

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

**ALISSON MATEUS AMARAL DA SILVEIRA**

**EFEITO DO TRATAMENTO DE GUME PELO PROCESSO DE REMOÇÃO POR  
ARRASTE EM UMA FRESA DE TOPO DE METAL DURO**

**CAXIAS DO SUL**

**2022**

**ALISSON MATEUS AMARAL DA SILVEIRA**

**EFEITO DO TRATAMENTO DE GUME PELO PROCESSO DE REMOÇÃO POR  
ARRASTE EM UMA FRESA DE TOPO DE METAL DURO**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Mecânica pela Universidade  
de Caxias do Sul. Área de concentração:  
Usinagem.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo P. Zeilmann

**CAXIAS DO SUL**

**2022**

**ALISSON MATEUS AMARAL DA SILVEIRA**

**EFEITO DO TRATAMENTO DE GUME PELO PROCESSO DE REMOÇÃO POR  
ARRASTE EM UMA FRESA DE TOPO DE METAL DURO**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Mecânica pela Universidade  
de Caxias do Sul. Área de concentração:  
Usinagem.

**Aprovado em 01/12/2022.**

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Eng<sup>o</sup>. Rodrigo Panosso Zeilmann  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Dr. Eng<sup>o</sup>. Marcos Alexandre Luciano  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Dr. Eng<sup>o</sup>. Alexandre Vieceli  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

*“Os sonhos não determinam o lugar que você vai estar, mas produzem força necessária para o tirar do lugar em que está.”*

**Augusto Cury**

## RESUMO

Este trabalho consistiu em analisar o efeito do tratamento de gume utilizando o processo de remoção por arraste. Através dele, a microgeometria do gume sofre alterações fazendo com que a ferramenta apresente uma maior durabilidade e a melhora na qualidade superficial da peça usinada. Além dos assuntos pertinentes à ferramenta, o trabalho apresenta uma proposta de mídia alternativa abrasiva composta de carbeto de silício (SiC) e serragem de eucalipto cloeziana. Para comparar a outros trabalhos anteriores correlacionados e mídias comerciais, a ferramentas são duas fresas reafiadas padrão de fábrica e os dados de entrada semelhantes. A metodologia na forma de fluxograma representa as etapas experimentais. Consideram-se os dados de saída para análise dos resultados finais a medida de rugosidade superficial, registros fotográficos da textura e a curva de comportamento do desgaste. Para avaliação da qualidade superficial, foram coletados os dados de rugosidade e seu perfil, também imagens da textura através de equipamentos disponibilizados no laboratório. A curva do comportamento do desgaste representou o fim de vida da ferramenta que, para ambas, o comprimento máximo de usinagem atingiu 30 m. O principal benefício no uso do composto consistiu na sua fácil obtenção e preparo, além de preparar um gume capaz de produzir uma superfície usinada mais uniforme e homogênea. Os mecanismos de desgaste predominantes foram a abrasão e adesão.

Palavras-chave: tratamento de gume; remoção por arraste; rugosidade; textura; desgaste.

## ABSTRACT

This work consisted of analyzing the effect of cutting edge treatment using the drag removal process. Through it, the microgeometry of the cutting edge undergoes alterations, making the tool more durable and improving the surface quality of the machined part. In addition to issues related to the tool, the work presents a proposal for an alternative abrasive media composed of silicon carbide (SiC) and cloezian eucalyptus sawdust. To compare to other correlated earlier work and commercial media, tooling is two factory standard re-sharpened cutters and similar input data. The methodology in the form of a flowchart represents the experimental steps. The output data for analysis of the final results are taken into account the measurement of surface roughness, photographic records of the texture and the wear behavior curve. To evaluate the surface quality, roughness data and its profile were collected, as well as texture images using equipment available in the laboratory. The wear behavior curve represented the end of tool life, for both, the maximum machining length reached 30 m. The main benefit of using the compound was that it was easy to obtain and prepare, in addition to preparing a cutting edge capable of producing a more uniform and homogeneous machined surface. The predominant wear mechanisms were abrasion and adhesion.

Keywords: edge treatment; drag removal; roughness; texture; wear.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fresamento frontal e fresamento periférico.....	16
Figura 2 – Fresamento concordante e discordante .....	16
Figura 3 – Modelos de fresamento plano .....	17
Figura 4 – Macrogeometria de uma fresa de topo.....	18
Figura 5 – Microgeometria do gume.....	19
Figura 6 – Variações na microgeometria do gume .....	20
Figura 7 – Gráfico de vida e conduta do desgaste .....	21
Figura 8 – Degradação do flanco .....	22
Figura 9 – Meios e fatores de desgaste .....	23
Figura 10 – Desvios de forma em superfícies .....	25
Figura 11 – Comportamento da rugosidade.....	26
Figura 12 – Técnicas para melhoria do gume .....	27
Figura 13 – Funcionamento do processo por arraste.....	29
Figura 14 – Gume afiado e preparado .....	31
Figura 15 – Fluxograma dos processos experimentais .....	33
Figura 16 – Fresa de topo em metal duro .....	35
Figura 17 – Mídia preparada escala 7 vezes.....	38
Figura 18 – Mídia preparada escala 15 vezes.....	38
Figura 19 – Esquema de montagem fresa e mídia.....	39
Figura 20 – Fresa A8 com e sem acabamento.....	40
Figura 21 – Fresa B12 com e sem acabamento.....	41
Figura 22 – Gráfico comportamento do desgaste .....	43
Figura 23 – Comprimento usinado por proposta .....	44
Figura 24 – Abrasão na fresa A8.....	45
Figura 25 – Adesão na fresa B12.....	45
Figura 26 – Textura e perfil de rugosidade da fresa A8 .....	46
Figura 27 – Textura e perfil de rugosidade da fresa B12 .....	47
Figura 28 – Rugosidade para início e fim de vida das fresas .....	47
Figura 29 – Rugosidade média por proposta .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação das ferramentas analisadas .....	40
Tabela 2 – Batimento das fresas.....	42

## **LISTA DE SIGLAS**

UCS	Universidade de Caxias do Sul
LNTP	Laboratório de Novas Tecnologias de Produção
GUS	Grupo de Usinagem

## LISTA DE SÍMBOLOS

L	Comprimento [mm]
D	Diâmetro [mm]
$VB_{\max}$	Desgaste de flanco máximo [mm]
VB	Desgaste de flanco [mm]
$R_a$	Desvio médio aritmético de rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]
$R_z$	Média aritmética das rugosidades singulares [ $\mu\text{m}$ ]
$R_{\max}$	Profundidade máxima individual de rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]
$L_m$	Comprimento total de medição [mm]
$Z_i$	Rugosidade parcial [ $\mu\text{m}$ ]
$R_y$	Profundidade máxima individual de rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]
$l_e$	Comprimento de medição unitário [mm]
$a_p$	Profundidade de corte axial [mm]
$F_z$	Avanço por gume [mm/gume]
n	Rotação [rpm]
$a_e$	Profundidade de corte radial [mm]
$V_c$	Velocidade de corte [m/min]
$S_y$	Comprimento do arredondamento na face da ferramenta [ $\mu\text{m}$ ]
$S_\alpha$	Comprimento do arredondamento no flanco da ferramenta [ $\mu\text{m}$ ]
K	Fator de forma
$A_\alpha$	Ângulo de incidência [ $^\circ$ ]
$\beta$	Ângulo de cunha [ $^\circ$ ]
$A_y$	Ângulo de saída [ $^\circ$ ]
$R_n$	Raio do gume da ferramenta de corte [mm]
$SV_\alpha$	Deslocamento do gume em relação ao flanco da ferramenta [mm]
$R_{HA}$	Raio do planetário
$R_W$	Raio do planetário
$t_c$	Tempo de corte [min]
Y	Ângulo de saída nominal [ $^\circ$ ]

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO.....	13
1.3	OBJETIVO.....	14
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
2.1	FRESAMENTO.....	15
<b>2.1.1</b>	<b>Modos de fresamento.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Fresamento de topo reto.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Geometria da ferramenta .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Vida da ferramenta .....</b>	<b>20</b>
2.1.4.1	Meios e fatores de desgaste.....	21
<b>2.1.5</b>	<b>Qualidade na superfície .....</b>	<b>24</b>
2.1.5.1	Textura .....	24
2.1.5.2	Rugosidade .....	25
2.2	TRATAMENTO DO GUME .....	26
<b>2.2.1</b>	<b>Metodologia de acabamento por arraste.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Mídias abrasivas no acabamento por arraste .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Influência do meio abrasivo sobre o gume e desgaste.....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
3.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	32
3.2	PLANO EXPERIMENTAL.....	33
<b>3.2.1</b>	<b>Parâmetros de entrada.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Parâmetros de saída.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Ferramentas .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Máquinas e equipamentos .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Corpo de prova .....</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>

4.1	PREPARAÇÃO DA MÍDIA.....	37
4.1.1	<b>Caracterização da mídia.....</b>	<b>37</b>
4.2	ACABAMENTO POR ARRASTE .....	39
4.2.1	<b>Caracterização das ferramentas.....</b>	<b>40</b>
4.3	DESGASTE DA FERRAMENTA.....	42
4.3.1	<b>Curva de comportamento do desgaste .....</b>	<b>42</b>
4.3.2	<b>Mecanismos de desgaste .....</b>	<b>44</b>
4.4	TEXTURA E RUGOSIDADE DA PEÇA.....	46
5	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na busca pela melhoria contínua nos sistemas de fabricações, otimização dos recursos, aumento de produtividade e minimizar custos são fatores essenciais. A usinagem está inserida em boa parte das indústrias manufatureiras, neste quesito, a preocupação com o melhor uso de ferramentas e sua vida útil fazem os profissionais buscarem alternativas ou meios que possam contribuir com a sua racionalização. Para melhorar o gume, o método de remoção através do arraste tem destaque.

Conforme destaca Rodríguez (2009), algumas ferramentas possuem imperfeições nas proximidades do gume como microtrincas, rebarbas e irregularidades. Estes problemas podem ser resolvidos através do tratamento do gume, além de contribuir na qualidade de contato entre peça e ferramenta.

As ferramentas de metal duro se destacam devido a elevada resistência mecânica e dureza. Isso ocorre com o avanço de suas classes, suportando a abrasão durante o corte sob altas temperaturas e a extração de materiais difíceis (PEÇANHA JÚNIOR, 2014).

Além do método pelo arraste, o gume também pode ser melhorado por jateamento com microabrasivos, acabamento magnetizado, usinagem a plasma entre outros. Entretanto, devido à complexidade que envolve a usinagem, o qual trará melhores benefícios, devem ser devidamente testados, comparados e avaliados junto à aplicação. No arraste, o instrumento é imerso a mídias abrasivas executando movimentos do tipo circulares. Mídias de uso profissional apresentam custo elevado, neste sentido alguns outros materiais podem ser submetidos a testes validando experimentalmente sua eficácia. Para todo e qualquer desenvolvimento, além de testes experimentais é necessária uma investigação das propriedades químicas e microgeométricas para obter bons resultados.

Para maior conhecimento sobre outros materiais alternativos são necessárias investigações no mercado e também outros estudos correlacionados. Nesta condição, o presente trabalho tem por finalidade principal submeter a ferramenta definida ao tratamento do gume, verificando a proposta de mídia de fácil aquisição e compará-la com as demais já testadas. O atrito entre a mídia e a ferramenta é o agente que produz uma superfície com grau elevado de polidez.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Ao utilizar técnicas para tratar o gume em ferramentas, algumas melhorias podem ser obtidas, são elas: superfícies altamente polidas, ampliação da velocidade máxima de corte, uma rugosidade mais uniforme e redução a riscos de desgastes (OTEC, 2018).

Tratar o gume ainda não é uma prática muito comum. Um dos fatores que restringem o seu uso é o custo envolvido no processo. Outro fator é a pouca informação sobre o tema, apesar de literaturas estrangeiras trazerem diversos benefícios sobre ele. O acesso a mídias abrasivas geralmente envolve importação, no que tange diretamente aos custos para aquisições.

O desejo por garantir ferramentas com performance superior as demais são frequentes. A velocidade de corte está diretamente relacionada ao tempo depositado no processo, além da vida útil que reduz significativamente paradas indesejadas para troca de ferramental. Tendo em vista a qualidade da peça pronta, ocorre a melhora na rugosidade e acabamento final, evitando todo e qualquer retrabalho.

Com base em alguns trabalhos acadêmicos como Carrer (2018), Girardelo (2019) e Patricio (2021), a proposta deste trabalho é estudar uma mídia alternativa de aquisição facilitada e com custo relativamente baixo. A ferramenta a ser analisada é uma fresa de topo reto fabricada em metal duro, submetida posteriormente a um processo convencional de fresamento para fins comparativos. O propósito deste é alterar o insumo com intuito de abrir o portfólio dos materiais alternativos.

Do ponto de vista técnico, a busca no aumento da vida útil e desempenho destas ferramentas garantindo maior estabilidade e acabamento da peça usinada é a principal justificativa deste estudo.

## 1.2 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

Com sede principal em Caxias do Sul, a Universidade de Caxias do Sul (UCS) foi a entidade de ensino superior pioneira da região nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Fundada em 1967, conta com mais de 80 cursos de graduação e presença em 8 cidades. Em parceria com as indústrias da região, promove abordagens que direcionam soluções para o ambiente profissional a qual os discentes estão inseridos.

O trabalho será realizado no Laboratório de Novas Tecnologias de Produção (LNTP) da instituição, composto por um centro de usinagem preciso, instrumento tridimensional de medição e outras ferramentas gerais relacionadas as atividades. Todo o estudo será auxiliado pelo Grupo de Usinagem (GUS), incluindo testes, análises microgeométricas, preparação da mídia e ferramentais, medições de rugosidade e também o desgaste nas ferramentas utilizadas durante o ensaio.

### 1.3 OBJETIVO

#### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o efeito do tratamento de gume utilizando o método de remoção por arraste, sendo a mídia composta de serragem de eucalipto e carbeto de silício aplicada a uma fresa de topo em metal duro.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, são necessárias algumas etapas antecessoras e listadas abaixo:

- a) identificar as técnicas para tratamento da geometria do gume por arraste e suas mídias;
- b) pesquisar os fatores que afetam a técnica;
- c) estruturar uma mídia abrasiva na aplicação do tratamento de gume;
- d) comparar o método de tratamento sugerido e aos demais trabalhos correlacionados;
- e) avaliar o efeito do tratamento do gume na vida útil da ferramenta; e
- f) avaliar o efeito do tratamento do gume na condição superficial da peça.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta etapa são apresentadas as informações que sustentam os objetivos do trabalho. Temas relacionados ao fresamento, método de remoção por arraste, formas de desgaste e outros fatores que justificam o uso da mídia abrasiva para melhorar a usabilidade e vida útil da ferramenta.

### 2.1 FRESAMENTO

O fresamento consiste em um processo de usinagem versátil que foi aprimorado ao longo dos anos. Através dele é possível realizar furações e cavidades combinando ferramentas onde antes eram realizadas cada etapa manual e individualmente. A remoção de material ocorre na forma de cavaco para conferir à peça geometria, medidas e acabamento desejado.

A ferramenta de corte opera de forma intermitente na remoção de material da peça, através do seu movimento rotativo, na maioria das situações multicortante, com vários dentes de corte (STEMMER, 2005). Convencionalmente, a ferramenta gira e a peça se mantém presa na mesa com movimentos longitudinais e transversais. Em outras situações a ferramenta é quem desempenha todos os movimentos necessários (FERRARESI, 1970).

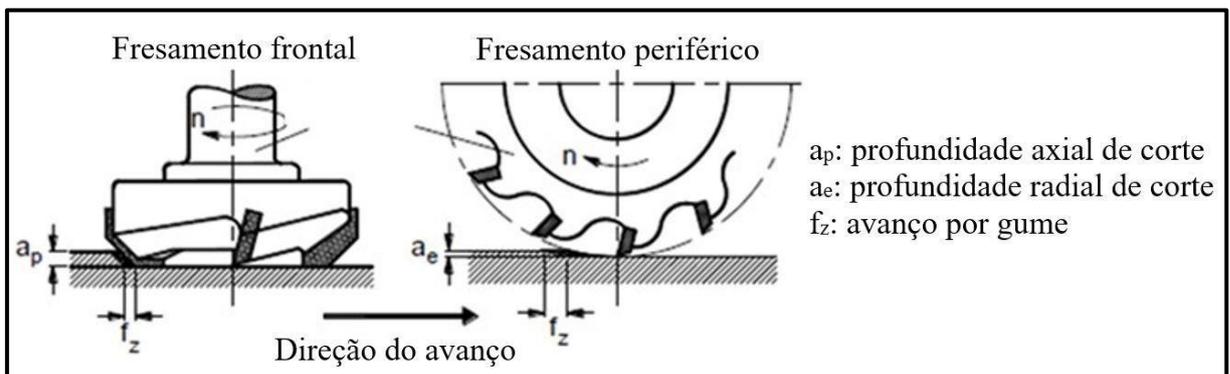
Conforme Mendes (2011), o fresamento pode ser definido como a remoção de material com uma ferramenta rotativa e de múltiplas arestas de corte sobre uma peça deslocando em direções e sentidos distintos. O fresamento normalmente é utilizado em usinagem de superfícies planas.

Elevadas taxas de remoção do cavaco e as variadas superfícies produzidas são algumas vantagens do fresamento, além da qualidade superficial e a combinação de ferramentas para produção de superfícies de maior complexidade. O fato do corte ser interrompido provoca solicitações térmicas e mecânicas elevadas, causando perda da propriedade dos materiais e associa-se a uma das desvantagens do processo (ZEILMANN, 2021).

### 2.1.1 Modos de fresamento

Os processos de fresamento podem ser classificadas em dois grupos: fresamento periférico e fresamento frontal. No primeiro, junto à superfície cilíndrica da ferramenta, estão os gumes ativos e seu eixo paralelo a superfície em usinagem, as fresas utilizadas são chamadas de cilíndricas ou tangenciais. Já para o fresamento frontal, os gumes estão junto à superfície frontal da ferramenta e o eixo da fresa perpendicular à superfície a ser usinada, neste caso as fresas são chamadas de frontais ou de topo (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999). Na Figura 1 são apresentados os dois grupos de fresamento destacando o sentido de avanço, rotação e respectivas profundidades de corte.

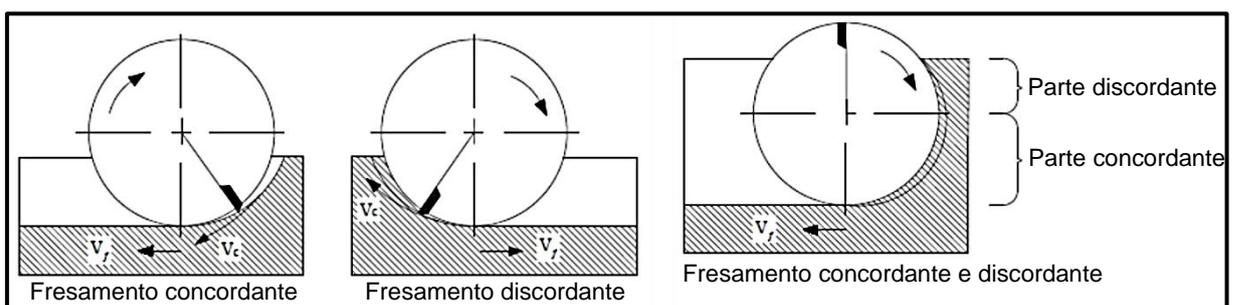
Figura 1 – Fresamento frontal e fresamento periférico



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

O sistema também pode ser caracterizado de acordo com o sentido de rotação da ferramenta e avanço da peça, sendo discordante ou concordante (KÖNIG; KLOCKE, 1997). Na primeira situação, o avanço e o movimento de corte têm sentidos contrários, já na segunda situação o sentido é o mesmo, conforme a Figura 2.

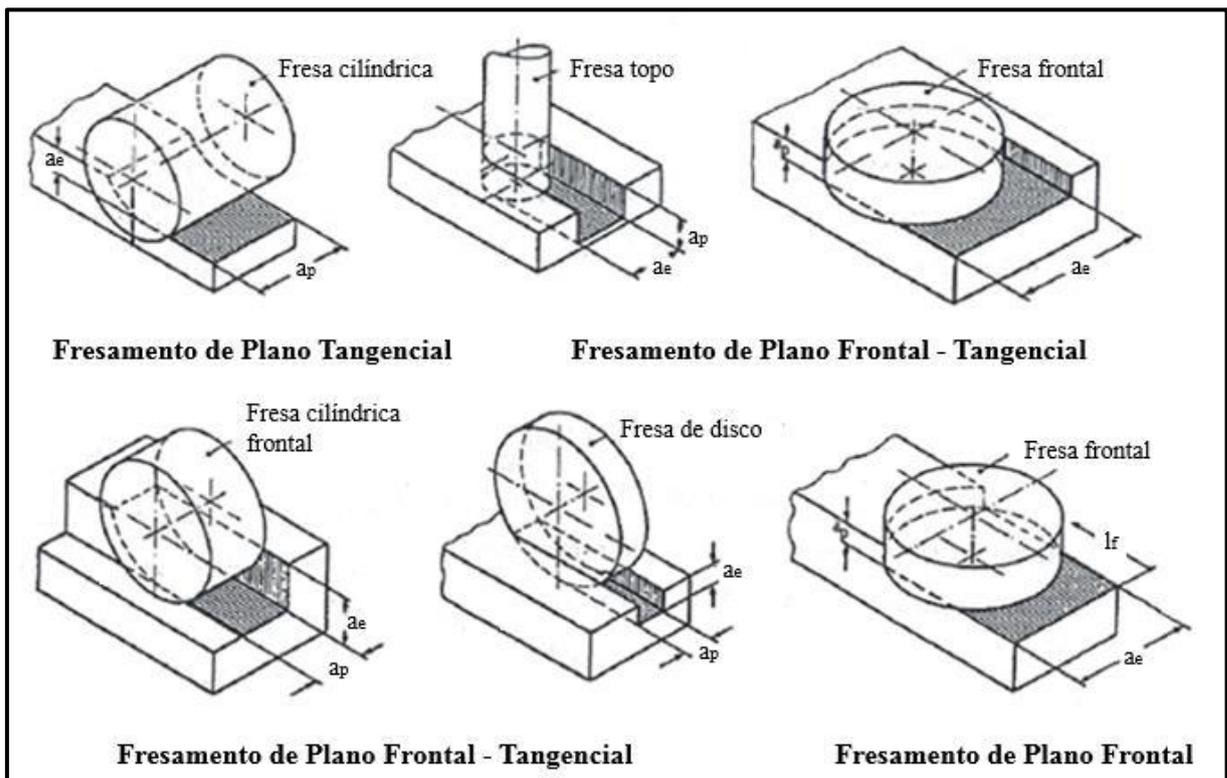
Figura 2 – Fresamento concordante e discordante



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

Para determinadas operações de fresamento há os tipos adequados de ferramentas e a disposição das mesmas no processo. Comumente, o objetivo é de se obter uma superfície plana e, para isso, a técnica de fresamento plano é aplicada (KÖNIG; KLOCKE, 1997). Na Figura 3 são apresentados os tipos de fresamento plano, variando a aplicabilidade da ferramenta.

Figura 3 – Modelos de fresamento plano



Fonte: Adaptado de König e Klocke (1997).

### 2.1.2 Fresamento de topo reto

O fresamento de topo reto é utilizado nas indústrias para obter superfícies de formas livres, com ferramentas flexíveis baseada na relação comprimento-diâmetro (L/D) ser alta (WEINGAERTNER et al., 2004).

Fresas de topo reto são utilizadas para ranhurar, facear, produzir cavidades, matrizes, gravações, rebaixos, rasgos de vários tipos e tamanhos. Como características podem ser destacadas: a excentricidade, deflexão e vibrações, durante o processo de usinagem (KÖNIG; KLOCKE, 1997).

As fresas são fixadas em uma única extremidade, por não serem tão rígidas, surgem deflexões pela ação das forças de usinagem. A inclinação da ferramenta

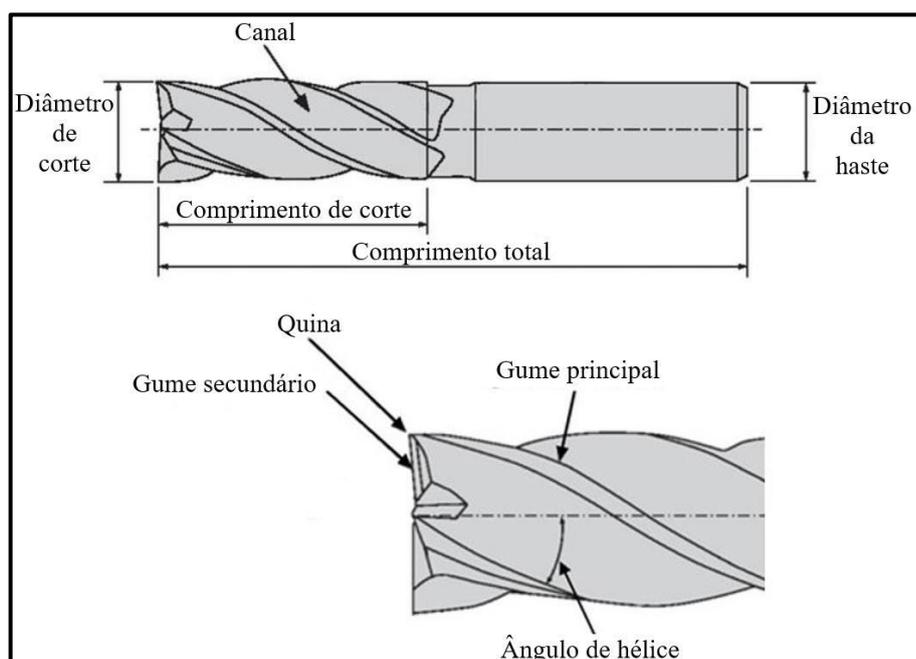
devido a sua deflexão faz o cavaco tomar diferentes espessuras no sentido axial, afetando diretamente o acabamento da peça e os esforços sobre o gume. O ajuste da relação (L/D), reduz sobrecargas em regime transiente e sob vibração. Nota-se que a deflexão tem a propriedade de reduzir os efeitos da excentricidade, neste caso, a espessura do cavaco a ser removido é maior que o teórico e as forças na usinagem também são maiores, contribuindo para uma maior deflexão. Resulta que os picos máximos de força são atenuados e os mínimos elevados (ARMAREGO; DESHPANDE, 1991).

Para Rodríguez (2009) neste tipo de fresamento há diversas ferramentas que podem ser utilizadas. Após inúmeros estudos e melhorias na macrogeometria e gume foi possível expandir as aplicações e incorporar no portfólio.

### 2.1.3 Geometria da ferramenta

Alguns elementos como ângulos de corte, hélice, geometrias para favorecer a quebra do cavaco e quina foram aprimorados considerando que são influentes nos esforços relacionados ao processo, na refrigeração, lubrificação e no fluxo o qual o cavaco é expelido durante o corte (RODRÍGUEZ, 2009). Na Figura 4 é possível identificar as partes que compõem a macrogeometria de uma fresa de topo reto.

Figura 4 – Macrogeometria de uma fresa de topo

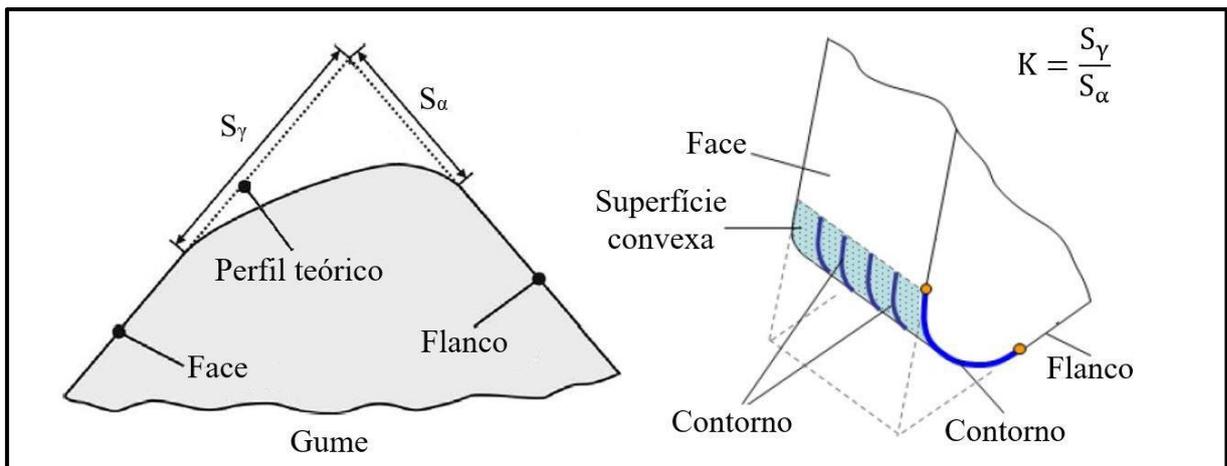


Fonte: Adaptado de Rebeyka (2016).

Fresas de topo apresentam gumes tanto na periferia quanto na sua face. São apresentadas como topo simples ou duplo, de haste e corpo cilíndrico ou cônico, dos mais variados diâmetros e comprimentos. Os canais, na maioria, são helicoidais e retos, na forma de dois, três, quatro, seis ou mais. O corpo pode ser inteiriço, com insertos brasados ou intercambiáveis (STEMMER, 2005).

Além da macrogeometria da fresa, para Rodríguez (2009) e Rech (2005), o gume pode ser analisado na forma macro, meso e microgeométrica. Na macrogeometria definem-se os ângulos de corte, raios de quina, região quebra cavacos, entre outros. Já na mesogeometria, o tratamento de gume tem destaque pois é levado em consideração sua superfície convexa. Por fim, na microgeometria são consideradas a microtopografia da superfície e do gume. Na Figura 5 são ilustradas as partes microgeométricas do gume com seu arredondamento.

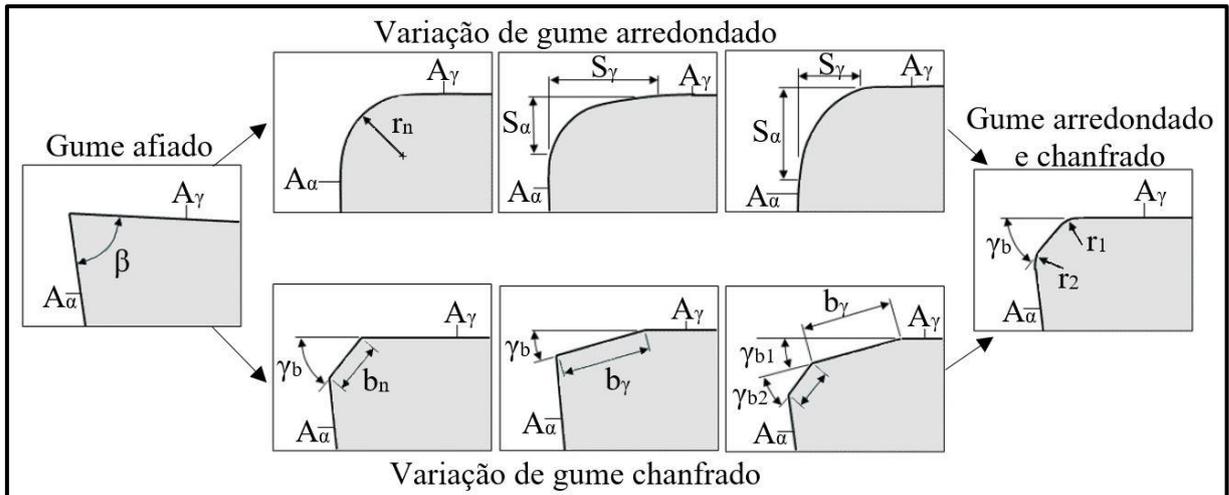
Figura 5 – Microgeometria do gume



Fonte: Adaptado de Rodríguez (2009).

A geometria do gume também pode ser apresentada de outras formas através do seu processo de tratamento. Geralmente ela é do tipo chanfrada ou arredondada, mas pode ser a combinação de ambos (RODRÍGUEZ, 2009). Na Figura 6, são apresentadas algumas variações na geometria do gume, de acordo com suas características e ângulos de incidências.

Figura 6 – Variações na microgeometria do gume



Fonte: Adaptado de Rodríguez (2009).

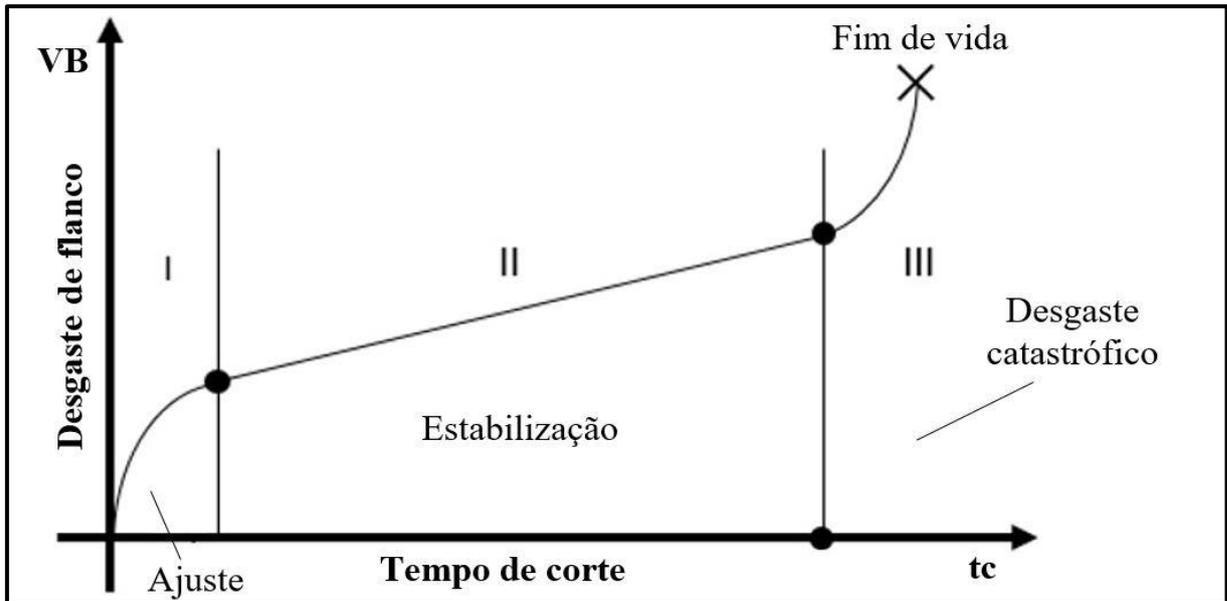
#### 2.1.4 Vida da ferramenta

Entende-se que a vida da ferramenta é o tempo de trabalho efetivo sem perda da capacidade de corte, dentro de um intervalo previamente estipulado. Depois deste tempo é necessário reafiar ou substituir a ferramenta. Uma vez que estas alternativas não sejam consideradas, pode ocorrer aumento em excesso das forças de usinagem, qualidade superficial da peça não uniforme ou até mesmo a quebra da ferramenta (FERRARESI, 1970).

O momento de troca pode ser estabelecido com avaliações quantitativas ou qualitativas. São exemplos de qualitativas os ruídos, rebarbas, formato dos cavacos entre outros (STEMMER, 2005). Nas avaliações quantitativas são levados em consideração o grau de desgaste  $VB_{max}$  e  $VB$ . O tempo de operação sujeito a trabalho, número de peças produzidas, percurso de corte e rugosidade são outras formas quantitativas para definir a troca ou não da ferramenta (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999).

Na Figura 7 é apresentada um padrão de curva de vida estudada por Machado et al. (2009) quanto ao desgaste em ferramentas de corte, onde é possível observar a sua conduta durante o intervalo de corte.

Figura 7 – Gráfico de vida e conduta do desgaste



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

Interpretando a figura, observa-se que no primeiro estágio há um desgaste atenuado. Isso acontece pois o sistema tribológico está se ajustando do gume para a condição do corte. No segundo estágio, o desgaste aumenta junto com o tempo de corte em uma certa linearidade e constância, pois o processo está em fase de estabilização. Por fim, no terceiro estágio há uma aceleração do desgaste até o fim de vida, onde a elevação da temperatura e tensões, continuamente na ferramenta, geralmente resultam na sua quebra (MACHADO et al. 2009).

#### 2.1.4.1 Meios e fatores de desgaste

A alteração da geometria devido à perda de material do gume conhecida como desgaste em ferramentas, ocorre de forma contínua e em pequenas proporções. Algumas vezes na taxa do tamanho do grão ou no nível atômico e ligada a vários tipos de mecanismos causadores, sendo os principais relacionados a temperatura de corte (MACHADO et al. 2009).

Algumas características como cavacos curtos, corte interrompido, variações de carregamento, oscilações térmicas e de tensões na cunha colaboram para o desgaste da ferramenta. Como consequências devido a estas características podem ser citadas a presença de trincas térmicas e por fadiga (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999).

Para Zeilmann (2021), os principais agentes causadores dos desgastes em ferramentas são a oxidação, adesão, abrasão e a difusão.

Na oxidação, a presença de água e ar nos fluidos lubrificantes juntamente a elevadas temperaturas provocam desgastes de flanco máximo ( $VB_{max}$ ), predominando na região de contato cavaco-ferramenta (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999).

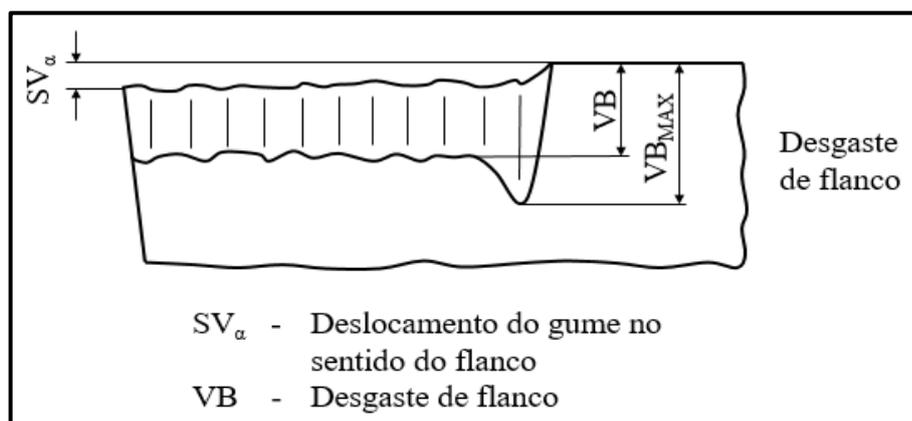
A adesão está relacionada a cargas moderadas, baixas velocidades e temperaturas. Neste caso as partículas de material aderem na face de contato da ferramenta gerando um gume postiço, tornando-a mais frágil ao desgaste por lascamento (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999; STEMMER, 2005).

Já na abrasão a sua causa acontece pelo escorregamento sob alta pressão e temperatura no contato peça e ferramenta. Partículas finas do material são arrancadas e conhecida como desgaste do flanco (VB) e de cratera. Com o aumento da velocidade de corte, a velocidade de desgaste também aumenta, inclusões e partículas duras no material podem ser observadas (STEMMER, 2005).

Na difusão, com uma longa duração de contato sob altas temperaturas, a afinidade físico-química dos materiais envolvidos submete a um deslocamento de átomos de um para o outro, sujeitando ao desgaste de cratera no gume da ferramenta (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999; STEMMER, 2005).

Na Figura 8 podem ser observados os valores médio e máximo do desgaste de flanco. Esse desgaste impacta no acabamento superficial da peça, mudando a geometria, dimensões e as tolerâncias de usinagem (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999).

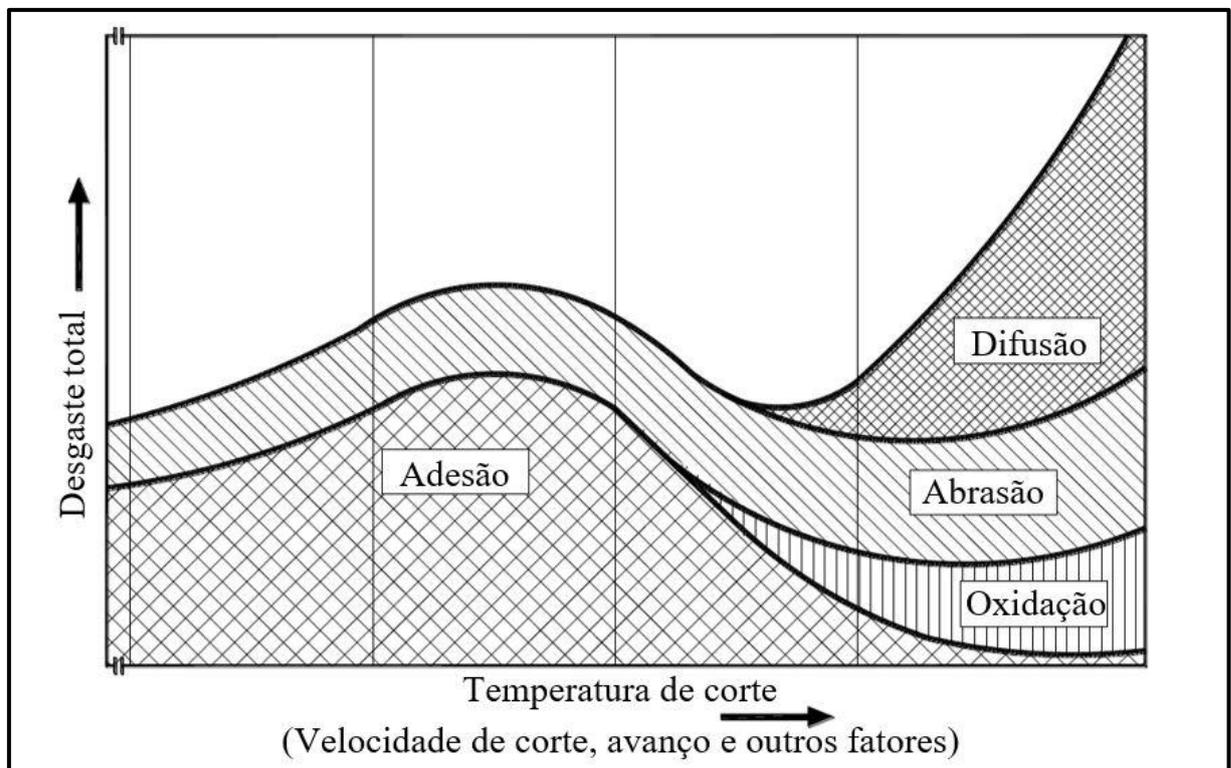
Figura 8 – Degradação do flanco



Fonte: Adaptado de Klocke (2017).

Para Klocke (2017), embora os tipos desgastes sejam conhecidos é quase impossível verificar quantitativamente a contribuição de cada um no desgaste. Na Figura 9 são apresentados os mecanismos de desgastes em função da temperatura de corte e o impacto sobre o desgaste total. Pode ser identificado que para baixas temperaturas os mecanismos mais favoráveis são a abrasão e a adesão, enquanto que, com aumento de temperatura a probabilidade da oxidação e difusão ocorrer é maior.

Figura 9 – Meios e fatores de desgaste



Fonte: Adaptado de Klocke (2017).

As falhas ocorrem de distintas formas, sendo elas pelo desgaste da face, flanco ou lascamento. No desgaste da face, também conhecido como cratera, é apresentada na forma de concavidade na superfície de saída e surge a partir do atrito entre o cavaco e a ferramenta. Já no desgaste de flanco (VB), mostra o desgaste na região do flanco. Ocorre pela remoção de partículas pequenas da ferramenta e compromete a forma do gume, desta forma, interferindo diretamente no acabamento superficial da peça. No lascamento a proporção de remoção das partículas do gume é maior. Nos materiais frágeis este desgaste é predominante. Ambas falhas, em

excesso, podem gerar danos catastróficos como a quebra da ferramenta (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999; STEMMER, 2005).

### **2.1.5 Qualidade na superfície**

Na usinagem, a qualidade superficial é importante devido aos parâmetros pré-definidos inicialmente no processo, como geometria da ferramenta e condições de corte (KÖNIG; KLOCKE, 1997).

Enquanto ocorre o processo de usinagem as solicitações térmicas e mecânicas podem impactar a forma da superfície e subsuperfície (WHITEHOUSE, 2000). Na superfície é possível identificar irregularidades como a rugosidade enquanto que, na subsuperfície observam-se deformações plásticas e alterações microestruturais que colaboram para alterar as propriedades mecânicas e surgimento de tensões residuais no material (CHE-HARON; JAWAID, 2005). Além de afetar a funcionalidade, estas irregularidades afetam a durabilidade do componente. A qualidade superficial pode induzir a resistência a falha de um componente (SEEMIKERI; BRAHMANKAR; MAHAGAONKAR, 2008).

Conforme Machado et al. (2009), o acabamento final de um material após usinado é resultado de muitos processos, como deformação e recuperação elástica, vibrações, ruptura, tensões residuais e alta temperatura, ou para alguns casos reações químicas.

Para Oliveira (2006), na superfície, a textura e rugosidade apresentam falhas, ondulações e trincas. Na subsuperfície, alterações microestruturais, deformações plásticas, modificação da dureza, microtrincas, tensões residuais e transformação na composição química.

#### **2.1.5.1 Textura**

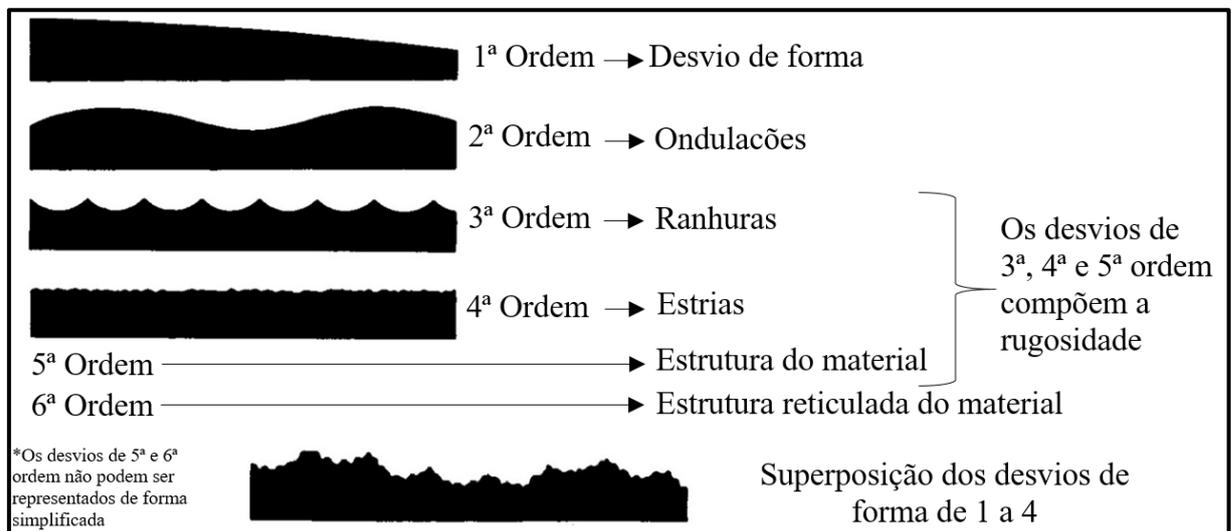
A direção e quantidade de picos ou vales na superfície podem ser chamadas de textura. Na superfície podem ser avaliadas a forma, rugosidade e ondulação. Para analisar o desvio de forma, leva-se em consideração que o seu comprimento de onda é maior que a ondulação, que por sua vez possui comprimento maior que a rugosidade. Parâmetros verticais são utilizados para uma análise quantitativa, onde

geralmente são realizadas as medições em cinco comprimentos de amostragem chamados de *cut-offs* (TABENKIN, 1999).

Para Bet (1999), os desvios randômicos da superfície real e geométrica são os responsáveis para formação da textura. Os sulcos orientam a direção da ferramenta sobre a superfície da peça, de uma forma definida e alinhada.

Na Figura 10, são apresentados os desvios de acordo com sua ordem. A definição do desvio e ordem devem ser tratadas com cuidado para que estatisticamente possa ser desenhado o comportamento do restante da superfície (KÖNIG; KLOCKE, 1997).

Figura 10 – Desvios de forma em superfícies

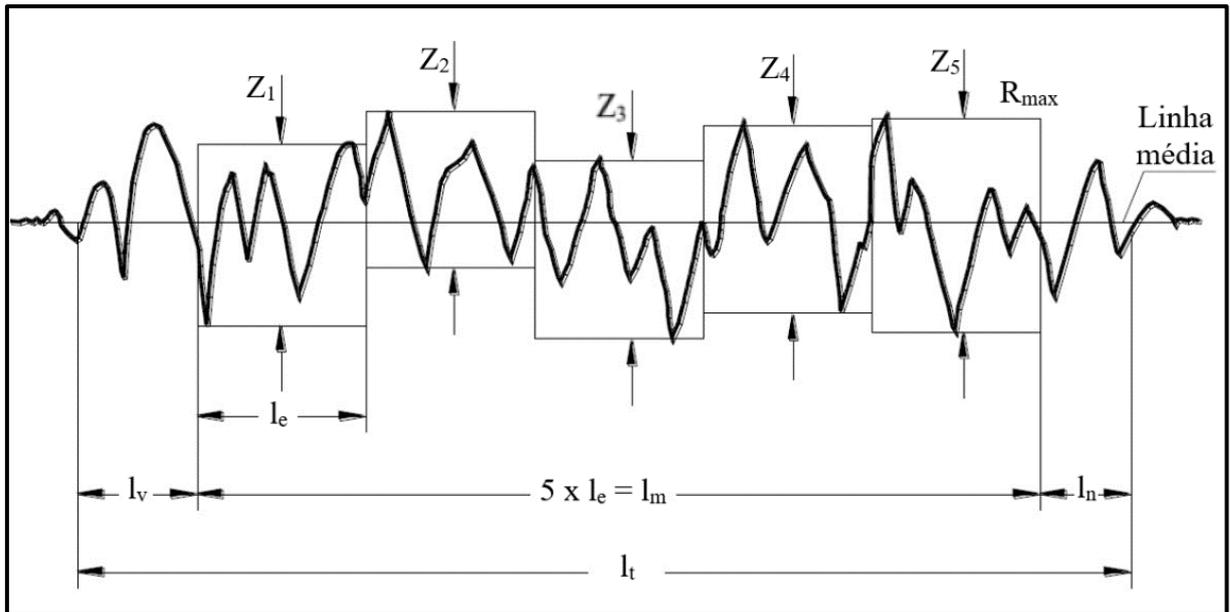


Fonte: Adaptado de Klocke (2017).

### 2.1.5.2 Rugosidade

Para Oliveira (2006), a medição de rugosidade está baseada no critério da linha média, sendo os sistemas de medição divididos em três classes:  $R_a$ ,  $R_z$  e  $R_{max}$ . Os valores são transcritos e registrados de acordo com as oscilações entre desníveis ao longo do percurso (ZEILMANN; CALZA; XAVIER, 2006). Na Figura 11 é exemplificado um perfil de rugosidade.

Figura 11 – Comportamento da rugosidade



Fonte: Adaptado de Klocke (2017).

A partir do perfil de rugosidade apresentado anteriormente, identificam-se alguns pontos principais como:

- $R_a$  é a rugosidade média que representa a média aritmética dos valores absolutos entre os pontos de perfil de rugosidade levando em consideração a linha média, dentro de um comprimento total ( $l_m$ ) determinado;
- $R_z$  é a média aritmética de cinco valores parciais de rugosidade ( $Z_i$ ). Soma-se os valores absolutos dos pontos com maior afastamento, tanto acima como abaixo da linha média ao longo do comprimento; e
- $R_{max}$  ou  $R_y$  representa a distância na vertical entre o pico e o vale, mais alto e mais baixo respectivamente, dentro de um comprimento unitário ( $l_e$ ).

## 2.2 TRATAMENTO DO GUME

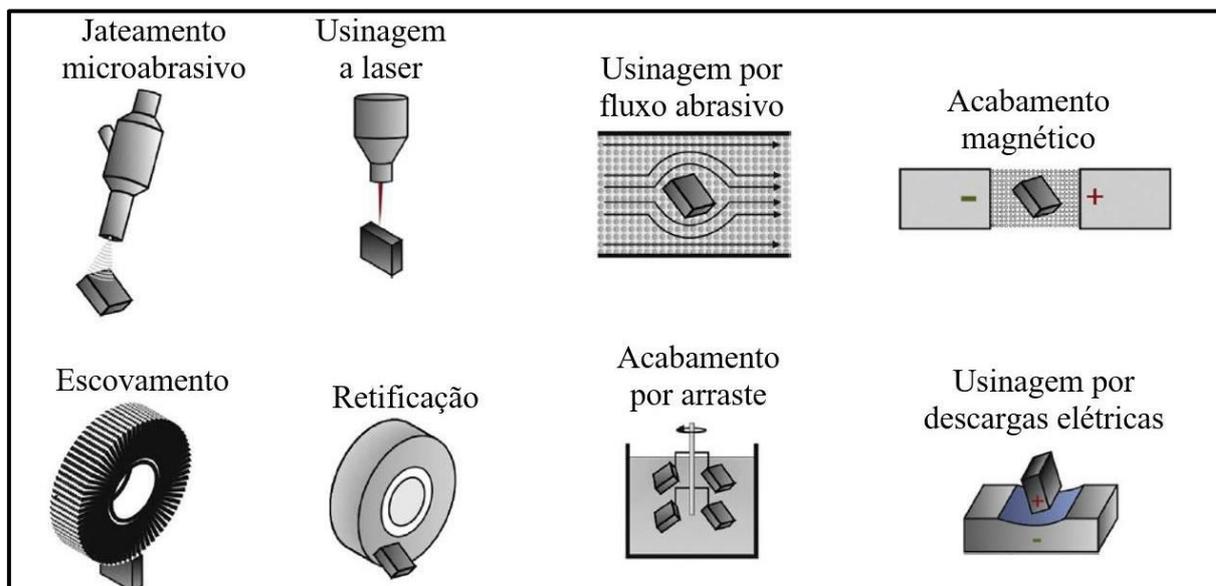
Para uma melhor performance no processo de corte, o gume da ferramenta deve estar ajustado. A escolha adequada dos parâmetros dimensionais regula as temperaturas e forças de corte, afetando diretamente na vida da ferramenta e na qualidade superficial da peça usinada (VENTURA et al., 2016).

Para Rodríguez (2009), o tratamento de gume modifica a microtopografia da ferramenta, mudando sua textura e rugosidade, por conseguinte melhorando sua

atuação. O foco principal é de amenizar lascamentos, criando uma espécie de arredondamento ou chanfro na cunha de corte, deixando o fresamento mais estável (KARPUSCHEWSKI; BYELYAYEV; MAIBORODA, 2009). Um outro fator positivo que o tratamento proporciona é a amenização dos defeitos no gume, aumento da vida útil da ferramenta e um preparo preliminar na superfície da ferramenta para aplicação de algum revestimento (RODRÍGUEZ, 2009).

De acordo com Rech (2005), os processos de tratamento funcionam com diversas fontes de energia, como também, utilizam-se distintas formas para remoção do material. Comumente a energia mecânica é a mais utilizada. Na Figura 12 são apresentadas as principais técnicas para tratamento.

Figura 12 – Técnicas para melhoria do gume



Fonte: Adaptado de Denkena e Biermann (2014).

Após o acabamento, a ferramenta apresenta um arredondamento no gume tornando-a mais resistente aos esforços e desgastes ao comparar com outras não tratadas. O raio do gume caracteriza a distribuição de temperaturas, força de corte, qualidade superficial e a vida da ferramenta. A forma como o cavaco é produzido e expelido também é modificado, mantendo íntegra a peça usinada (RISSE, 2006; BIERMANN; WOLF; ASSMUTH, 2012).

Além das fresas, os insertos para torno também possuem uma espécie de arredondamento capaz de contribuir com a melhora da rugosidade nas peças, sendo que, quanto menor for a rugosidade, melhor será o acabamento superficial. As

pesquisas de Souza e Silva (2017) e Valentim e Silva (2017) mostram que, variando os parâmetros de corte, a rugosidade altera. Foi possível concluir que para um menor avanço, a rugosidade também foi menor, sem grandes influências do raio de ponta, neste estudo.

Nas condições onde a ferramenta apresenta uma dada complexidade no gume, como a situação da fresa de topo, utiliza-se o processo de acabamento por arraste. Desta forma, os dados de entrada podem ser facilmente manipulados para obter uma maior eficiência na aplicação (HRONEK; ZETEK; BAKLA, 2017).

### **2.2.1 Metodologia de acabamento por arraste**

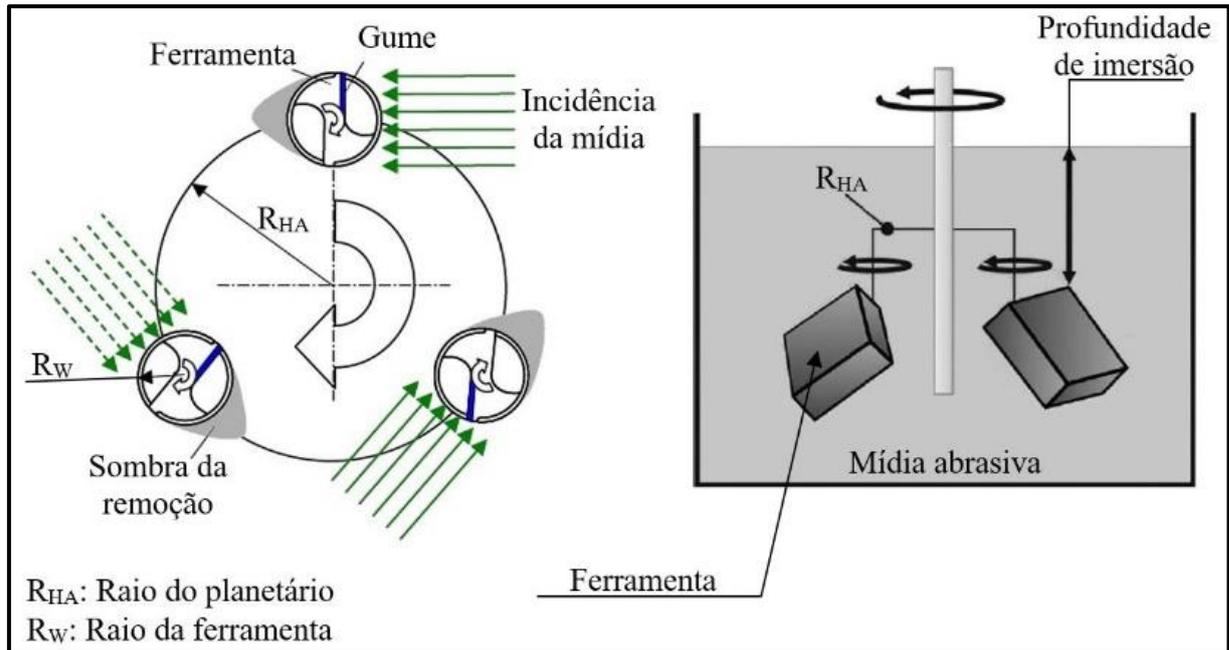
O método de acabamento por arraste está crescendo de forma ascendente nas indústrias. Utiliza-se onde há necessidade de uma maior rastreabilidade nos processos de usinagem, com elevada qualidade superficial, uniformidade nas cargas aplicadas ou um raio bem definido (TIKAL, 2009).

De acordo com Otec (2008), o funcionamento deste processo consiste no mergulho da ferramenta de corte em um meio abrasivo, composto por substâncias cerâmicas e de granulometria conhecida. A ferramenta move-se no meio sob ação direta dos grãos abrasivos.

Conforme Peterka et al. (2020), o tempo de exposição da ferramenta ao abrasivo determina seu acabamento. Observa-se, neste estudo, que nos primeiros instantes os raios de ponta alteravam de forma rápida, para, em seguida, o processo tornar-se linear e mais lento até o fim da análise, atingindo o pico.

Nas máquinas mais modernas, um sistema planetário faz com que a ferramenta gire em torno do seu próprio eixo, enquanto a mesma sofre translação. Com isso, é possível obter uma uniformidade no processo, garantindo um contato dos grãos em todas as áreas da ferramenta (RISSE, 2006). Na Figura 13 é mostrada esta cinemática.

Figura 13 – Funcionamento do processo por arraste



Fonte: Adaptado de Risse (2006).

Este processo é sugerido quando a qualidade superficial é o principal componente a ser levado em consideração, além de propiciar um arredondamento responsável por distribuir melhor as cargas de corte (TIKAL, 2009). Para Bordin (2013), consiste na atenuação das bordas dos gumes e resquíços gerados no processo de revestimento.

### 2.2.2 Mídias abrasivas no acabamento por arraste

As mídias abrasivas possuem papel fundamental de remover material da ferramenta pelo movimento relativo entre as mesmas. Também pode-se identificar a produção de superfície nas peças usinadas (TIKAL, 2009).

Para Ost (2016), é possível identificar que uma mília comercial apresenta três substâncias. Uma delas está relacionada aos componentes de tamanhos e granulometrias homogêneas, um ligante com elevado teor de viscosidade e o abrasivo. Os grãos são responsáveis pelo transporte do abrasivo fazendo-o gerar a carga necessária para remover material. Da mesma forma, as mídias podem ser divididas em diversas classes, levando em consideração sua composição e aplicação. Algumas atuando diretamente na remoção do material como outras produzindo uma superfície com melhor acabamento (OTEC, 2020).

De acordo com o artigo elaborado por Malkorra et al. (2021), o formato do grão abrasivo interfere no processo do arraste. Os abrasivos piramidais são mais propensos a melhorar de forma rápida a rugosidade ao comparados aos esféricos.

Alguns outros tratamentos podem ser observados para identificar materiais que possam atuar como mídias abrasivas no acabamento por arraste. Na proposta elaborada por Patricio (2021) para alterar a faixa de granulometria das cascas de amendoim para fins comparativos a outros trabalhos anteriores, foi possível observar que na situação com os grãos menores, os resultados foram mais homogêneos. Além de regular a rugosidade e textura, o processo resultou numa melhora da qualidade superficial.

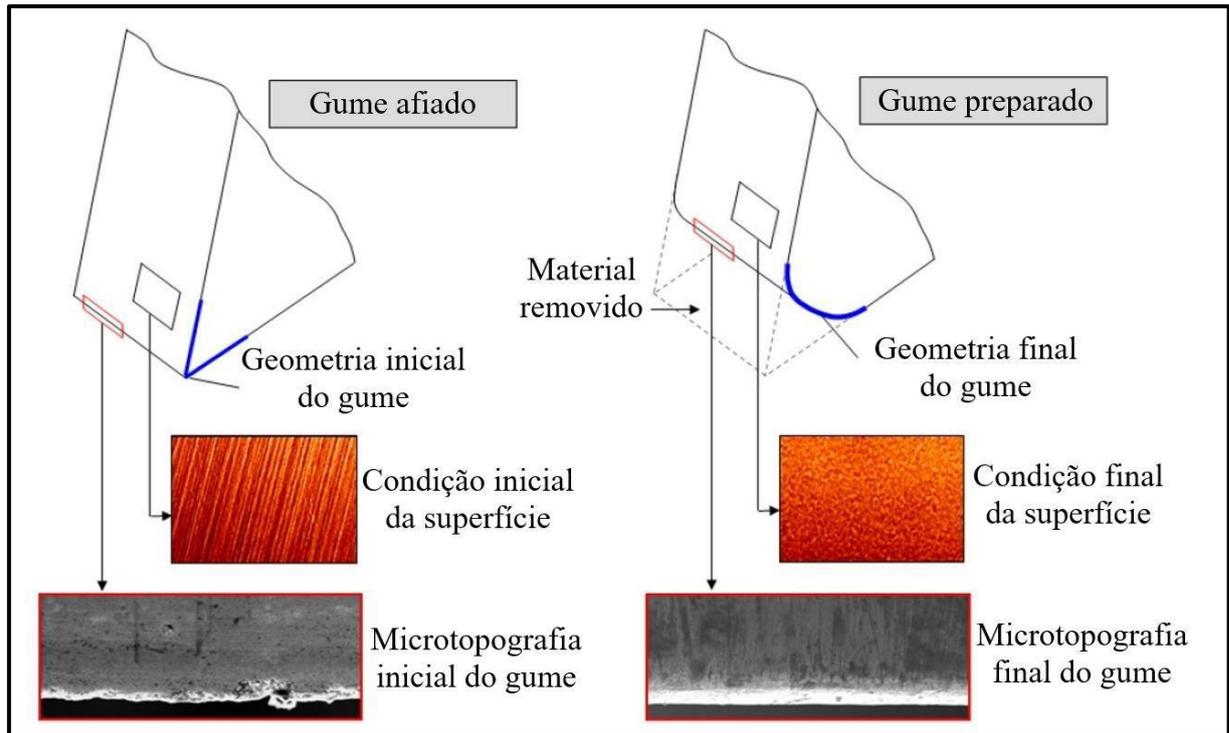
Partindo do estudo de Patricio (2021) com sua base teórica voltada aos trabalhos desenvolvidos por Carrer (2018) e Girardelo (2019), esta proposta objetiva substituir a mídia granulada por serragem de eucalipto cloeziana, com faixa de granulometria controlada. Para fins comparativos são verificadas as condições de uma ferramenta sem tratamento e uma com. Os temas abordados consistem na vida útil da ferramenta, os mecanismos e tipos de desgaste, qualidade superficial e o desempenho como um todo durante o processo de usinagem.

### **2.2.3 Influência do meio abrasivo sobre o gume e desgaste**

No processo de tratamento do gume junto ao meio abrasivo, a ferramenta apresenta nesta região um arredondamento o qual permite aumentar os esforços de usinagem e também reduzir o desgaste comparando com ferramentas não tratadas (RISSE, 2006).

Elevadas temperaturas e forças mecânicas durante o corte resultam no desgaste da ferramenta. A qualidade superficial da peça também é determinada pela geometria do gume da ferramenta. Capaz de alterar os fundamentos da mecânica do corte, o raio do gume afeta as forças, distribuição de temperatura, desgaste e vida útil das ferramentas (RODRÍGUEZ, 2009). O escoamento do cavaco e a forma como é criado sofre sob o efeito do gume com sua geometria definida (BIERMANN; WOLF; ASSMUTH, 2012). Na Figura 14 são mostradas duas ferramentas, uma com gume afiado e outra com o tratamento.

Figura 14 – Gume afiado e preparado



Fonte: Adaptado de Rodríguez (2009).

Quando se opera com baixos avanços como na furação, ou pequenas profundidades de corte, no caso do torneamento e fresamento, ocorre um aumento de sulcamento. Isso acontece quando a maior parte do material dirigido ao gume principal é plasticamente empurrado para os lados, conseqüentemente gerando pequenas rebarbas. Quanto maior for a deflexão e compressão do material da peça causada pelo sulcamento, os efeitos sobre o processo também são maiores (BIERMANN; WOLF; ASSMUTH, 2012).

De acordo com Uhlmann et al. (2014), os quais avaliaram o gume em microfresas, o maior raio de gume testado foi o que apresentou melhores resultados quanto ao desgaste.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordados os temas referentes as ferramentas, máquinas, equipamentos, parâmetros de entrada e saída dos testes. Para efeito de comparação da mídia proposta, todos os ensaios são registrados, levando em consideração os tópicos mais importantes relacionados ao tratamento do gume e conseqüentemente ao desgaste da ferramenta.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Profissionais da área de usinagem constantemente buscam formas para otimizar seus recursos. Neste sentido, avaliar o comportamento das ferramentas para obter maior proveito nos processos é essencial. Além do tratamento do gume, algumas outras técnicas como aplicação de revestimentos em ferramentas para evitar desgastes pré-maturos ou fluidos lubrificantes também são conhecidas.

Dentre os métodos conhecidos, está o acabamento por arraste. Tratar a superfície garante efeitos positivos nos aspectos de redução do desgaste, na obtenção de uma rugosidade mais uniforme, precisão dimensional, reduz vazamentos onde há superfícies de vedação e aumento na velocidade de corte. No processo podem ser destacados o ganho em tempo de trabalho, aumento da vida útil da ferramenta, conseqüentemente redução no número de trocas indesejadas, entre outros.

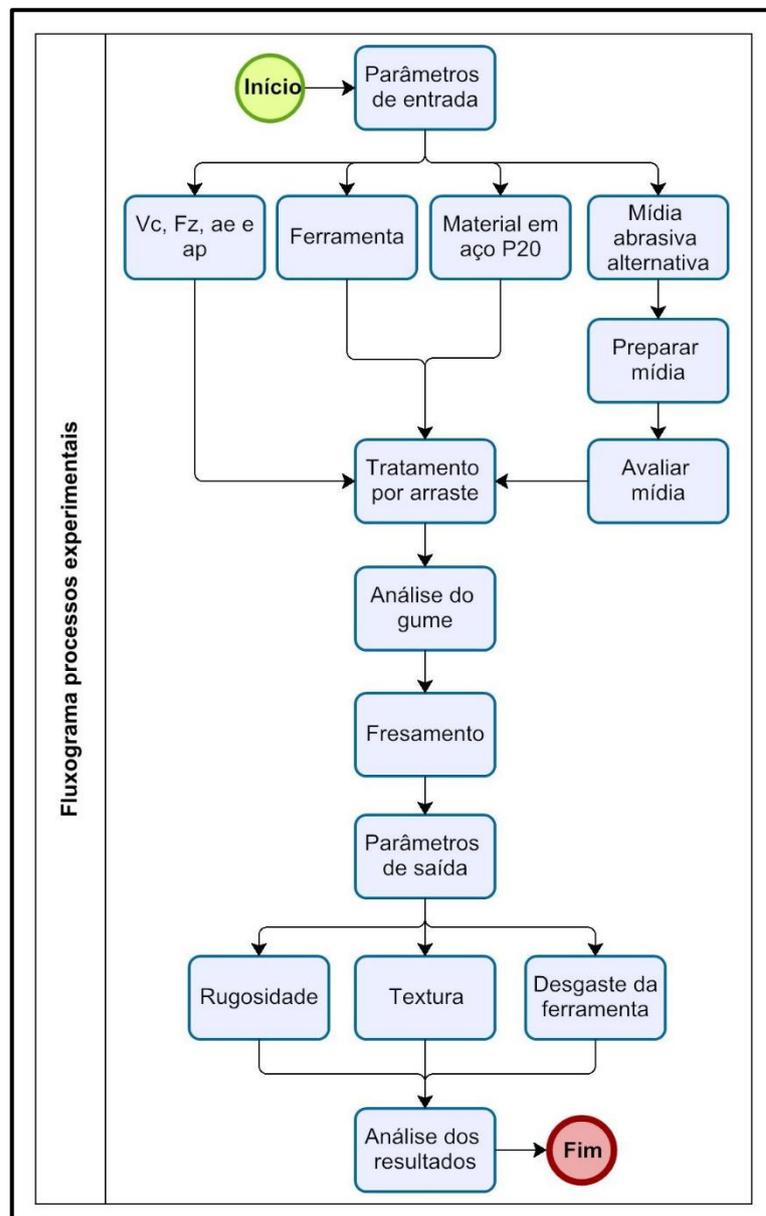
No Brasil, percebe-se que há poucas iniciativas visando operacionalizar este método. Uma possibilidade é o fato do portfólio de ferramentas ser vasto, existindo no mercado inúmeras ofertas, das mais baratas até mais caras, importadas ou fabricadas na região. Outro fato é a forma de obtenção dos abrasivos, que por sua vez e, em grande parte dos casos, são importados sujeito a tributações exclusivas tornando-o financeiramente inviável.

Diante das informações, este estudo objetiva explorar mídias alternativas de fácil obtenção e de origem nacional, no que engloba benefícios na assistência técnica, custo e comercialização. Do ponto de vista acadêmico, a proposta agregará mais conteúdo para ser acessado por quaisquer que sejam as partes interessadas. Neste aspecto, os assuntos poderão contribuir para que este mercado seja mais difundido e investigado.

### 3.2 PLANO EXPERIMENTAL

Fundamentada na proposta realizada por Patricio (2021), com objetivo de justificar o uso de uma mídia alternativa de fácil obtenção, este trabalho visa substituir as cascas de amendoim pela serragem de eucalipto. Todo processo experimental é acompanhado por profissionais da UCS e os dados extraídos servem para levantar os benefícios do uso da serragem como mídia. Para mensurar os efeitos desta substituição, foi elaborado um fluxograma descrevendo as etapas experimentais. Na Figura 15 são apresentadas estas etapas.

Figura 15 – Fluxograma dos processos experimentais



Fonte: O autor (2022).

Com os parâmetros de entrada definidos, em paralelo irá ocorrer a preparação da mília. O tratamento por arraste ocorre por meio de um programa numérico em uma fresadora da própria instituição e localizada no laboratório de usinagem. Antes de submeter a ferramenta no processo de fresamento, o gume é analisado. Para análise dos resultados são avaliados principalmente duas características no corpo de prova como a rugosidade e textura. Já para a ferramenta, a análise será no desgaste.

### **3.2.1 Parâmetros de entrada**

Para comparar a nova mília com outras comerciais e já estudadas, os parâmetros de entrada são os mesmos adotados por Patricio (2021) e constantes ao longo de todo o experimento. A partir das literaturas de Stemmer (2005) e Ost (2016), os valores adotados foram de velocidade de corte ( $V_c$ ) em 180 m/min, avanço por gume ( $F_z$ ) de 0,06 mm/gume, profundidade de corte axial ( $a_p$ ) de 0,5 mm, profundidade de corte radial ( $a_e$ ) de 0,2 mm e passe a ser definido, conforme disponibilidade do corpo de prova. Estes parâmetros são responsáveis pelo resultado final.

A usinagem é do tipo concordante de topo, sendo o avanço da peça e a rotação da ferramenta no mesmo sentido. Não haverá nenhum fluido lubrificante descartando qualquer meio que possa interferir nos efeitos do desgaste.

A mília é constituída por serragem de eucalipto cloeziana com granulometria na faixa de 0,841 mm até 1,410 mm como granulado, carbeto de silício (SiC) de granulometria 0,177 mm como abrasivo e óleo representando o material ligante. Para evitar qualquer alteração nas propriedades do granulado, o mesmo passou por secagem durante 24 horas antes do início do processo, eliminando toda a umidade existente. As condições de afiação e raio do gume da ferramenta estão relacionadas aos tamanhos dos grãos. Demais itens como a ferramenta e o corpo de prova, são tratados nos itens 3.2.3 e 3.2.4.

### **3.2.2 Parâmetros de saída**

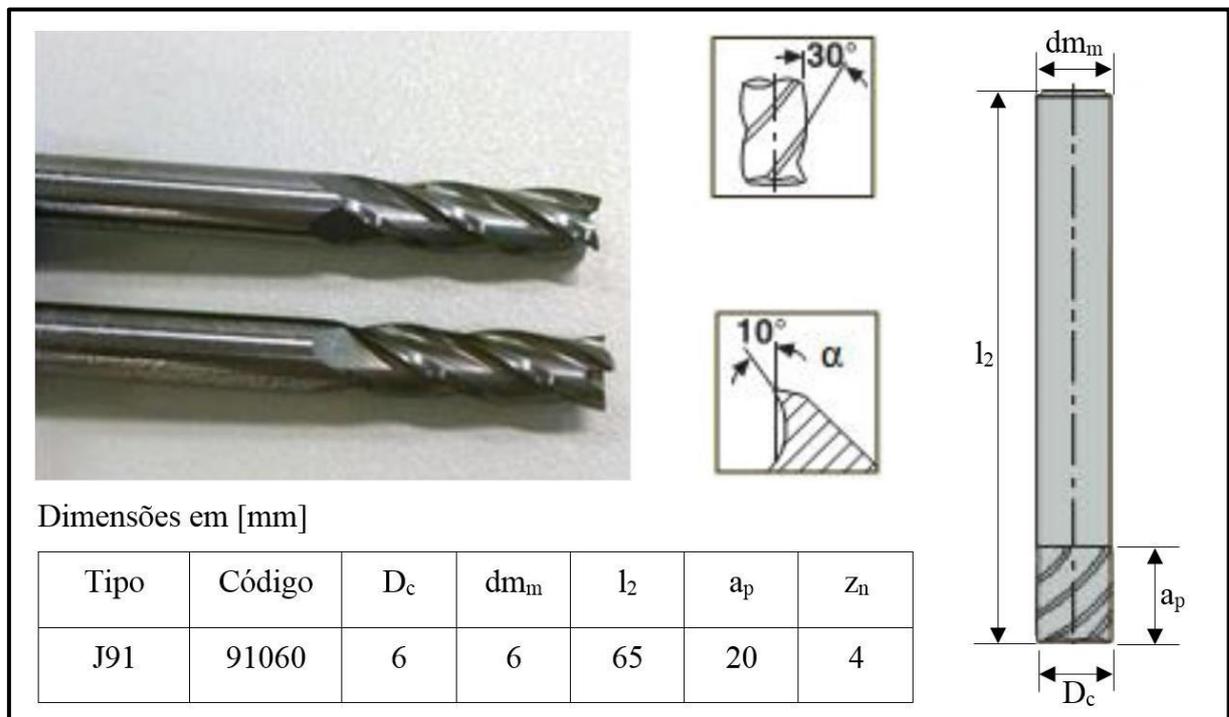
Os parâmetros analisados no fim dos testes são a rugosidade, textura e desgaste. Os critérios adotados na rugosidade consistem no  $R_a$ ,  $R_z$  e  $R_{max}$  que são medidos no início e fim de vida da ferramenta.

Cabe destacar que há diversos critérios para caracterizar o fim de vida da ferramenta. Neste estudo foram considerados o desgaste de flanco máximo ( $VB_{max}$ ) de 0,2 mm, ou lascamento, que é medido a aproximadamente 5 m de usinagem.

### 3.2.3 Ferramentas

Para realização dos ensaios são utilizadas fresas de metal duro com diâmetro de 6 mm e composta por quatro gumes em cada uma. De propriedade da Seco Tools, as ferramentas possuem referência 91060 e são da linha Jabro. São isentas de revestimentos e raio de quina, apresentando afiação e geometria original de fábrica. Antes de serem submetidas aos tratamentos, considera-se a reafiação na empresa Secta Tools. Este processo garante a eliminação dos processos anteriores e existentes na ferramenta, para posteriormente como uma nova afiação manter os raios e ângulos originais da ferramenta. Na Figura 16 são apresentadas as características e modelo de fresa a ser utilizado.

Figura 16 – Fresa de topo em metal duro



Fonte: Adaptado de Ost (2016).

### **3.2.4 Máquinas e equipamentos**

A secagem do granulado ocorreu em uma estufa com circulação e renovação de ar modelo TE-394/2-MP, da marca Tecnal.

Para misturar o granulado, abrasivo e óleo utilizou-se o misturador planetário do laboratório de polímeros da UCS. Nas análises do tratamento por arraste e usinagem utilizou-se um estereoscópico trinocular da marca Entex, modelo TNE-10B com ampliação de 7 a 45 vezes, identificando possíveis negligências. As medições foram obtidas através do programa ScopePhoto vinculado ao estereoscópico. Os experimentos são realizados no LNTP, com localidade no bloco D. O processo de fresamento ocorreu em um centro de usinagem LG-500, da marca Hartford. O mesmo apresenta rotação de 10.000 rpm e uma potência máxima de 10 kW.

Para medir rugosidade foi utilizado um rugosímetro modelo SJ-301 da marca Mitutoyo. Possui resolução na casa de 0,01  $\mu\text{m}$  e raio de ponta de 5  $\mu\text{m}$ , além do apalpador de diamante. A textura será obtida usando um estereoscópico trinocular universal da marca Entex e modelo TNE-10B.

### **3.2.5 Corpo de prova**

O corpo de prova disponibilizado para os testes é constituído do material aço P20 com dureza na faixa de 35 a 40 na escala Rockwell. O bloco apresenta dimensões de 40 mm x 80 mm x 252 mm e faces retificadas permitindo uma melhor planicidade e acoplamento das garras de fixação. As análises ocorrerão em dois momentos, sendo o primeiro no início da operação e o outro no fim de vida da ferramenta.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são abordados os resultados provenientes do acabamento por arraste nas fresas escolhidas e suas respectivas operações de usinagem. Os ensaios seguem uma sequência começando pela escolha e reafiação das fresas na empresa especializada. Após, obteve-se a mídia seguindo os materiais didáticos correlacionados aos outros trabalhos acadêmicos na área. Depois de analisada a qualidade da mídia, as fresas tratadas pelo acabamento foram submetidas a operações de usinagem, a fim de obter dados para rugosidade e textura da peça usinada, desgaste e os meios influentes para atingir o critério de fim de vida.

### 4.1 PREPARAÇÃO DA MÍDIA

A serragem de eucalipto possui um tamanho de grão não homogêneo. Desta forma, para obter as malhas desejadas foi utilizada base vibratória constituída de duas peneiras com malhas 14 e 20 para garantir o granulado na faixa de 0,841 mm até 1,410 mm. O carbeta de silício foi adquirido com grãos já definidos no tamanho de 0,177 mm.

Com o granulado e abrasivo classificados, colocou-se o granulado em um recipiente e 1 ml do óleo adesivo misturando-os através do equipamento planetário durante 10 minutos. Após, adicionou-se mais 1 ml do óleo misturando por volta de 10 minutos. A terceira etapa foi marcada pela adição da metade de quantidade calculada para o abrasivo misturando por 5 minutos. Por fim, adicionou-se o restante de abrasivo misturando por mais 5 minutos, totalizando um tempo de processo de 30 minutos.

#### 4.1.1 Caracterização da mídia

Os objetivos dos testes práticos consistem na realização de acabamento por arraste em duas fresas, uma mais a réplica. A mídia foi preparada com volume adequado para ambos, sendo que para cada processo, ela foi substituída por uma nova na mesma condição inicial para uso.

Com responsabilidade de unir o granulado e abrasivo, o uso do óleo deve ser rigorosamente controlado. A quantidade insuficiente de óleo faz com que os grãos sejam impedidos de serem envolvidos pelo abrasivo. Pelo contrário, a quantidade de

óleo em excesso torna a mistura pastosa dificultando sua fluidez junto aos gumes da ferramenta. Na Figura 17 é apresentada a imagem da mília na escala de 7 vezes.

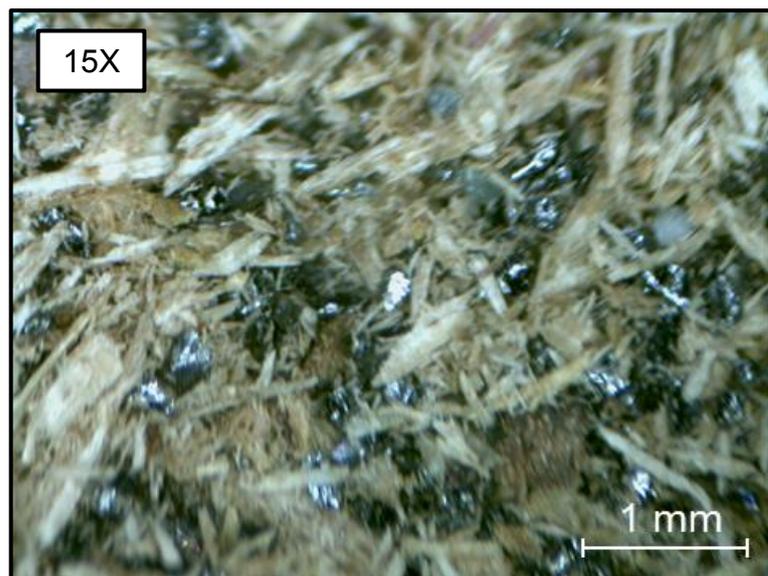
Figura 17 – Mília preparada escala 7 vezes



Fonte: O autor (2022).

Para uma análise com maiores detalhes, a imagem também foi registrada na escala de 15 vezes apresentada na Figura 18.

Figura 18 – Mília preparada escala 15 vezes



Fonte: O autor (2022).

Em ambas as figuras foi possível observar com destaque as fibras maiores da madeira. Já para os grãos menores observa-se maior homogeneidade junto ao carvão, uma vez que suas granulometrias são mais próximas. A influência no acabamento está vinculada aos grãos com formas definidas, ou seja, quanto mais definido geometricamente e no tamanho for o grão, melhor será o acabamento.

#### 4.2 ACABAMENTO POR ARRASTE

O acabamento por arraste seguiu os dados mencionados no capítulo 3.2.1 adequando-os aos parâmetros de máquina. A velocidade de rotação da fresa foi de 265 rpm, numa velocidade constante de avanço máquina em 8 m/min (raio de percurso de 33 mm), no sentido horário da ferramenta em relação a mesa durante 10 minutos. Na Figura 19 é apresentado o esquema de montagem da fresa em relação ao recipiente contendo a mília.

Figura 19 – Esquema de montagem fresa e mília



Fonte: O autor (2022).

#### 4.2.1 Caracterização das ferramentas

As fresas escolhidas para este desenvolvimento possuem identificações no seu corpo como A8 e B12. Na Tabela 1 são apresentadas as relações da fresa, mídia e granulometria.

Tabela 1 – Relação das ferramentas analisadas

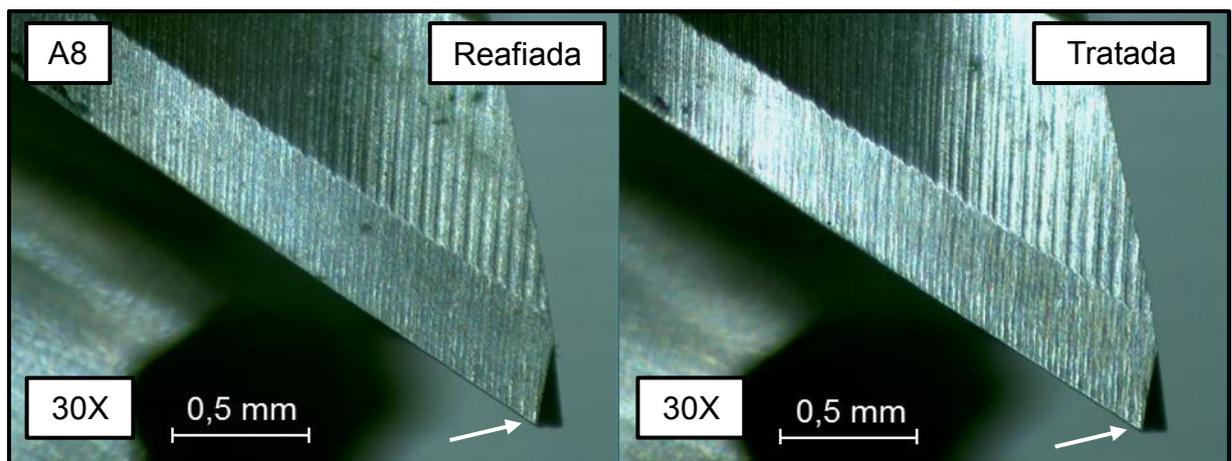
Fresa	Mídia	Granulometria
A8	SiC + serragem eucalipto + óleo	0,177 mm até 1,410 mm
B12	SiC + serragem eucalipto + óleo	0,177 mm até 1,410 mm

Fonte: O autor (2022).

Com auxílio do estereoscópio ótico na ampliação de 30 vezes, observou-se as fresas reafiadas e tratadas. Ambas foram cuidadosamente posicionadas ao alcance da lente e ancoradas no porta pinças numa medida segura de 25 mm de comprimento.

O objetivo desta verificação é de certificar que as mesmas estejam livres de qualquer irregularidade como trincas, mas também, observar o efeito do acabamento por arraste sobre a ferramenta. Na Figura 20 é apresentada a fresa A8 com e sem acabamento.

Figura 20 – Fresa A8 com e sem acabamento



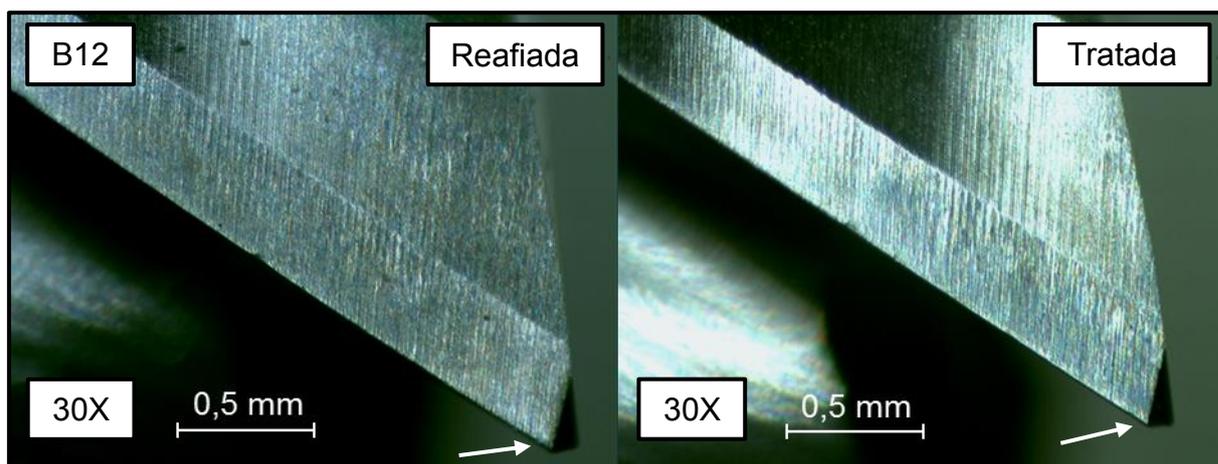
Fonte: O autor (2022).

Para a fresa A8 não foi possível observar claramente a influência do acabamento. Na extremidade do gume apontada pela seta não pode ser observado o

arredondamento proveniente do contato com abrasivo e também o comportamento ao longo da face reafiada.

Para a fresa B12 também não foi possível diagnosticar este arredondamento. Na Figura 21 são apresentadas as imagens da fresa B12 com e sem acabamento.

Figura 21 – Fresa B12 com e sem acabamento



Fonte: O autor (2022).

A partir das imagens conclui-se que os processos de acabamento não foram tão eficientes quanto desejado. Uma das causas está relacionada aos formatos não definidos dos grãos da madeira por mais que todos passassem pelo processo de classificação durante peneiramento. Outra está relacionada a manutenção do seu formato e na resistência ao choque com a ferramenta, ao compará-la com a mídia comercial OTEC HSC 1/300 onde a mesma a cada passagem da ferramenta renova a camada abrasiva e não quebra com facilidade.

Antes de iniciar o processo de usinagem, foram coletadas as medidas de batimento de ambas as fresas. Eles representam a sensibilidade das variações para os quatro gumes de cada uma, a partir de um padrão inicial definido como primeiro gume. Os sinais positivos e negativos indicam a orientação do contato, maior ou menor em relação ao padrão. Sendo assim, a maior variação ocorreu no gume dois da fresa A8, enquanto a menor variação esteve presente em ambas fresas nos gumes 4 e 3. Estas informações são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Batimento das fresas

<b>Gume</b>	<b>Fresa A8 [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Fresa B12 [<math>\mu\text{m}</math>]</b>
1º	0	0
2º	-15	10
3º	-9	2
4º	2	-3

Fonte: O autor (2022).

### 4.3 DESGASTE DA FERRAMENTA

As ferramentas foram medidas considerando o desgaste de flanco máximo, sendo este, o critério adotado para definir o fim de vida. Os dados foram coletados a cada 5 m de usinagem onde foi possível gerar curvas representando os resultados perante o desgaste das ferramentas submetidas ao processo.

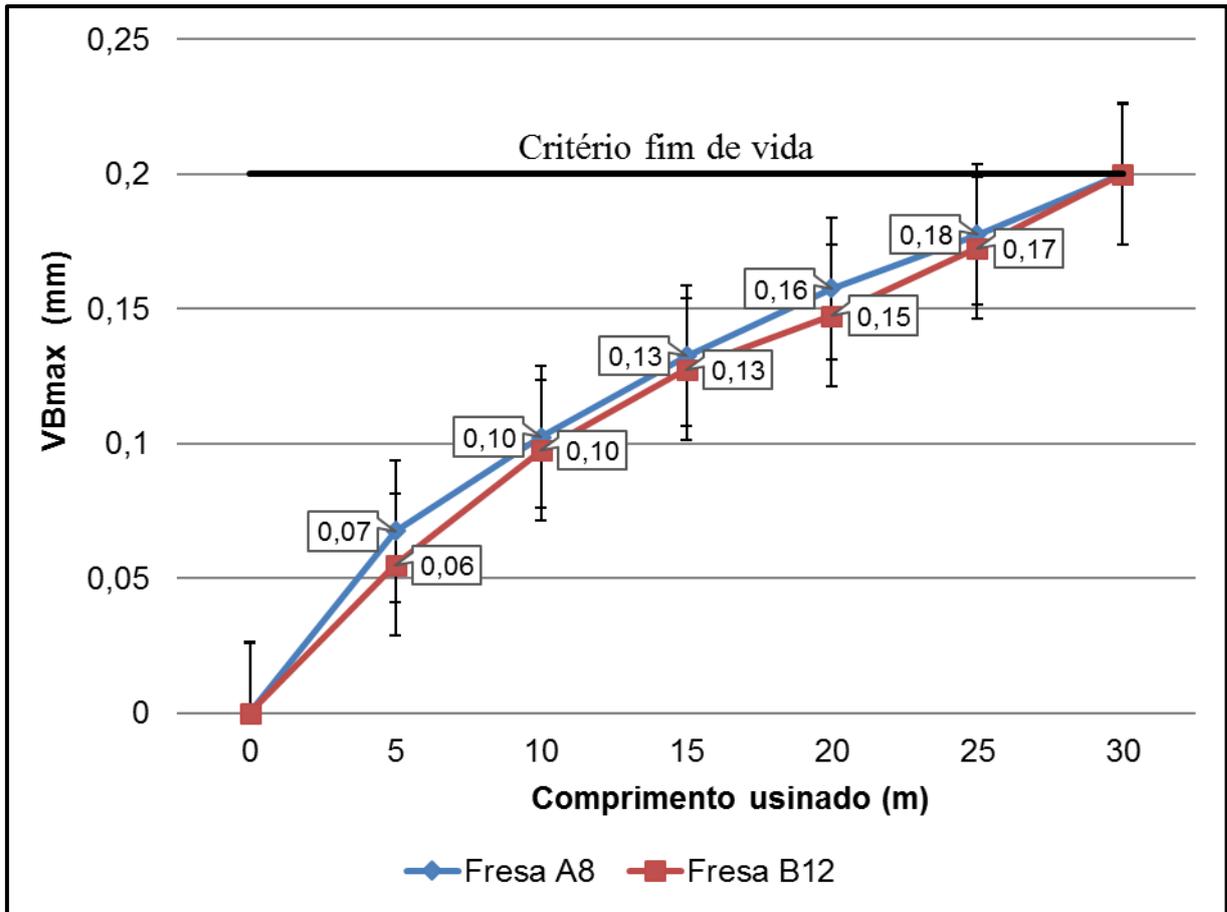
#### 4.3.1 Curva de comportamento do desgaste

De acordo com os dados coletados, foi possível gerar um gráfico representando o comportamento de ambas as fresas até atingir o critério de fim de vida. Para confrontar os resultados a outros trabalhos realizados, as variáveis adotadas nos ensaios são semelhantes.

Para obter os dados, as medidas de desgaste foram coletadas para ambas fresas conforme paradas definidas. Com a informação de comprimento usinado e desgaste, foram construídas duas curvas representando o comportamento de cada ferramenta ao longo do processo.

Como um dos objetivos deste trabalho é de fornecer condições para comparar aos outros estudos nesta área, as variáveis de entrada foram submetidas às mesmas condições. Na Figura 22 são apresentadas as curvas para fresa A8 e B12 até atingirem o critério de fim de vida.

Figura 22 – Gráfico comportamento do desgaste

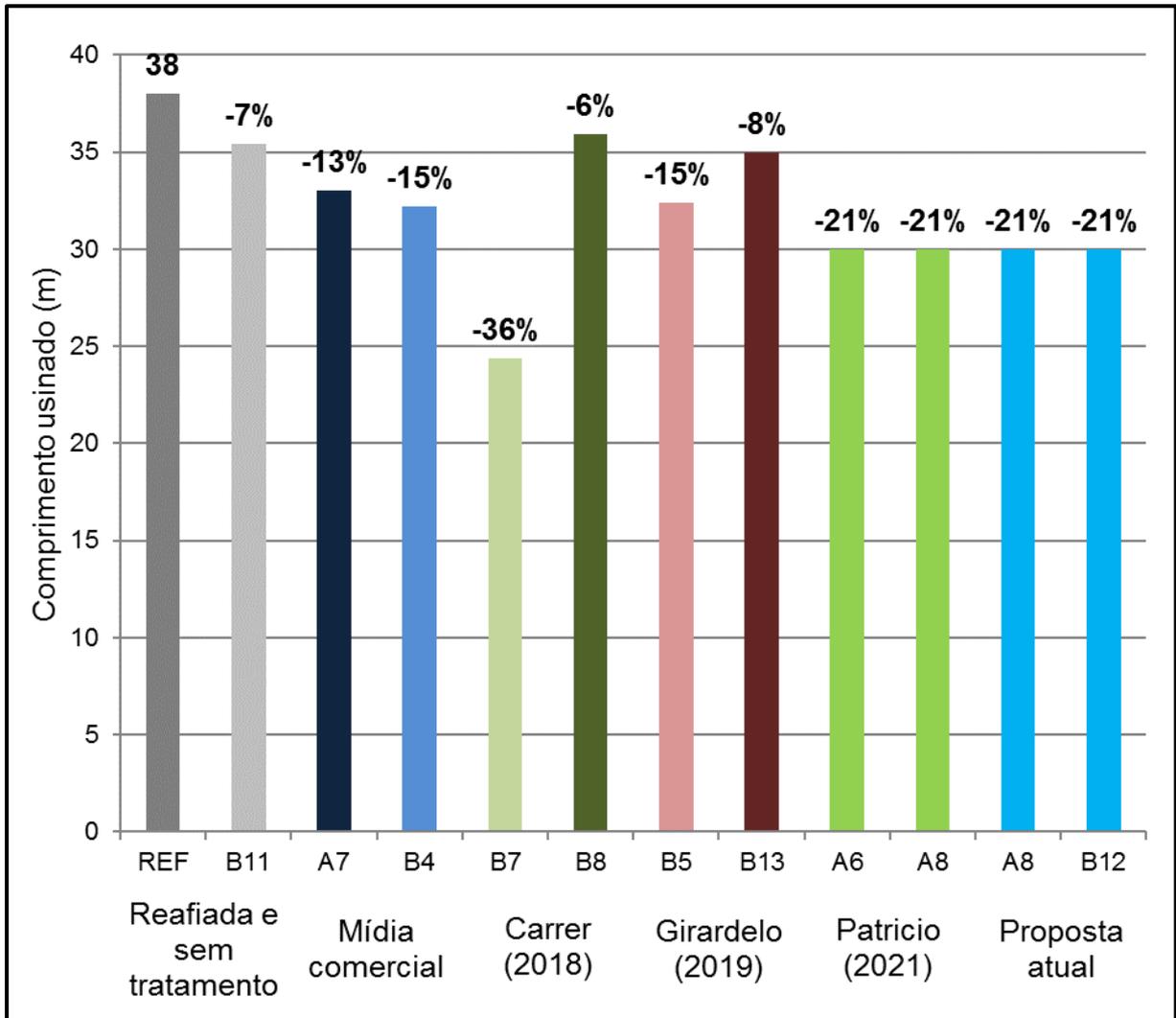


Fonte: O autor (2022).

No gráfico está representado para cada ponto a dispersão dos valores. Ela representa a média do desgaste máximo do flanco para os quatro gumes da fresa a cada parada da usinagem. Na primeira medição, onde acontece o ajuste dos gumes, as fresas apresentaram diferentes desgastes. Após pode-se perceber uma linearidade no desgaste até atingir o critério de fim de vida definido.

Diante dos resultados, foi possível compará-los a outros trabalhos. Com referência a uma fresa reafiada sem tratamento e posteriormente a utilização da mídia comercial OTEC HSC 1/300, a proposta de Carrer (2018) apresentou reduções percentuais de 6% e 36% sobre o comprimento de usinagem. Já no estudo de Girardelo (2019) os números atingiram marcas de 8% e 15% abaixo da referência. Ambas fresas relacionadas a este estudo atingiram fim de vida aos 30 m de usinagem, número similar ao trabalho acadêmico realizado por Patricio (2021). Na Figura 23 são apresentados os comparativos de comprimento usinado para as fresas a referências dos resultados.

Figura 23 – Comprimento usinado por proposta



Fonte: O autor (2022).

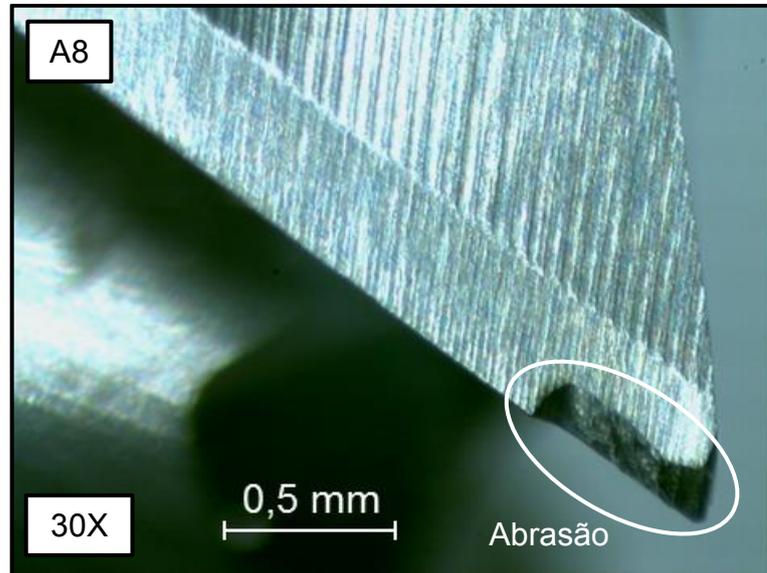
Com o gráfico comparativo conclui-se que nenhuma das demais propostas atingiram resultados de comprimento usinado próximos à referência. Apesar dos parâmetros utilizados serem iguais, cada mídia possui propriedade específica durante exposição ao acabamento por arraste. Os resultados desta proposta foram conforme esperados, visto que a referência se sobressai as todas demais.

#### 4.3.2 Mecanismos de desgaste

Com a realização dos ensaios, foi possível observar os mecanismos de desgaste predominantes. A abrasão ocorre em rápidas velocidades de corte e foi

responsável pelo aumento contínuo do desgaste de flanco nas duas ferramentas. Na Figura 24, é possível observar as marcas da abrasão na fresa A8.

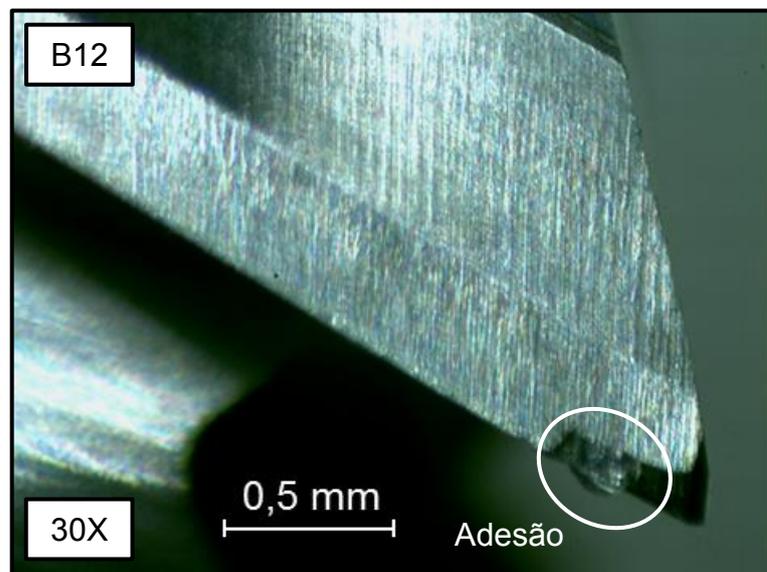
Figura 24 – Abrasão na fresa A8



Fonte: O autor (2022).

Outro mecanismo de desgaste foi a adesão. No contato da ferramenta e peça, o tempo de exposição e afinidade do processo fez com que as superfícies aderissem entre si. O resultado é a presença de regiões ásperas e irregulares. Na Figura 25 é apresentada a adesão ocorrida na fresa B12.

Figura 25 – Adesão na fresa B12



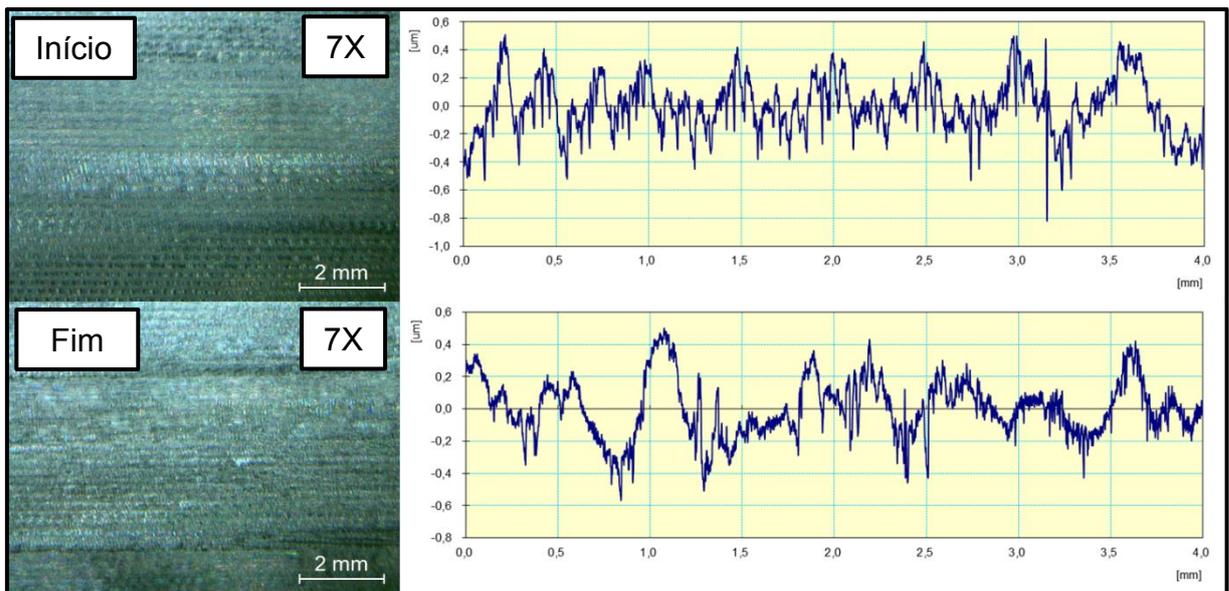
Fonte: O autor (2022).

#### 4.4 TEXTURA E RUGOSIDADE DA PEÇA

A avaliação de textura e rugosidade da peça usinada foi coletada no início e no fim do critério de fim de vida da ferramenta. Os valores de  $R_a$ ,  $R_z$  e  $R_{max}$  em micrometros foram fornecidos pelo rugosímetro e a análise de textura pelas imagens e perfis de rugosidade.

Na Figura 26 são apresentadas as imagens e perfis de rugosidade da fresa A8 no início e fim da usinagem. É possível observar a presença de marcas provenientes do avanço da ferramenta e também uma continuidade no perfil de rugosidade. No fim, as marcas são descontínuas e o perfil não segue um padrão de repetição. Este comportamento representa a influência do desgaste nos gumes, na qualidade e acabamento da superfície usinada.

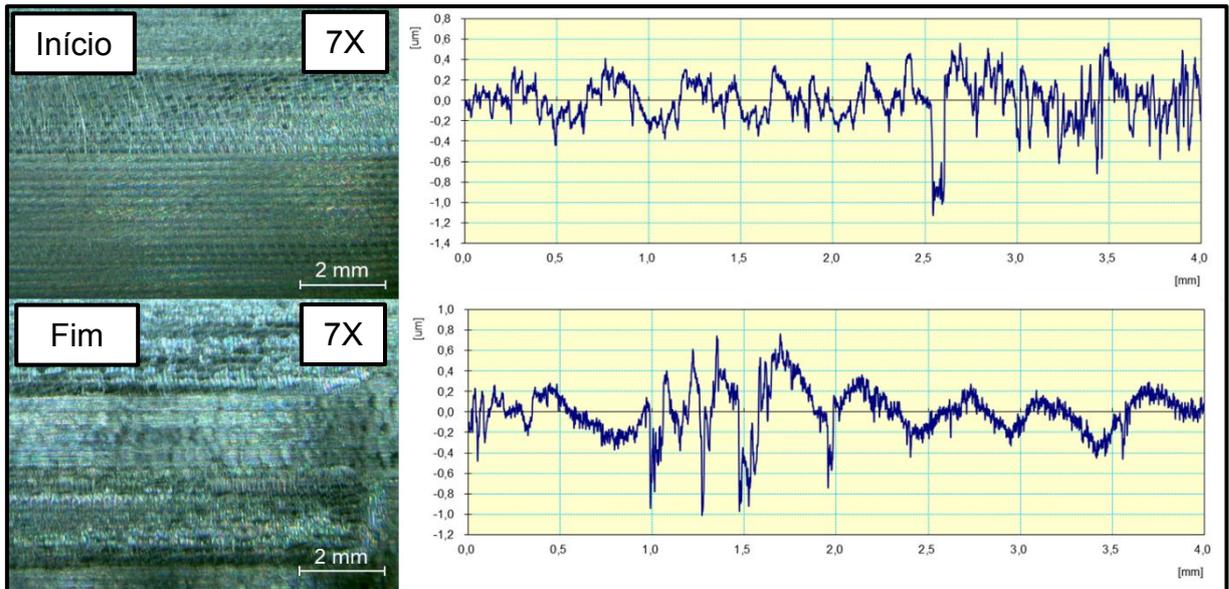
Figura 26 – Textura e perfil de rugosidade da fresa A8



Fonte: O autor (2022).

Na Figura 27 são apresentados os dados para a fresa B12. Da mesma forma, no início da usinagem a superfície apresenta maior uniformidade o que pode ser facilmente notado na imagem e perfil de rugosidade. Já no final, é possível perceber gradativamente algumas marcas do passe da ferramenta e oscilação no perfil de rugosidade.

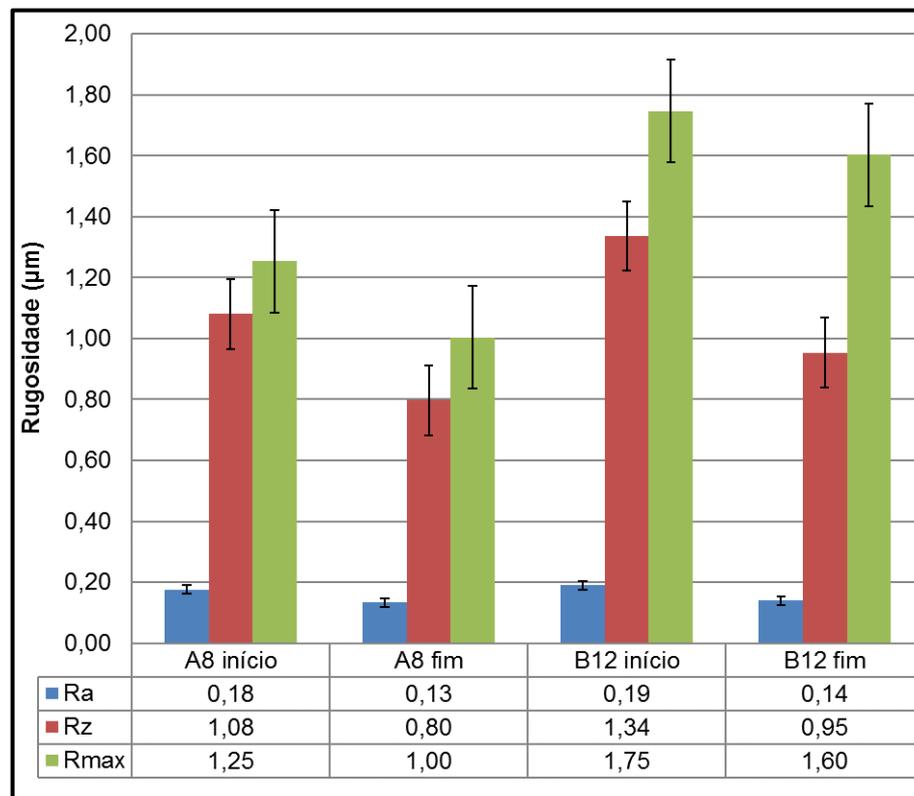
Figura 27 – Textura e perfil de rugosidade da fresa B12



Fonte: O autor (2022).

Na Figura 28 são apresentados os gráficos com as incertezas das medições para as fresas A8 e B12. Os valores são dados na forma média de três medições no início e fim da superfície usinada.

Figura 28 – Rugosidade para início e fim de vida das fresas

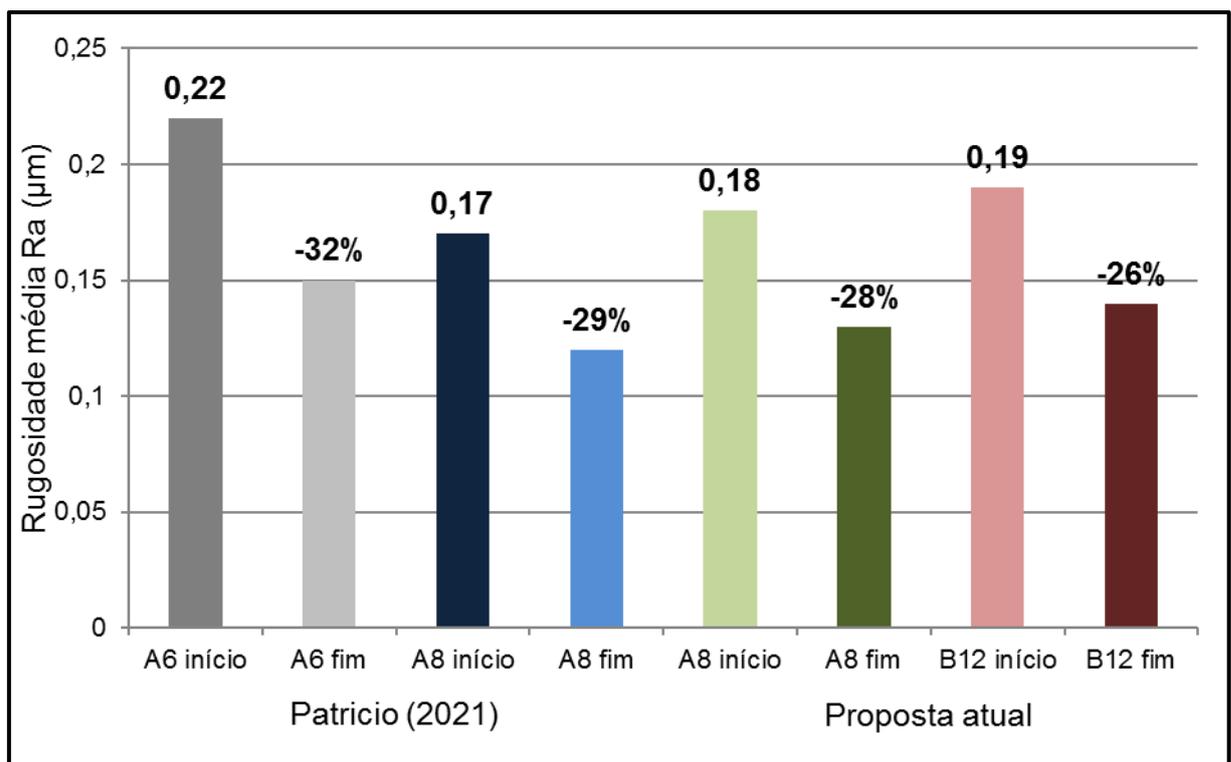


Fonte: O autor (2022).

A maior dispersão ocorreu para o  $R_{max}$ , enquanto que a menor foi para  $R_a$ . Isso ocorre devido ao  $R_{max}$  ser a dimensão entre o pico mais alto e vale mais profundo. No início do processo os gumes estão sujeitos aos ajustes de usinagem devido ao primeiro contato com a peça usinada, portanto os valores de rugosidade foram mais altos do que ao fim do processo.

Da mesma forma que o desgaste, com os resultados da rugosidade foi possível compará-los aos outros trabalhos. Para o início de vida das fresas A8 e B12, as rugosidades médias foram de  $0,18 \mu\text{m}$  e  $0,19 \mu\text{m}$ . Conforme Patricio (2021), os valores encontrados foram de  $0,22 \mu\text{m}$  e  $0,17 \mu\text{m}$  respectivamente. Já para o fim de vida, as rugosidades foram de  $0,13 \mu\text{m}$  e  $0,14 \mu\text{m}$ , enquanto que, na proposta de Patricio (2021) os resultados foram de  $0,15 \mu\text{m}$  e  $0,12 \mu\text{m}$ . Este comparativo é melhor apresentado na Figura 29.

Figura 29 – Rugosidade média por proposta



Fonte: O autor (2022).

## 5 CONCLUSÃO

O resultado deste trabalho possibilitou uma melhor compreensão da influência do acabamento por arraste em usinagem. A composição da mídia com carbeto de silício e serragem de eucalipto provou que é possível obter ganhos na qualidade superficial e durabilidade da ferramenta. Do ponto de vista acadêmico, o composto foi incorporado na lista de materiais a serem explorados possibilitando futuras análises em comparação aos resultados.

Com a análise qualitativa da textura da superfície usinada, foi possível identificar benefícios utilizando fresas tratadas. Regiões mais uniformes e homogêneas por maiores comprimentos de usinagem, valores de rugosidade e perfis com curvas seguindo uma sequência de repetições são responsáveis por produzir uma superfície com elevado padrão de qualidade. Nas fresas, o acabamento por arraste provocou um leve arredondamento nos gumes, tornando-o menos agressivo na região cortante aumentando a resistência e conseqüentemente reduzindo o desgaste.

O comportamento do desgaste foi similar em ambas fresas, visto que, o processo aplicado é o mesmo. Os mecanismos de desgaste consistiram na abrasão e adesão, fazendo com que a curva de fim de vida convergisse ao flanco máximo no comprimento de usinagem de 30 m. Foi possível identificar que na fresa B12 a adesão esteve mais presente, na condição de que três dos quatro gumes sofreram devido a este mecanismo.

Na busca da otimização do processo como um todo, alterar os parâmetros de entrada como velocidade de corte e avanço por gume podem contribuir para obter melhores resultados. Outra possibilidade a ser explorada é a regulagem da quantidade necessária do granulado em relação ao abrasivo, visto que, ambos apresentam diferentes geometrias e afinidade em meio ao óleo viscoso.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, R. C.; OLIVEIRA, A. L. C.; CARRASCO, E. V. M. **Propriedades Físicas da Madeira de Eucalyptus cloeziana F. Muell.** 2017. 7 p. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte/MG, Brasil, 2017.
- 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.
- BET, L. **Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas ópticas tipo seguidor.** 1999. 243 f. Tese (Doutorado) - Curso de 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.
- 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, 128 p., 2013.
- CARRER, M. **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. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.
- CHE-HARON, C. H.; JAWAID, A. The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti–6% Al–4% V. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 166:2, p. 188-192, 2005.
- DENKENA, B.; BIERMANN, D. **Cutting edge geometries.** *Cirp Annals*, [s.l.], v. 63, n. 2, p.631-653, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2014.05.009>.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais.** MM Editora. 1999.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais.** São Paulo: E. Blucher, 3v, 1970.
- GIRARDELO, R. **Influência do tratamento do gume por arraste sobre a vida da ferramenta e a qualidade superficial no fresamento do aço P20.** 2019. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019.
- HRONEK, O.; ZETEK, M.; BAKLA, T. The Immersion Depth Influences on Cutting Edge Radius During Drag Finishing. **Proceedings Of The 28th Daaam International Symposium**, Vienna, Austria, p. 1030-1036, jan. 2017.

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.

KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren I: Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide**. 9. ed. Berlin, Germany: Springer Vieweg, 2017. 682 p.

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.

MALKORRA, I.; SOULI, H.; SALVATORE, F.; ARRAZOLA, P.; RECH, J.; CICI, M.; MATHIS, A.; ROLET, J. **Modeling of Drag Finishing - Influence of Abrasive Media Shape**. J. Manuf. Mater. Process. 2021, 5, 41. <https://doi.org/10.3390/jmmp5020041>

MENDES, A. A. A. **Estudo de processo de retificação aplicado à recuperação de placas de molde de máquinas de lingotamento contínuo de placas de aço**. 2011. 101 f. TCC (pós-graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2011.

OLIVEIRA, J. M. **Caracterização da Integridade de Superfícies Usinadas para produção de moldes e matrizes**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 110 p., 2006.

OST, C. A. **Análise da qualidade superficial no fresamento de aço P20 com diferentes tratamentos de ferramentas e condições de lubrificação**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, RS, 103 p., 2016.

OTEC PRÄZISIONSFINISH GMBH (Alemanha). **HSC Granulates**. 2018. Disponível em: <<https://www.otec.de/en/products/media/dry-finishing/dry-grinding-granulate/>>. Acesso em: 17 mar. 2022.

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

PEÇANHA JÚNIOR, L. A. F. **Sinterização de compósitos TiB<sub>2</sub>-AlN via plasma pulsado aplicado a ferramenta de corte**. 2014. Tese (Doutorado) – Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2014.

PETERKA, J.; POKORNY, P.; VACLAV, S.; PATOPRSTY, B.; VOZA, M. **Modification of cutting tools by drag finishing**. Article in MM Science Journal, mar. 2020.

REBEYKA, C. J. **Princípios dos processos de fabricação por usinagem**. Curitiba: Intersaberes, 2016.

RECH, J. et al. **Influence of cutting edge radius on the wear resistance of PM-HSS milling inserts.** v. 259, n. 7-12, p.1168-1176, jul. 2005. Elsevier BV.

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

RODRÍGUEZ, 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. 205 p., 2009.

SEEMIKERI, C. Y.; BRAHMANKAR, P. K.; MAHAGAONKAR, S. B. Investigations on surface integrity of AISI 1045 using LPB tool. **Tribology International**, n. 41, p.724-734, 2008.

SOUZA, D. C. S.; SILVA, E. R. **Contribuição ao estudo da influência dos parâmetros de corte e da geometria das ferramentas na rugosidade superficial de peças torneadas.** 2017. 14 f. Artigo (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2017.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte I.** 6. ed. Florianópolis, Santa Catarina: Editora da Ufsc, 2005. 249 p.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte II: Brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos, abrasivos.** 3. ed. Florianópolis, Santa Catarina: Editora da Ufsc, 2005. 314 p.

TABENKIN, A. **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: 24 mar. 2022.

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.

VALENTIM, F. G.; SILVA, E. R. **Influência do raio de ponta das ferramentas de corte na rugosidade superficial de peças de polímeros usinados por torneamento.** 2017. 13 f. Artigo (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2017.

VENTURA, C. E. H. et al. The influence of the cutting tool microgeometry on the machinability of hardened AISI 4140 steel. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [s.l.], v. 90, n. 9-12, p.2557-2565, 19 out. 2016. Springer Nature.

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.** In: 2 COBEF -

Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2004, Florianópolis. Anais do 2º COBEF 2004. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

WHITEHOUSE, D. J. **Surfaces and their measurement**. London: Hermes Penton Science, 2000.

ZEILMANN, R. P.; CALZA, D. C.; XAVIER, 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, 2021. 59 slides, color.