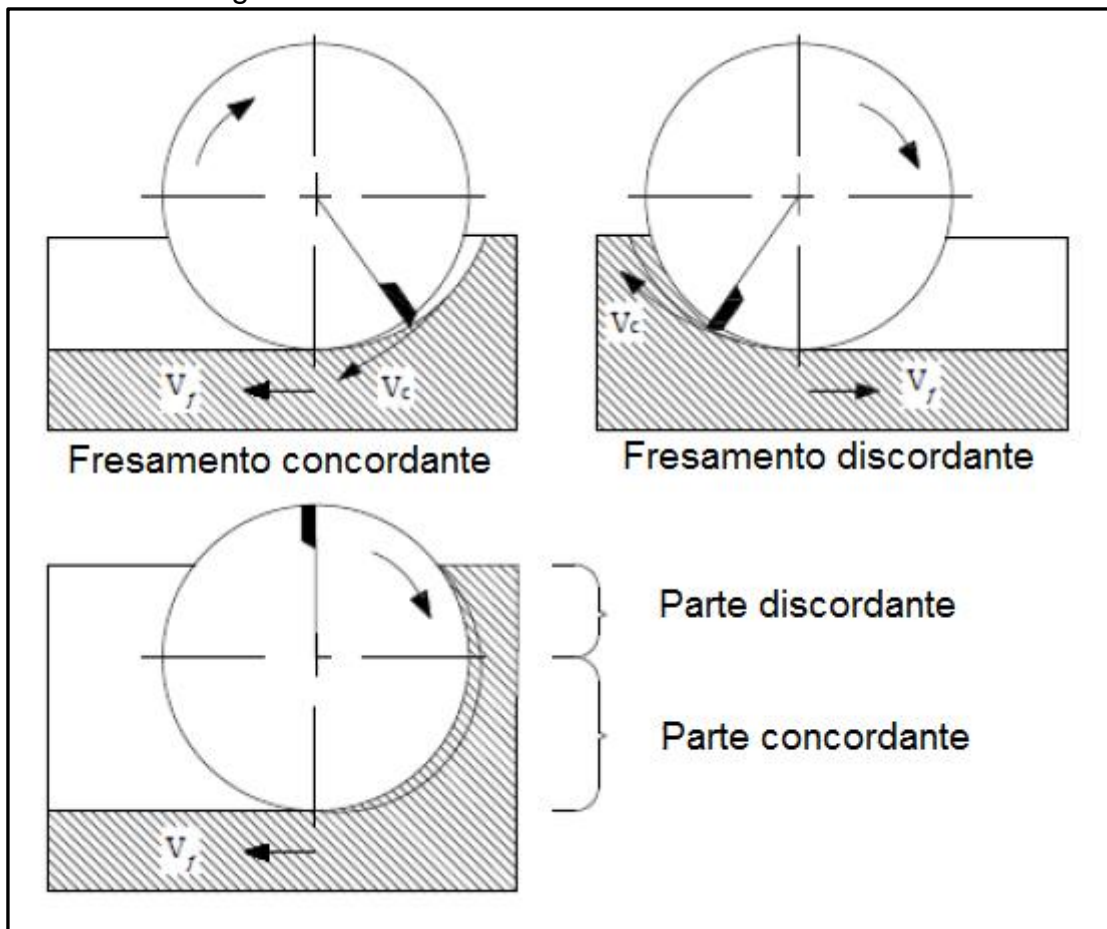


Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

De acordo com a norma DIN 8589 (2003), a subdivisão dos processos de fresamento caracteriza-se conforme a superfície gerada, formato da ferramenta e a cinemática, em: circular, plana, de forma, de perfil ou de geração (Carrer, 2018). O sentido de rotação da ferramenta em conjunto com a direção de deslocamento da peça também é classificado em dois tipos, sendo ele concordante ou discordante (FERRARESI, 1970).

O fresamento concordante ocorre quando o movimento de rotação da ferramenta possui o mesmo sentido de deslocamento da peça, diminuindo a probabilidade de vibrações devido ao corte suave na entrada da ferramenta em contato com o material, ocasionando o aumento da qualidade superficial. No fresamento discordante, o movimento de giro e o deslocamento possuem sentidos contrários, aumentando o esforço de corte e diminuindo a qualidade e a vida útil da ferramenta (KÖNIG e KLOCKE, 1997). A combinação concordante e discordante também é possível, conforme a Figura 2.

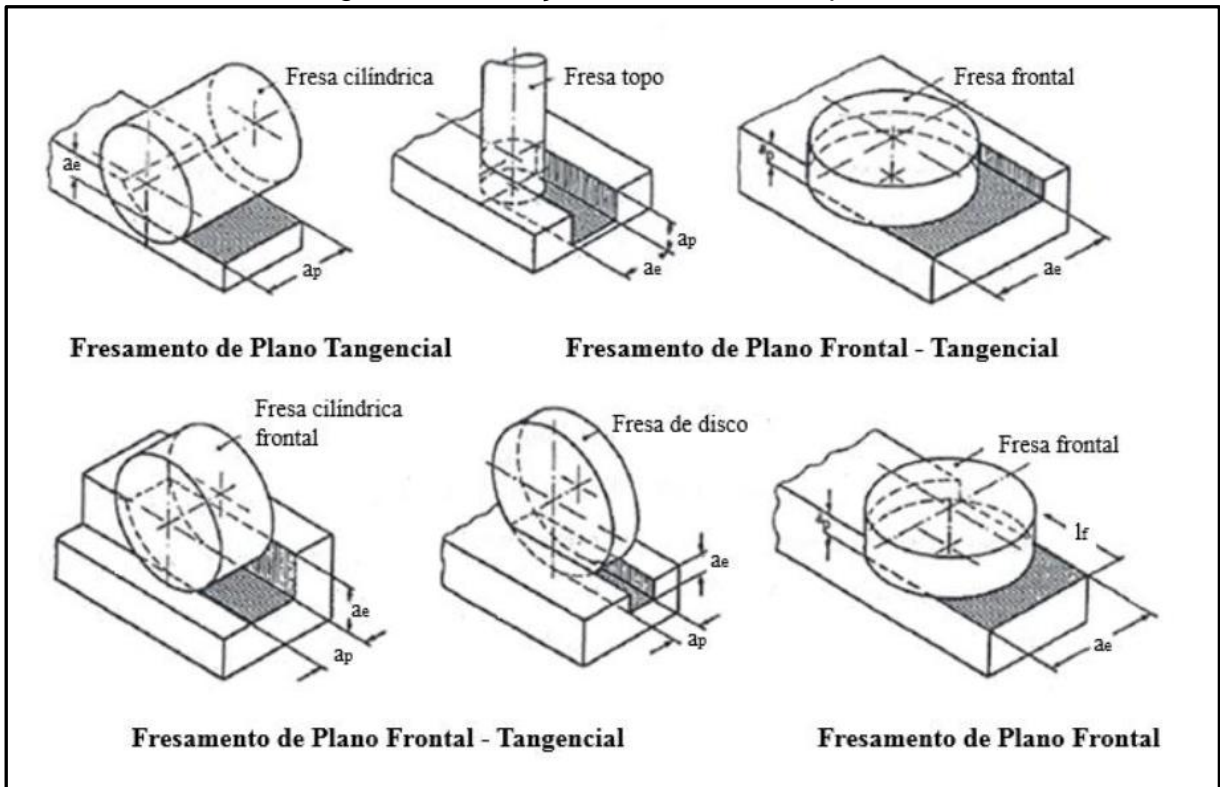
Figura 2 – Fresamento concordante e discordante



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

KÖNIG e KLOCKE (1997) ainda citam o fresamento plano, o qual é o processo mais utilizado com o objetivo de gerar superfícies planas de acordo com o tipo de ferramenta empregada relacionada ao tipo de fresamento, sendo o fresamento de disco, frontal de perfil, tangencial e o de topo, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Variações de fresamento plano



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

2.2.2 Fresamento de topo

Considerado como um processo contínuo, tangencial e frontal, o fresamento de topo possui uma ampla área de aplicação na indústria metalúrgica para a fabricação de rebaxos, ranhuras, contorno de perfis, bolsões, cavidades, gravações e também para o mais simples processo de faceamento (GROOVER, 2017).

Esse tipo de fresamento utiliza fresas de topo reto, geralmente possuindo diâmetros pequenos, de até 16 mm, com gumes em sua face e circunferência geralmente fabricadas de metal-duro, aço-rápido (HSS) ou aço ao carbono com insertos intercambiáveis (REBEYKA, 2016). A Figura 4 apresenta os modelos mais usais de fresas de topo reta disponíveis no mercado.

Figura 4 – Exemplos de fresas de topo reta



Fonte: Adaptado de World Tools (2022).

As fresas apresentam certa flexibilidade devido ao seu comprimento (L) apresentar dimensões muito maiores que o seu diâmetro (D) com características de vibrações, excentricidade e deflexão (WEINGAERTNER et al., 2004). A deflexão ocorre em virtude da fresa estar fixada em uma única extremidade somada à baixa rigidez e à ação das forças de usinagem.

A espessura do cavaco no sentido axial também está relacionada ao fenômeno da deflexão, ocasionando em esforços não-uniformes sobre os gumes, baixa produtividade, acabamento indesejado e instabilidade dimensional. Geralmente, a excentricidade está relacionada a erros de montagem da ferramenta ocasionando o desalinhamento do gume em relação ao centro geométrico da fresa como referência. Já a vibração ocorre principalmente pelo comprimento da ferramenta, corte interrompido, mudanças de direções e parâmetros de corte inadequados (ARMAREGO e DESHPANDE, 1991).

2.3 USINABILIDADE

A usinabilidade de um metal pode ser representada como uma grandeza tecnológica, que quantifica as propriedades do material em relação a outro tomado como padrão (FERRARESI, 1970). Refere-se também, às características de um

material quanto ao seu desempenho e resultado durante o processo de usinagem, incluindo as dificuldades que podem haver devido as suas propriedades, considerando as condições de corte e o material da ferramenta (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

Alguns critérios podem ser utilizados para avaliar, de forma conjunta ou isolada, a usinabilidade, como: forças de usinagem, vida da ferramenta, formação do cavaco, micro estrutura, qualidade superficial, rigidez da peça, composição química, propriedades das tensões e deformações, fluido de corte, rigidez da máquina e parâmetros de usinagem (KLOCKE, 2018).

2.3.1 Avarias e desgaste da ferramenta

Conforme Stemmer (2005), durante o processo de fresamento, o desgaste e as avarias das ferramentas de corte podem estar relacionados a elevadas temperaturas e altas pressões durante o contato e o escorregamento do material na superfície do gume de corte, ocasionando no desgaste do flanco, lascamento do gume e desgaste na face. Mais especificamente, alguns desgastes podem estar relacionados às condições de corte, ao tipo de material da ferramenta e peça, assim como a adesão, difusão, abrasão e oxidação. Consideram-se avarias da ferramenta as trincas, quebras, sulcos e as deformações plásticas que ocorrem no gume (FERRARESI, 1970).

Dentre os desgastes citados, os mais comuns são o desgaste de cratera, o desgaste de flanco e o de entalhe. O desgaste de cratera ocorre na superfície de saída da ferramenta, sendo normalmente ocasionado pela difusão entre o atrito do cavaco e a superfície, caracterizando-se pela profundidade, largura e a distância entre a aresta de corte e o centro do desgaste. O fenômeno da difusão ocorre quando há a transferência de átomos entre os metais em contato, ao tempo de exposição e a elevada temperatura. O desgaste de cratera, se não observado precocemente, pode resultar na quebra de ferramenta (DINIZ et al., 1999).

O desgaste de flanco ocorre na região do flanco (superfície de folga) da ferramenta devido ao mecanismo de abrasão, ocasionando a modificação do gume, alteração dimensional e qualidade superficial (DINIZ et al., 1999). A abrasão é a remoção contínua de pequenas partículas devido ao desgaste por fricção ou atrito, entre a peça e ferramenta, durante a formação do cavaco somado à alta

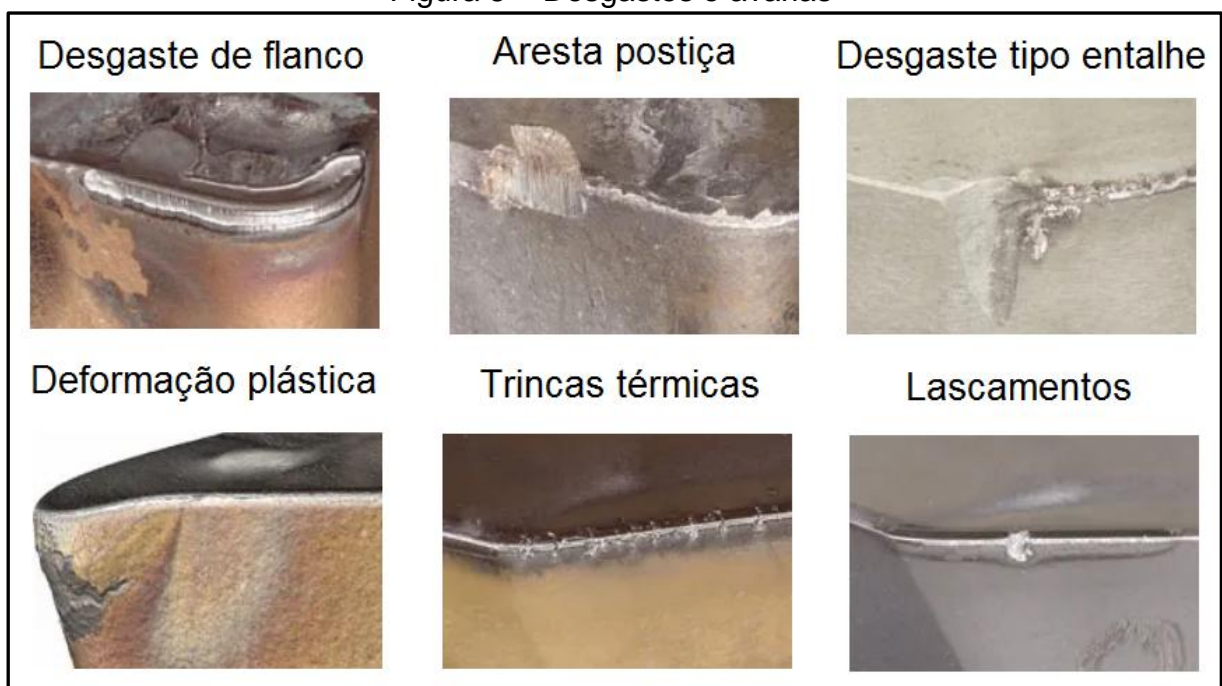
temperatura de trabalho, à velocidade de corte e à dureza do material (FERRARESI, 1970).

O desgaste por entalhe caracteriza-se pelo excesso de danos localizados no flanco e na face de ataque da ferramenta, na profundidade da linha de corte (SANDVIK, 2021). Segundo Machado et al. (2015), a presença de uma camada encruada na peça, formação de trincas térmicas, rebarbas na superfície usinada e uma camada abrasiva de óxidos são alguns dos fatores que contribuem para o desenvolvimento do desgaste por entalhe.

As avarias por trinca térmica resultam das tensões originárias da variação de temperatura, geralmente ocasionadas pela incorreta aplicação do fluido lubrificante. Diferentemente da térmica, a trinca por fadiga surge da variação de cargas mecânicas ocasionadas pela instabilidade da máquina, vibração da peça ou da fixação da ferramenta. Carrer (2018) ainda cita o fenômeno da adesão relacionado a cargas moderadas em conjunto com as baixas velocidades de corte e temperatura, resultando na incrustação das partículas do material da peça na superfície da ferramenta.

A Figura 5 demonstra alguns casos reais dos tipos de desgastes e avarias citados anteriormente, responsáveis pela redução da vida útil da ferramenta e até mesmo sua destruição total ou parcial.

Figura 5 – Desgastes e avarias



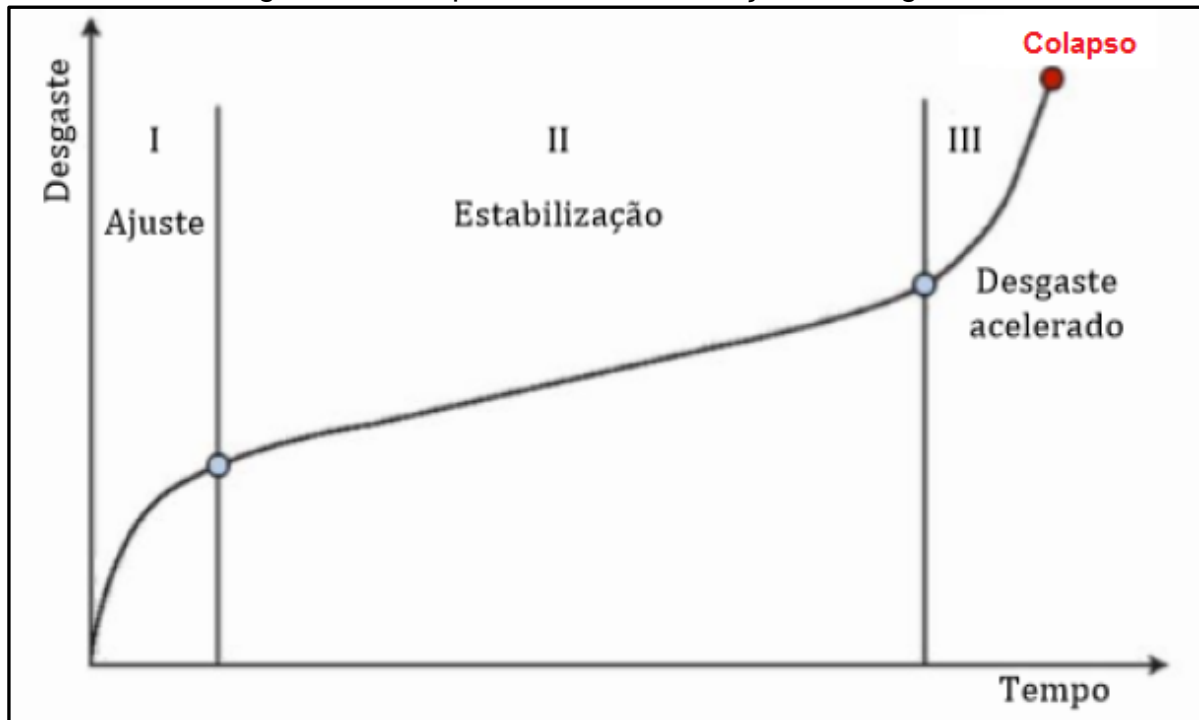
Fonte: Adaptado de Sandvik (2022).

2.3.2 Vida de ferramenta

A partir dos critérios previamente estabelecidos sobre desgastes e avarias, é possível identificar e avaliar as condições da ferramenta durante seu tempo de trabalho e determinar a redução na sua capacidade de corte. Essa redução estabelece o tempo de vida útil da ferramenta, no qual ela trabalha efetivamente até que seja substituída ou reafiada, conforme a situação, caso contrário, pode ocasionar a elevada temperatura, aumento das forças de usinagem, péssimo acabamento superficial e, possivelmente, o colapso total ou parcial da ferramenta (FERRARESI, 1970).

Machado et al. (2015) estabelece o comportamento do desgaste em três estágios de evolução, desde o início até o fim da vida útil da ferramenta. No primeiro estágio, o desgaste é acelerado devido ao ajuste do sistema tribológico. No segundo, o desgaste aumenta gradativamente, oriundo da estabilização do processo de corte. Por fim, no terceiro estágio, ocorre o aumento nas tensões e temperaturas, resultando no desgaste acelerado até o fim de sua vida útil. Pode-se observar, na Figura 6, como acontece a evolução do desgaste em relação ao tempo de trabalho.

Figura 6 – Comportamento da evolução do desgaste



Fonte: Adaptado de Machado et al. (2015).

2.3.3 Textura

Conforme o tipo de usinagem realizada com determinada ferramenta, algumas características na superfície da peça, como rugosidade, ondulações, falhas, sulcos, raias, crateras e ranhuras, compõem os elementos de textura, gerando desvios aleatórios e, com certa frequência na superfície real comparada a geometria da peça (BET, 1999).

De acordo com Tabenkin (1999), a textura consiste nos picos e vales que constituem a superfície e sua direção, e pode ser dividida em três componentes: ondulação, forma e rugosidade. A ondulação é o resultado da instabilidade da ferramenta de corte e da vibração. Os erros de forma são causados pela retidão ou planicidade dos caminhos máquina-ferramenta. Já a rugosidade, representa as ranhuras com certa largura e profundidade, originadas pela trajetória da ferramenta de corte, possuindo comprimento de onda menor que a ondulação e menor que o desvio de forma.

2.3.4 Rugosidade

Segundo Machado et al. (2015), a rugosidade é utilizada como parâmetro de saída para controlar um processo de usinagem. Constituída por diversos erros microgeométricos e irregularidades, resultantes da ação do desgaste da ferramenta, geometria, aresta postiça e marcas de avanço, sendo classificada em três parâmetros: amplitude, espaço e a combinação de ambos. O parâmetro de amplitude é determinado pela altura dos picos, profundidade dos vales e desconsiderando o espaçamento entre as irregularidades. Os parâmetros de espaço são determinados pela distância do desvio ao longo da superfície.

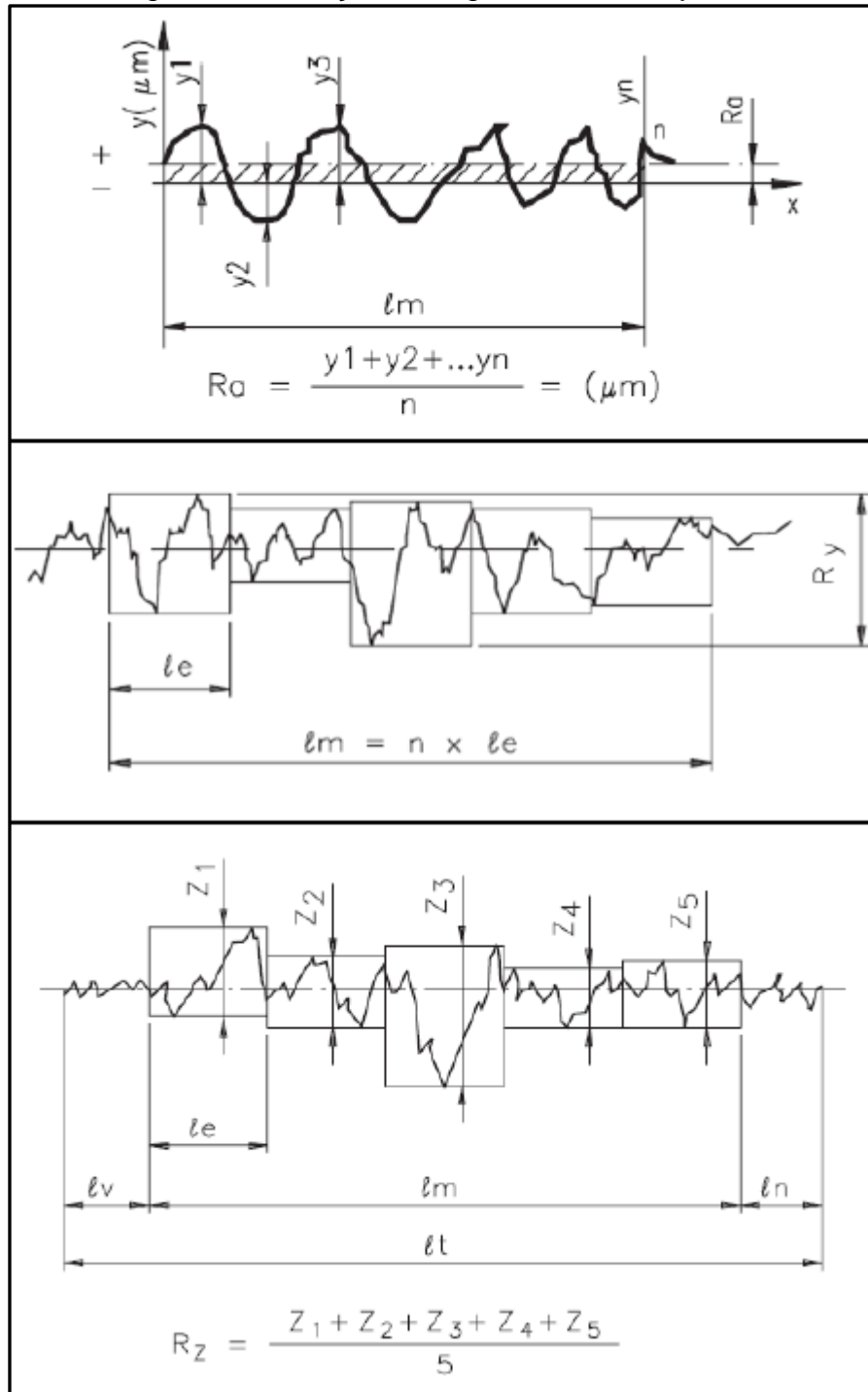
Com base no critério da linha média, Oliveira (2006) classifica o sistema de medição da rugosidade em três classes:

- a) Rugosidade média (R_a) corresponde à média aritmética das ordenadas de afastamento (y_i) em relação à linha média, dentro do comprimento experimental (l_m).
- b) R_y (R_{max}) corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo, dentro do comprimento experimental (l_m).

- c) R_z corresponde aos cinco valores de rugosidade parcial (Z_i), a qual é a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média, dentro do comprimento experimental (l_m).

Na Figura 7, é possível observar as três classes de rugosidade citadas.

Figura 7 – Medição da rugosidade R_a , R_y e R_z



Fonte: Adaptado de Oliveira (2006).

2.4 TRATAMENTO DE GUME

A técnica de tratamento de gume é utilizada para obter melhorias na qualidade superficial da ferramenta e no seu desempenho durante o processo de usinagem. O gume afiado e sem tratamento específico, após a sua fabricação, pode apresentar defeitos de superfície e baixa resistência mecânica, causando instabilidade e lascamentos. Defeitos de cunha como microfraturas e rebarbas também são decorrentes da carência de tratamentos pós-fabricação. O tratamento consiste na alteração da microtopografia (rugosidade e textura) na região da face e do flanco nas proximidades do gume e na geração de arredondamento, chanfro ou ambos no perímetro do gume (RODRIGUEZ, 2009; ZEILMANN, 2013).

O principal objetivo do tratamento de gume é aumentar a vida útil da ferramenta, preparar sua superfície para aplicação de cobertura, reforçar a cunha de corte e reduzir lascamentos e instabilidade durante o processo de fresamento (ZEILMANN, 2013; CARRER, 2018).

2.4.1 Geometria do gume

A superfície cilíndrica das fresas de topo apresenta uma grande variedade na quantidade e no tipo de gume, sendo de forma reta ou helicoidal, interferindo diretamente na aplicação e remoção de cavaco. A geometria do gume, na maioria dos casos, é responsável por prolongar ou reduzir a vida útil da ferramenta, já que está associada ao desgaste de flanco (LOPES, 2020).

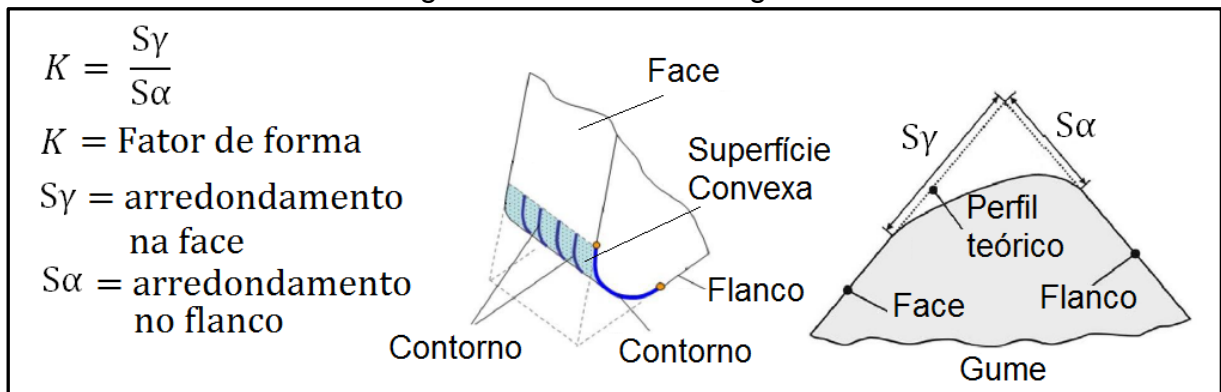
Rodriguez (2009) e Carrer (2018) estabelecem algumas considerações para definir a geometria do gume adequada como: tipo de usinagem, material da peça, parâmetros de corte, tratamento da ferramenta e a divisão da geometria em macro, meso e microgeometria.

A macrogeometria determina o quebra-cavaco, o raio da quina e o ângulo de ataque. A mesogeometria define a superfície convexa no perímetro do gume. E, por último, a microgeometria avalia a microtopografia da superfície e do gume.

Denkena et al. (2012) e Girardelo (2019) mencionam a dimensão do raio e o fator de forma (K) como parâmetros para determinar a orientação do gume, sendo K , a divisão entre S_y e S_x . Comprimento do arredondamento na face e no flanco, respectivamente. Fator $K < 1$ ocasiona desgaste de flanco maior devido ao atrito da

ferramenta com a peça, dificultando a saída do cavaco. Fator $K > 1$ possui melhores resultados, facilitando o quebra-cavaco e prolongando a vida útil da ferramenta de corte. Na Figura 8, é possível observar o fator de forma (K) relacionado à geometria do gume.

Figura 8 – Geometria do gume



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2009).

2.4.2 Tipos de tratamento de gume

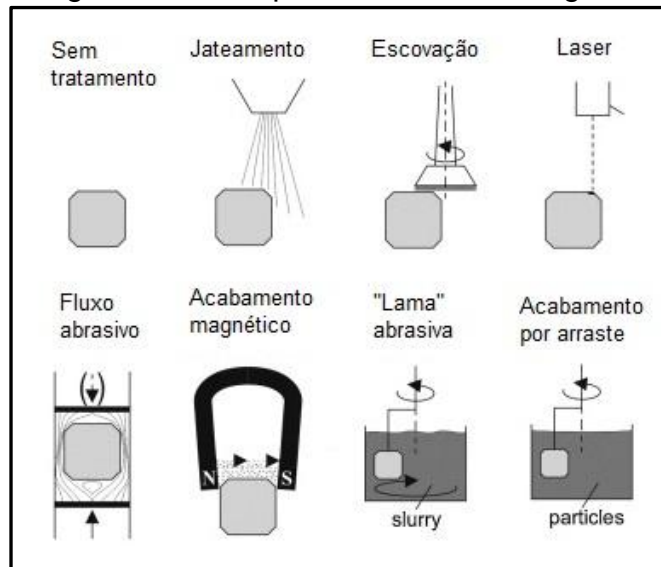
Atualmente os processos de tratamentos de gume em ferramentas estão conquistando cada vez mais seu espaço na indústria. Cada método tem seu campo de aplicação, garantindo a confiabilidade, precisão, reprodutibilidade, qualidade superficial e a alta produtividade (DENKENA, KOEHLER e REHE, 2012). O tratamento envolve a remoção contínua de material, alterando a microtopografia, eliminando defeitos, evitando lascamentos e potencializando a superfície do gume (RODRIGUEZ, 2009 e DENKENA e BIERMANN, 2014).

Existem diversos tipos de tratamento, sendo os mais utilizados a escovação por cerdas abrasivas, polimento com esponja abrasiva, jateamento, laser, usinagem por eletroerosão, usinagem por fluxo abrasivo, retificação, acabamento magnético e acabamento por arraste com mídias abrasivas. Os processos de remoção de material são classificados em três grupos: mecânico, químico e térmico sendo que o mecânico é o mais utilizado (BORDIN, 2013 e BUCKELL, 2019).

Cada processo utilizado está diretamente relacionado com o formato do raio gerado. Ferramentas afiadas por retificação e sem revestimento superficial, possuem raios na faixa de 5 μm . Ferramentas com tratamentos de acabamento por arraste ou jateamento, possuem raios médio na faixa de 5 a 20 μm . E, por fim, ferramentas

com tratamentos por escovação possuem raios superiores a 20 μm (SOMMER, 2013 e CARRER, 2018). A Figura 9 representa os principais processos para tratamentos de gume.

Figura 9 – Principais tratamentos de gume



Fonte: Adaptado de Denkena e Biermann (2014).

Dentre os diferentes métodos citados, o acabamento por fluxo ou “lama” abrasiva é semelhante ao acabamento por arraste em mídia abrasiva, a diferença está na granulometria do meio abrasivo que cada um utiliza (SCHMIDT, 2021).

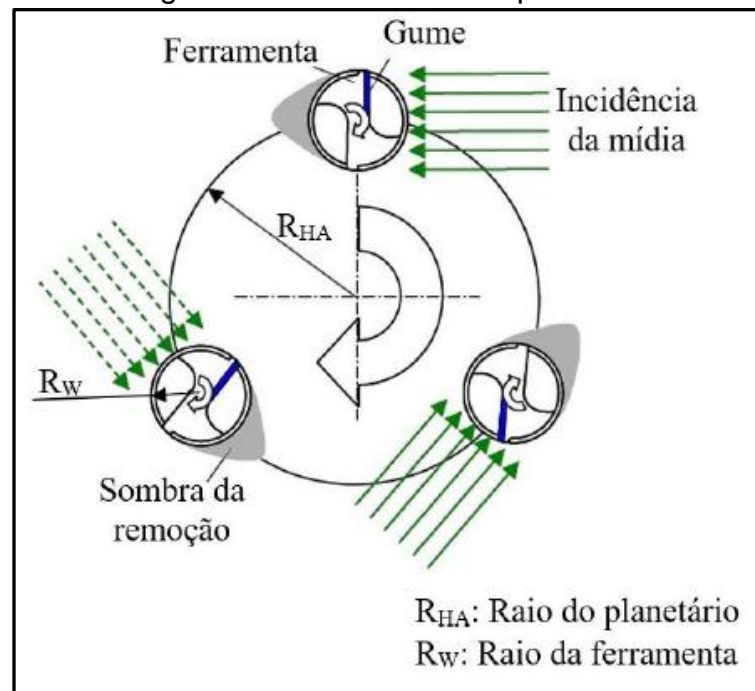
A imersão em meios abrasivos é utilizada para polimentos em joias, peças torneadas ou fresadas, componentes esféricos, dispositivos para porta-ferramentas e acabamento em ferramentas de corte (OTEC, 2008).

2.4.3 Tratamento de gume pela técnica de arraste

Apesar de haver pouca informação na literatura científica, a técnica de acabamento por arraste (*drag finishing*) em ferramentas de corte se destaca pela sua boa reprodutibilidade e confiabilidade devido à uniformidade na remoção de material (ZEILMANN, 2013; GIRARDELO, 2019).

O princípio do método de acabamento por arraste consiste na imersão da ferramenta de corte em um meio abrasivo, enquanto ela realiza movimentos de rotação e translação, gerando pressão entre a superfície de contato da ferramenta e a mídia abrasiva, como mostra a Figura 10 (RISSE, 2006; OTEC, 2021).

Figura 10 – Cinemática do processo

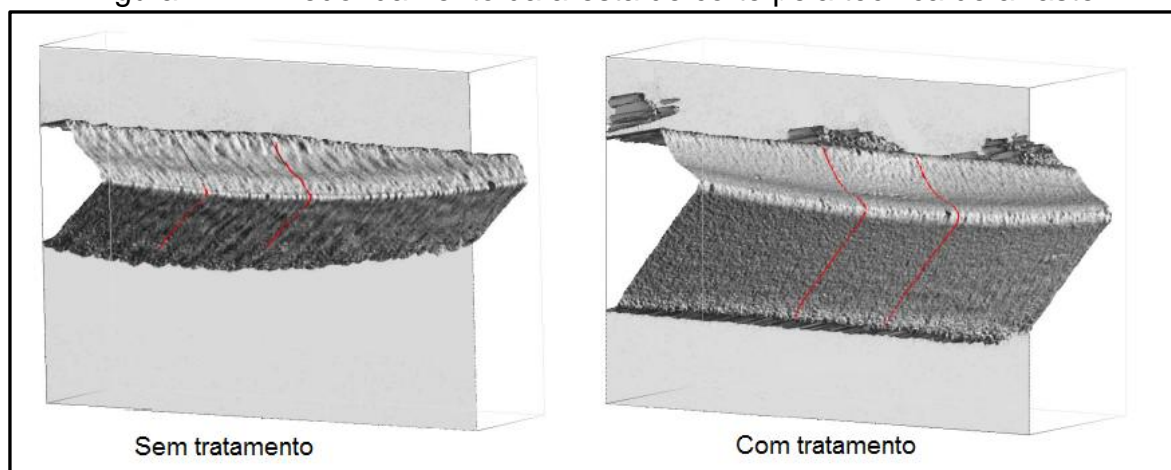


Fonte: Adaptado de Risse (2006).

Além de preparar a ferramenta para revestimentos posteriores, o processo permite a execução de múltiplos estágios de polimento e lixamento fino, produzindo resultados satisfatórios na remoção de rebarbas, redução de lascamentos, arredondamento da aresta de corte, otimização do fluxo de cavaco e aumento na vida útil da ferramenta (OTEC, 2008).

A Figura 11 representa, de forma comparativa, o gume antes e depois do tratamento por arraste. É possível observar o arredondamento na aresta de corte, aprimoramento óptico, suavidade e uniformidade na superfície da ferramenta.

Figura 11 – Arredondamento da aresta de corte pela técnica de arraste



Fonte: Adaptado de Otec (2008).

Tikal (2009) cita as vantagens do processo como: suavidade e uniformidade com elevada precisão, alta reprodutibilidade, ótima aplicabilidade devido à geometria e tamanho da ferramenta e, por fim, boa aderência para processos de revestimentos subsequentes.

2.4.4 Mídias abrasivas

As mídias são responsáveis pela remoção de material na superfície da ferramenta de corte em contato com o meio abrasivo durante o movimento de rotação e translação do processo em questão (UHLMANN et al., 2014, CARRER, 2018).

Conforme a empresa alemã OTEC (2021), o resultado do acabamento superficial da ferramenta depende de diversos parâmetros relacionados ao tipo de rebarbação e polimento desejado, bem como a qualidade, forma e tamanho da mídia utilizada de acordo com o diâmetro da ferramenta. As mídias comerciais são divididas em dois grupos: acabamento a úmido e acabamento a seco.

Acabamento a úmido utiliza uma mistura de água e composto para remover resíduos do abrasivo e do metal, garantindo a eficiência máxima do processo e evitando o entupimento do sistema de tratamento de efluentes (OTEC, 2021).

A Figura 12 representa alguns exemplos de mídias comerciais para tratamento a úmido. É importante considerar que cada um deles tem uma aplicação mais indicada. O abrasivo plástico é utilizado para elevadas taxas de remoção de material e acabamento fino de superfície. O cerâmico de liga vitrificada com alta densidade para retificar ligas de aço. Ao utilizar a mídia de aço inoxidável, não ocorre remoção de material, sendo que ela é utilizada para alisamento, polimento de alto brilho e rebarbação sob pressão de metais não ferrosos. Ao utilizar-se a esfera de zircônio, também não ocorre remoção de material durante o processo, sendo essa utilizada para alisamento, polimento espelhado e nivelamento de materiais nobres ou não ferrosos.

A pasta, por sua vez, é utilizada em conjunto com porcelanas de polimento, melhorando a taxa de remoção de material durante a remoção a úmido.

E, por fim, o composto serve para produzir superfícies limpas, brilhantes e evitar a oxidação, também evitando o impacto entre o abrasivo e a peça, formando uma espuma isolante.

Figura 12 – Mídias para acabamento a úmido



Fonte: Adaptado de Otec (2022).

O processo com abrasivos para acabamento a seco pode ocasionar diversos problemas, principalmente relacionados à temperatura. Esse processo utiliza pasta ou pó de polimento para o abrasivo aderir à mídia e gerar uma superfície altamente polida e com elevada taxa de remoção de material.

A Figura 13 representa alguns abrasivos comerciais utilizados para o acabamento a seco. O granulado de casca de noz é geralmente utilizado para acabamento espelhado de metais preciosos, joias, titânio e algumas ligas de aço.

O granulado de rebarbação consiste em uma mídia de desbaste com granulado de poliuretano em conjunto com Carbetto de Silício (SiC) como abrasivo, sendo geralmente utilizado para o arredondamento de arestas de corte com canal de refrigeração.

Já a mídia plástica é recomendada para peças muito delicadas e situações em que ocorre o risco de travamento do granulado de casca de noz, sendo recomendada para peças em prata.

Já o granulado de sabugo de milho produz uma superfície extremamente polida e espelhada, devido ao polimento suave e é utilizado na indústria médica para polimento de implantes ortopédicos e no setor automobilístico para superfícies de cilindros de motores de alta performance.

Por fim a pasta e o óleo de alta viscosidade são utilizados para aderência do granulado e o pó de polimento e também servem para lubrificação e proteção contra a corrosão.

Figura 13 – Mídias para acabamento a seco



Fonte: Adaptado de Otec (2022).

As mídias comerciais apresentam três substâncias fundamentais na sua composição: um elemento de liga de alta viscosidade, um aditivo abrasivo e um elemento granulado com tamanho de grão homogêneo, responsável pelo transporte do abrasivo e na remoção de material (OST, 2016).

A partir da análise de outros tratamentos que utilizam abrasivos, como jateamento e polimento com cerdas, foi possível perceber a presença de óxido de alumínio (Al_2O_3) e carbeto de silício (SiC) na composição de tais tratamentos (RODRIGUEZ, 2009; UHLMANN, 2016).

Nos estudos realizados por Carrer (2018), Girardelo (2019) e Patricio (2021) a mídia comercial utilizada como referência foi HSC 1/300 da empresa alemã OTEC, composta por 30% de carbeto de silício (SiC) e 70% de casca de noz com granulometria na faixa de 0,8 e 1,3 mm (TIKAL, 2009; UHLMANN et al. 2016; UHLMANN, 2017).

2.4.5 Efeito do tratamento de gume sobre o desgaste

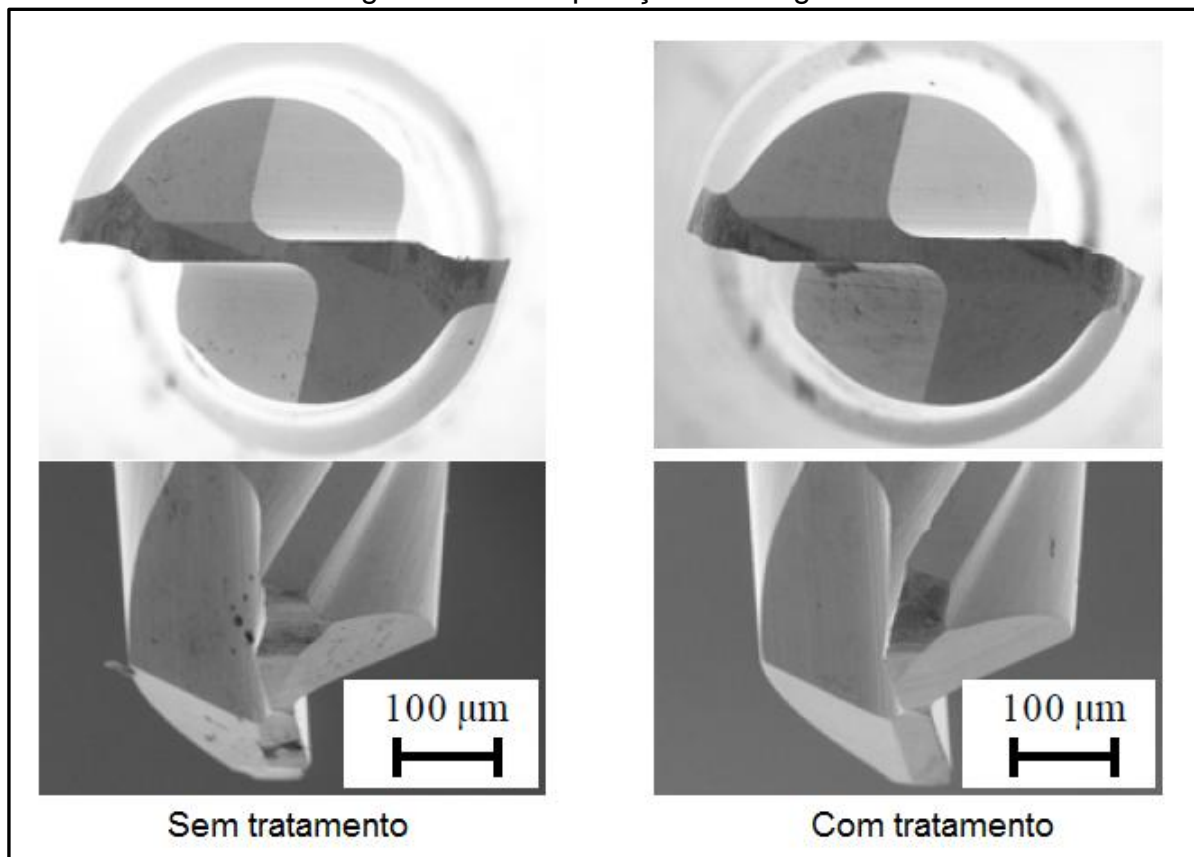
O design e a forma do gume possuem grande influência nas cargas termomecânicas geradas pelo corte da ferramenta, na integridade superficial, na espessura do cavaco e no desgaste do gume (DENKENA, KOEHLER e REHE, 2012)

O comportamento do desgaste da ferramenta torna-se imprevisível para a vida útil e a qualidade superficial da peça usinada, sendo necessária a otimização e preparação do gume (UHLMANN et al., 2014).

Segundo Uhlmann et al. (2014) a preparação do gume da ferramenta é capaz de reduzir o seu desgaste em até 92% e o desgaste de flanco em até 14%. Além disso, o desgaste de cratera também pode ser observado nas arestas de corte de extremidades não preparadas (Figura 14).

Tais resultados foram obtidos por meio do processo de arraste utilizando a mídia comercial HSC 1/300, composta por uma mistura de 30% de carbeto de silício (SiC) com diâmetro de grão de 200 μm e 70% casca de noz como granulado com diâmetro de grão entre 0,8 e 1,3 mm (UHLMANN et al., 2014).

Figura 14 – Comparação do desgaste



Fonte: Adaptado de Uhlmann et al. (2014).

2.5 POLIAMIDA

Conforme Ferreira (2016), as poliamidas (PA) são polímeros termoplásticos semicristalinos, os quais se diferem dos demais pela quantidade de átomos de carbono nas unidades monoméricas originais. As poliamidas são utilizadas em 12 % da produção mundial de polímeros, sendo os tipos PA 6 e PA 66 os líderes de produção. A principal diferença entre ambas fica por conta da poliamida 66 ser extremamente rígida e resistente a temperatura de até 180 °C sob a condição de trabalho contínuo.

Segundo Wiebeck e Harada (2005), as poliamidas são consideradas polímeros de engenharia por apresentarem propriedades como: alto coeficiente de fusão, baixo coeficiente de atrito, excelentes propriedades mecânicas, resistência à fadiga, ao impacto e a intempéries.

As propriedades dos termoplásticos estão diretamente relacionadas ao grau de cristalinidade, morfologia e a orientação da rede polimérica (NETO e PARDINI, 2006). Algumas propriedades mecânicas podem ser obtidas por meio da adição de reforços como a fibra de carbono e a fibra de vidro, além de minimizar a absorção de umidade e reduzir custos de fabricação do compósito (NETO e PARDINI, 2006; SIMIELLI, 2010).

Os reforços de fibra de vidro são incrustações de micro esferas ocas, com diâmetros entre 3 e 20 μm , compostas por 55% em peso de SiO_2 ; 16% de CaO ; 15% de Al_2O_3 ; 10% de B_2O_3 e 4% de MgO (CALLISTER, 2008).

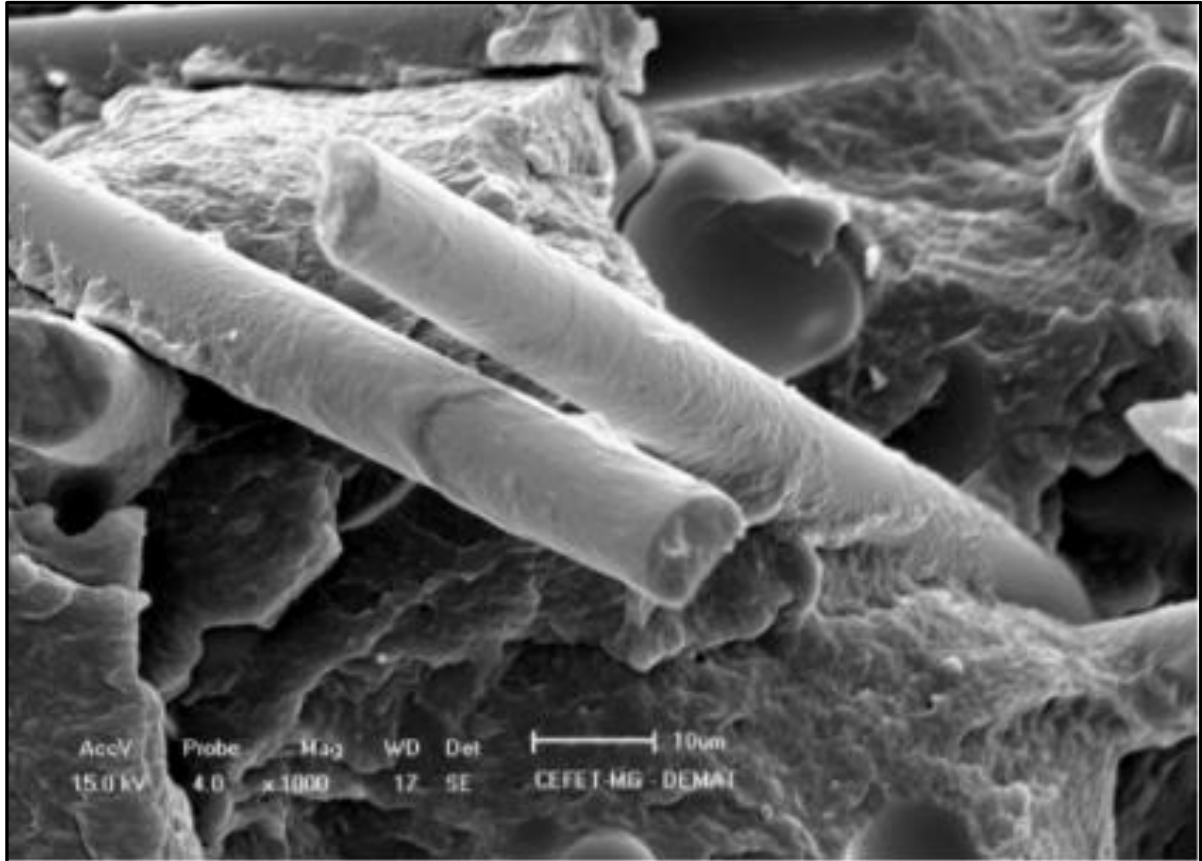
Algumas propriedades do PA 66 reforçado com fibra de vidro podem sofrer alterações durante o processo de moagem, devido ao rompimento da fibra e das cadeias poliméricas (ERIKSSON, 1994; MANTIA, 2002; FERNANDES, 2009).

Conforme Ferreira (2016), a fabricação de micro esferas ocas de vidro sucede de duas principais maneiras. A primeira delas foi desenvolvida no final da década de 1950, utilizando uma solução aquosa de silicato básico, contendo reagentes de ácido bórico e ureia, seguida pela secagem e pulverização da solução química. A fabricação da micro esfera ocorre pelo processo de moldagem a partir do pó resultante do tratamento.

No segundo método, a fabricação decorre da sinterização de componentes químicos, na condição de pós, tratados a temperaturas entre 1100 – 1500 °C, sendo que no final as partículas sólidas de vidro são convertidas em micro esferas ocas.

Na Figura 15, é possível observar uma análise de fratura criogênica do polímero, com ampliação de 1000 vezes, a partir da utilização do microscópio eletrônico de varredura, conhecido por MEV (FERREIRA, 2016).

Figura 15 – MEV com ampliação de 1000 vezes



Fonte: Adaptado de Ferreira (2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo tem como objetivo demonstrar a metodologia utilizada para a realização dos ensaios experimentais, com o intuito de determinar um comparativo entre a mídia comercial e a mídia alternativa, juntamente com a descrição dos parâmetros de corte, ferramentas, materiais e equipamentos utilizados.

3.1 ESTUDO DE CASO

O planejamento deste trabalho fundamentou-se no estudo realizado por Carrer (2018), pioneira na concepção da primeira mídia alternativa, composta por diferentes combinações como: casca de amendoim, casca de noz, casca de coco, carbeto de silício (SiC), zirconita ($ZrSiO_4$), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óleo como ligante.

O estudo realizado por Girardelo (2019) deu continuidade e aperfeiçoou a primeira proposta de mídia alternativa e, por fim, o trabalho realizado por Patricio (2021) otimizou as propostas de trabalho anteriores, demonstrando que a granulometria menor apresentou homogeneidade na mistura e resultados satisfatórios, tanto em qualidade superficial quanto em termos de rugosidade, em comparação com as mídias de maior granulometria.

Os estudos citados comprovaram que os processos de tratamento de gume com a utilização de materiais alternativos geraram resultados satisfatórios no arredondamento do gume, na suavização das linhas de afiação e no acabamento superficial da ferramenta e da peça usinada.

Tais resultados permaneceram inferiores aos resultados da mídia comercial, ainda assim, demonstraram ganhos relativamente superiores em comparação com a utilização de ferramentas sem qualquer tipo de tratamento superficial.

3.2 FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES

A Figura 16 representa o fluxograma de atividades para os ensaios experimentais. Inicialmente realizou-se a preparação da mídia alternativa como a

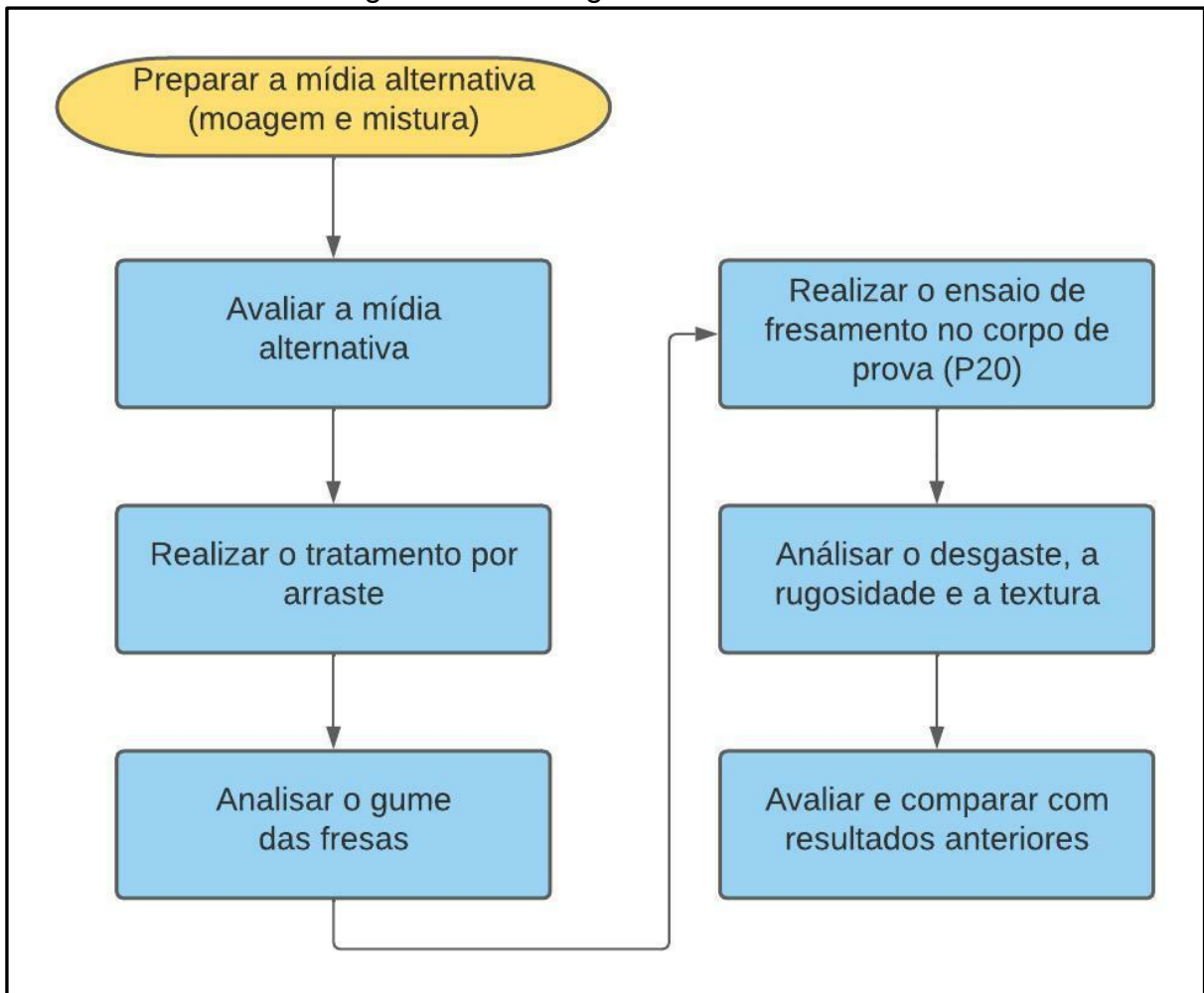
moagem do material granulado (PA 66), adição do material abrasivo ($ZrSiO_4$) e a adição do óleo utilizado como ligante.

Em seguida, avaliou-se a mídia alternativa e realizou-se o tratamento com a técnica de polimento por arraste, e então, foi possível analisar o gume de cada ferramenta.

Na sequência, foram realizados os ensaios de fresamento do corpo de prova de aço AISI P20, seguidos pelas medições de desgaste das fresas e a avaliação da rugosidade e textura do material usinado.

Por fim, os resultados foram avaliados e confrontados com os resultados extraídos de estudos anteriores.

Figura 16 – Fluxograma de atividades



Fonte: O autor (2022).

3.3 PLANEJAMENTO DA PROPOSTA DE ESTUDO

Com o intuito de prosseguir nos estudos citados, os parâmetros de corte e parâmetros de testes foram os mesmos utilizados anteriormente para efeito de comparação, bem como a mídia comercial utilizada como referência.

O diferencial do trabalho em questão foi a substituição da casca de amendoim, utilizada como material granulado, por um polímero termoplástico, no caso o poliamida (PA) 66 composto por manômetros de amida e com 30 % de fibra em sua composição. Mantendo a baixa granulometria citada por Patricio (2021) a fim de proporcionar resultados satisfatórios.

3.3.1 Parâmetros de teste

A fim de manter a confiabilidade em relação à comparação com os estudos anteriores, os parâmetros de corte apresentados no item seguinte (3.3.1.1) foram constantes durante todo o processo, seguindo os mesmos utilizados por Ost (2016), Carrer (2018), Girardelo (2019) e Patricio (2021).

Os testes de fresamento foram mensurados a cada 5 m de usinagem, avaliando as condições de desgaste de flanco máximo ($V_{Bmáx}$) de 0,2 mm e/ou o lascamento da ferramenta, conforme os trabalhos citados. Durante o processo houve a ausência do fluido de corte para evitar interferências provindas da transferência de calor.

3.3.1.1 Dados de entrada

Para a realização dos testes de usinagem por fresamento com fresa de topo reto, utilizou-se o modo concordante, no qual o sentido de rotação da ferramenta é igual ao sentido de deslocamento da mesa do centro de usinagem para evitar vibrações durante o processo.

A Tabela 1 representa os parâmetros de corte adotados, garantindo a confiabilidade de comparação com estudos anteriores.

Tabela 1- Parâmetros de corte

Parâmetros de corte		
Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade de corte (v_c)	180,00	m / min
Avanço por gume (f_z)	0,06	mm / gume
Profundidade de corte axial (a_p)	0,50	mm
Profundidade de corte lateral (a_e)	0,20	mm
Profundidade de corte longitudinal	252,00	mm
Rotação (polimento)	80,00	rpm
Velocidade de deslocamento (polimento)	5	m / min

Fonte: O autor (2022).

3.3.1.2 Dados de saída

Para validação dos resultados de testes, avaliou-se o desgaste da ferramenta de corte, antes e após o tratamento por arraste, observando o efeito gerado pela mídia abrasiva.

Como validação do desgaste, determinou-se dois critérios de parada como forma de avaliar o fim de vida das ferramentas de corte. No primeiro, observou-se a evolução do desgaste de flanco máximo ($V_{Bmáx}$) até o limite de 0,2 mm e para o segundo critério, observou-se o possível surgimento de lascas na região do corte.

Com relação à qualidade superficial, a rugosidade e a textura, foram avaliadas a partir dos critérios Ra, Rz e $R_{máx}$ mensurados no início e no final da região usinada no corpo de prova, utilizando *cut-off* de 0,8 mm como parâmetro e 5 medições por região.

3.3.2 Corpo de prova

Para os ensaios de teste utilizou-se um corpo de prova constituído de aço AISI P20 com dureza média de 38 HRc. O bloco do corpo de prova foi esquadrejado e suas faces retificadas, com dimensões finais de 252 x 80 x 60 mm.

3.3.3 Ferramenta

Para a realização dos testes de usinagem utilizaram-se fresas de metal duro com 6 mm de diâmetro com quatro arestas de corte, sem qualquer tipo de revestimento, disponibilizadas pelo fabricante Seco Tools, com referência 91060, da linha Jabro. Previamente, verificou-se o surgimento do erro de excentricidade durante o batimento do gume da ferramenta.

3.3.4 Equipamentos

Os testes práticos foram realizados no Laboratório de Novas Tecnologias de Produção (LNTP), localizado no Bloco D da instituição (UCS). Os ensaios de fresamento foram realizados por meio do centro de usinagem LG-500 (comando Mitsubishi), da marca Hartford, com rotação máxima de 10.000 rpm e potência de 10 kw.

Para a moagem do material granulado, utilizou-se o moinho localizado no laboratório de polímeros (LPOL) e o peneiramento foi realizado com as peneiras na escala mesh.

Para as medições de rugosidade, utilizou-se um rugosímetro portátil da marca Mitutoyo, modelo SJ-301, com capacidade de resolução de 0,01 μm e um apalpador de diamante de 90° com raio de ponta de 5 μm .

Analisou-se a textura por meio do estereoscópio trinocular de medição universal, modelo TNE-10B, da marca Entex, juntamente com o microscópio óptico da Nikon, modelo Epiphot 200, para a captura de imagens.

3.3.5 Mídias

Com base no estudo desenvolvido por Carrer (2018), aproveitaram-se os resultados adquiridos com a mídia abrasiva comercial da empresa alemã OTEC, com referência HSC 1/300, para efeito de comparação com a atual proposta.

Para o tratamento com mídia alternativa, utilizou-se como material granulado, um polímero termoplástico, poliamida (PA) 66 com 30% de fibra de vidro em sua composição, juntamente com Zirconita (ZrSiO_4) como material abrasivo e um óleo como ligante.

3.4 PREPARAÇÃO DA MÍDIA ALTERNATIVA

Inicialmente, para a preparação da mídia alternativa, composta por poliamida (PA 66) com 30 % de fibra de vidro, zirconita ($ZrSiO_4$) e óleo como ligante entre os materiais, utilizou-se o moinho localizado no Laboratório de polímeros (LPOL) da Universidade de Caxias do Sul, com a intenção de realizar a moagem do polímero e atingir determinada granulometria a partir do *know-how* dos trabalhos de Ost (2016), Carrer (2018) e Patricio (2021).

Fazendo menção à escala mesh, a qual é a padronização da abertura da malha por polegada, foram utilizadas quatro peneiras para a obtenção dos tamanhos de grão distintos. A primeira com mesh 10 referente a uma abertura de aproximadamente 1,7 mm, mesh 14 com 1,2 mm, mesh 35 com 0,43 mm e mesh 48 com 0,3 mm de abertura, todos representados na Figura 17.

Figura 17 – Resultado da moagem do granulado de PA 66



Fonte: O autor (2022).

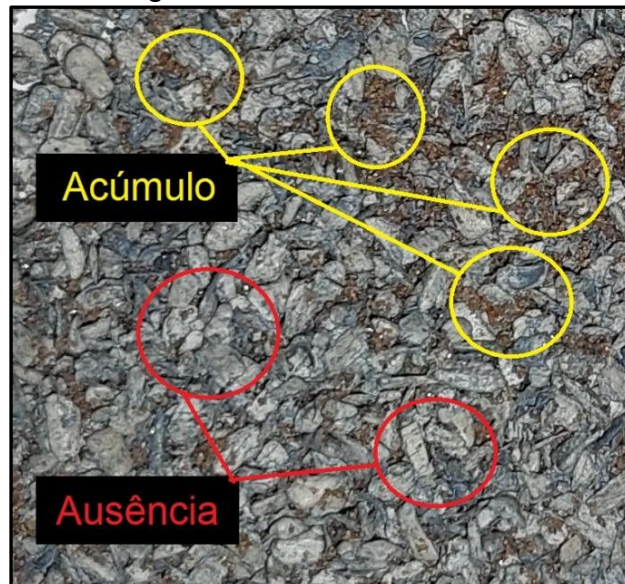
É possível observar certo escurecimento na aparência do material em relação ao seu aspecto inicial, possivelmente relacionado aos resíduos de poeira da fibra de vidro e ao aumento da temperatura durante a moagem, resultando em três paradas do equipamento e dificultando o processo. Apesar do imprevisto, obteve-se a quantidade necessária para a realização do tratamento, optando-se pela granulometria na escala mesh 35 com a faixa de grão entre 1,2 e 0,43 mm,

mantendo assim, o tamanho aproximado dos estudos anteriores. Posteriormente, realizou-se a secagem do material granulado a uma temperatura de 40° C por aproximadamente 15 horas.

Por fim, calculou-se a proporção necessária para uma mistura recomendada de 70% de material granulado, 30% de material abrasivo e adição de 5,5 ml/kg de óleo para a mistura total. No geral, obteve-se a quantidade de 0,15 kg de material polimérico moído e peneirado com densidade de 1400 kg/m³ e uma quantidade de 0,12 kg de zirconita com densidade de 2627,2 kg/m³ como material abrasivo, resultando em aproximadamente 0,27 kg de massa total, sendo necessário 1,5 ml de óleo como ligante para a mistura.

A mistura foi realizada no LPOL com a utilização de um misturador. Adicionou-se primeiramente, o granulado e metade da quantidade de óleo necessária durante 10 minutos de agitação e, em seguida, acrescentou-se a outra metade de óleo por mais 10 minutos. Posteriormente, adicionou-se o material abrasivo em duas etapas com agitação de 10 minutos cada.

Figura 18 – Mídia alternativa

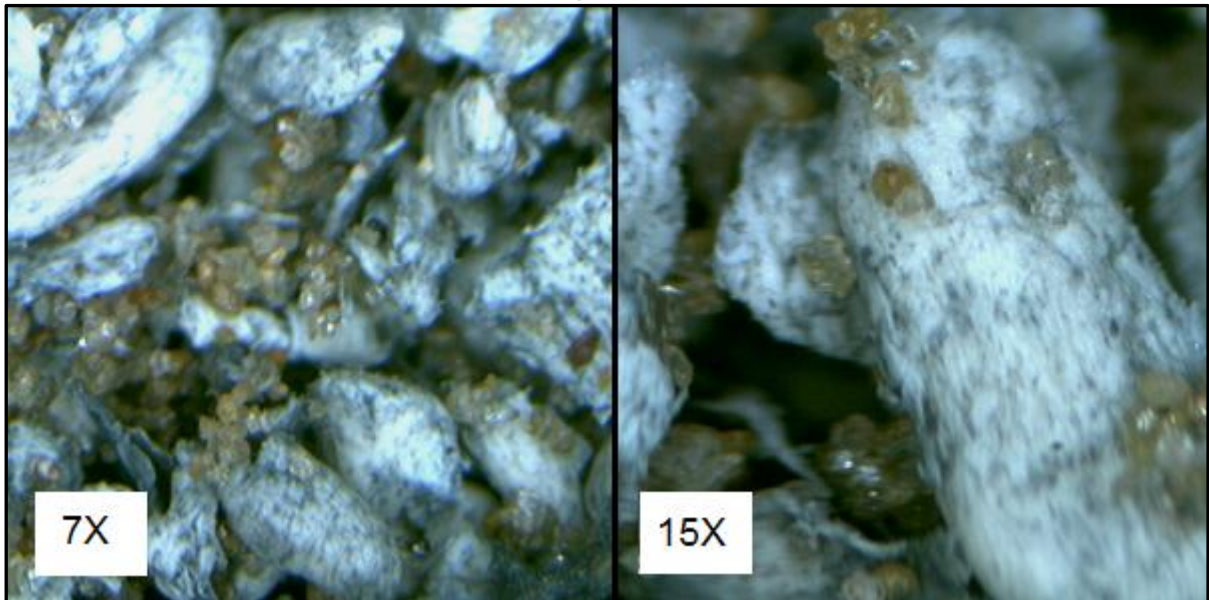


Fonte: O autor (2022).

Na Figura 18 é possível perceber na mídia alternativa, que os grãos acinzentados representam o granulado de PA 66 e os grãos de aspecto marrom representam o material abrasivo (ZrSiO₄). Pode-se observar certa heterogeneidade em determinadas regiões, caracterizadas pelo acúmulo e ausência de zirconita.

Na Figura 19, com ampliações de 7 e 15 vezes, é possível observar a distribuição do material abrasivo em torno do granulado de PA 66, representando a concentração em determinadas regiões.

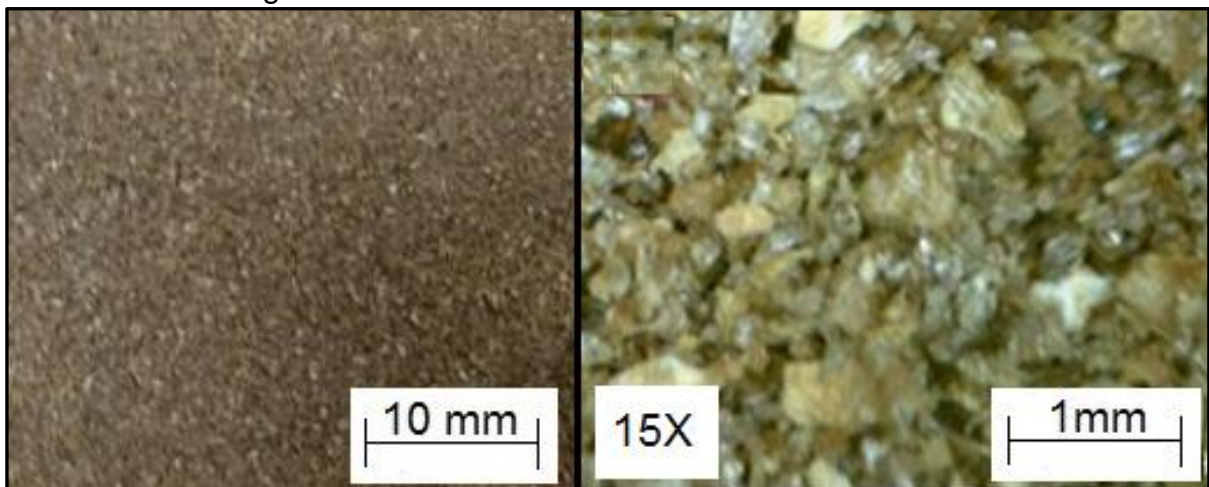
Figura 19 – Ampliação da mídia alternativa



Fonte: O autor (2022).

Já a Figura 20 representa a mídia alternativa, composta por casca de amendoim com aproximadamente 0,6 mm de tamanho de grão, utilizada por Patricio (2021). Pode-se observar a distribuição homogênea dos componentes da mistura

Figura 20 – Mídia alternativa de casca de amendoim



Fonte: Adaptado de Patricio (2021).

3.5 TÉCNICA DE POLIMENTO POR ARRASTE

Para o tratamento por arraste das fresas A19 e A20, utilizou-se 80 rpm para a velocidade de rotação da ferramenta, no sentido horário de giro, com velocidade de deslocamento de 5 m / min e com período de duração de 10 minutos. Ele foi realizado no centro de usinagem (LG-500) da Hartford localizado no LNTP.

4 RESULTADOS

O presente capítulo tem por objetivo, apresentar os resultados obtidos a partir dos ensaios de fresamento após o tratamento superficial das ferramentas de corte com a aplicação da técnica de polimento por arraste, juntamente com os resultados adquiridos das análises de desgaste, rugosidade e textura, confrontando-os com os resultados de Ost (2016), Carrer (2018) e Patricio (2021).

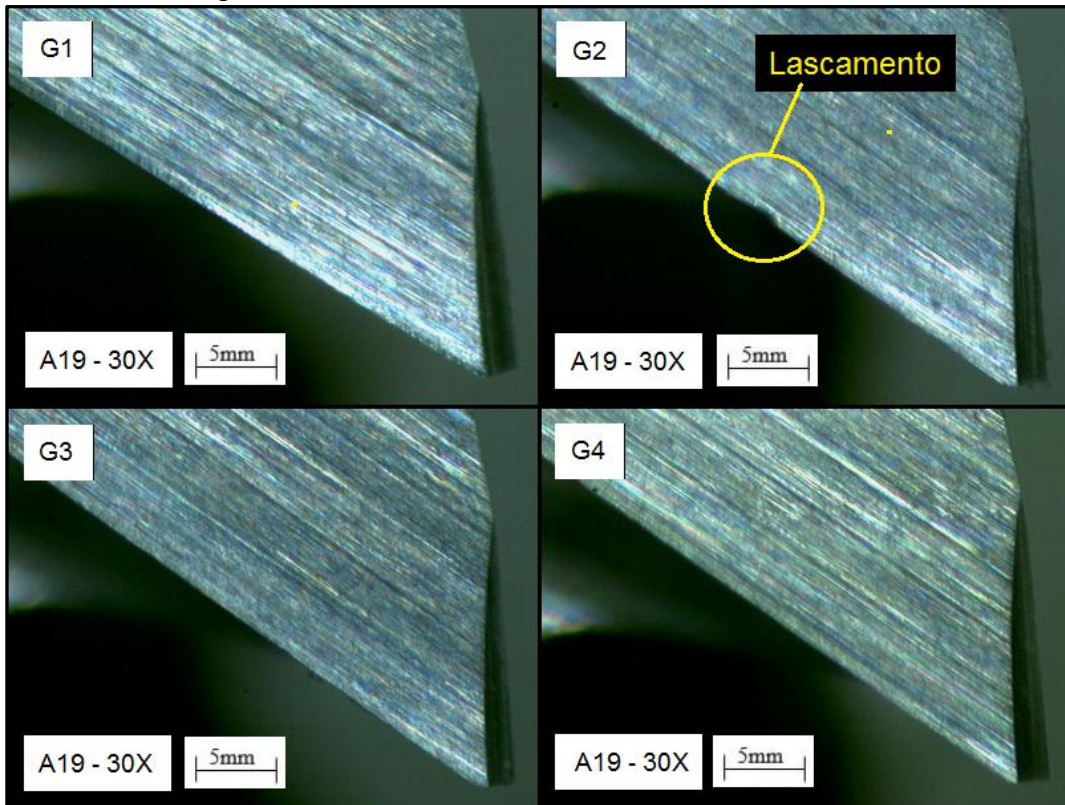
4.1.1 Caracterização das ferramentas

No atual estudo foram utilizadas duas fresas de topo de metal-duro, identificadas como A19 e A20, as quais foram reafiadas para que pudessem apresentar sua condição inicial novamente. As análises foram realizadas com a utilização de um estereoscópio com ampliação de 30 vezes para identificar possíveis irregularidades como trincas ou lascamentos, antes e depois do tratamento, bem como a evolução do desgaste durante os testes de fresamento no corpo de prova.

Na Figura 21 é possível observar os gumes da fresa A19 antes do polimento por arraste. É perceptível, na imagem do gume G2, um pequeno lascamento oriundo da reafiação e reutilização da ferramenta. Tal deformidade não interferiu no resultado final devido à região localizada acima da superfície de corte utilizada durante o experimento.

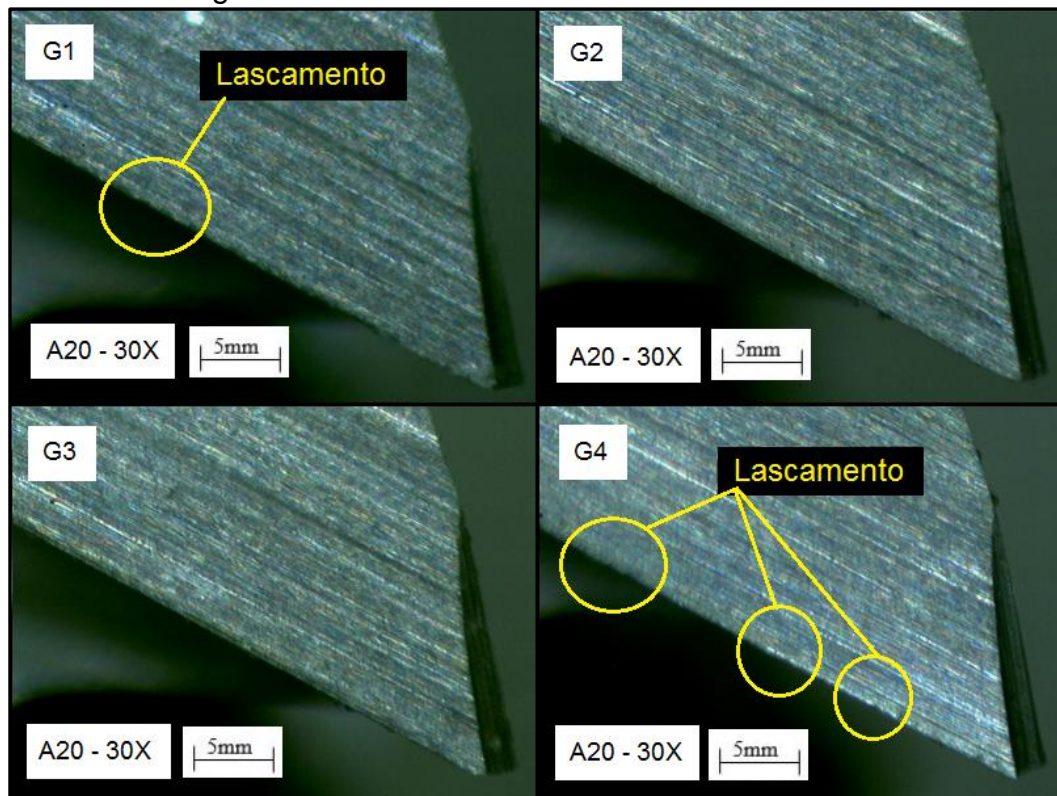
A Figura 22 representa os gumes da fresa A20, com lascamentos identificados em dois gumes, G1 e G4. Em G4 nota-se a presença de três regiões afetadas, apesar da quantidade, a extensão de cada lascamento é relativamente menor se comparado com a ferramenta A19.

Figura 21 – Fresa A19 reafiada e sem tratamento



Fonte: O autor (2022).

Figura 22 – Fresa A20 reafiada e sem tratamento



Fonte: O autor (2022).

Após a primeira análise dos gumes, as fresas foram fixadas ao cone porta-piça com comprimento de 35 mm, para o polimento, e 25 mm, para os testes de fresamento. Na Tabela 2, é possível observar o batimento do giro da ferramenta, considerando o primeiro gume como referência para os demais. Nota-se elevada variação entre os gumes da fresa A19, o que poderá afetar os resultados.

Tabela 2- Batimento do giro da ferramenta

Batimento		
Gume	Fresa A19	Fresa A20
G1	0 μm	0 μm
G2	-8 μm	6 μm
G3	2 μm	15 μm
G4	-28 μm	10 μm

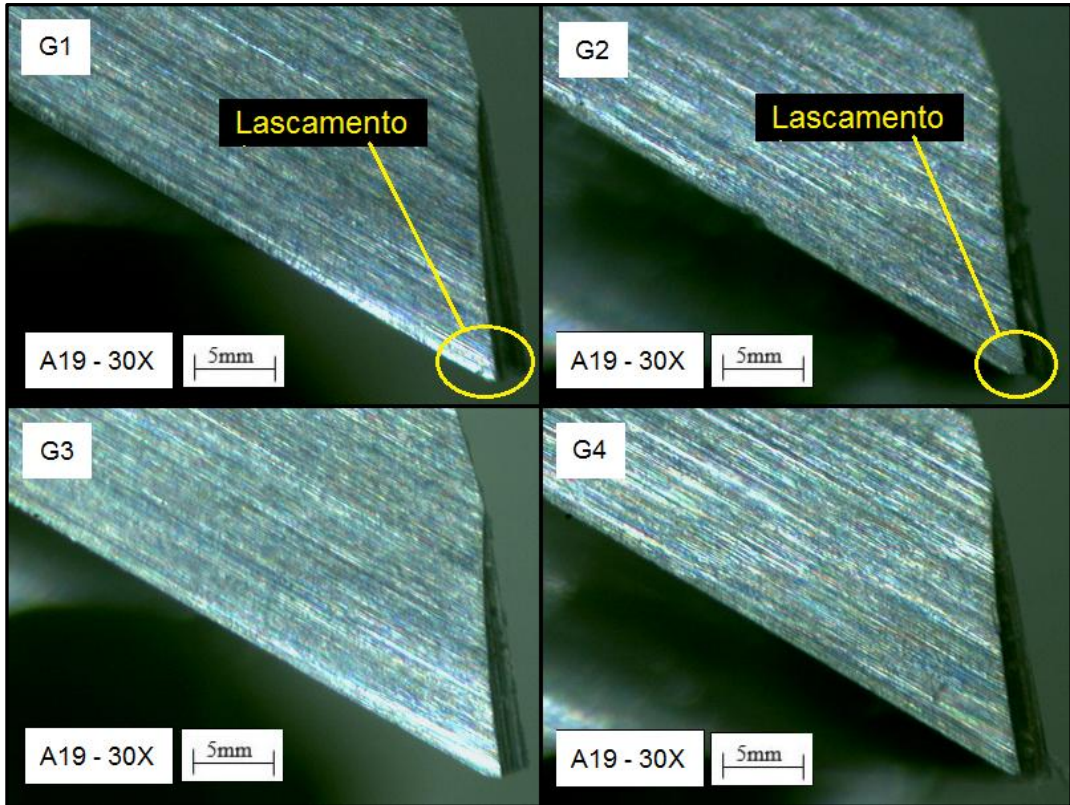
Fonte: O autor (2022).

Na Figura 23 é possível perceber pequenos lascamentos na ponta dos gumes G1 e G2 da fresa A19, após o polimento por arraste.

No estudo de Carrer (2018) as fresas tratadas com carbeto de silício (SiC) e óxido de alumínio (Al_2O_3) apresentaram microlascamentos localizados na mesma região em questão, porém seus resultados foram descartados.

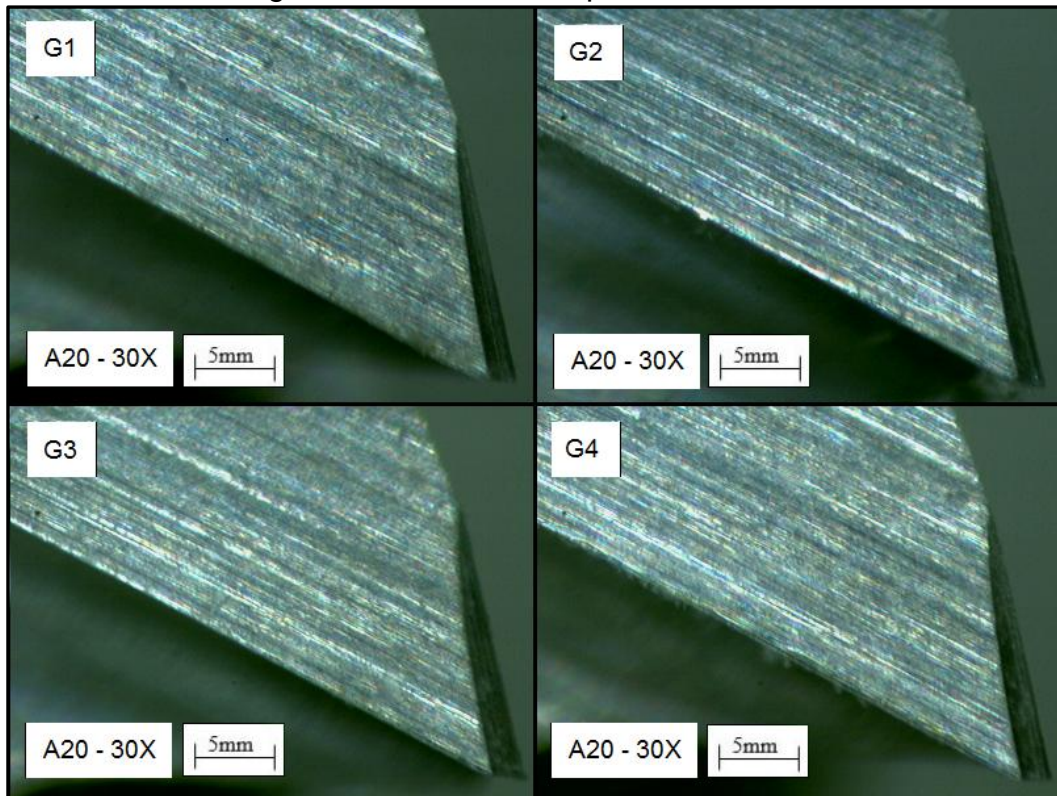
Na Figura 24 é possível observar que a fresa A20 não apresentou lascamentos relacionados ao tratamento, como no caso da fresa A19.

Figura 23 – Fresa A19 após o tratamento



Fonte: O autor (2022).

Figura 24 – Fresa A20 após o tratamento



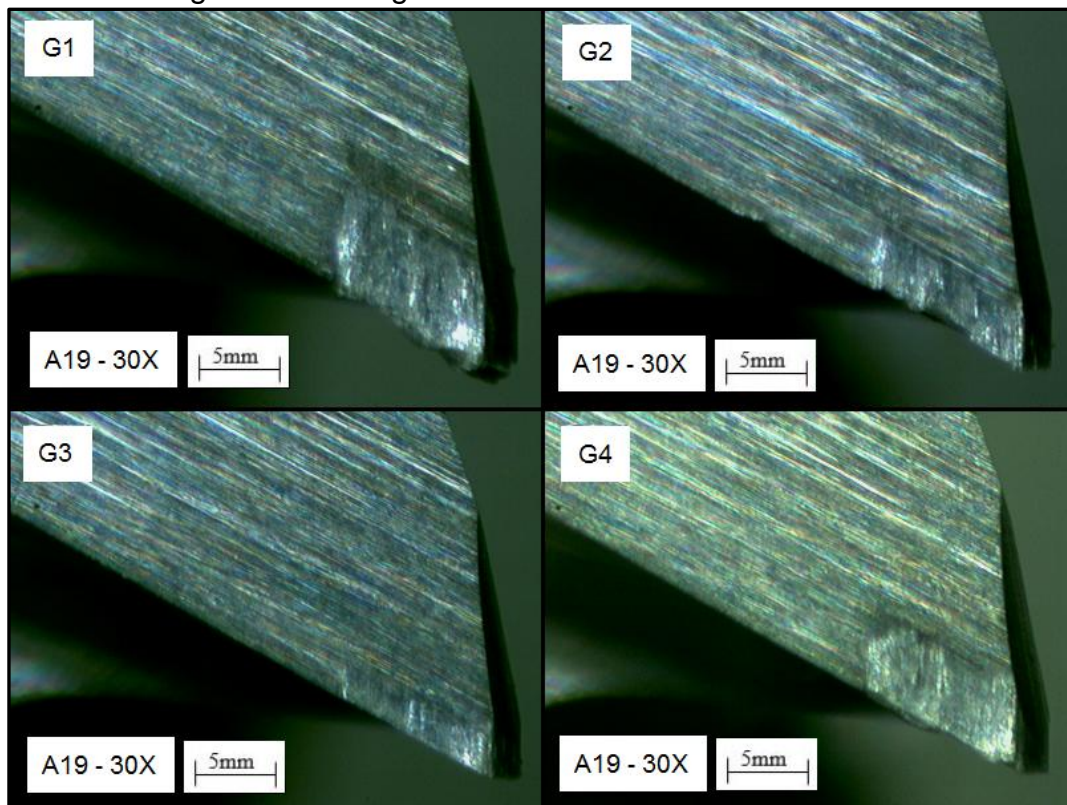
Fonte: O autor (2022).

4.2 DESGASTE DAS FERRAMENTAS

Como forma de validar o tratamento das ferramentas, elas foram submetidas, na sequência do polimento, a testes de fresamento mensurados a cada 5 m de usinagem, juntamente com a avaliação da condição de desgaste de flanco máximo ($V_{Bm\acute{a}x}$) de 0,2 mm como critério de parada, mencionado no item 3.3.1.

Na Figura 25, pode-se observar o desgaste de flanco máximo em 15 m de usinagem na fresa A19. Tal desgaste não ocorreu de forma simétrica entre os gumes, gerando um desgaste maior nos gumes G1 e G4, seguidos pelo G2 e por fim, um desgaste consideravelmente menor no gume G3. A presente variação pode estar relacionada com o batimento do giro da ferramenta (vide Tabela 2).

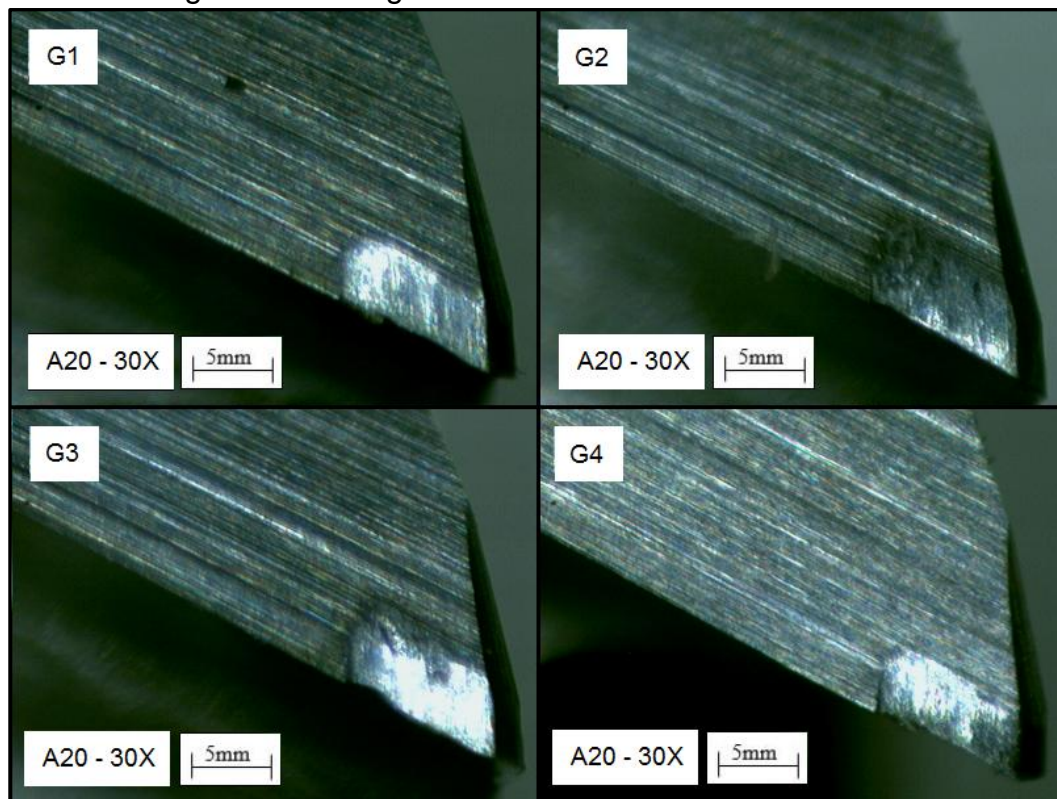
Figura 25 – Desgaste de flanco máximo da fresa A19



Fonte: O autor (2022).

Diferentemente da primeira fresa, a segunda (Figura 26) apresentou um desgaste semelhante entre seus gumes, atingindo 20 m de usinagem até o seu critério de fim de vida. Considerando seu batimento, é possível observar que a diferença mensurada entre os gumes manteve valores aproximados (vide Tabela 2).

Figura 26 – Desgaste de flanco máximo da fresa A20



Fonte: O autor (2022).

4.2.1 Mecanismos de desgaste

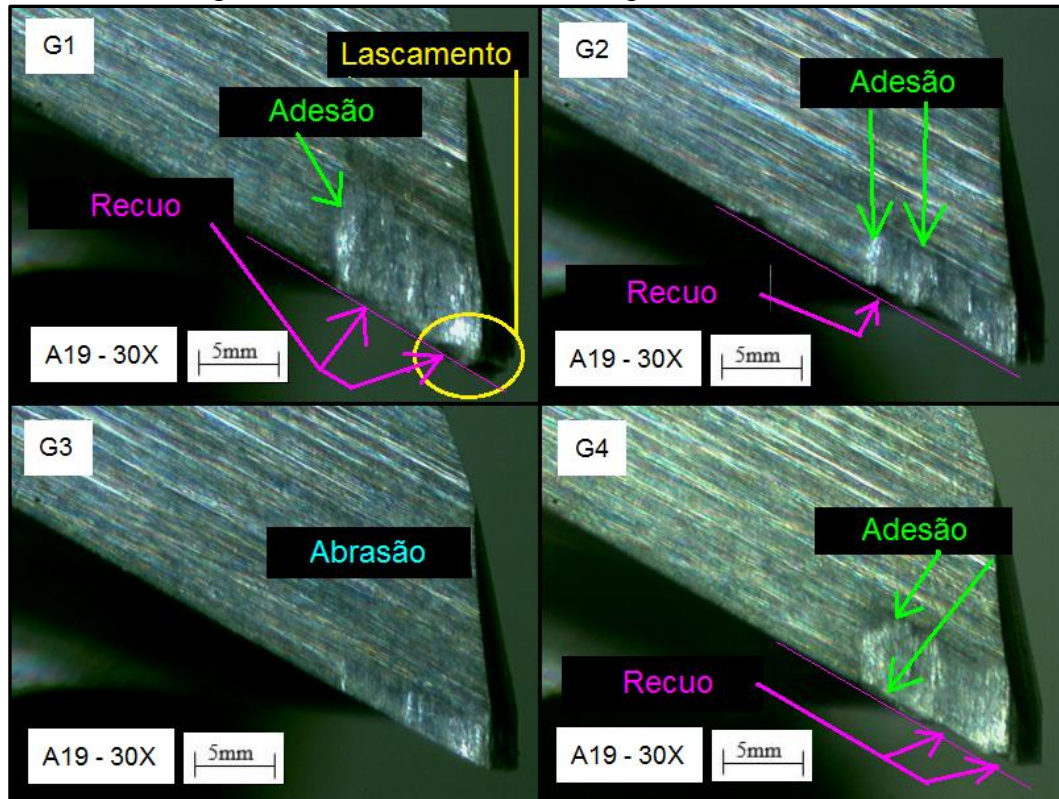
Alguns mecanismos de desgaste como abrasão, adesão e lascamento, foram identificados posteriormente aos testes no corpo de prova. Tais mecanismos são responsáveis pela redução da vida útil da ferramenta de corte.

A abrasão foi o principal mecanismo de desgaste constatado, sendo responsável pelo aumento progressivo do desgaste de flanco. Em alguns casos, houve o surgimento da adesão, relacionada ao desgaste de flanco acentuado e a condição de corte a seco utilizada. Nas Figuras 27 e 28 é possível observar o surgimento dos mecanismos de desgaste e a diferença na extensão que cada um predominou nas fresas A19 e A20.

Na fresa A19, representada pela Figura 27, nota-se a presença da adesão, lascamento e o recuo do gume G1, demonstrado por uma linha imaginária representando a extensão do perfil original a partir da região que não sofreu desgaste. Em G2, percebe-se a adesão e o recuo do gume sendo inferior ao primeiro caso. G3 apresentou o menor desgaste, com marcas da abrasão referentes

ao processo natural de usinagem. Em G4 é possível identificar a adesão e o suave recuo em duas regiões.

Figura 27 – Mecanismo de desgaste na fresa A19

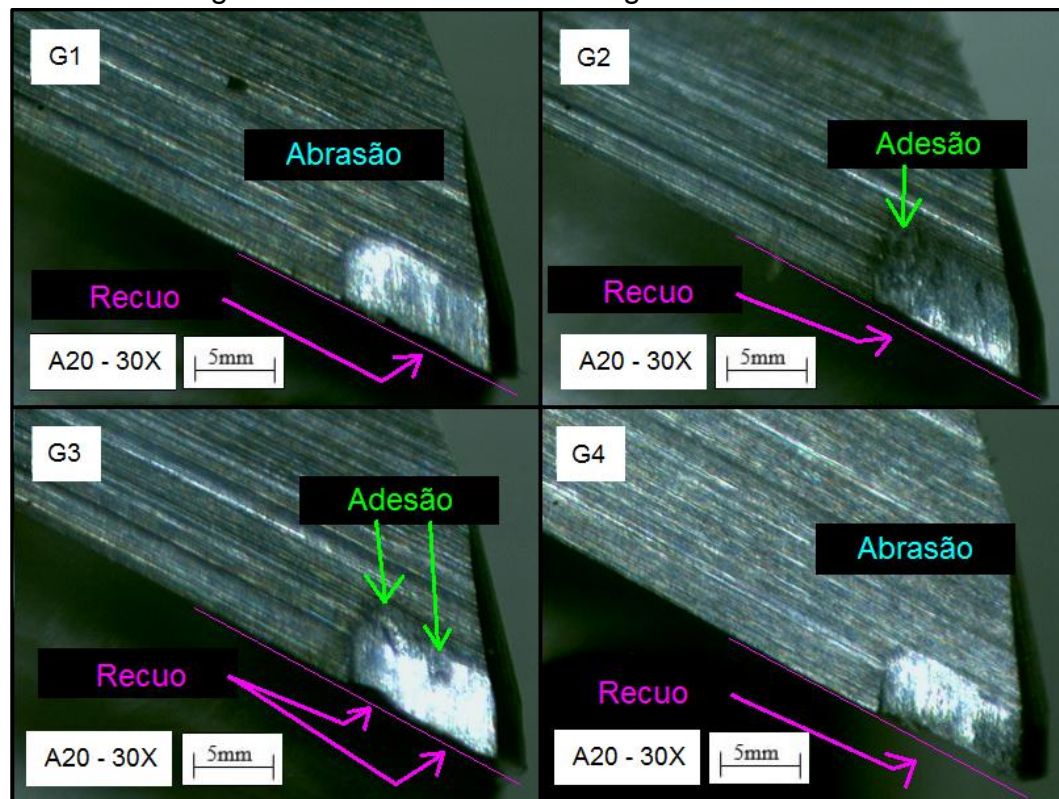


Fonte: O autor (2022).

Diferentemente da primeira fresa, a fresa A20 (Figura 28) apresentou simetria na região do desgaste. O gume G1 manteve as marcas da abrasão uniforme em toda a extensão com brando recuo. Em G2 houve a interferência da adesão na região superior do corte. Já G3 ocorreu o recuo acentuado na parte superior com rastros de adesão na região posterior do corte. Por fim, G4 apresentou recuo do gume uniforme com marcas da abrasão.

Confrontando as análises, verifica-se a interferência ocasionada pelo erro de excentricidade da primeira fresa descrito na Tabela 2, e ao lascamento proveniente do tratamento por arraste, ambos relacionados à fresa A19.

Figura 28 – Mecanismo de desgaste na fresa A20



Fonte: O autor (2022).

No geral, os resultados para a vida da ferramenta sucederam-se conforme os estudos analisados, apresentando desgastes equivalentes, com a presença da adesão relacionada à condição de corte a seco e a dificuldade de escoamento do material removido, resultando em regiões ásperas (CARRER, 2018).

A abrasão como principal mecanismo de desgaste, presente em todas as arestas e responsável pelo desgaste de flanco estabelecido em 0,2 mm (VBmax), constatado nas demais dissertações. No estudo de Girardelo (2019) verificou-se o recuo do gume uniforme na extensão da região do desgaste.

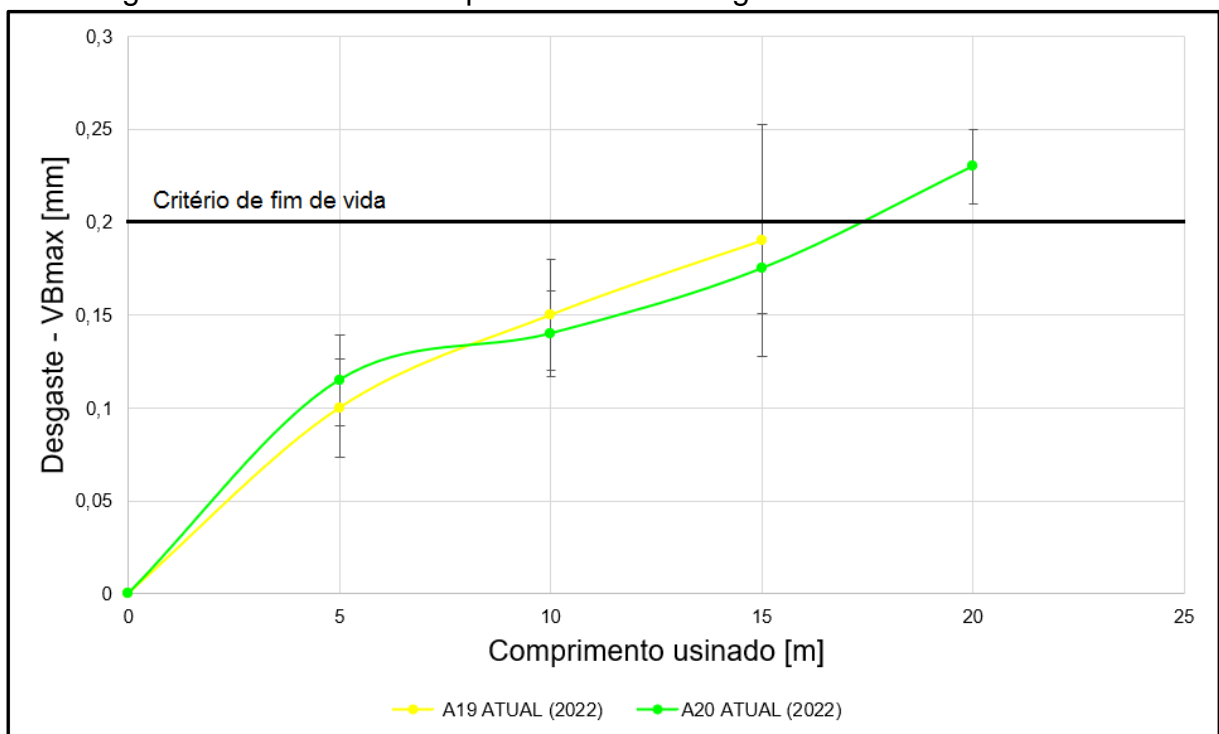
4.2.2 Curvas de comportamento de desgaste

Prosseguindo com as análises das medições coletadas a cada 5 m de usinagem e sob as mesmas condições, pode-se observar, a partir dos gráficos gerados que as ferramentas atingiram o critério de fim de vida sem qualquer avaria relacionada ao estágio III, quando ocorre o desgaste acelerado seguido pelo colapso.

A Figura 29 representa a curva de “desgaste x comprimento” usinado, no qual a fresa A19 apresentou um desgaste acentuado até atingir o valor estabelecido como critério de parada.

Contudo a fresa A20 apresentou um comportamento semelhante ao descrito no item 2.3.2, já que ocorre inicialmente o desgaste acelerado devido ao ajuste do sistema tribológico no estágio I, seguido pelo estágio II com o aumento do desgaste de forma gradativa, gerando a estabilização do processo de corte.

Figura 29 – Curva de comportamento de desgaste das fresas A19 e A20



Fonte: O autor (2022).

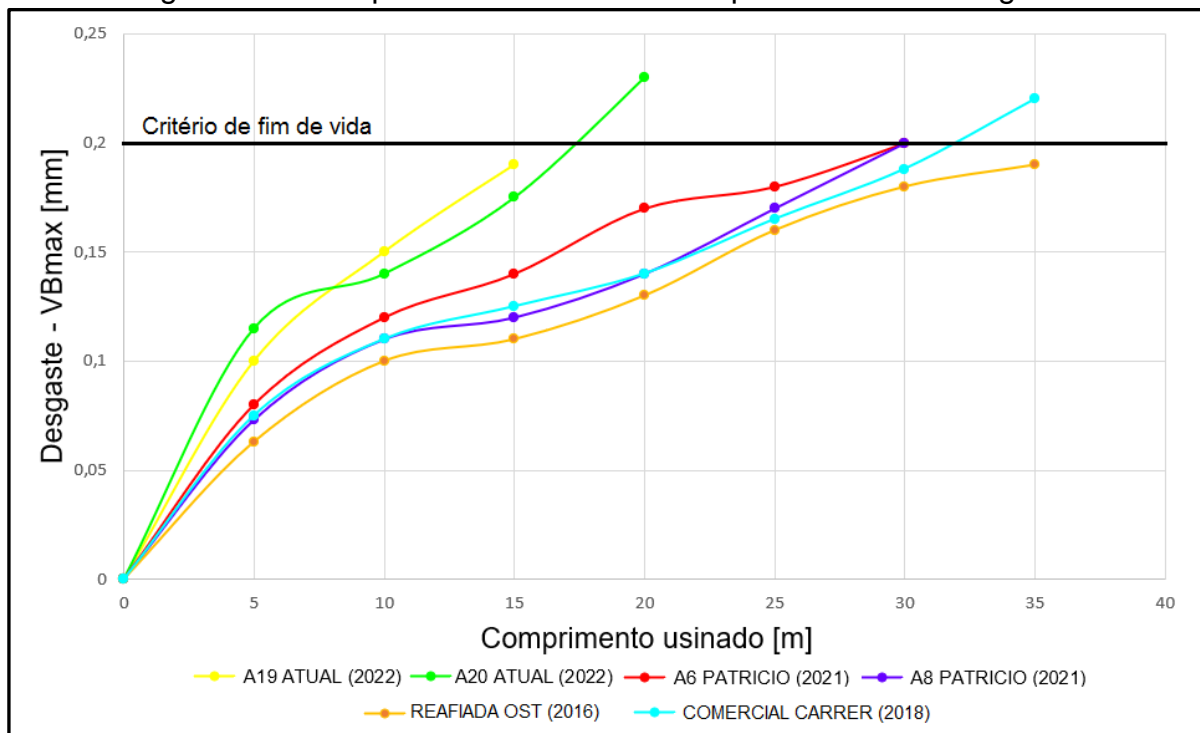
Na Figura 30 é possível observar o comportamento das curvas de desgaste em comparação às análises extraídas de trabalhos anteriores. As curvas geradas pela fresa reafiada e a fresa tratada com a mídia comercial foram realizadas por Carrer (2018), demonstrando que o polimento com a mídia comercial não resultou em ganhos para a vida útil da ferramenta, mantendo-se abaixo da fresa sem qualquer tratamento. Tal explicação, como mencionado pela autora, pode estar atrelada ao fato de que em qualquer processo de usinagem pode haver uma diferença de até 20 % nos valores encontrados.

Em comparação com o tratamento alternativo mais recente, realizado por Patrício (2021), as fresas A6 e A8, também geraram curvas com resultados

inferiores aos demonstrados por Carrer (2018), mantendo-se abaixo da fresa de referência (vide Figura 31) utilizada por Ost (2016). Apesar da diferença de comprimento usinado, o tratamento de Patricio (2021) mostrou-se eficiente em relação ao presente trabalho.

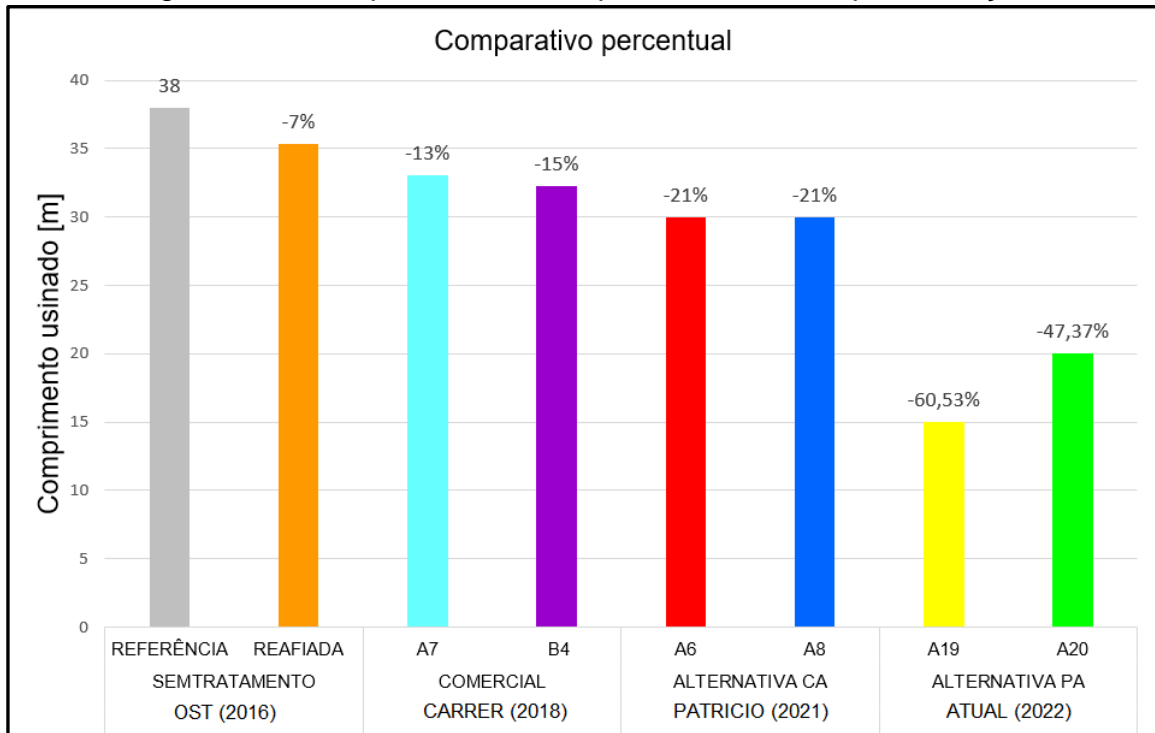
Ambos os estudos citados utilizaram a média alternativa composta por casca de amendoim, zirconita e óleo como ligante, com uma pequena diferença dimensional na granulação entre eles, pois Patricio (2021) optou por um tamanho de grão menor.

Figura 30 – Comparativo da curva de comportamento de desgaste



Fonte: Adaptado pelo autor (2022) a partir de Ost (2016), Carrer (2018) e Patricio (2021),

Figura 31 – Comparativo de comprimento usinado por condição



Fonte: Adaptado pelo autor (2022) a partir de Ost (2016), Carrer (2018) e Patricio (2021),

A Figura 31 representa, de forma individual, a distância em metros que cada ferramenta usinou até o critério de fim de vida estabelecido em $V_{Bm\acute{a}x} = 0,2$ mm. As fresas de referência e reafiada (sem tratamento), utilizadas por Ost (2016), serviram como base para as análises, com uma distância de 38 e 35,3 m usinados, respectivamente.

As fresas A7 e B4, tratadas com a mídia comercial OTEC HSC 1/300, utilizadas por Carrer (2018), usinaram uma distância de 33 e 32,3 m. Mantendo-se na faixa de padrão de variação de 20 % para processos de usinagem com metal-duro.

As fresas A6 e A8, tratadas com a mídia alternativa composta por casca de amendoim utilizada por Patricio (2021), usinaram uma distância de 30 m cada. Um pouco além do padrão de variação.

Por fim, as fresas A19 e A20 do presente trabalho, tratadas com a mídia alternativa composta por PA 66 e 30 % de fibra, usinaram uma distância consideravelmente menor (15 e 20 m) em relação às ferramentas mencionadas. Tal explicação pode estar vinculada à capacidade de aderência dos constituintes da mistura, ao seu comportamento durante o polimento por arraste, aos microlascamentos oriundos do processo de reutilização e reafiação, possível

interferência da energia eletrostática nas partes metálicas e as diferenças encontradas no batimento do giro da ferramenta (vide item 4.4).

4.3 QUALIDADE SUPERFICIAL DO CORPO DE PROVA

Para completar as análises pertinentes, foram coletados dados da superfície usinada do corpo de prova por meio do rugosímetro (SJ-301). Tais valores foram registrados no início e no final do percurso de cada ferramenta, avaliando os parâmetros de rugosidade Ra, Rz e Rmax em [µm] e a análise da textura com *cut-off* de 0,8 mm.

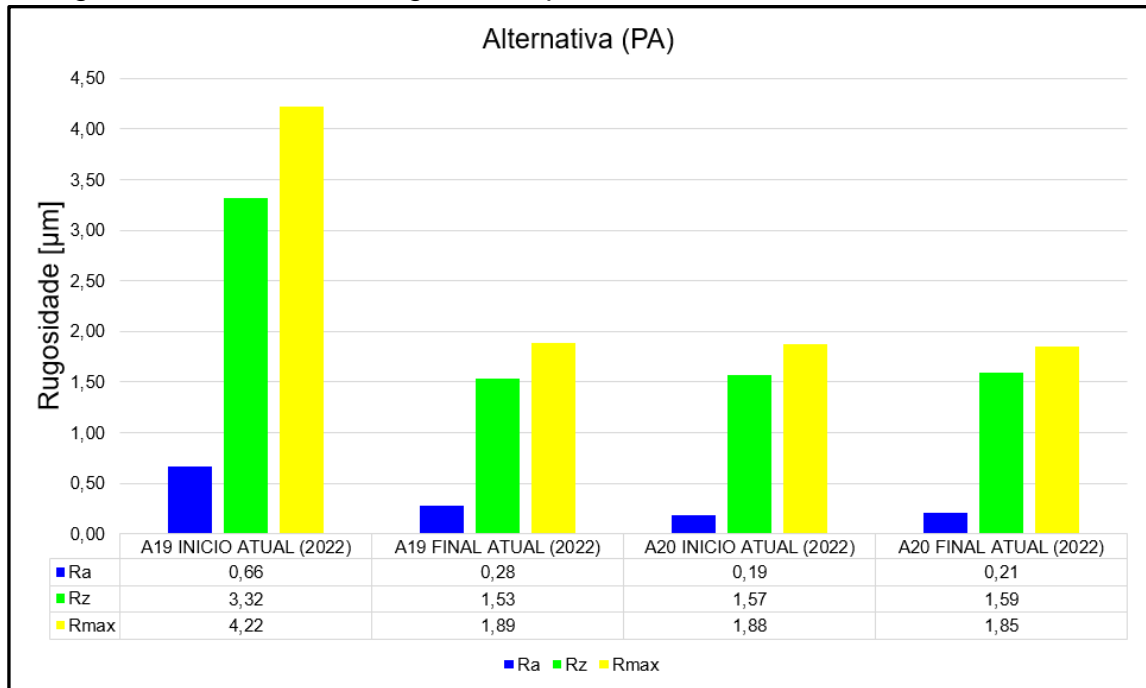
4.3.1 Rugosidade

Como mencionado no capítulo 2, sobre os critérios de qualidade superficial, a rugosidade é basicamente constituída por diversos erros, resultantes da ação do desgaste da ferramenta de corte e outras irregularidades citadas. Segundo Ost (2016), a rugosidade não deve ser a obtenção dos menores valores, mas sim, a estabilidade entre as medições encontradas.

A Figura 32 representa a obtenção dos valores de rugosidade para o início e fim de vida das ferramentas tratadas com a mídia alternativa de PA 66. É possível observar que a análise do início da usinagem para fresa A19 possui valores elevados para os três parâmetros de rugosidade, tanto em comparação com seu final, como os valores da fresa A20.

Sondando a fresa A20, pode-se verificar a similaridade dos valores obtidos para o início e fim de vida da ferramenta de corte. Ra e Rz do início, mantiveram-se abaixo dos valores para o final, o que difere da literatura, a qual sugere que os valores para o início geralmente são maiores. Porém, a média dos valores para Rmax manteve-se acima dos valores da média para o final, onde Rmax corresponde ao pico mais alto e o vale mais profundo.

Figura 32 – Valores de rugosidade para o início e fim de vida de A19 e A20



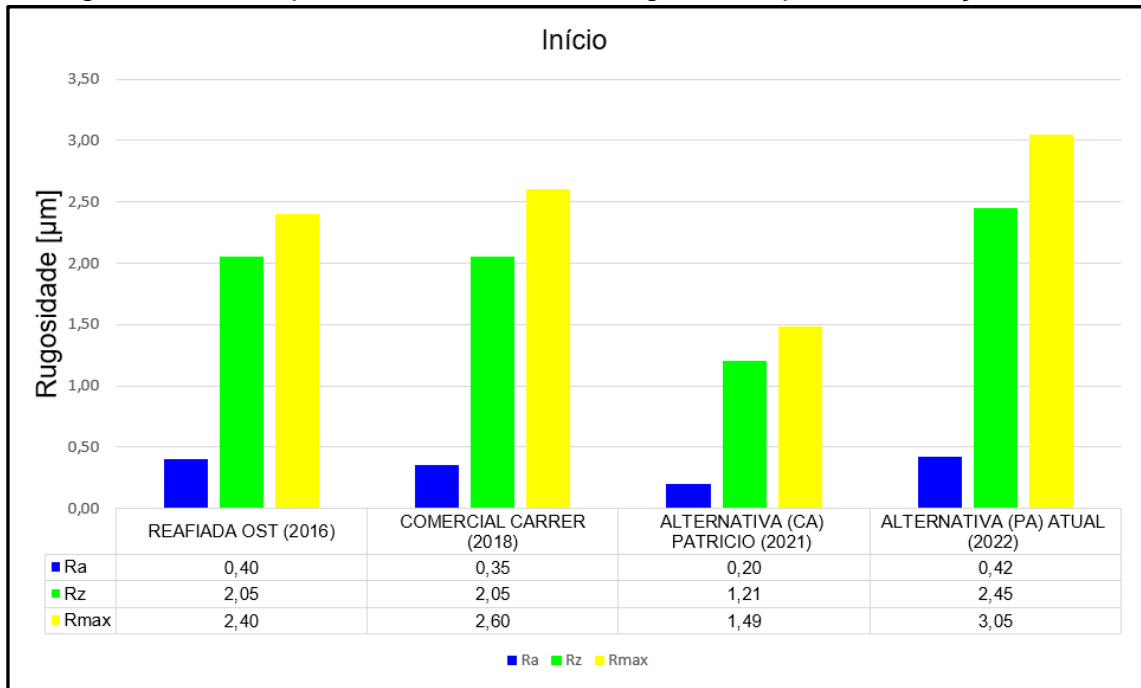
Fonte: O autor (2022).

Por meio da média dos valores para o início e fim de vida, entre as fresas A19 e A20, gerou-se os gráficos comparativos com os resultados obtidos das fresas reafiadas (Carrer, 2018), com a média comercial (Carrer, 2018) e a média alternativa de casca de amendoim mais recente (Patricio, 2021).

Nas Figuras 33 e 34 é possível observar o comparativo de valores entre os trabalhos citados, sendo que os valores nos três parâmetros de rugosidade mantiveram-se acima em todas as situações para fresa tratada com a média alternativa de PA 66 do presente trabalho.

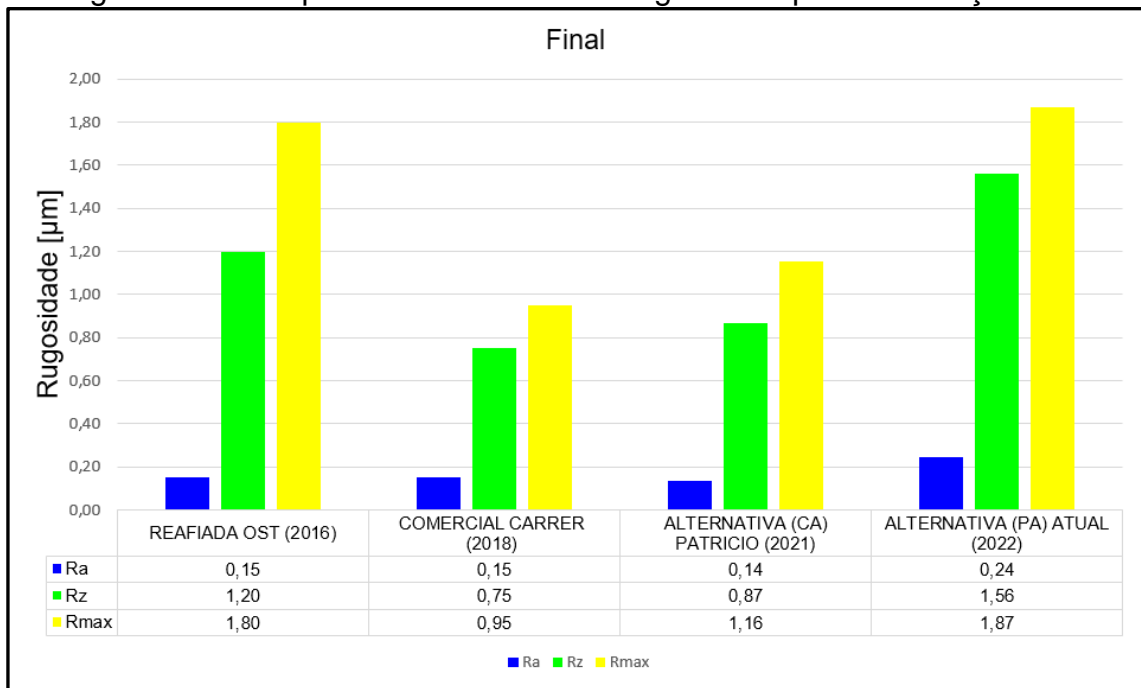
Ainda assim, a média de valores entre A19 e A20 manteve-se com valores de rugosidade menores para o final, em relação aos valores do início. Esse resultado era desejado, conforme citado por König (1997).

Figura 33 – Comparativo de valores de rugosidade para a condição inicial



Fonte: Adaptado pelo autor (2022) a partir de Ost (2016), Carrer (2018) e Patricio (2021),

Figura 34 – Comparativo de valores de rugosidade para a condição final



Fonte: Adaptado pelo autor (2022) a partir de Ost (2016), Carrer (2018) e Patricio (2021),

Conforme sinalizado anteriormente, a média atual deteve valores elevados para os três parâmetros de rugosidade em ambas as condições. No estudo de Carrer (2018), a média comercial apresentou o maior valor para a condição inicial e o menor valor para a final.

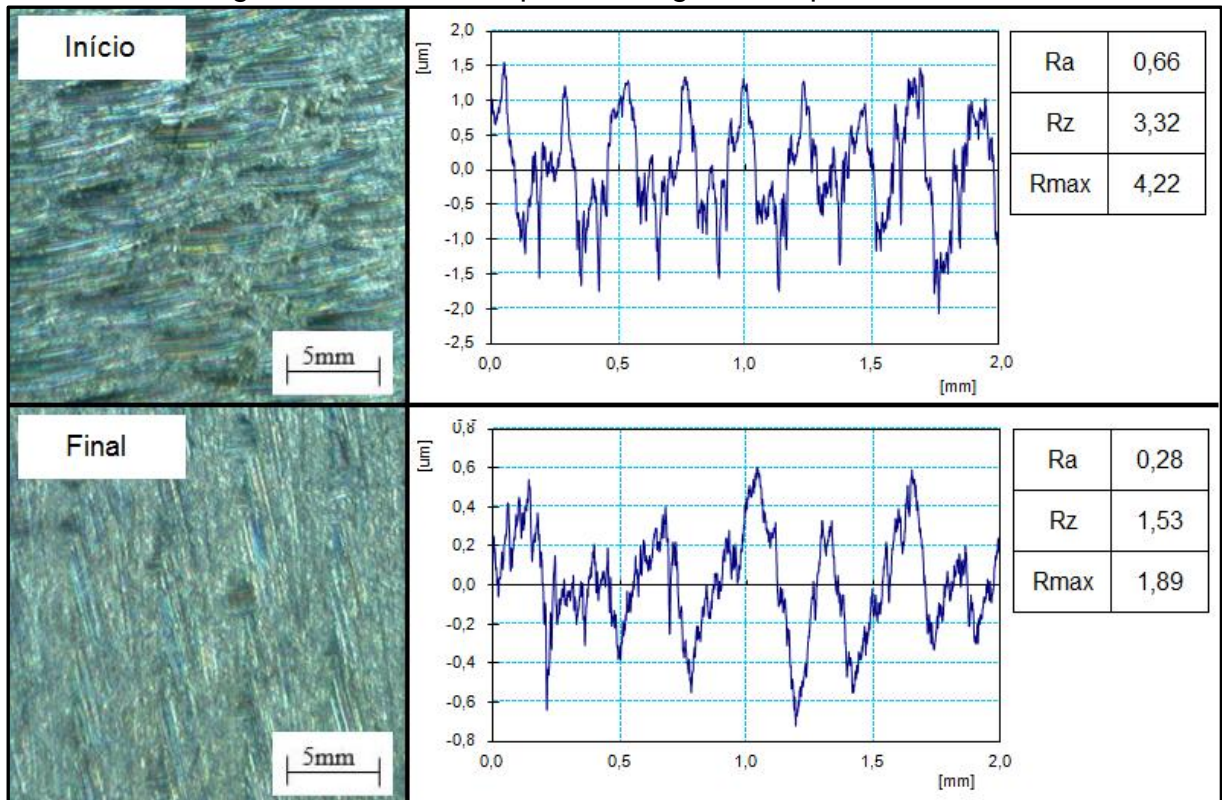
4.3.2 Textura

Por fim, complementando as análises de validação, verificou-se a textura da superfície usinada do corpo de prova nas condições de início e fim de vida da ferramenta. É possível observar, na Figura 35, a diferença do perfil de rugosidade, pois a superfície de início gerada pela fresa A19, apresentou marcas de passagem da ferramenta bem definidas e com o perfil de rugosidade contendo padrões linearmente distribuídos.

Na superfície final (desgastada) pode-se observar a ausência de marcas e “ondulações” em comparação com o início da usinagem, apresentando uma superfície relativamente lisa e com valores do padrão de repetição dispersos do gráfico de perfil.

Os valores de Ra, Rz e Rmax apresentaram uma redução de mais de 50 % entre o início e o final da usinagem, demonstrando o efeito gerado pelo desgaste da ferramenta sobre a superfície do corpo de prova.

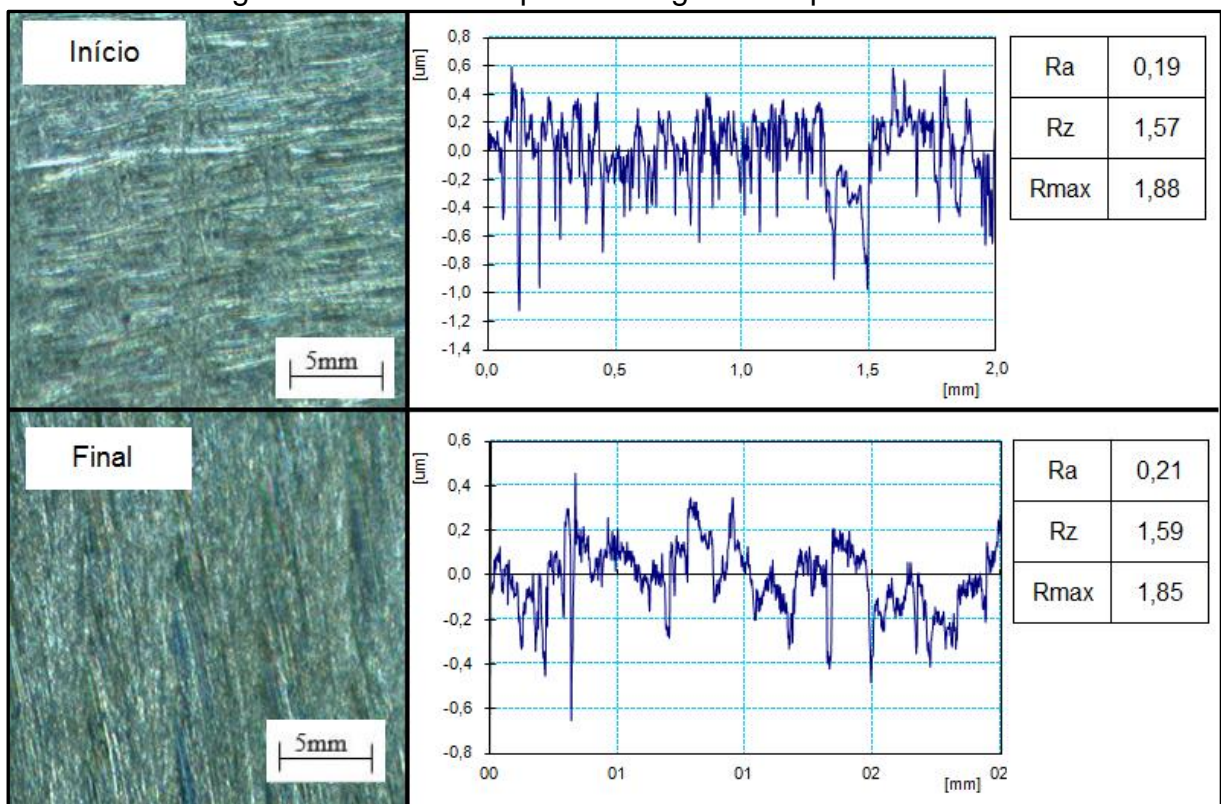
Figura 35 – Textura e perfil de rugosidade pela fresa A19



Fonte: O autor (2022).

Diferentemente da primeira fresa, a fresa A20 (Figura 36) apresentou o comportamento da textura com marcas de passagem semelhantes entre o início e o final da usinagem, com ranhuras horizontais para o início e verticais para o final. O gráfico de perfil apresentou um padrão de repetição para o início com valores de Ra e Rz abaixo dos valores mensurados para o final. Porém, o gráfico representando o final apresentou valores randômicos para a curva de perfil e com o valor de Rmax abaixo do valor de início.

Figura 36 – Textura e perfil de rugosidade pela fresa A20



Fonte: O autor (2022).

Naturalmente, a condição da superfície inicial em relação à superfície final tende a ser diferente. Conforme Machado et al. (2015), a superfície final é o resultado do processo de usinagem que envolve tensões residuais, deformações plásticas, rupturas, recuperação elástica, vibrações e calor. As marcas de passagem tendem a ser bem definidas para o início, apresentando ondulações e ranhuras, e conforme ocorre o desgaste do gume durante o processo, as marcas da superfície suavizam-se com a estabilização do corte.

4.4 POSSÍVEIS CAUSAS DO BAIXO RENDIMENTO

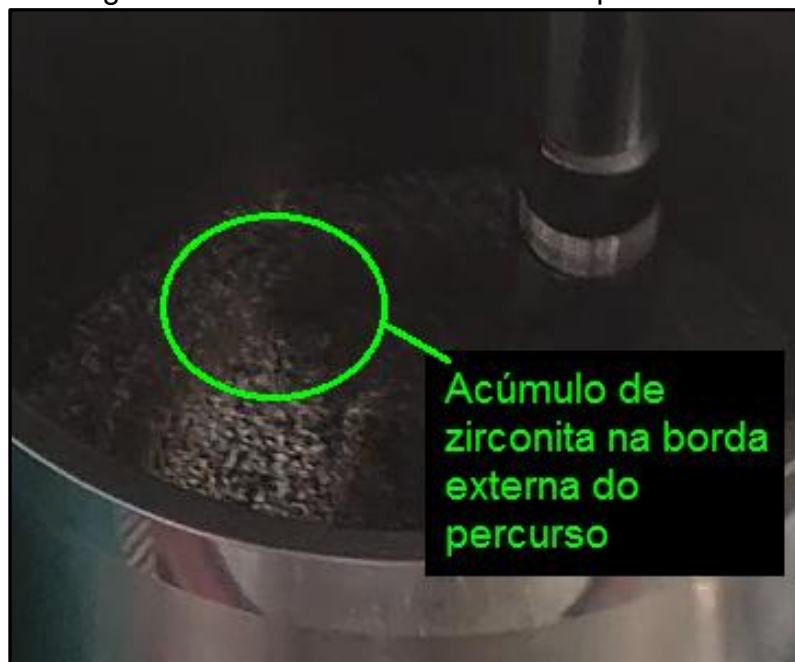
De forma geral, os resultados finais obtidos mantiveram-se abaixo do previsto. As fresas A19 e A20, polidas com a mídia alternativa de PA 66, usinaram um percurso consideravelmente menor, sendo 15 e 20 m, em relação às ferramentas (A7 e B4) utilizadas por Carrer (2018) e tratadas com a mídia comercial da OTEC, com uma distância de 33 e 32,3 m.

Em comparação com o estudo realizado por Patricio (2021), as ferramentas tratadas com a mídia alternativa de casca de amendoim, usinaram uma distância equivalente a 30 m para as fresas A6 e A8.

Alguns fatores podem ter influenciado sobre a vida prematura das ferramentas ensaiadas neste trabalho. Além do elevado batimento mensurado nas ferramentas, foram observados pequenos lascamentos na ponta dos gumes G1 e G2 da fresa A19 após o polimento por arraste (vide Figura 23).

Outro fator relevante para o desgaste acelerado, é que observou-se, durante o processo de polimento, certo acúmulo de material abrasivo ($ZrSiO_4$) nas bordas, externas e internas, do percurso realizado pela interpolação da ferramenta mergulhada na mídia alternativa (Figura 37).

Figura 37 – Acúmulo de zirconita no polimento



Fonte: O autor (2022).

Observou-se também, a facilidade de aderência e distribuição da zirconita nas paredes do recipiente metálico (Figura 38), nas fresas de metal-duro e na hélice metálica do misturador. Tal situação pode estar relacionada com a energia eletrostática gerada pelo atrito entre os objetos, um condutor (metal) e o outro não-condutor (polímero), resultando no desequilíbrio de cargas finitas entre dois corpos de diferentes potenciais durante o movimento de rotação do processo de mistura e do tratamento das ferramentas (JAMES, LIOU, 1988).

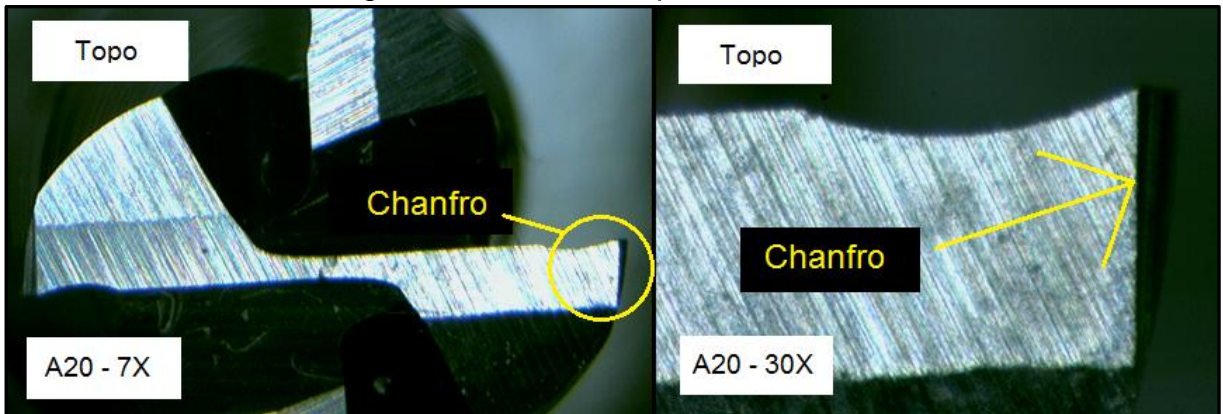
Figura 38 – Acúmulo de zirconita no recipiente metálico



Fonte: O autor (2022).

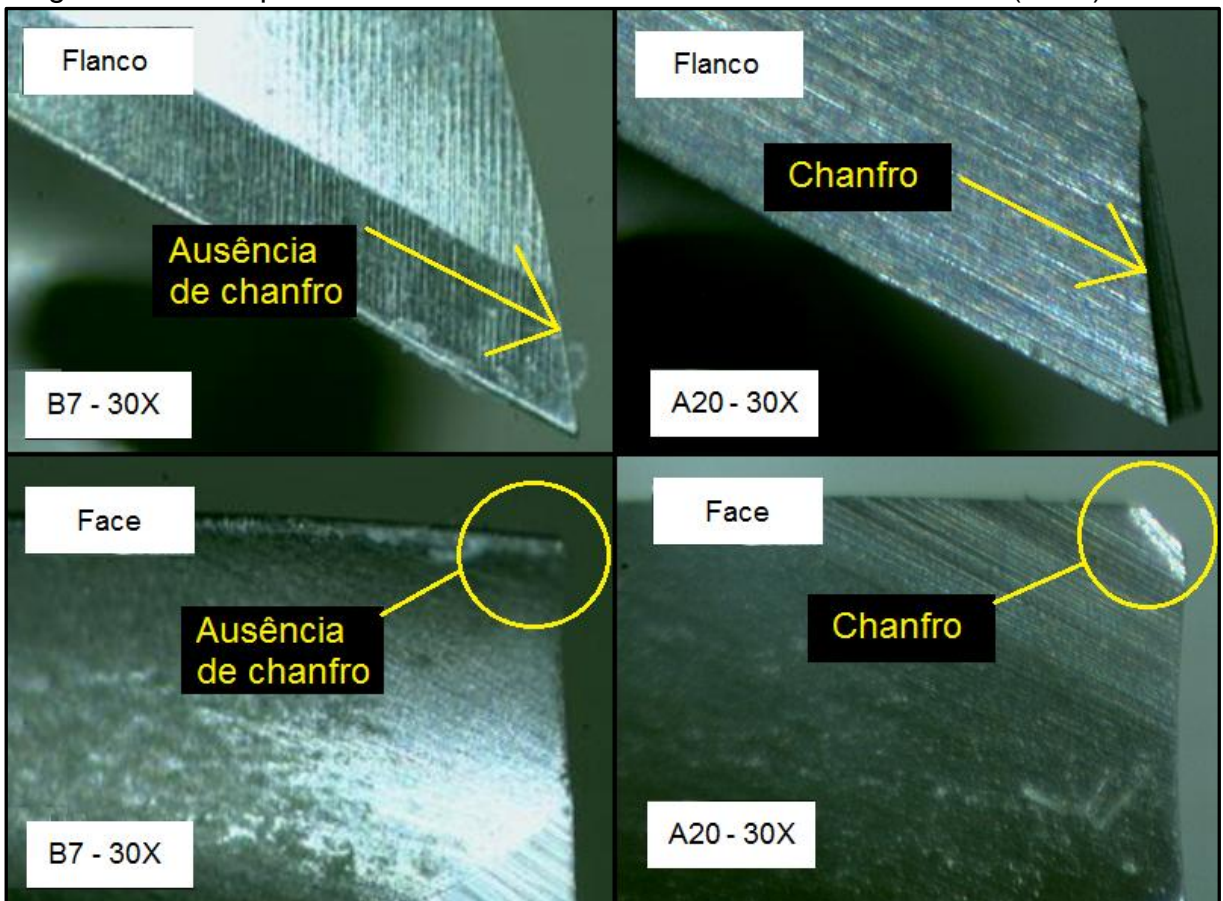
Outra possível causa, identificada tardiamente, é a existência de chanfros na ponta de cada gume das fresas A19 e A20, provavelmente decorrentes do processo de reafiação. Esse fato é inexistente nos estudos anteriores, demonstrados nas Figuras 39 e 40 em comparação com a fresa B7 de Carrer (2018).

Figura 39 – Vista de topo da fresa A20



Fonte: O autor (2022).

Figura 40 – Comparativo da face e do flanco das fresas B7 de Carrer (2018) e A20



Fonte: Adaptado pelo autor (2022) a partir de Carrer (2018).

5 CONCLUSÃO

O processo de usinagem por fresamento destaca-se por sua versatilidade na fabricação de componentes complexos, tanto em geometria quanto em superfície, além dos diversos tratamentos superficiais desenvolvidos para ferramentas de corte.

A partir da compreensão de estudos anteriores e análises referentes aos efeitos proporcionados pela técnica de polimento por arraste, é possível citar alguns benefícios do processo como: a possibilidade de múltiplos estágios de polimento, remoção de rebarbas, arredondamento da aresta e a preparação para revestimentos posteriores.

Com base nos conhecimentos adquiridos pelo *know-how* de estudos anteriores, optou-se pela utilização da mídia alternativa composta por Poliamida 66 com 30 % de fibra de vidro, zirconita ($ZrSiO_4$) e óleo de alta viscosidade como ligante, conservando a faixa de granulometria entre 0,43 e 1,2 mm.

A partir da compreensão e análise da influência da mídia alternativa sobre a vida útil da ferramenta, conclui-se que a fresa A19 apresentou lascamento em dois gumes após o processo de polimento, seguido pelo desgaste acelerado contendo a maior parcela de material aderido e o acréscimo da região lascada, resultando em apenas 15 m de comprimento usinado.

A fresa A20 não apresentou avarias posteriores ao processo de polimento, mantendo o desgaste por abrasão constante entre os gumes e o recuo uniforme em G3 e G4, resultando em 20 m de usinagem. Tais resultados apresentaram valores menores, com 60,5 e 47,4 % em relação a fresa de referência realizada por Ost (2016) e utilizada nos demais estudos.

Sobre a influência do tratamento na qualidade superficial, pode-se dizer que os resultados obtidos para o perfil de rugosidade Ra, Rz e Rmax mantiveram-se com valores maiores para a condição inicial e final, em relação aos resultados anteriores, demonstrando a inferioridade no aspecto da rugosidade. Contudo, a média de valores encontrados para A19 e A20, permaneceu conforme a literatura, uma vez que os valores iniciais são maiores que os valores finais, representando a estabilidade do processo durante o desgaste da ferramenta de corte.

Em relação à textura, o comportamento produzido pela primeira ferramenta apresentou ondulações na região inicial do corpo de prova que foram atenuadas conforme a evolução do desgaste, apresentando o maior valor de Rmax provindo da

instabilidade e escassez de uniformidade da superfície resultante. As duas ferramentas produziram uma superfície suave ao final de cada teste, com valores inferiores para R_{max} e a dispersão do padrão de repetição da curva de perfil.

De maneira geral, conclui-se que o tratamento com a mídia alternativa não proporcionou resultados satisfatórios para a vida útil das ferramentas de corte. Ambas apresentaram resultados consideravelmente inferiores aos seus antecessores. Os valores mensurados para o desgaste e a distância percorrida ultrapassaram o limite de 20 % para diferenças encontradas em processos de usinagem.

Alguns fatores obstruíram o êxito do processo como: o acúmulo de material abrasivo em determinadas regiões durante o tratamento por arraste, a ocorrência de pequenos lascamentos na ponta do gume após o polimento, a presença de chanfros decorrentes do processo de reafiação e constante reutilização de ferramentas e a aderência do material abrasivo nos componentes metálicos utilizados.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em futuros trabalhos que explorem este tema, sugere-se substituir os componentes metálicos (hélice do misturador e recipiente) utilizados na preparação da mistura e no polimento, por componentes fabricados com material antiaderente para evitar o desperdício de material abrasivo, o qual aderiu com facilidade nas partes metálicas, interferindo nos processos e nas análises das fresas, sendo necessária a limpeza após cada operação.

Também indica-se optar por material granulado com densidade superior ou semelhante ao material abrasivo. Durante o processo de mistura pode-se observar a facilidade de deslocamento da zirconita para o fundo do recipiente, dificultando o processo e impedindo a realização de movimentos “bruscos” durante a agitação.

Por fim, sugere-se utilizar fresas de metal duro novas sem qualquer tratamento superficial como forma de evitar problemas de avarias oriundas do constante processo de reaproveitamento de ferramentas reafiadas, tais problemas sucederam-se durante o presente estudo. Se necessário com a substituição das fresas, realizar novos testes para as condições de ferramenta sem tratamento e polida com a mídia comercial da OTEC como forma de garantir a confiabilidade de futuros testes comparativos.

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.

BEL AIR Finishing . **Vibratory tumbler media e supplies**. 2021. Disponível em: <https://www.belairfinishing.com/tumbling-media/>. Acesso em: 24 out. 2021.

BET, L., **Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e sondas ópticas tipo seguidor**. 1999. 243 f. Dissertação (Doutorado Profissional em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

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.

BOGDAN B. M., SABIN P. M., STEFAN S., DAN P., **Unconventional Technologies in preparation of microgeometry edge on cutting tools. Nonconventional Technologies Review**, Romênia, v. 17, n. 4, p.10-16, dez. 2013.

BORDIN, F. M. **Efeito do tratamento da microgeometria de brocas helicoidais de metalduro sobre a integridade superficial dos furos**. 2013. 128 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.

BUCKELL, W. **Avaliação da Preparação de Gume Através do Processo de Escovação para Aplicação em Fresamento de Topo Reto**. 2019. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 7ª Ed., Tradução Editora LTC: Rio de Janeiro, 2008.

CARRER, Mylena. **Influência do tratamento do gume por arraste sobre a qualidade superficial da peça e a vida da ferramenta para o processo de fresamento**. 2018. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

DENKENA, B.; BIERMANN, D. **Cutting edge geometries**. *Cirp Annals*, [s.l.], v. 63, n. 2, p.631-653, 2014. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850614001917>. Acesso em: 20 out. 2021

DENKENA, B.; BIERMANN, D. **Effect of cutting edge preparation of coated tools on their performance in milling various materials**. *Cirp Annals*, [s.l.], v. 63, n. 7, p.264-273, 2014. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1755581714000224>. Acesso em: 20 out. 2021

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**, v. 1, p. 190-195, 2012.

DINIZ A. E., MARCONDES F. C., COPPINI N. L., **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 9. ed. São Paulo, SP: Editora Artliber. 2014 .

ERIKSSON, P. A.; et. al. Characterization of recycled glass fiber reinforced polyamide 6,6, Annual Technical Conference – **ANTEC 94**, Conference Proceedings, pt 3, p. 2918 – 2921, 1994

FERNANDES, R.; SANTO, A. M. Comportamento das Propriedades Físicas da Poliamida 6,6 (NYLON 6.6) após Reciclagem, **XII Encontro latino americano de Iniciação científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação** – Universidade do Vale do Paraíba, 2009.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 1. ed. São Paulo, SP: Editora Blucher, 801 p. 1970. E-book. ISBN 9788521214199. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/169177>. Acesso em: 12 set. 2021

FERREIRA, T. R. M. **Desenvolvimento de compósitos de poliamida 6 reforçada com micro esfera oca de vidro e fibra para componentes automotivos**. 2016. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Materiais) – Centro federal de educação tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

FRACARO, J. **Fabricação pelo processo de usinagem e meios de controle**. 1. ed. Curitiba, PR: Editora Intersaberes, 342 p. 2017. E-book. ISBN 9788559724899. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/128237>. Acesso em: 12 set 2021.

GIRARDELO, Ronaldo. **Influência do tratamento do gume por arraste sobre a vida da ferramenta e a qualidade superficial no fresamento do aço P20**. 2019. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019.

JAMES, Vinson E.; LIOU J. J. **Electrostatic Discharge in Semiconductor Devices: An Overview**. Proceedings of the IEEE, v. 86, n. 2, fev. 1998. Disponível em:< Electrostatic Discharge In Semiconductor Devices: An Overview - Proceedings of the IEEE (researchgate.net)>. Acesso em: 24 jul. 2022.

KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren 1: Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide**. 9. ed. Alemanha: Springer Vieweg, 2018. E-book. ISBN 978-3-662-54207-1. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54207-1>.

KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren Band 1: Drehen, Fräsen, Bohren**. 6. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1997.

LOPES, A. C. **Influência do processo de polimento com mídias abrasivas em fresas de metal duro na usinagem do aço AISI P20**. 2020. 82 f. Trabalho de

Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020.

MACHADO, Á. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T. **Teoria da usinagem dos materiais**. 3. ed. São Paulo, SP: Editora Blucher, 409 p. 2015. E-book. ISBN 9788521208440. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/177884>. Acesso em: 12 set. 2021.

MANTIA, F. L. **Handbook of Plastics Recycling**, 1ª ed., Rapa Technology Limited: 2002

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Considerações gerais e estado-da-arte**. In: **Compósitos Estruturais: ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2006, p. 1-12.

OLIVEIRA J.M., **Caracterização da Integridade de Superfícies Usinadas para produção de moldes e matrizes**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2006.

OST, C. A. **Análise da qualidade superficial no fresamento de aço p20 com diferentes tratamentos de ferramentas e condições de lubrificarrefrigerantes**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

OTEC PRÄZISIONSFINISH GMBH (Alemanha). **HSC Granulates**. 2021. Disponível em: <https://www.otec.de/en/products/media/dry-finishing/dry-grinding-granulate/>. Acesso em: 29 ago. 2021

OTEC. **Edge Rounding and Polishing of Tools**. Apresentação, 2008. Disponível em: https://slidetodoc-com.translate.goog/edge-rounding-and-polishing-of-tools-process-and/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=nui,sc DRAG FINISHERS. Acesso em: 23 out. 2021.

OTEC. **Drag Finishers**. 2021. Disponível em: <https://www.otec.de/pt/produtos/acabamento-em-massa/drag-finishers/>. Acesso em: 23 out. 2021.

PATRICIO, Anderson. **Influência do tratamento do gume por arraste em uma fresa de topo de metal duro**. 2021. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.

REBEYKA, C. J. **Princípios do processo de fabricação por usinagem**. 1. ed. Curitiba, PR: Editora Intersaberes, 292 p. 2016. E-book. ISBN 9788559720396. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/42171>. Acesso em: 12 set. 2021.

RISSE, K. **Einflüsse von Werkzeugdurchmesser und Schneidkantenverrundung beim Bohren mit Wendelbohrern in Stahl**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica) - RWTH Aachen, Aachen, 2006.

RODRIGUEZ C. J. C., **Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing**. 2009. 205 f. Dissertação (Doutorado Profissional em Engenharia Mecânica) - Universidade de Kassel, Alemanha. 2009.

SANDVIK, C. **Fórmulas e definições de fresamento**, 2021. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>. Acesso em: 10 out. 2021.

SANDVIK, C. **Desgaste das arestas de corte**, 2021. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/materials/pages/wear-on-cutting-edges.aspx>. Acesso em: 10 out. 2021.

Schmidt. D., **Deburring, rounding and polishing of high-quality workpieces, 2021**. Disponível em: <https://doerfler-schmidt.de/en/massfinishing/dragfinishing/>. Acesso em: 22 out. 2021.

SIMIELLI, E. R.; SANTOS, P. A. **Plásticos de Engenharia**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2010.

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

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte I**. 4. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995.

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**. 1999. Disponível em: <https://www-mmsonline-com.translate.google/articles/surface-finish-a-machinist39s-tool-a-design-necessity?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=nui,op,sc>. Acesso em: 12 Out. 2021.

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**, 60 46:352–355, 2016.

UHLMANN E., KUCHE Y., OBERSCHMIDT D., POLTE J., Droplet removal from PVD-coated micro-milling tools with the immersed tumbling process. **European**

Society For Precision Engineering And Nanotechnology -euspen-, Hannover, Germany, p.255-256. 2017.

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.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Poliamida 6 e Poliamida 6.6**. In: **Plásticos de Engenharia. Tecnologia e aplicações**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2005, p. 81-94.

WORLDTOOLS. **Ferramentas em geral**, 2021. Disponível em: <https://www.worldtools.com.br/ferramentas-para-usinagem>. Acesso em: 02 set. 2021.

ZEILMANN, R. P., Westphal, C. J., Reis, E. S. Vacaro, T., **Desempenho de fresas de aço-rápido após tratamento superficial. 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**. Itatiaia, 2013.