



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



HEITOR FERNANDES DE SOUSA

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE USINAGEM NA RUGOSIDADE
DO AÇO SAE 1050**

OURO PRETO - MG
2025

HEITOR FERNANDES DE SOUSA
heitorfns2000@gmail.com

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE USINAGEM NA RUGOSIDADE
DO AÇO SAE 1050**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Igor Cezar Pereira

OURO PRETO – MG
2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S725i Sousa, Heitor Fernandes de.
Influência dos parâmetros de usinagem na rugosidade do aço SAE
1050. [manuscrito] / Heitor Fernandes de Sousa. - 2025.
45 f.

Orientador: Prof. Dr. Igor Cezar Pereira.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Usinagem. 2. Usinagem - Parâmetros de Corte. 3. Engenharia
mecânica - Rugosidade Superficial. I. Pereira, Igor Cezar. II. Universidade
Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Heitor Fernandes de Souza

Influência dos parâmetros de usinagem na rugosidade do aço SAE 1050

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel

Aprovada em 26 de fevereiro de 2025

Membros da banca

[DSc] - Igor César Pereira - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto

[DSc] - Luis Antônio Bortolaia - Universidade Federal de Ouro Preto

[DSc] - Cláudio Marcio Santana - Universidade Federal de Ouro Preto

Igor César Pereira, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/03/2025



Documento assinado eletronicamente por **Igor Cezar Pereira, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/03/2025, às 14:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0876141** e o código CRC **E2C9453F**.

A Deus dedico mais esta etapa vencida, meus pais,
pelo apoio.

A todos que estiveram comigo ao longo dessa
jornada e me incentivaram a continuar.

AGRADECIMENTO

A Deus, gratidão por me fazer forte para chegar até aqui. Agradeço também aos meus pais Maria Aparecida e Ricardo, por sempre estarem ao meu lado, me apoiando e incentivando a realizar meus sonhos. Aos professores do curso de Engenharia Mecânica por suas importantes contribuições durante todo o tempo de graduação. Por fim, obrigado Ouro Preto!

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor. Mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas graças a Deus não somos o que éramos”.

Martin Luther King

RESUMO

A usinagem é um processo fundamental na manufatura, utilizado para conferir formas específicas ao material por meio da remoção de cavacos. Este método é crucial para alcançar alta precisão em componentes mecânicos, influenciando diretamente a qualidade do acabamento superficial. A rugosidade da peça, medida da qualidade do acabamento, é vital para o desempenho, destacando a importância de manter padrões de qualidade rigorosos. Para a pesquisa, foram desenvolvidos ensaios de torneamento para analisar a influência dos parâmetros de corte na rugosidade superficial do aço SAE 1050. Foram realizados testes para variar os parâmetros, sendo eles a velocidade de corte, avanço, raio de ponta da ferramenta e fluido de corte, realizando medições de rugosidade com um rugosímetro TR200. O objetivo geral do presente trabalho foi analisar a influência da variação dos parâmetros de corte na rugosidade superficial de uma peça de aço SAE 1050 durante o processo de torneamento. Dentre elas, constatou-se que a velocidade de corte, o avanço e o raio de ponta da ferramenta influenciam significativamente a rugosidade superficial do aço SAE 1050. O avanço mostrou-se como um dos principais determinantes da qualidade superficial, com maiores valores resultando em maior rugosidade. A pesquisa visou contribuições para o aprimoramento dos processos de usinagem, fornecendo dados para melhorar a eficiência produtiva, ao equilibrar a qualidade do acabamento superficial com a otimização do processo.

Palavras-chave: Usinagem. Rugosidade superficial. Parâmetros de corte.

ABSTRACT

Machining is a fundamental process in manufacturing, used to give specific shapes to the material by removing chips. This method is crucial to achieve high precision in mechanical components, directly influencing the quality of the surface finish. The roughness of the workpiece, a measure of the quality of the finish, is vital for performance, highlighting the importance of maintaining rigorous quality standards. For the research, turning tests were developed to analyze the influence of cutting parameters on the surface roughness of SAE 1050 steel. Tests were performed to vary the parameters, namely cutting speed, feed, edge radius and cutting fluid, performing roughness measurements with a TR200 roughness meter. The general objective of the present work was to analyze the influence of the variation of cutting parameters on the surface roughness of a SAE 1050 steel part during the turning process. Among them, it was found that the cutting speed, feed rate and tool nose radius significantly influence the surface roughness of SAE 1050 steel. The feed rate proved to be one of the main determinants of surface quality, with higher values resulting in greater roughness. The research aimed to contribute to the improvement of machining processes, providing data to improve production efficiency by balancing the quality of the surface finish with process optimization.

Key-words: Machining. Surface roughness. Cutting parameters.

LISTA DE SIMBOLOS

(L_f)	Percurso de avanço
(v_c)	Velocidade de corte (m/min)
(Ra)	Rugosidade média aritmética (μm)
(Rz)	Rugosidade máxima (μm)
(Rt)	Rugosidade total (μm)
(Rq)	Rugosidade média quadrática (μm)
(Rp)	Altura de picos máximos (μm)
(Rsk)	Fator de assimetria do perfil (μm)
(r_ϵ)	Raio de ponta do incerto (mm)
(f)	Avanço (mm/rotação)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Torneamento	17
Figura 2 - Linha Média.....	20
Figura 3 - Parâmetro de rugosidade Ra.....	21
Figura 4 - Parâmetros de rugosidade Ry	21
Figura 5 - Valores de Ra atingíveis para diferentes processos de fabricação	24
Figura 6 - Fluxograma dos processos utilizados	28
Figura 7 - Aço SAE 1050.....	29
Figura 8 - Torno CNC utilizado	30
Figura 9 – Incerto de metal duro 0,8 e 0,4 de raio	30
Figura 10 - Rugosímetro	34
Figura 11 - Ra em função da velocidade.....	36
Figura 12 - Ra em função do avanço.....	37
Figura 13 - Ra em função do raio de ponta	37
Figura 14 - Ra em função do fluido de corte.....	38
Figura 15 - Rt em função da velocidade de corte	39
Figura 16 - Rt em função do avanço	40
Figura 17 - Rt em função do raio de ponta.....	40
Figura 18 - Rt em função do fluido de corte	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros com alteração de velocidade	31
Tabela 2 - Parâmetros com alteração do avanço	31
Tabela 3 - Parâmetros com alteração do raio de ponta do incerto.....	32
Tabela 4 - Parâmetros com alteração do fluido de corte	32
Tabela 5 - Variáveis e Indicadores	33
Tabela 6 - Valores médios de Ra e Rt de acordo com os parâmetros de corte.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Formulação do Problema	12
1.2 Justificativa	12
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
1.4 Estrutura do Trabalho	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Torneamento	15
2.2 Rugosidade.....	19
2.2.1 Parâmetros de rugosidade	20
2.2.2 Aplicação dos parâmetros de rugosidade.....	22
2.2.3 Efeito dos parametros de usinagem na rugosidade superficial	25
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 Tipo de pesquisa	27
3.2 Materiais e Métodos.....	28
3.2.1 Corpo de Prova	28
3.2.2 Equipamentos e Ferramentas	29
3.2.3 Descrição dos Ensaios.....	30
3.3 Variáveis e Indicadores.....	33
3.4 Instrumento de coleta de dados.....	33
4 RESULTADOS	35
4.1 Efeito dos parametros de usinagem no Ra e no Rt	36
5 CONCLUSÃO.....	42
6 REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

A usinagem é um processo essencial na indústria de manufatura, onde as geometrias desejadas são conferidas ao material usinado por meio da remoção de cavacos. Este processo é amplamente utilizado para produzir peças com formas e dimensões específicas, além de proporcionar acabamentos superficiais adequados.

Segundo Ferraresi (1969), a usinagem é definida como um procedimento mecânico que confere à peça forma, dimensões ou acabamento por meio da remoção de material em forma de cavaco, sendo um dos métodos mais comuns para se alcançar alta precisão em componentes mecânicos.

A qualidade do acabamento superficial, muitas vezes medida pela rugosidade da peça, é uma variável de extrema relevância, pois afeta diretamente o desempenho funcional das peças em operação. Mesmo com o avanço da automação nos processos de usinagem, ainda é crucial garantir que as superfícies usinadas atendam aos padrões de qualidade exigidos, evitando assim perdas de material e aumento de custos de produção (HOFFMANN *et al.*, 2021).

Diante disso, a formulação do problema desta pesquisa se dá pela seguinte questão:

Qual a influência dos parâmetros de corte, durante o torneamento, na rugosidade superficial de um aço SAE 1050?

1.2 Justificativa

Os parâmetros de usinagem desempenham um papel crucial na obtenção de um acabamento superficial de alta qualidade em peças de aço. Em muitas aplicações industriais, é essencial que as peças usinadas apresentem alta precisão e baixa rugosidade para atender aos requisitos de desempenho e qualidade. A falta de otimização desses parâmetros pode resultar em superfícies inadequadas, tornando a peça final inaceitável, o que pode levar a desperdícios significativos e ao aumento dos custos de produção (DIEHL, 2023).

Estudos, como o de Hoffmann *et al.* (2021), demonstram que a seleção adequada dos parâmetros de corte e das ferramentas utilizadas é fundamental para minimizar a ocorrência de defeitos superficiais. A rugosidade da superfície usinada está associada a diversos fatores que

influenciam a resistência, tolerância dimensional, resistência à corrosão, fadiga, escoamento de fluidos, transferência de calor e lubrificação das peças.

Neste contexto, a análise dos parâmetros de corte, como velocidade, avanço e geometria da ferramenta, é necessária para otimizar a qualidade do acabamento superficial durante o torneamento (FACCIO, 2003).

Esta pesquisa visa contribuir para o aprimoramento dos processos de usinagem, fornecendo dados que possam auxiliar na redução de custos e na melhoria da eficiência produtiva, ao equilibrar a qualidade do acabamento superficial com a viabilidade econômica do processo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da variação dos parâmetros de corte na rugosidade superficial de uma peça de aço SAE 1050 durante o processo de torneamento.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre os seguintes temas: torneamento, rugosidade superficial, incluindo suas definições, parâmetros e aplicações, e o efeito dos parâmetros de usinagem na rugosidade;
- Elaborar os procedimentos metodológicos necessários para analisar a influência da variação dos parâmetros de corte, como velocidade de corte, avanço e geometria da ferramenta;
- Coletar e apresentar os dados obtidos da rugosidade superficial resultante das alterações nos parâmetros de corte;
- Determinar a combinação otimizada dos parâmetros de corte que proporcione o acabamento superficial desejado, equilibrando qualidade e custo no processo de usinagem.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, descritos a seguir:

- **Capítulo 1 - Introdução:** apresenta a formulação do problema, a justificativa do estudo, os objetivos gerais e específicos da pesquisa, além da estrutura do trabalho;
- **Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica:** explora os conceitos e fundamentos teóricos relevantes para o estudo, incluindo temas como o processo de torneamento, parâmetros de rugosidade, e o impacto dos parâmetros de usinagem na qualidade do acabamento superficial;
- **Capítulo 3 - Metodologia:** detalha os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, incluindo a definição dos materiais, métodos de análise, variáveis estudadas e os instrumentos de coleta de dados;
- **Capítulo 4 - Resultados e Discussão:** apresenta os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados e discute os achados à luz do referencial teórico, identificando a influência dos parâmetros de corte na rugosidade superficial do aço SAE 1050;
- **Capítulo 5 - Conclusão:** resume as principais conclusões do estudo, oferecendo recomendações para futuras pesquisas e aplicações práticas no contexto industrial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão abordados os aspectos fundamentais que sustentam a pesquisa. A partir da análise da literatura existente, busca-se estabelecer uma base sólida para a discussão dos resultados e a contribuição do estudo para a área.

2.1 Torneamento

O torneamento é um dos processos de usinagem mais comuns e amplamente utilizados na fabricação de peças com geometrias cilíndricas, cônicas, esféricas, entre outras. Este processo é fundamental na produção de componentes que requerem alta precisão dimensional e acabamento superficial de qualidade. Segundo Ferraresi (1969), o torneamento é um processo mecânico de usinagem projetado para criar superfícies de revolução utilizando uma ou mais ferramentas de corte único. Durante o torneamento, a peça gira em torno de um eixo principal de rotação, enquanto a ferramenta se desloca de forma sincronizada ao longo de uma trajetória que pode ser paralela, inclinada ou perpendicular ao eixo de rotação (FERRARESI, 1969).

Ferraresi (1969) descreve que o torneamento pode ser subdividido em várias formas específicas de operação, cada uma com características próprias de corte e aplicação. No torneamento cilíndrico, o autor diz que a ferramenta se desloca ao longo de uma trajetória paralela ao eixo principal de rotação da máquina, permitindo a produção de superfícies cilíndricas, tanto externas quanto internas. Já no torneamento cônico, a ferramenta se move ao longo de uma trajetória inclinada em relação ao eixo principal de rotação, o que possibilita a usinagem de superfícies cônicas, tanto externas quanto internas (FERRARESI, 1969).

Ainda conforme Ferraresi (1969), o perfilamento é um tipo de torneamento em que a ferramenta segue uma trajetória retilínea radial ou axial, formando uma superfície com o perfil desejado determinado pela geometria da ferramenta. No torneamento radial, a ferramenta se desloca perpendicularmente ao eixo principal de rotação, sendo usado para operações como faceamento ou sangramento radial, dependendo do objetivo do corte. Além disso, o torneamento curvilíneo envolve a movimentação da ferramenta ao longo de uma trajetória curva, permitindo a produção de superfícies com contornos complexos (FERRARESI, 1969).

Ainda a respeito do processo de torneamento, segundo Valim (2022), é importante considerar as variações externas, internas ou axiais que podem ocorrer durante a usinagem. O torneamento externo refere-se ao processo onde a ferramenta remove material da superfície

externa da peça, gerando superfícies cilíndricas ou cônicas ao longo do eixo de rotação. Por outro lado, o torneamento interno é realizado na parte interna da peça, como em furos ou cavidades, onde a ferramenta remove material para criar superfícies internas precisas. O torneamento axial, embora menos comum, envolve o deslocamento da ferramenta ao longo do eixo da peça, permitindo a remoção de material em direção longitudinal, geralmente para obter superfícies planas (HAMMES; WALKER, 2017).

Conforme Hoffmann *et al.* (2021), no caso específico do torneamento cônico, esse pode ser realizado tanto interna quanto externamente. O torneamento cônico externo é utilizado para criar superfícies cônicas na parte externa da peça, enquanto o torneamento cônico interno é aplicado para formar superfícies cônicas dentro de uma cavidade. Além disso, o torneamento de faceamento é uma técnica onde a ferramenta corta perpendicularmente ao eixo de rotação da peça, criando uma superfície plana na extremidade. No perfilamento, essa técnica de faceamento pode ser utilizada para obter superfícies planas específicas, garantindo que o perfil desejado seja fielmente reproduzido na peça usinada (HOFFMANN *et al.*, 2021).

Os tipos de tornamento podem ser vistos na Figura 1.

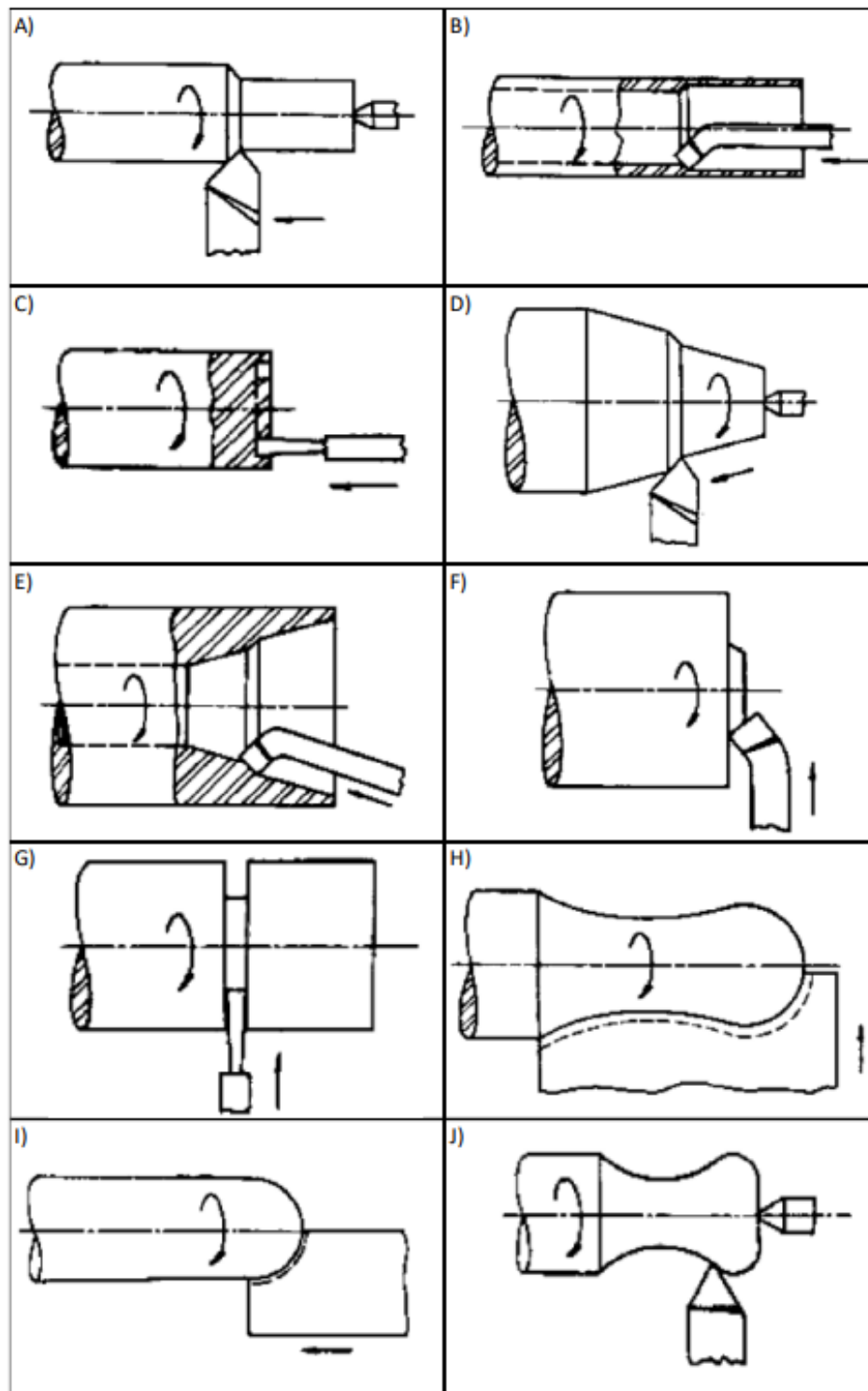


Figura 1 - Tipos de Torneamento
 Fonte: Ferraresi (1969)

A figura 1 apresenta diversos tipos de torneamento, cada um com suas especificidades e aplicações no processo de usinagem. O torneamento cilíndrico externo (Figura A) envolve a remoção de material da superfície externa da peça, resultando em uma forma cilíndrica, com a ferramenta se deslocando paralelamente ao eixo principal de rotação da peça. Esse tipo de

torneamento é amplamente utilizado para criar e ajustar diâmetros externos em peças cilíndricas. De forma semelhante, o torneamento cilíndrico interno (Figura B) é aplicado à superfície interna da peça, onde a ferramenta se move dentro de uma cavidade ou furo, criando superfícies cilíndricas internas, sendo comum na fabricação de furos precisos e na preparação de peças para montagens que exigem alta precisão interna (FERRARESI, 1969).

O sangramento axial (Figura C) de acordo com Ferraresi (1969), é um processo em que a ferramenta se move em direção ao eixo longitudinal da peça, criando ranhuras ou entalhes em direção axial, utilizado principalmente para criar entalhes circulares profundos para fixação ou encaixe de outras peças. No torneamento cônico externo (Figura D), a ferramenta remove material da superfície externa da peça em um ângulo inclinado em relação ao eixo principal de rotação, criando uma forma cônica, o que é útil na criação de superfícies cônicas externas, comuns em componentes de encaixe ou ajuste de precisão. O torneamento cônico interno (Figura E) segue o mesmo princípio, mas é realizado dentro da peça, criando superfícies cônicas internas, o que é frequentemente utilizado na fabricação de peças que requerem furos cônicos, como assentos de válvulas (FERRARESI, 1969).

O torneamento de faceamento (Figura F) segundo Ferraresi (1969), é o processo onde a ferramenta corta perpendicularmente ao eixo de rotação da peça, criando uma superfície plana em uma das extremidades, sendo utilizado para aplainar superfícies de extremidade ou ajustar o comprimento da peça. No sangramento radial (Figura G), a ferramenta se move perpendicularmente ao eixo de rotação da peça, criando entalhes ou ranhuras radiais, utilizado para criar sulcos ou canais circulares na superfície externa da peça. O perfilamento radial (Figura H) envolve o movimento da ferramenta ao longo de uma trajetória radial para moldar o perfil da peça, utilizado para criar perfis específicos na superfície externa da peça, conforme o desenho do perfil desejado (FERRARESI, 1969).

Já no perfilamento axial (Figura I), a ferramenta se desloca em direção axial ao longo da peça, criando ou ajustando perfis ao longo do eixo longitudinal, o que é utilizado para moldar superfícies que exigem perfis específicos ao longo do comprimento da peça. Por fim, o torneamento curvilíneo (Figura J) envolve o movimento da ferramenta ao longo de uma trajetória curva, permitindo a usinagem de superfícies com contornos complexos, sendo utilizado em peças que exigem perfis curvilíneos, como componentes decorativos ou funcionais com formas não lineares (FERRARESI, 1969).

Nota-se que cada tipo de torneamento pode exigir um tipo específico de corte, variando o ângulo, a posição e outros parâmetros de corte. Souza (2006) complementa que, para compreender com precisão os movimentos de torneamento, é essencial separar as direções de

corte, avanço e efetiva. A direção de corte refere-se à direção instantânea do movimento de corte; a direção de avanço é a direção instantânea do movimento de avanço, enquanto a efetiva é a resultante das duas anteriores (SOUZA, 2006).

Conforme descrevem Ferraresi (1969), o movimento de corte é o movimento entre a ferramenta e a peça sem o movimento de avanço, onde se obtém apenas uma única remoção de cavaco durante uma revolução. Quando o movimento de avanço é adicionado ao movimento de corte, obtém-se um levantamento contínuo do cavaco durante uma série de revoluções. O movimento efetivo de corte é a resultante do movimento de corte e de avanço, realizados simultaneamente, proporcionando o acabamento desejado na peça usinada.

Nesse contexto, Machado *et al.* (2015) explica que, o percurso de avanço (L_f) é a distância que a aresta cortante percorre sobre a peça na direção do avanço. Nos casos em que há movimento de avanço principal e lateral, devem-se distinguir os componentes do percurso de avanço.

Além disso, a velocidade de corte (v_c), segundo, Machado *et al.* (2015), é definida como a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, considerando a direção e o sentido do corte.

2.2 Rugosidade

A rugosidade é uma característica importante das superfícies usinadas, influenciando diretamente aspectos como atrito, desgaste, distribuição de tensões, entre outros. Segundo Nunes (2011), a rugosidade superficial é definida como as irregularidades finas ou erros microgeométricos resultantes do processo de corte, como marcas de avanço, aresta postiça de corte, e desgaste da ferramenta. Esse parâmetro é essencial para determinar a qualidade do acabamento de uma peça, especialmente em aplicações onde o desempenho da superfície é crítico.

Souza (2006) afirma que a rugosidade superficial tem como principal objetivo descrever o relevo presente em uma superfície, e para representá-la numericamente, diversos parâmetros são utilizados. Entre esses parâmetros, destacam-se a rugosidade média aritmética (R_a), a altura máxima (R_z) e a altura total (R_t). Esses valores são obtidos por meio de operações matemáticas sobre o perfil da superfície, permitindo comparar e analisar diferentes acabamentos.

Conforme Whitehouse *apud* Diehl (2023), a rugosidade superficial pode depender de diversos fatores, incluindo as características da máquina-ferramenta, as propriedades do material da peça, o material e a geometria da ferramenta, e as condições de usinagem. Através

da aplicação de métodos estatísticos, é possível avaliar a contribuição relativa de cada um desses fatores para a rugosidade resultante.

Agostinho (2020) complementa que a rugosidade superficial é função do tipo de acabamento ou da máquina-ferramenta utilizada, sendo analisada através dos desvios da superfície real em relação à superfície geométrica ideal. Esses desvios podem ser classificados como erros de forma ou macrogeométricos, medidos com instrumentos convencionais, e como erros microgeométricos ou rugosidade, que requerem aparelhos específicos como perfilógrafos e rugosímetros para sua medição (AGOSTINHO, 2020).

2.2.1 Parâmetros de rugosidade

Segundo Agostinho (2020), a norma adotada no Brasil para o sistema de medição de rugosidade utiliza o conceito de linha média M, que tem por definição a linha paralela à direção do perfil, no comprimento de amostragem, de forma a garantir que a soma das áreas superiores entre ela e o perfil efetivo, seja equivalente a soma das áreas abaixo, ao longo do comprimento de amostragem L. Essa abordagem permite uma representação mais precisa do relevo da superfície. Na figura 2 é possível observar como é feita a soma da área 3.

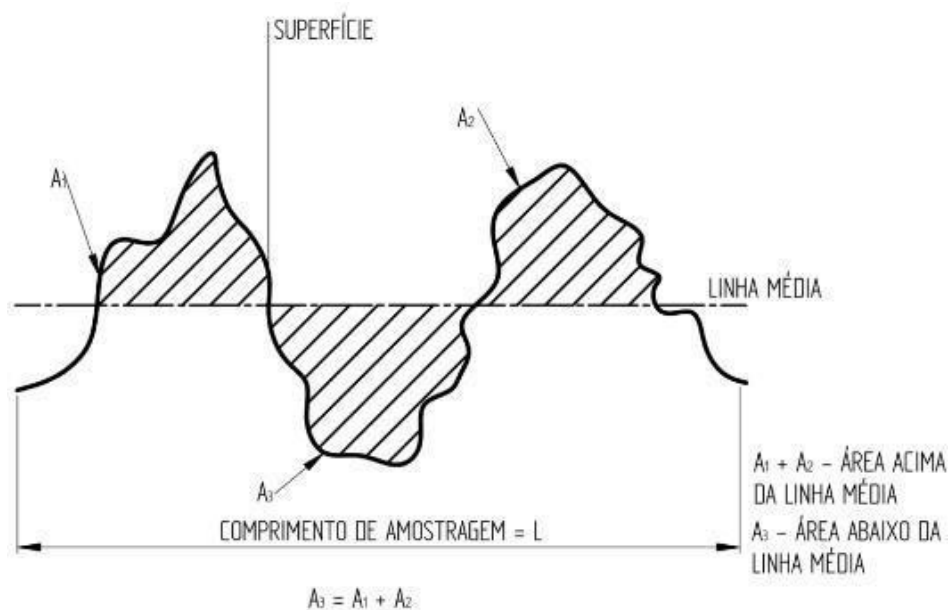


Figura 2 - Linha Média
Fonte: Agostinho (2020).

Hammes *et al.* (2017) explica que entre os parâmetros de rugosidade mais comuns estão:

Rugosidade média (R_a): representa a média aritmética das coordenadas dos valores absolutos do perfil efetivo em relação à linha média ao longo de um comprimento de amostragem. Esse parâmetro é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e eficácia na descrição da rugosidade geral de uma superfície (HAMMES *et al.*, 2017). A figura 3 ilustra a rugosidade média.

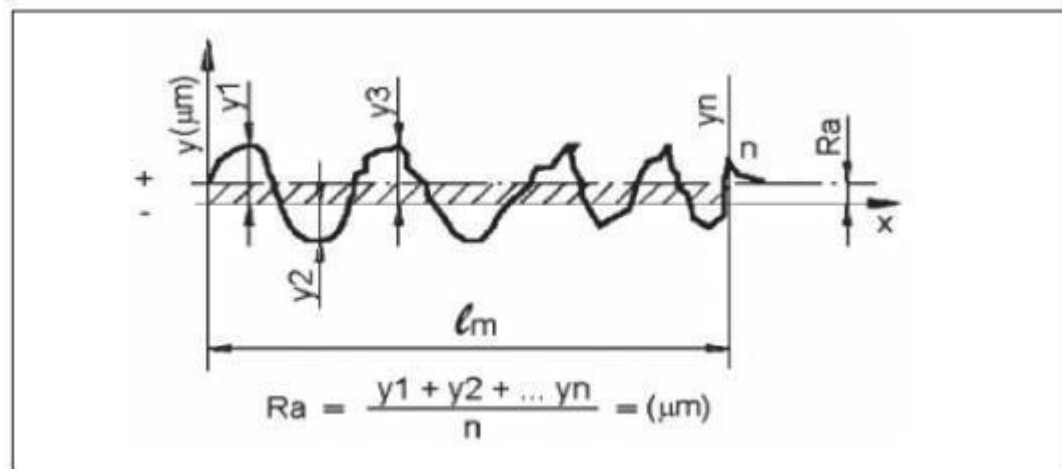


Figura 3 - Parâmetro de rugosidade R_a
Fonte: Hammes *et al.* (2017)

A figura 3 mostra como é feito o cálculo da rugosidade média, por meio das suas variáveis de acordo com o comprimento de amostragem l_m .

Rugosidade máxima (R_y): determinada pela diferença entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo do perfil dentro de um comprimento de amostragem específico. Este parâmetro é crucial em situações onde se deseja identificar as variações extremas na superfície usinada (HAMMES *et al.*, 2017). A figura 4 ilustra a rugosidade máxima.

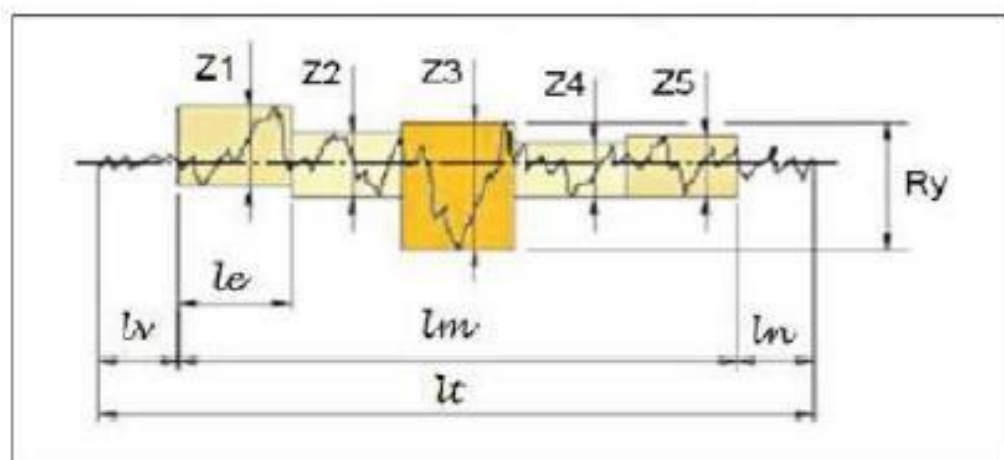


Figura 4 - Parâmetros de rugosidade R_y
Fonte: Hammes *et al.* (2017)

A figura 4 demonstra a medida da rugosidade máxima, referente ao pico mais alto e o vale mais profundo, dentro de um cutoff específico.

Rugosidade total (R_t): refere-se à distância total entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo do perfil ao longo do comprimento de amostragem. Este parâmetro fornece uma visão completa da variabilidade do perfil de uma superfície (HAMMES *et al.*, 2017).

Além desses, outros padrões de rugosidade também são amplamente utilizados na indústria, como apresentam Machado *et al.*, (2015):

Rugosidade média quadrática (R_q): este parâmetro fornece uma medida da rugosidade média da superfície, avaliando a média das alturas das irregularidades em relação à linha central (MACHADO *et al.*, 2015).

Rugosidade total de pico a vale (R_z DIN): considera a soma das alturas dos cinco picos mais altos e dos cinco vales mais profundos ao longo do comprimento de amostragem, oferecendo uma visão estatística dos extremos da superfície (MACHADO *et al.*, 2015).

Altura de picos máximos (R_p): este parâmetro mede a altura do pico mais elevado em relação à linha média, fornecendo uma indicação das irregularidades máximas que podem interferir em processos como o contato de superfícies ou a aplicação de revestimentos (MACHADO *et al.*, 2015).

R_sK : este parâmetro mede a assimetria do perfil da superfície. Um valor de R_sK próximo a zero indica um perfil simétrico; valores positivos indicam uma predominância de picos acima da linha média, enquanto valores negativos mostram uma predominância de vales abaixo da linha média (MACHADO *et al.*, 2015).

Esses parâmetros são fundamentais na análise da rugosidade, pois permitem uma avaliação quantitativa da qualidade do acabamento superficial de peças usinadas. Eles são amplamente utilizados na indústria para garantir que os produtos atendam às especificações técnicas exigidas, influenciando diretamente na funcionalidade e no desempenho das peças (KIKUKAWA *et al.*, 2019).

2.2.2 Aplicação dos parâmetros de rugosidade

Estudos de Nunes (2011), Kikukawa *et al.* (2019) e Hoffmann *et al.* (2021) apontam que os parâmetros de rugosidade são fundamentais na avaliação da qualidade superficial de peças usinadas, influenciando diretamente o desempenho e a funcionalidade do produto final. Esses parâmetros são aplicados em diversos contextos industriais, dependendo das exigências específicas de cada aplicação.

Segundo Hoffmann *et al.* (2021), em processos de usinagem, como o torneamento, a rugosidade superficial tem um papel crucial no controle da qualidade, onde valores como Ra, Rz e Rt são utilizados para garantir que as peças usinadas atendam aos padrões de precisão e acabamento estabelecidos. Hoffmann *et al.* (2021) citam, por exemplo, em indústrias como a automotiva e a aeroespacial, a rugosidade é cuidadosamente controlada para assegurar a resistência ao desgaste, a capacidade de lubrificação e a resistência à fadiga das peças, garantindo a segurança e a durabilidade dos componentes.

Na área de microusinagem e na produção de dispositivos médicos, parâmetros de rugosidade como Ra e Rq são utilizados para garantir superfícies altamente precisas e lisas, essenciais para aplicações que exigem biocompatibilidade e o mínimo de atrito. Da mesma forma, na fabricação de moldes e ferramentas, uma baixa rugosidade é necessária para obter peças com alta qualidade superficial e acabamento, refletindo diretamente na aparência e funcionalidade dos produtos finais (KIKUKAWA *et al.*, 2019).

Portanto, a aplicação dos parâmetros de rugosidade é ampla e variada, sendo essencial em qualquer processo de fabricação que exija controle rigoroso da qualidade superficial. Esses parâmetros permitem não apenas o controle da qualidade, mas também a otimização dos processos de produção, resultando em produtos finais que atendem ou excedem as especificações de desempenho (HOFFMANN *et al.*, 2015; KIKUKAWA *et al.*, 2019; NUNES, 2011).

A Figura 5 representa os valores de *Ra* atingíveis para processos de fabricação, sendo eles: fundição, laminação, torneamento, entre outros.

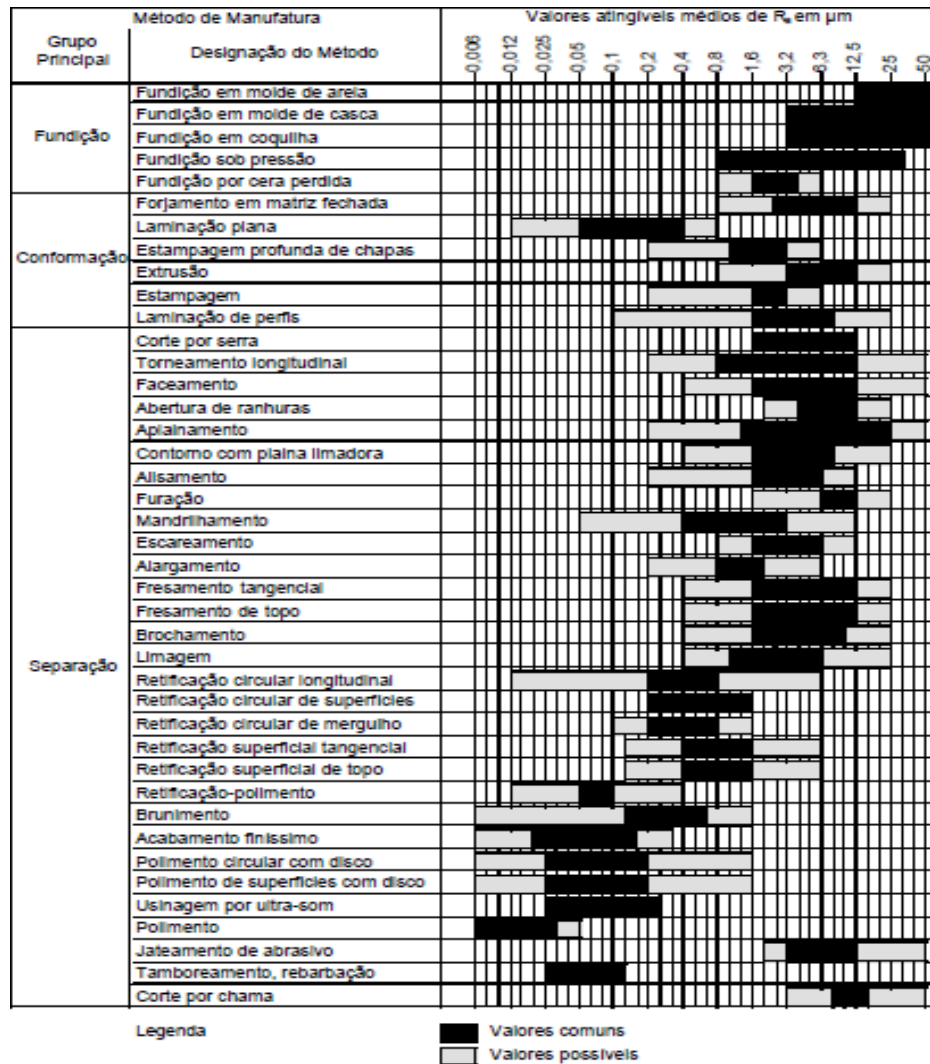


Figura 5 - Valores de R_a atingíveis para diferentes processos de fabricação
Fonte: Adaptado (DIN 4766)

A Figura 5 apresenta uma tabela que exibe os valores atingíveis médios de rugosidade superficial R_a em micrômetros (μm) para diferentes métodos de manufatura. Segundo os estudos realizados por Nunes (2011), esses métodos são agrupados em três principais categorias: fundição, conformação e separação. Cada um desses métodos de manufatura produz uma superfície com uma determinada rugosidade, que pode variar conforme o processo utilizado (NUNES, 2011).

Dessa forma, Figura 5 fornece uma visão abrangente dos níveis de acabamento que podem ser esperados de diferentes métodos de manufatura, com valores comuns e possíveis de rugosidade superficial R_a claramente indicados. Essa informação é de extrema importância para engenheiros e técnicos que precisam selecionar o processo de manufatura adequado com base nos requisitos de superfície da peça final, garantindo que as especificações de qualidade sejam atendidas de acordo com o uso final do produto.

2.2.3 Efeito dos parametros de usinagem na rugosidade superficial

Machado *et al.* (2015) salienta que em uma operação de usinagem com uma ferramenta nova, quando há pouco contato entre as superfícies, ausência de vibração e nenhuma formação de aresta postiça de corte, a rugosidade será, teoricamente, determinada pelas marcas de avanços da ferramenta na peça.

Ainda conforme Machado *et al.* (2015), a rugosidade pode ser significativamente reduzida quando certos fatores são controlados durante o processo de usinagem. Primeiramente, a rugosidade tende a ser menor quando as flexões geradas por esforços de usinagem ou vibrações são mínimas. Além disso, o uso de uma ferramenta cuja ponta possui um raio de arredondamento contribui para a obtenção de superfícies mais lisas. Outro aspecto importante é garantir que a ferramenta e a peça estejam corretamente posicionadas e centralizadas, evitando desvios indesejados. A correta configuração da máquina-ferramenta também é fundamental; o eixo principal deve estar alinhado e as guias devem estar livres de desgastes. Ademais, a aresta de corte da ferramenta deve estar em boas condições, sem desgastes ou quebras, para assegurar uma usinagem de qualidade. Por fim, é essencial que o corte ocorra sem a formação de aresta postiça de corte, o que pode comprometer a qualidade da superfície usinada (MACHADO *et al.*, 2015).

Segundo Bonifácio *apud* Nunes (2011, p.29), o “raio de ponta maior gera um acabamento pior. Isso acontece por causa da maior área de contato peça-ferramenta (maior atrito e maior vibração), exceto para valores pequenos de avanço”.

Para Machado *et al.* (2015), na análise de rugosidade da peça, o avanço é o parâmetro determinante. Em outras palavras, a altura dos picos e a profundidade dos vales das marcas de avanço tendem a aumentar de forma quadrática conforme indicado pelas Equações 1 e 2:

$$Ra = \frac{f^1}{18\sqrt{3x} r_\epsilon} = \frac{f^2}{31,2x r_\epsilon} \quad (1)$$

$$Rt = \frac{f^2}{8x r_\epsilon} \quad (2)$$

Machado *et al.* (2015) também ressalta outros efeitos dos parâmetros de usinagem na rugosidade superficial. Primeiramente, baixas velocidades de corte tendem a favorecer a formação de aresta postiça de corte (APC), resultando em um acabamento inferior. Com velocidades de corte mais altas, acontece o aumento da temperatura entre a ferramenta de corte

e o corpo usinado, provocando a redução na resistência ao cisalhamento do material da peça, consequentemente a redução das forças de usinagem e assim um melhor acabamento. Porém, também é possível prejudicar o acabamento devido as vibrações que podem ser geradas (MACHADO *apud* NUNES, 2011).

A profundidade de usinagem é outro fator crítico, pois um aumento na profundidade eleva as forças de corte, aumentando as chances de flexões e, consequentemente, a altura das ondulações na superfície usinada. Em relação ao ângulo de saída, Machado *et al.* (2015) ressalta que quanto maior esse ângulo, menor será a força de usinagem, o que se traduz em menores alturas de picos e profundidades de vales, reduzindo a rugosidade da superfície. O ângulo de folga, por sua vez, deve ser suficientemente alto para evitar o contato com a superfície usinada, pois qualquer contato pode transferir defeitos ou desgastes da ferramenta para a superfície da peça. Finalmente, o ângulo de posição principal, embora seja pouco influente, pode, se reduzido, diminuir as marcas de avanço, melhorando o escoamento do material e, assim, resultando em um melhor acabamento superficial (MACHADO *et al.*, 2015).

Além da influência das condições de corte e da geometria da ferramenta, alguns efeitos como o suporte da ferramenta e a rigidez do suporte tem que ser considerados, onde eles devem ter secção transversal suficiente para diminuir as flexões (MACHADO *et al.*, 2015).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentado a metodologia utilizada para o estudo do acabamento superficial após o processo de torneamento, analisando assim os fundamentos e conceitos que foram abordados na revisão bibliográfica.

3.1 Tipo de pesquisa

Conforme Gil (2022), a pesquisa pode ser descrita como um processo lógico e sistemático cujo propósito é oferecer soluções para questões propostas. Se torna necessária quando há falta de informação adequada para abordar o problema ou quando a informação disponível está desorganizada a ponto de não poder ser relacionada à questão.

Conforme pontuam Prodanov e Freitas (2013), o presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa, pois serão utilizados recursos estatísticos, como gráficos e tabelas para analisar as rugosidades de superfícies nos ensaios feitos alterando os parâmetros de usinagem.

Em relação aos objetivos gerais ou propósitos, de acordo com a categorização proposta por Gil (2022), o presente trabalho se enquadra como uma pesquisa exploratória, pois o estudo analisa as simulações de um caso real, onde serão comparados os resultados obtidos com o referencial teórico presente, e assim podendo obter uma conclusão.

Já Prodanov e Freitas (2013) dizem que a pesquisa bibliográfica consiste na análise de material previamente publicado, como livros, revistas, artigos científicos, jornais, monografias, dissertações, teses e material cartográfico, bem como recursos da internet. Seu propósito é permitir que o pesquisador tenha acesso direto a todo o conhecimento já registrado sobre o tema de pesquisa.

Para Gil (2022) a pesquisa experimental envolve a identificação de um objeto de estudo, a seleção de variáveis influentes e a definição de procedimentos precisos de controle e observação dos efeitos produzidos por essas variáveis no objeto de estudo.

Assim, o presente trabalho também se enquadra como uma Pesquisa Bibliográfica e Experimental, pois, será feita a análise direta da rugosidade superficial, no processo de torneamento com a variação dos parâmetros de corte, ângulos da ferramenta, entre outros.

3.2 Materiais e Métodos

Para o início da pesquisa, foi feito um fluxograma para definir todas as etapas do processo, conforme apresentado na Figura 6.

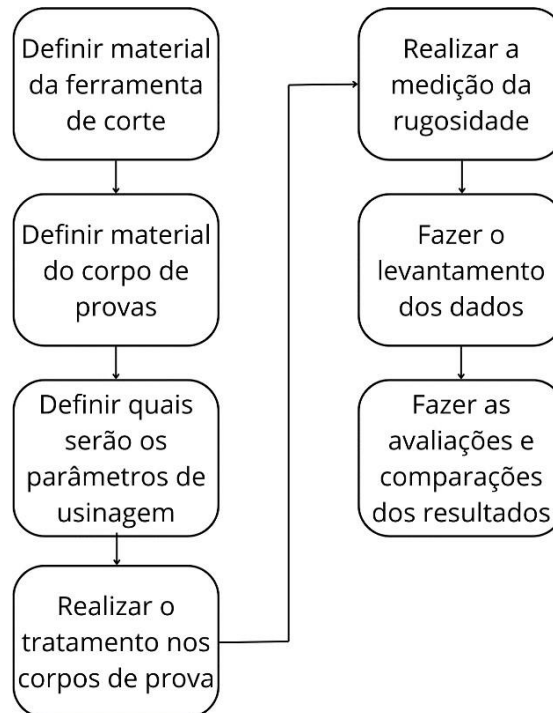


Figura 6 - Fluxograma dos processos utilizados
Fonte: Pesquisa direta (2024)

3.2.1 Corpo de Prova

Com base no exposto, a pesquisa utilizará os seguintes materiais apresentados: Corpo de prova, sendo o material Aço SAE 1050, com formato de barra cilíndrica, com as seguintes dimensões: 51,2 mm de diâmetro e 317 mm de comprimento. A figura 7 demonstra a barra cilíndrica utilizada.



Figura 7 - Aço SAE 1050
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Para a realização do experimento, será torneada uma barra cilíndrica, variando a velocidade de corte, avanço, ângulos e raio de ponta da ferramenta. A profundidade de corte será mantida constante ao longo dos ensaios.

Após feito os ensaios, será feito um levantamento de dados em planilha, sendo os mesmos analisados e comparados estatisticamente.

3.2.2 Equipamentos e Ferramentas

Para a realização dos ensaios de torneamento, utilizou-se o torno CNC (Computer Numerical Control) (figura 8), modelo Romi Centur 30D.



Figura 8 - Torno CNC utilizado
Fonte: Pesquisa direta (2024).

Além do torno CNC, foi utilizada uma base para inserto de metal duro com raio de 0,8 mm e 0,4 mm (Figura 9), adequada para as operações de acabamento no processo de usinagem do aço SAE 1050, uma vez que o raio da ferramenta de corte exerce influência direta sobre os parâmetros de qualidade do acabamento.



Figura 9 – Inserto de metal duro 0,8 e 0,4 de raio
Fonte: Google (2024)

3.2.3 Descrição dos Ensaios

Foi realizado um ensaio e duas repetições para cada combinação de parâmetros, garantindo assim a representatividade dos dados colhidos e minimizando interferências aleatórias. Sendo assim, a Tabela 1 apresenta as condições experimentais nas quais a velocidade

de corte foi variada, em baixa, mediana e alta, mantendo-se constantes os demais parâmetros de usinagem. Esse arranjo permite observar a influência da velocidade sobre a rugosidade superficial das peças.

Tabela 1 - Parâmetros com alteração de velocidade

Avanço (mm/rot)	Velocidade de Corte (m/min)	Fluido	Raio de Ponta (mm)
0.1	250	Não utilizado	0.4
	150		
	50		

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Tabela 1 apresenta as condições de operação selecionadas para a realização dos ensaios de torneamento. O avanço foi mantido constante em 0,1 mm/rotação, enquanto a velocidade de corte foi variada em três níveis diferentes: 250 m/min, 150 m/min e 50 m/min. O raio de ponta da ferramenta foi fixado em 0,4 mm, permitindo a análise das variações de rugosidade resultantes das diferentes velocidades de corte empregadas.

A Tabela 2 exibe as condições em que o avanço foi alterado, com os demais parâmetros mantidos constantes. Essa configuração auxilia na avaliação do efeito específico do avanço na qualidade do acabamento superficial.

Tabela 2 - Parâmetros com alteração do avanço

Avanço (mm/rot)	Velocidade de Corte (m/min)	Fluido	Raio de Ponta (mm)
0.1	150	Não utilizado	0.4
0.2			
0.4			

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Tabela 2 descreve as condições experimentais adotadas para a segunda fase dos ensaios de torneamento. Nesta etapa, variou-se o avanço em três níveis distintos: 0,1 mm/rotação, 0,2 mm/rotação e 0,4 mm/rotação. A velocidade de corte foi mantida constante em 150 m/min.

A Tabela 3 apresenta as condições experimentais nas quais o raio de ponta da ferramenta foi variado, mantendo constantes a velocidade de corte e o avanço. Esse arranjo permite analisar como diferentes raios de ponta influenciam a rugosidade superficial.

Tabela 3 - Parâmetros com alteração do raio de ponta do incerto

Avanço (mm/rot)	Velocidade de Corte (m/min)	Fluido	Raio de Ponta (mm)
0.1	150	Não utilizado	0.4
			0.8

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Tabela 3 detalha as condições sob as quais os ensaios de torneamento foram conduzidos, focando especificamente na variação do raio de ponta da ferramenta. Foi mantida uma velocidade de corte constante de 150 m/min e um avanço de 0,1 mm/rotação.

A Tabela 4 exibe as condições experimentais para avaliar o efeito do uso de fluido de corte na rugosidade superficial, com todos os demais parâmetros mantidos constantes. Essa configuração permite verificar a influência da presença ou ausência do fluido no acabamento final da peça.

Tabela 4 - Parâmetros com alteração do fluido de corte

Avanço (mm/rot)	Velocidade de Corte (m/min)	Fluido	Raio de Ponta (mm)
0.1	150	Utilizado	0.4
		Não utilizado	

Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Tabela 4 apresenta as condições experimentais adotadas para avaliar a influência do fluido de corte na rugosidade superficial durante o torneamento. Com o avanço fixado em 0,1 mm/rotação e a velocidade de corte em 150 m/min, dois conjuntos de testes foram realizados: um com a aplicação de fluido de corte e outro sem sua utilização.

3.3 Variáveis e Indicadores

A Tabela 5 exibe as variáveis e os indicadores dos ensaios realizados:

Tabela 5 - Variáveis e Indicadores

Variáveis	Indicadores
Velocidade de Corte	
Avanço	
Ângulo de ponta do incerto	Rugosidade Média (Ra) Rugosidade total (Rt)
Fluido de Corte	

Fonte: Pesquisa direta (2024)

Na tabela 5 são representadas as variáveis e os indicadores para o processo de torneamento, tendo como variável a velocidade de corte, avanço, ângulo de ponta do incerto e fluido de corte. Os indicadores para esse estudo são a Rugosidade Média (Ra) e Rugosidade Total (Rt).

3.4 Instrumento de coleta de dados

Foi utilizado nesse estudo o rugosímetro de modelo TR200, representado pela figura 10, projetado para medir a rugosidade superficial das peças usinadas. Este equipamento é capaz de quantificar parâmetros de rugosidade, como Ra, Rz, Rt, entre outros, com alta precisão, fornecendo um perfil detalhado da superfície.



Figura 10 - Rugosímetro
Fonte: Pesquisa direta (2024)

A tecnologia de medição do TR200 baseia-se no deslocamento de um apalpador sobre a superfície da peça, registrando as variações de altura que correspondem às irregularidades superficiais. É um dispositivo projetado para medir a rugosidade de diferentes tipos de superfícies, incluindo componentes de maquinários. Ele calcula os parâmetros com base nas condições de medição escolhidas e exibe de forma clara todas as informações e gráficos no seu display LCD. Esse equipamento é essencial para avaliar a qualidade do acabamento superficial das peças, uma vez que a rugosidade influencia diretamente o desempenho de componentes mecânicos em diversas aplicações.

Os dados obtidos com esses instrumentos foram fundamentais para a análise quantitativa das variáveis de usinagem e sua influência na qualidade final das peças produzidas. As medições foram realizadas de acordo com os padrões internacionais, garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos e a possibilidade de replicação do estudo em diferentes condições experimentais.

4 RESULTADOS

O principal objetivo foi avaliar como diferentes parâmetros de corte, como velocidade de corte, avanço e raio de ponta da ferramenta, influenciam a rugosidade superficial das peças usinadas. A coleta de dados foi realizada utilizando instrumentos de alta precisão, como o rugosímetro TR200, permitindo a análise das relações entre as variáveis de usinagem e a qualidade do acabamento superficial, medida em termos de rugosidade média (Ra) e rugosidade total (Rt). As informações estão descritas na Tabela 6:

Tabela 6 - Valores médios de Ra e Rt de acordo com os parâmetros de corte

CONDIÇÃO	Vc (m/min)	Fn (mm/r)	Re (mm)	Fluido de Corte	Ra (um)	Rt (um)
1	250	0,1	0,4	Não utilizado	1,082	6,833
2	150	0,1	0,4	Não utilizado	1,144	7,019
3	50	0,1	0,4	Não utilizado	3,004	20,393
4	150	0,2	0,4	Não utilizado	2,918	16,28
5	150	0,4	0,4	Não utilizado	11,647	53,87
6	150	0,1	0,4	Utilizado	1,625	6,519
7	150	0,1	0,8	Não utilizado	0,762	3,473

Fonte: Pesquisa direta (2024).

A tabela 6 indica os valores médios coletados após os ensaios realizados, com as variações dos parâmetros de corte. No próximo tópico serão apresentadas as comparações entre elas.

4.1 Efeito dos parâmetros de usinagem no Ra e no Rt

A análise da rugosidade média (Ra) em função das variações nos parâmetros de usinagem revela comportamentos distintos que destacam a influência de cada variável sobre o acabamento superficial das peças usinadas. A Figura 11 mostra a Rugosidade média em função da velocidade de corte:

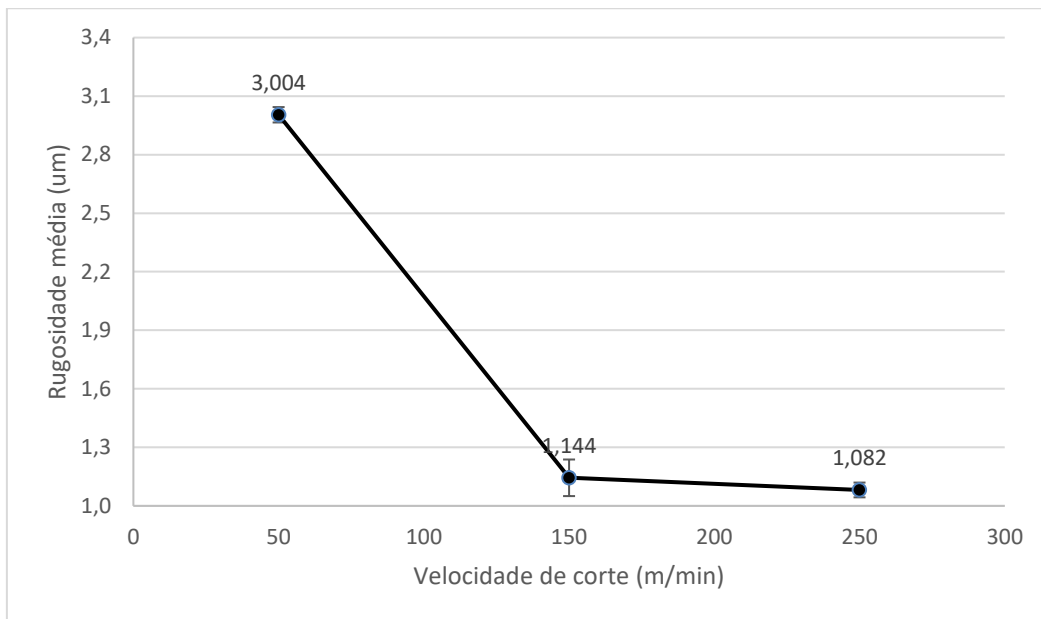


Figura 11 - Ra em função da velocidade de corte
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Observa-se na figura 11 a relação entre a velocidade de corte e a rugosidade média. Nota-se então uma influência significativa no aumento velocidade de corte. A medida que a mesma aumenta de 50 m/min para 150m/min, e depois para 250 m/min, há uma redução significativa na rugosidade média, passando de 3,004 μm para 1,144 μm , e posteriormente para 1,082 μm . A primeira variação reduziu em 62% e a segunda variação em 5,4%. Esse comportamento pode ser explicado pela menor força de usinagem após velocidades de corte mais elevadas, o que resulta em um acabamento superficial melhor. Entretanto, a redução não é linear, sugerindo a presença de outros fatores como a estabilidade da ferramenta e as condições de fixação da peça, que também impactam o resultado final.

A Figura 12 exhibe os resultados da Rugosidade média (Ra) em função do avanço:

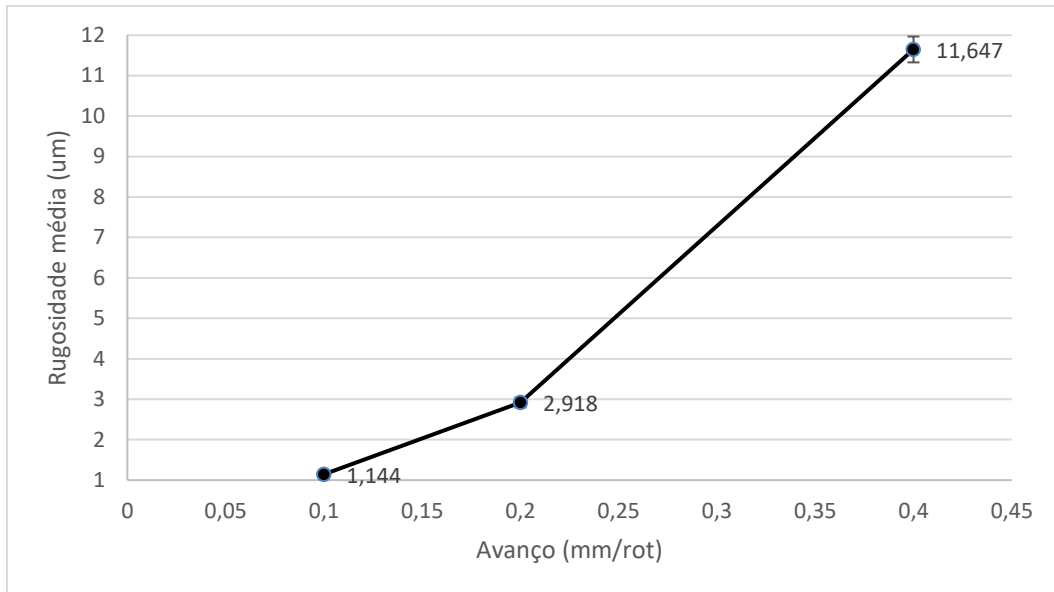


Figura 12 - Ra em função do avanço
Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Figura 12 mostra que o aumento do avanço eleva significativamente a rugosidade, sendo assim o um dos parâmetros mais críticos. Com o aumento do avanço de 0,1 mm/rot para 0,2 mm/rot, e depois para 0,4 mm/rot, o valor de Ra sobe de 1,144 µm para 2,918 µm, e posteriormente 11,647 µm. A primeira variação teve um aumento 155% e a segunda variação em 299%. Esse comportamento era esperado, uma vez que maiores avanços implicam em maiores rugosidades, o que tende a aumentar a altura dos picos e a profundidade dos vales na superfície usinada. Este resultado evidencia a importância de controlar o avanço para processos onde a qualidade do acabamento superficial é crítica.

A Figura 13 exibe os resultados da Rugosidade média (Ra) em função do raio de ponta:

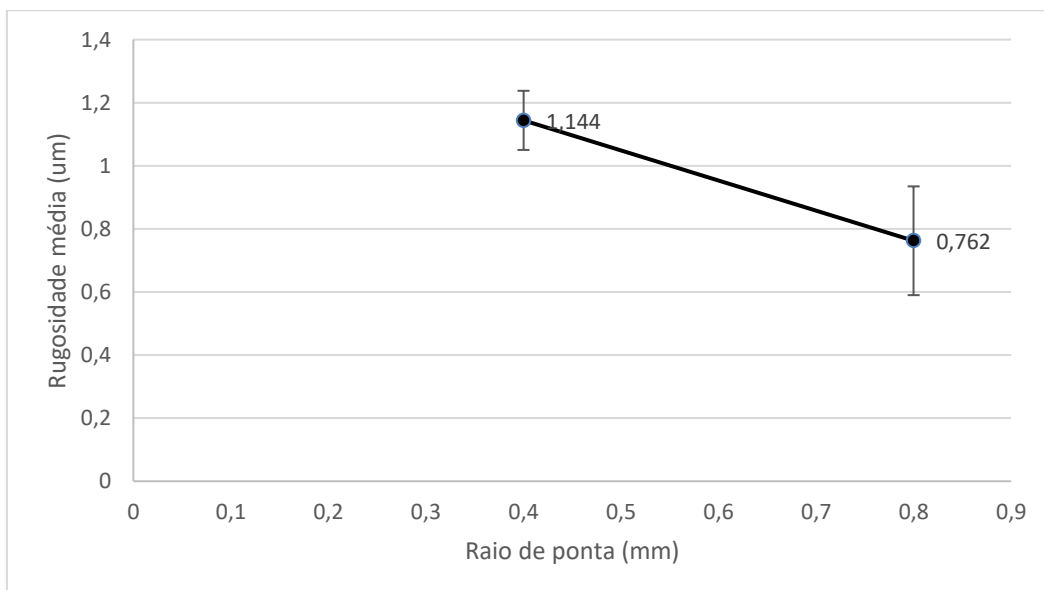


Figura 13 - Ra em função do raio de ponta
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Observa-se que, ao aumentar o raio de ponta de 0,4 mm para 0,8 mm, há uma redução na rugosidade média de 33%, sendo de $1,144 \mu\text{m}$ para $0,762 \mu\text{m}$ (-33,4%). Esse resultado indica que, em pequenas mudanças, o raio de ponta ligeiramente maior pode favorecer superfícies com melhores acabamentos, embora ainda alguns fatores como vibração e fricção possam influenciar.

A Figura 14 exibe os resultados da Rugosidade média (Ra) em função do fluido de corte:

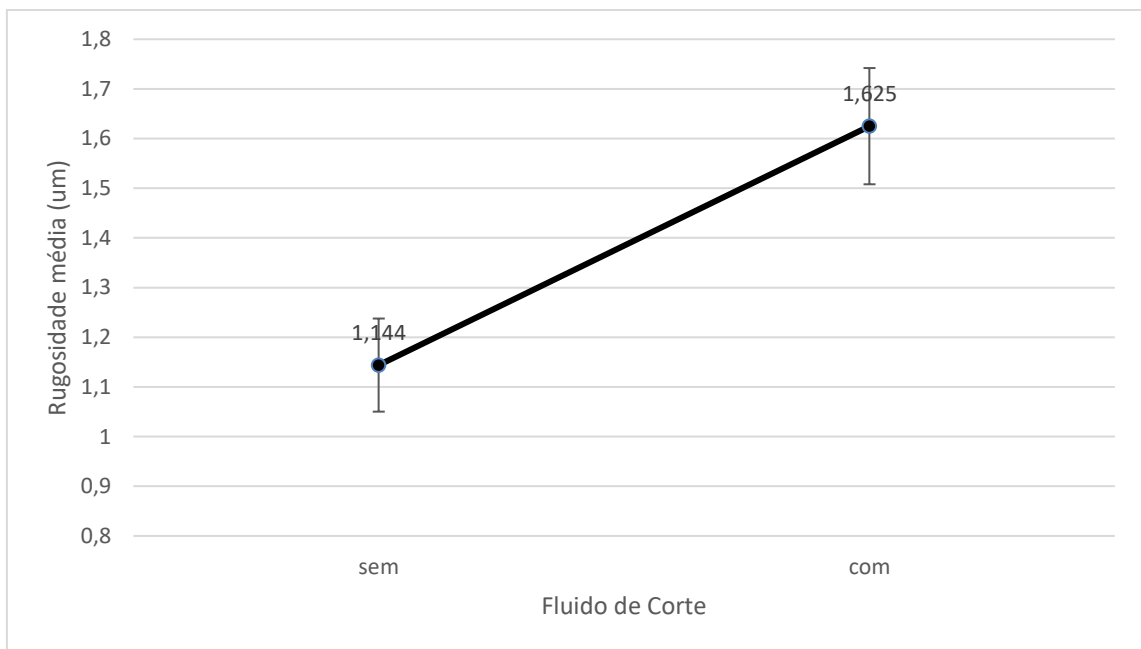


Figura 14 - Ra em função do fluido de corte
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Os resultados da figura 14 contrariam algumas expectativas comuns, eles mostram que a rugosidade média foi ligeiramente maior com o uso de fluido de corte ($1,625 \mu\text{m}$) em comparação com a condição sem fluido ($1,144 \mu\text{m}$), resultando em um aumento de 42%. Esse efeito sugere que o fluido de corte pode ter um impacto variável, dependendo das condições de usinagem específicas. Pode também ser explicado pelo fato do fluido ter agido como refrigerante, aumentando assim a resistência ao cisalhamento do material da peça, e assim, a força de usinagem. Nunes (2011) aborda resultados semelhantes.

A análise da rugosidade total (Rt) em função das variações nos parâmetros de usinagem revela importantes considerações sobre a qualidade superficial das peças usinadas.

A Figura 15 exibe os resultados da Rugosidade total (Rt) em função da velocidade de corte:

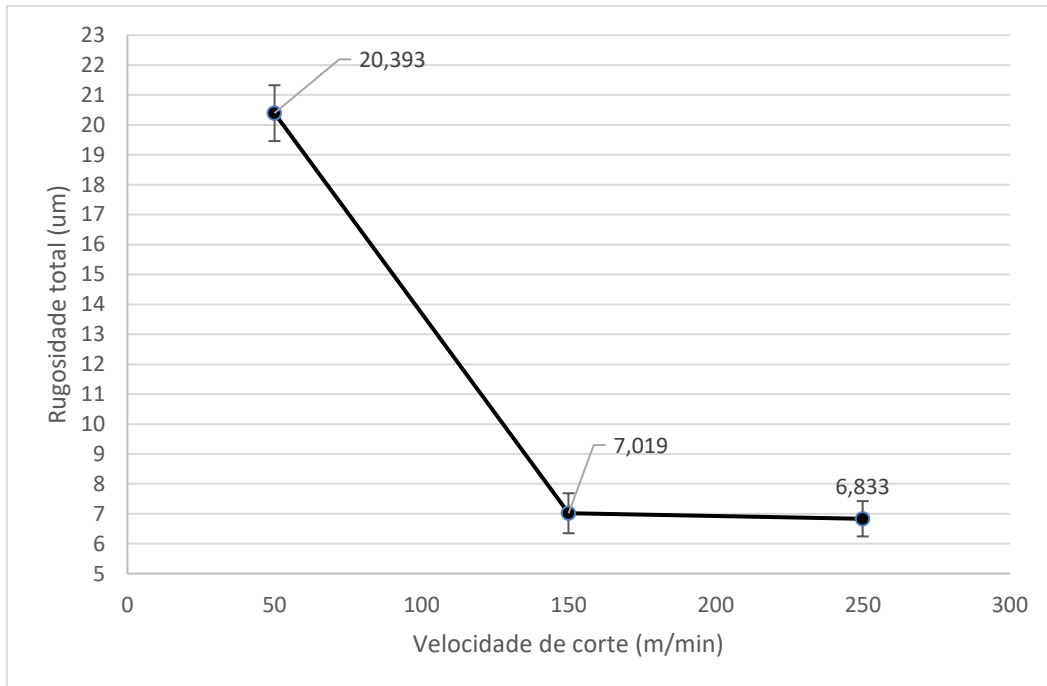


Figura 15 - Rt em função da velocidade de corte
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Observa-se na figura 15 uma tendência decrescente no Rt à medida que a velocidade de corte aumenta. Especificamente, o Rt reduz de 20,393 μm para 7,019 μm , e depois para 6,833 μm conforme a velocidade de corte aumenta de 50 m/min para 150m/min, e posteriormente para 250 m/min. A primeira variação reduziu em 65,6% e a segunda variação em 2,7%. Esse comportamento, assim como da Rugosidade Média, pode ser atribuído à menor força de usinagem após velocidades de corte mais elevadas, o que resulta em superfícies com melhores acabamentos. No entanto, essa diminuição atinge um patamar, indicando que, além de certo ponto, outras variáveis como o desgaste da ferramenta e a rigidez do sistema começam a influenciar mais significativamente o resultado final.

A figura 16 exibe os resultados da Rugosidade total (Rt) em função do avanço:

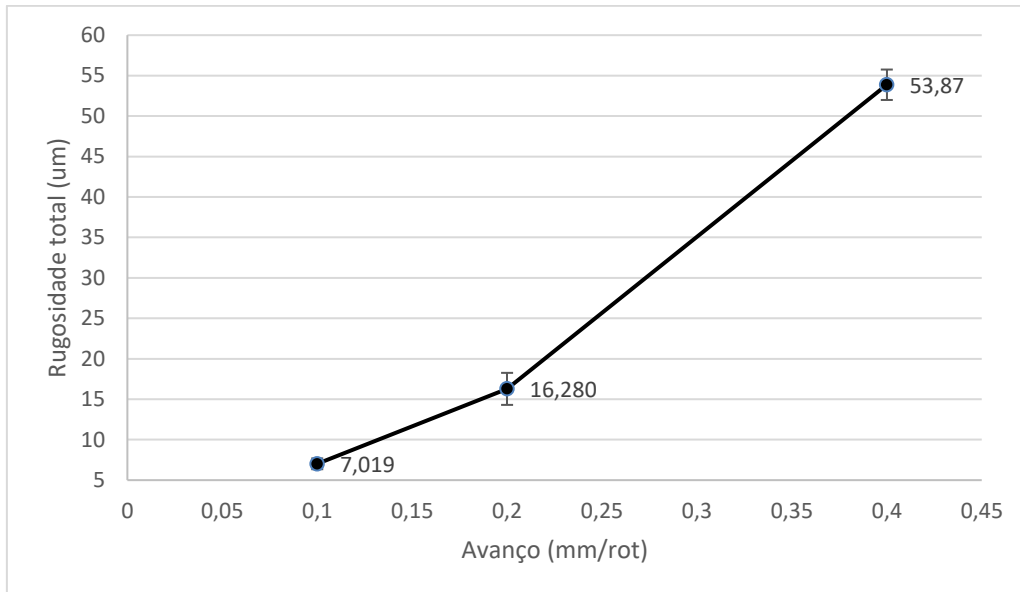


Figura 16 - Rt em função do avanço
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Ao avaliar o avanço, a Figura 16 demonstra que um aumento no avanço de 0,1 mm/rotação para 0,2 mm/rot, e depois para 0,4 mm/rotação, resulta em um incremento expressivo na rugosidade total (Rt), que passa de 7,019 µm para 16,280 µm, e posteriormente para 53,87 µm. A primeira variação aumentou em 132% e a segunda variação em 231%. Esse comportamento era esperado, pois um avanço maior implica em uma quantidade maior de material removido por rotação, o que tende a gerar picos e vales mais pronunciados na superfície usinada. Esses dados reforçam a importância de um controle rigoroso do avanço em operações em que a qualidade superficial é fundamental, especialmente em processos de acabamento.

A figura 17 exibe os resultados da Rugosidade total (Rt) em função do raio de ponta:

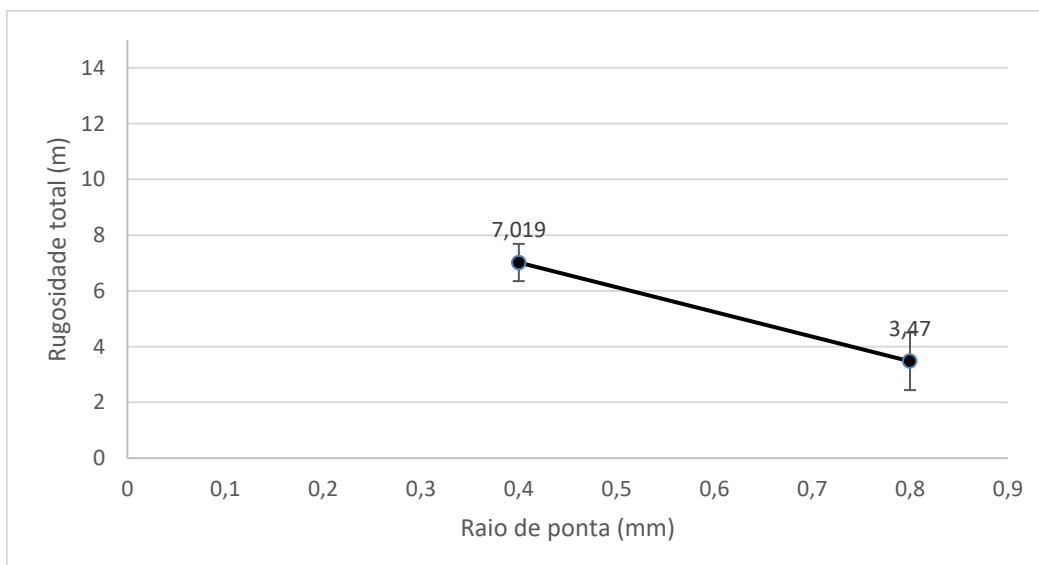


Figura 17 - Rt em função do raio de ponta
Fonte: Pesquisa direta (2024)

A Figura 17 demonstra que o raio de ponta da ferramenta influencia a rugosidade total, mostrando uma redução na rugosidade com o aumento do raio de ponta. Especificamente, a rugosidade total (R_t) diminuiu de $7,019 \mu\text{m}$ com um raio de $0,4 \text{ mm}$ para $3,47 \mu\text{m}$ com um raio de $0,8 \text{ mm}$ (-50%). Esse resultado indica que o uso de um raio de ponta ligeiramente maior pode contribuir para um acabamento superficial mais uniforme.

A figura 18 exibe os resultados da Rugosidade total (R_t) em função do fluido de corte:

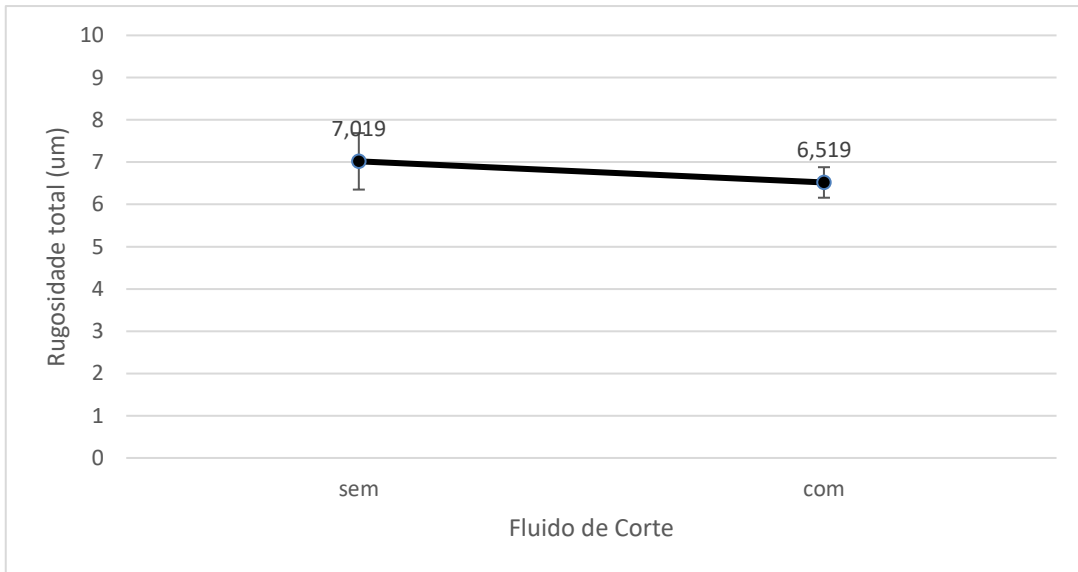


Figura 18 - R_t em função do fluido de corte
Fonte: Pesquisa direta (2024)

A figura 18 investiga o impacto do fluido de corte na rugosidade total, observa-se uma pequena redução na R_t com a utilização do fluido de corte, de $7,019 \mu\text{m}$ para $6,519 \mu\text{m}$ (-7%). Essa redução, embora modesta, pode ser atribuída à capacidade do fluido de corte de reduzir o atrito e dissipar o calor na zona de corte, prevenindo deformações térmicas e minimizando a formação de microdefeitos na superfície usinada. O fluido de corte também ajuda a evacuar os cavacos de forma mais eficiente, o que pode contribuir para uma superfície com melhor acabamento. Contudo, a eficácia do fluido de corte pode variar dependendo das condições específicas de usinagem, como o tipo de material, a geometria da ferramenta, e a taxa de remoção de material.

Logo, a variação nos parâmetros de corte, como velocidade, avanço, raio de ponta e o uso de fluido de corte, desempenha um papel crucial na determinação da rugosidade total das superfícies usinadas. Esses resultados enfatizam a importância de otimizar esses parâmetros para alcançar a qualidade desejada no acabamento superficial, com particular atenção ao controle do avanço e à escolha adequada do fluido de corte para minimizar as irregularidades superficiais.

5 CONCLUSÃO

Constatou-se que os parâmetros de usinagem, como a velocidade de corte, o avanço e o raio de ponta da ferramenta, exercem uma influência significativa na rugosidade superficial do aço SAE 1050 durante o processo de torneamento.

A velocidade de corte se mostrou significativa quando elevada de baixa para média. Porém, quando há variações em velocidades mais altas, o acabamento superficial não tem uma alteração tão significativa.

Notou-se que o avanço é o parâmetro mais determinante para a rugosidade superficial, com aumentos no avanço resultando em elevações significativas na altura dos picos e na profundidade dos vales na superfície usinada, refletindo em valores mais altos de Ra e Rt. Este comportamento está em consonância com a literatura, que identifica o avanço como um fator crítico na definição da qualidade superficial em operações de torneamento.

Pelos resultados, o raio de ponta da ferramenta tende a impactar diretamente a rugosidade superficial, com maiores raios de ponta resultando em melhorias no acabamento devido à redução da rugosidade média (Ra) e da rugosidade total (Rt). A utilização de fluido de corte, por sua vez, apresentou resultados contraditórios, com uma leve redução na rugosidade total (Rt), mas um pequeno aumento na rugosidade média (Ra). Esse resultado demonstra que o fluido de corte não demonstra uma tão influência significativa na rugosidade.

6 REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, Oswaldo L. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões: princípios de engenharia de fabricação mecânica**. Editora Blucher, 2020. E-book. ISBN 9788521214632. Disponível em <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521214632/>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- DIEHL, G. (2023). **Estudo da influência dos parâmetros de corte na lubrificação no acabamento superficial e formação de cavacos na usinagem do aço inoxidável AISI 304**. [Universidade do Vale de Taquari]
- FACCIO, I. (2003). **Investigações sobre o acabamento superficial de usinagens com altíssima velocidade de corte**. [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.3.2003.tde-23072003-135507>
- FERRARESI, D. (1969). **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. Edgard Blücher LTDA.
- GIL, Antonio C (2022). **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Grupo GEN, 2022. E-book. ISBN 9786559771653. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559771653/>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- HOFFMANN, P. R., Marques, F. M., Da Silva Rocha, A., & Teixeira, A. (2021). **Influência dos Parâmetros de Usinagem na Rugosidade Superficial e no Perfil de Dureza do Aço AISI 316 L Submetido a Processo de Torneamento**. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 15(15), 38–45. <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2020v15n15p38-45>
- KIKUKAWA, J. K. *et al.* **Análise do Processo de Torneamento em Relação a Rugosidade Superficial do Aço SAE 1010**. 96– 113. *Revista Engenharia em Ação UniToledo*, v. 4, n. 2, p. 96-113, 2019.
- MACHADO, Álisson R. *et al.* **Teoria da usinagem de materiais**. Editora Blucher, 2015. E-book. ISBN 9788521208440. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208440/>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- HAMMES, J. Müllers, Ferreira Porto Rosa, A.,; WALKER, E. (2017). **Optimization of Surface Finish in Cylindrical External Turning a SAE 1045 steel**. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, 12(2), 138–156. <https://doi.org/10.15675/gepros.v12i2.1640>
- NUNES, L. (2011). **Análise estatística da influência dos parâmetros de corte na rugosidade no torneamento do aço microligado DIN 38Mn SiVS5**. [Universidade Federal de Uberlândia]
- PRODANOV, C., Freitas, E. (2013). **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. [Universidade FEEVALE].
- SOUZA, L de (2006). **Avaliação dos efeitos dos parâmetros de usinagem e dos tratamentos térmicos no torneamento de três aços inoxidáveis austeníticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2006.
- VALIM, D. B. (2022). **Usinagem: Ferramentas de corte**. Londrina: Editora Científica, 2022.