



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

BRUNA NAIARA SANTOS DIAS

**COMPARAÇÃO DE DESGASTES EM FERRAMENTAS DE CORTES TRATADAS
E NÃO TRATADAS COM CONDICIONADORES DE METAIS**

CARAÚBAS

2023

BRUNA NAIARA SANTOS DIAS

**COMPARAÇÃO DE DESGASTES EM FERRAMENTAS DE CORTES TRATADAS E
NÃO TRATADAS COM CONDICIONADORES DE METAIS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Wendell Albano

CARAÚBAS

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

DB894 Dias, Bruna Naiara Santos.
c Comparação de desgastes em ferramentas de
 cortes tratadas e não tratadas com
 condicionadores de metais / Bruna Naiara Santos
 Dias. - 2023.
 66 f. : il.

 Orientador: Wendell Albano .
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
 Mecânica, 2023.

 1. Usinagem. 2. Rugosidade. 3. Temperatura. 4.
 Desgaste. 5. Torneamento. I. , Wendell Albano,
 orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BRUNA NAIARA SANTOS DIAS

**COMPARAÇÃO DE DESGASTES EM FERRAMENTAS DE CORTES TRATADAS E
NÃO TRATADAS COM CONDICIONADORES DE METAIS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Defendida em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA
WENDELL
ALBANO: [REDACTED]
Assinado digitalmente por WENDELL ALBANO: [REDACTED]
DN: CN=WENDELL ALBANO [REDACTED], OU=UFERSA -
Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2023.05.24 08:55:46-03'00"
Foxit PDF Reader Versão: 12.1.0

Prof. Dr. Wendell Albano - (UFERSA)

Presidente

DIEGO DAVID SILVA
DINIZ: [REDACTED]
Assinado digitalmente por DIEGO DAVID SILVA DINIZ: [REDACTED]
DN: CN=DIEGO DAVID SILVA DINIZ [REDACTED], OU=UFERSA -
Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2023.05.24 20:06:26-03'00"
Foxit PhantomPDF Versão: 10.1.4

Prof. Dr. Diego David Silva Diniz - (UFERSA)

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



ADIANA NASCIMENTO SILVA
Data: 24/05/2023 22:20:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Adiana Nascimento Silva - (UFERSA)

Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me sustentado até aqui, me dado forças e fé para continuar a caminhada e chegar onde sempre almejei, sem a sua força divina jamais teria conseguido êxito para chegar neste estágio.

Em seguida quero agradecer a minha família, em especial aos meus pais, Edivaldo Dias da Cunha e Rosinete Marques dos Santos e a minha irmã, Brena dos Santos Dias, que sempre me apoiaram e me deram forças para que eu pudesse seguir esta caminhada, buscando meus objetivos e valorizando cada conquista. Vocês foram e sempre serão o meu pilar de sustentação e tenho certeza que esta batalha será vencida e essa vitória jamais poderá ser apenas minha, essa vitória com certeza partilharei com vocês.

Aos meus colegas da universidade que, sempre estiveram presentes comigo, desde os momentos bons até os momentos mais árduos desta caminhada. Em especial a Jonas Góis, Gustavo Brito, Cassio Alencar, Abrão José, Layane Araújo. Também quero agradecer as minhas melhores amigas, Renyele Mesquita que sempre esteve ao meu lado me apoiando e me incentivando para que eu pudesse alcançar meus sonhos, Elizabeth Aragão que é uma pessoa muito importante e que sempre esteve ao meu lado, Marcela Sampaio.

Quero agradecer ao Professor e Doutor Wendell Albano, que prontamente aceitou o meu convite e me orientou de forma magistral, sempre tendo muita paciência e dedicação para que este trabalho pudesse ser realizado da melhor maneira possível, a você, meu muito obrigada. Aproveito a oportunidade e agradeço a todos os mestres na qual agregaram conhecimento durante toda a minha jornada acadêmica. Também quero agradecer ao técnico do laboratório de usinagem, Samir Sena, que ter contribuído de forma positiva para a realização do experimento deste estudo. Também quero agradecer a instituição UFERSA que, abriu as portas para mim e me possibilitou adquirir conhecimentos e conquistar os meus primeiros diplomas. Este trabalho eu quero dedicar de forma especial a Josefa Maria de Conceição que, infelizmente já não se encontra entre nós, mas sempre foi alguém que me incentivou e torceu muito pelas minhas vitórias, aonde quer que você esteja, espero que sinta-se feliz com esta conquista.

RESUMO

A indústria manufatureira tem buscado métodos que sejam capazes de tornar os processos de fabricação cada vez mais eficientes, principalmente em relação aos processos de torneamento, que de longe é o mais utilizado pela indústria. Desta forma, a otimização dos parâmetros de corte pode contribuir para um menor tempo em relação ao processo de fabricação, além de maximizar a vida útil da ferramenta. Diante deste cenário, a utilização de fluidos de corte pode auxiliar na redução do atrito entre a peça usinada e a ferramenta, reduzindo a temperatura de corte desta região, e consequentemente, o desgaste da ferramenta de corte, proporcionará um aumento de sua vida útil. Nesse contexto, com o desenvolvimento de novos aditivos e condicionadores mostram-se fundamentais no mercado, prometendo reduzir o atrito entre o par tribológico. Agregado a isso, este trabalho possui como enfoque a realização de um desgaste longitudinal externo, usinando uma barra de SAE 1045, caracterizado por possuir médio teor de carbono, em que foi possível fazer uma análise comparativa do desempenho de dois incertos de metal duro, onde um dos incertos foi tratado com o condicionador de metal Militec-1, enquanto o outro não passou por tratamento. Na parte experimental, os seguintes valores foram analisados: rugosidade superficial das peças usinadas, desgastes das ferramentas de corte e temperatura de corte durante o ensaio. A rugosidade foi medida por meio de um rugosímetro portátil, os desgastes das ferramentas foram medidos fazendo uso de microscopia digital e as temperaturas foram medida por meio de uma câmera termográfica. Ao concluir o processo de torneamento, foi possível perceber que o condicionador de metal utilizado (Militec-1), não se mostrou eficaz, visto que os parâmetros analisados não sofreram variações em relação a ferramenta de corte tratada e a não tratada, e ainda contribuiu para que o processo de manufatura tivesse um maior custo devido sua aquisição.

Palavras-chave: Desgaste, Rugosidade superficial, Temperatura de corte, Condicionador de metal.

ABSTRACT

The manufacturing industry has been looking for methods that are able to make manufacturing processes increasingly efficient, especially in relation to turning processes, which by far is the most used by industry. In this way, the optimization of cutting parameters can contribute to a shorter time in relation to the manufacturing process, as well as maximizing the tool life. Given this scenario, the use of cutting fluids can help reduce friction between the machined part and the tool, reducing the cutting temperature of this region, and consequently, the wear of the cutting tool, will provide an increase in its useful life. In this context, with the development of new additives and conditioners are fundamental in the market, promising to reduce friction between the tribological pair. Added to this, this work focuses on the realization of an external longitudinal thinning, machining a bar of SAE 1045, characterized by having medium carbon content, in which it was possible to make a comparative analysis of the performance of two uncertain carbide bonds, where one of the uncertain ones was treated with the metal conditioner Militec-1, while the other did not undergo treatment. In the experimental part, the following values were analyzed: surface roughness of the machined parts, wear of the cutting tools and cutting temperature during the test. Roughness was measured by means of a portable roughness meter, tool wear was measured using digital microscopy, and temperatures were measured by means of a thermographic camera. At the end of the turning process, it was possible to notice that the metal conditioning used (Militec-1) was not effective, since the analyzed parameters did not suffer variations in relation to the treated and untreated cutting tool, and also contributed to the manufacturing process having a higher cost due to its acquisition.

Keywords: Wear, Surface roughness, Cutting temperature, Metal conditioner.

”O sucesso nasce do querer, da determinação e da persistência em se chegar a um objetivo.
Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo para coisas
admiráveis.”

José Alencar

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desgaste de Flanco	21
Figura 2 - Elementos que Traduzem o Acabamento Superficial.....	22
Figura 3 - Zonas de Geração de Calor na Usinagem	25
Figura 4 - Métodos de Medição de Temperatura	26
Figura 5 - Procedimentos Utilizados para a Realização Deste Trabalho	35
Figura 6 - Faceamento do Tarugo Utilizando Luneta	36
Figura 7 - Corte da Amostra	37
Figura 8 - Lixadeira Metalográfica Manual Arotec	37
Figura 9 - Microdurômetro Insize ishdtv2000.....	38
Figura 10 - Demonstração das Especificações do Corpo de Prova.....	40
Figura 11 - Corpo de Prova com Usinagem Concluída	40
Figura 12 - Tratamento da Ferramenta de Corte	41
Figura 13 - Torno Mecânico Manrod.....	42
Figura 14 - Ferramenta de Metal Duro korloy tng160404-vp2	42
Figura 15 - Condições do Fabricante para Ferramenta	43
Figura 16 - Medição do Desgaste da Ferramenta de Corte.....	45
Figura 17 - Rugosímetro Portátil Utilizado	46
Figura 18 - Medição da Temperatura de Corte Utilizando Câmera Termográfica	47
Figura 19 - Desgaste da Ferramenta não Tratada no Passe 20	51
Figura 20 - Desgaste da Ferramenta Tratada no Passe 20	52
Figura 21 - Desgaste da Quina da Ferramenta não Tratada no Passe 20	52
Figura 22 - Desgaste da Quina da Ferramenta Tratada no Passe 20	53
Figura 23 - Quina da Ferramenta Ilustrando o Desgaste da Ferramenta Tratada e não Tratada.	53
Figura 24 - Desgaste de flanco das arestas de corte 2° dos Insertos Tratada e não Tratada.	54
Figura 25 - Captura da Temperatura de Corte no 20° Passe	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Desgaste da Ferramenta não Tratada	50
Gráfico 2 - Desgaste da Ferramenta Tratada	51
Gráfico 3 - Aresta 1	54
Gráfico 4 - Aresta 2	55
Gráfico 5 - Aresta 3	55
Gráfico 6 - Temperatura de Região Corte no Passe 1	56
Gráfico 7 - Temperatura na Região de Corte no Passe 2	57
Gráfico 8 - Temperatura na Região de Corte no Passe 9	57
Gráfico 9 - Temperatura de Corte no Passe 10	58
Gráfico 10 - Temperatura na Região de Corte no Passe 19	58
Gráfico 11 - Temperatura na Região de Corte no Passe 20	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimento da Amostragem (cut off).....	23
Tabela 2 - Composição Química dos Aços Carbono (em %).....	33
Tabela 3 - Parâmetros de Corte	38
Tabela 4 - Ensaio de Microdureza Vickers.....	48
Tabela 5 - Tabela de Conversão de Dureza	49

ABREVIACÕES E SIGLAS

ISO - Organização Internacional de Normalização

ABNT - Associação Brasileira de Normas Tnicas

CUT OFF - Comprimento de Amostragem

ZCP - Zona de Cisalhamento Primária

ZCS - Zona Secundária de Cisalhamento

ZCS - Zona de Cisalhamento terciária

PVD - Depositao Física de Vapor

APC - Aresta Postiça de Corte

RPM - Rotação por Minuto

SAE - Sociedade Internacional dos Engenheiros Automotivos

NOMENCLATURAS

Letras latinas

v_b - Desgaste de Flanco Médio

$V_{Bmáx}$ - Desgaste de Flanco máximo

(KT) - Profundidade de Cratera

R_a - Rugosidade Média

R_y - Rugosidade Máxima

R_z - Rugosidade Média

f - Avanço

r - Raio de Ponta da Ferramenta.

A_p - Movimento de Profundidade

V_c - Velocidade de Corte

ϕ - Diâmetro da ferramenta ou da peça.

n - Número de rotações por minutos.

l - Comprimento Usinado

gF - Grama Força

Siglas e Abreviações

ISO - Organização Internacional de Normalização

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CUT OFF - Comprimento de Amostragem

ZCP - Zona de Cisalhamento Primária

ZCS - Zona Secundária de Cisalhamento

ZCS - Zona de Cisalhamento terciária

PVD - Deposição Física de Vapor

APC - Aresta Postiça de Corte

RPM - Rotação por Minuto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo geral.....	19
1.1.2 Objetivos específicos	19
2 REFERÊNCIAL TEÓTICO	20
2.1 Ferramentas de Usinagem	20
2.1.1 Desgastes em Ferramentas	20
2.1.2 Rugosidade	22
2.1.3 Parâmetros de usinagem.....	23
2.1.4 Temperatura de corte no processo de usinagem	24
2.1.5 Métodos de Medição de Temperatura em Usinagem	26
2.1.5.1 Condução.....	27
2.1.5.2 Radiação	27
2.2 Lubrificação em Usinagem.....	28
2.2.1 Tipos de lubrificação	29
2.2.2 Lubrificantes e refrigerantes	31
2.2.3 Condicionadores de metais.....	31
2.3 AÇO 1045	33
3 METODOLOGIA	35
3.1 Descrição da Metodologia.....	35
3.1.1 Material de Estudo	36
3.2 Ensiode Dureza.....	37
3.3 Ensaio de Torneamento	38
3.3.1 Especificações do Trabalho.....	39
3.3.2 Tratamento da Ferramenta de Corte	41
3.3.3 Máquina Ferramenta e Ferramenta de Corte.....	42
3.3.4 Cálculos Para Realização do Torneamento	43
3.4 Medições dos Parâmetros	44
3.4.1 Desgaste da Ferramenta.....	44
3.4.2 Rugosidade	45
3.4.3 Temperatura na Região de Corte	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48

4.1 Ensaio de Dureza.....	48
4.2 Cálculos do Processo de Torneamento	49
4.3 Resultados dos Desgastes Encontrados na Ferramenta de Corte	50
4.4 Rugosidade Superficial Peça Usinada	54
4.5 Temperatura Medida na Região de Corte	56
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	61
5.1 CONCLUSÕES	61
5.2 Sugestões.....	61

1 INTRODUÇÃO

A usinagem está inserida na vida do homem desde os primórdios. Pode-se definir usinagem como um processo de fabricação, ou seja, é quando ocorre a transformação de matéria-prima em produtos acabados por meio de processos (ARAÚJO, 2015).

De acordo com Lima Junior (2020), a maioria das execuções industriais utilizam a usinagem como seu principal processo de fabricação. Essa vasta utilização se dá, pelo fato de que, a usinagem é o processamento mais versátil e preciso dentre os demais processos de fabricação mecânica, tornando-se o mais considerável dentro da manufatura. A usinagem possui aspectos que os diferem dos demais procedimentos, como: a facilidade de processamento de inúmeros materiais e ligas, a viabilidade na confecção de geometrias complexas com boas tolerâncias dimensionais e excelentes acabamentos superficiais. Dentre os diversos processos de usinagem existentes, pode-se citar o torneamento, que será o objeto de estudo dessa pesquisa.

Segundo Groover (2014), o torneamento é caracterizado por ser um processo de usinagem, onde uma ferramenta monocortante remove cavaco da superfície da peça em que está sendo usinada. O equipamento responsável por realizar o torneamento é denominado torno, de tal forma que fornece uma potência ideal para a realização do processo a uma dada velocidade de rotação e avança a ferramenta com uma velocidade e profundidade de corte especificadas pelo operador.

De acordo com Pereira (2019), pode-se afirmar que os parâmetros de corte na usinagem estão diretamente ligados a eficiência, qualidade e custos final da peça usinada, nesse contexto, o aperfeiçoamento dos parâmetros de corte tem sido uma preocupação para o setor de manufatura. SHENG *et al.*, (2017), os autores destacas que os parâmetros de corte estão correlacionados às ferramentas de corte, ou seja, a sua geometria e material, desta forma, torna-se complexo estabelecer um modelo de aperfeiçoamento que estejam em conformidade com as condições reais de usinagem. De acordo com Maddis *et al.* (2022), a vida útil da ferramenta de corte, tem relação direta com as características da ferramenta e temperatura localizada na região do corte, já que o atrito nesta região favorece a elevação desta temperatura.

O maior desafio de processo de usinagem, é reduzir os danos causados por meio da temperatura gerada entre o par tribológico peça-ferramenta. Para minimizar os danos causados pela elevada temperatura na usinagem, utiliza-se a lubrificação para reduzir o atrito na região do corte. De acordo com Qiu et al. (2017), a lubrificação visa gerar um filme de lubrificante com menor resistência ao cisalhamento entre as áreas de fricção, estes filmes de lubrificação podem ser de caráter líquidos, sólidos ou gasosos.

Diniz (2001), destaca que, os fluidos de corte possuem diversas funções no processo de fabricação, porém, reportam alguns problemas econômicos, dificuldade para realizar o armazenamento do próprio fluido de corte e dos cavacos molhados por ele, poluição ambiental e risco a saúde do operador. O autor Oliveira (2022) ressalta que os estudos revelam que os aditivos vêm demonstrando ótimos resultados e maximizando a durabilidades das ferramentas de corte utilizadas pelos processos de usinagem.

Desta forma, este trabalho se propõe a analisar os desgastes das ferramentas de corte, as rugosidades superficiais das peças usinadas e as temperaturas na região de corte, fazendo uso de duas ferramentas de metal duro em que, uma delas passou por tratamento com o condicionador de metal Militec-1, enquanto a outra não passou por tratamento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar uma análise comparativa entre duas ferramentas de corte, sendo uma sem tratamento e a outra tratada com o condicionador de metal Militec-1. Estas ferramentas foram empregadas no processo de torneamento.

1.1.2 Objetivos específicos

- Tratar ferramenta de corte por meio de adsorção, fazendo uso de um condicionador de metal.
- Submeter ferramentas tratadas e não tratadas a operações de torneamento a seco mantendo os mesmos parâmetros de corte.
- Analisar a influência do tratamento por adsorção, nos desgastes das ferramentas de corte, na rugosidade superficial das peças usinadas e temperaturas de usinagem durante o corte.
- Comparar os resultados obtidos com a literatura.

2 REFERÊNCIAL TEÓTICO

2.1 FERRAMENTAS DE USINAGEM

Para Arendt (2017), uma das etapas de mais relevância no processo de usinagem é a seleção do material da ferramenta. Para ser utilizado como ferramenta de usinagem, os materiais necessitam atender exigências fundamentais, como: elevada dureza a frio, devendo ter dureza superior a peça que seja usinada, elevada dureza a quente, tenacidade capaz de resistir os esforços de corte e os impactos, resistência à abrasão, estabilidade química, possuir fácil acesso e preço acessível.

Existem diversos tipos e matérias de ferramentas de cortes que podem gerar combinações na qual alcancem propriedades em vários níveis, dentre elas existem: os aços rápidos, cerâmicas, diamantes e metal duro (GROOVER, 2014). Neste trabalho, irá ser abordado apenas as ferramentas de metal duro, pois será o material escolhido para realizar o processo de torneamento.

Para Borba (2016), o desempenho das ferramentas de metal duro, depende da sua composição química, microestrutura, quantidade de ligante e tamanho dos seus grãos, já que grãos menores possibilitam um fator de empacotamento mais elevado, elevando-se a dureza, a resistência mecânica e a resistência ao desgaste, além de reduzir a condutibilidade térmica da ferramenta, contribuindo para o aumento da resistência do gume da ferramenta.

Ferraresi (1973) destaca que, o metal duro é o material mais empregado pela industrial moderna devido suas combinações de dureza à temperatura ambiente e a quente, além de resistência ao desgaste e tenacidade, de forma que essas combinações podem ser obtidas ao variar as composições.

2.1.1 Desgastes em Ferramentas

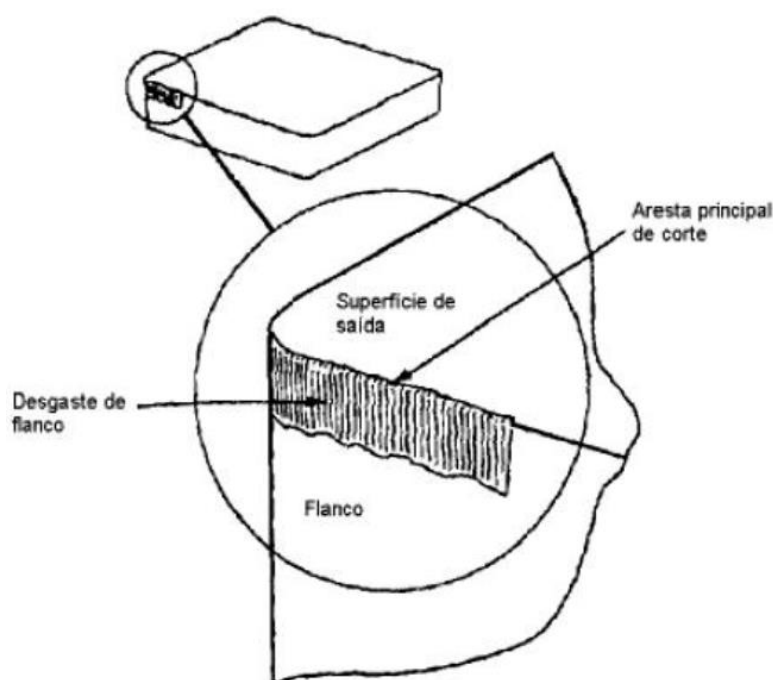
Um dos maiores problemas enfrentados pela usinagem é referente ao tempo de vida útil das ferramentas de corte, este problema afeta diretamente no desgaste da ferramenta.

Segundo Diniz (2001), existem inúmeros tipos de desgastes que ocorrem em uma ferramenta de usinagem. O desgaste é definido como a perda contínua e microscópica de partículas da ferramenta por meio do movimento de corte. Outros problemas podem ser detectados na ferramenta sendo designado como avarias. Pode-se determinar diversos tipos de desgaste, como: desgaste frontal ou de flanco, desgaste de cratera, deformação plástica da aresta

de corte, lascamento, trincas e quebra. Este trabalho irá abordar apenas o desgaste de flanco, já que o mesmo será considerado um dos objetos de estudo proposto.

O desgaste frontal ou de flanco, ocorre quando o ângulo de folga reduz, podendo atingir a aresta principal de corte ou a secundária. Ao atingir a aresta principal de folga, gera uma elevação nas temperaturas e forças de corte envolvidas, podendo ocasionar vibrações na ferramenta de corte ou na peça. Este é o tipo de desgaste que pode acarretar mais danos à peça e ainda é o que mais solicita potência de corte. Desta forma, o desgaste de flanco é o critério mais utilizado para analisar o fim de vida da ferramenta (AMORIM, 2002). A ISO 3685 (2017), é a norma que rege os ensaios de torneamentos e corpos de provas, com a interrupção regular da operação de corte, com o objetivo de averiguar o desgaste da ferramenta após a quantidade de passes estabelecidos, repetindo as etapas, até que o desgaste da ferramenta seja perceptível, ou atinja os seguintes valores, desgaste de flanco médio (V_b) = 0,3 mm, desgaste de flanco máximo ($V_{Bmáx}$) = 06 mm e profundidade de cratera (KT) = 0,06 + 0, 3.f

Figura 1 - Desgaste de Flanco



Fonte: MATA, 2019

De acordo com Groover (2014), existem alguns tipos de mecanismos de usinagem que ocasionam desgastes e podem ser resumidos por meio de cinco formas principais: abrasão, adesão, difusão, reação química; deformação plástica.

Abrasão é uma operação mecânica de desgaste, gerada por partículas duras que estão localizadas na peça usinada, estas partículas provocam arranhões e com isso, partículas são retiradas da ferramenta cortante, a abrasão é o mecanismo de usinagem que causa o desgaste de

flanco, abordado neste trabalho. Adesão acontece quando duas áreas estão diretamente em contato e sofrem elevadas temperaturas e pressões. Já na difusão ocorre quando há troca de átomos de uma área que possui maior concentração atômica para uma área de menor concentração atômica. Se tratando do desgaste em ferramentas, a difusão acontece no limiar cavaco-ferramenta. Reação química são formadas por altas temperaturas e as superfícies limpas na interface cavaco-ferramenta, na usinagem de elevadas velocidades, podendo acabar em reações químicas, prioritariamente na oxidação da superfície de saída da ferramenta.

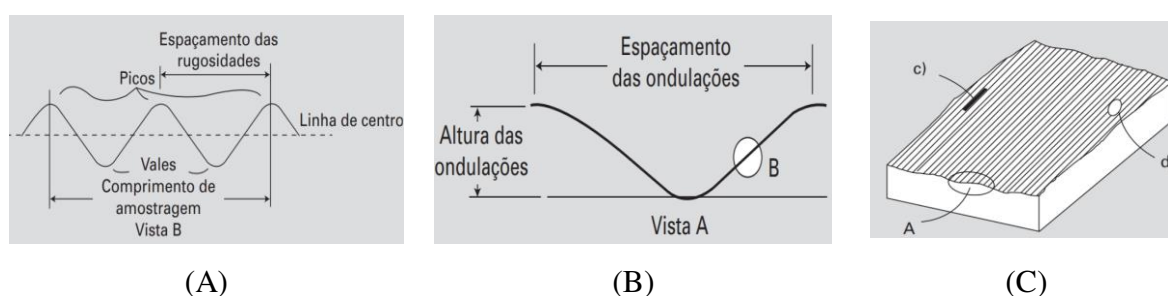
Desta forma, Soori e Arezoo (2022) relatam que, quando o desgaste atinge proporções drásticas e aumenta-se a rugosidade superficial da peça.

2.1.2 Rugosidade

A rugosidade de uma superfície é formada por irregularidades que podem ser finas ou de erros microgeométricos que são decorrentes da ação característica ao processo de corte, devido ao avanço, aresta postiça de corte ou até mesmo desgaste da ferramenta. Deste modo, deve-se evitar que superfícies usinadas possuam ondulações ou falhas (FERRARESI, 1970).

Ainda de acordo com Ferraresi (1970), a Figura 2, ilustra os elementos que traduzem o acabamento superficial, de forma que, a Figura 2 (A) representa a rugosidade superficial, a 2 (B) caracteriza as ondulações e a 2(C) são as marcas e suas direções.

Figura 2 - Elementos que traduzem o acabamento superficial



Fonte: Ferraresi, 1970

A rugosidade superficial é um dos parâmetros que é capaz de mensurar a qualidade da superfície usinada. Podendo ser classificada como um conjunto sucessivo de irregularidades causadas pelo processo de fabricação (PINTO, 2017).

De acordo com Parra *et al.* (2006), existem três principais parâmetros em que se pode avaliar a rugosidade superficial de uma peça usinada, que são: (1) rugosidade média (R_a); (2) rugosidade máxima (R_y); (3) rugosidade média (R_z).

1. Rugosidade média (R_a):

É calculada por meio da média aritmética dos valores absolutos das alturas dos pontos que constituem o perfil em relação a linha média (LM).

2. Rugosidade máxima (R_y):

É a desigualdade encontrada entre o ponto mais elevado e o ponto mais baixo ao longo do perfil de rugosidade proposto.

3. Rugosidade média (A_z):

É caracterizado como a média dos cinco pontos mais elevados e os cinco pontos mais baixos do perfil antes de realizar a diferença entre os mesmos.

O parâmetro de medição de rugosidade utilizado neste trabalho (Equação 1), foi de rugosidade superficial (R_a), de acordo com Cunha (2012), este parâmetro é muito utilizado como parâmetro de controle de processos e representa um valor médio, além de ser um parâmetro constante, que não possui intervenção de fatores eventuais.

$$R_a = \frac{f^2}{32 * r} \quad (1)$$

Onde, tem-se que:

f : Avanço

r : Raio de ponta da ferramenta.

Para coletar os valores referentes a rugosidade média, a norma (ABNT - NBR 6405/1988 como pode ser observado por meio da Tabela 1, adequados para o comprimento de amostragem.

Tabela 1 - Comprimento da amostragem (CUT OFF)

Rugosidade R_a (μm)	Mínimo comprimento de amostragem L_e (CUT OFF) (mm)
De 0 até 0,1	0,25
Maior que 0,1 até 2,0	0,8
Maior que 2,0 até 10,0	2,5
Maior que 10,0	8

Fonte: Adaptado de Tiburcio (2009)

2.1.3 Parâmetros de usinagem

De acordo com Pires (2021), os parâmetros de usinagem denotam variáveis como deslocamento, velocidades e dimensões a serem executadas durante o processo de usinagem. Essas variáveis estão diretamente correlacionadas com a ferramenta de corte a ser utilizada e a dureza do material da peça. Realizando a seleção adequada de parâmetros, pode-se alcançar um

melhor rendimento na usinagem. Com isso, os principais parâmetros de corte podem ser descritos da seguinte forma:

Movimento de avanço (f) é movimento que ocorre entre a ferramenta de corte e a peça, em conjunto com o movimento de corte, ocasionando uma remoção de cavaco consecutiva por meio de inúmeras rotações (FERRARESI, 1970). Profundidade de corte (a_p), é o deslocamento entre a ferramenta e a peça, onde é definida a quantidade de material que será removida da peça. Pires (2021), destaca que a velocidade de corte (V_c) é denominada como a velocidade na qual a máquina-ferramenta executa o corte do material no momento em que se movimenta com relação a peça, desta forma, a velocidade de corte pode ser encontrada por meio da Equação 2.

$$v_c = \pi * \phi * \frac{n}{1000} \left(\frac{m}{min} \right) \quad (2)$$

Onde:

ϕ = Diâmetro da ferramenta ou da peça.

n = Número de rotações por minutos.

De acordo com Pradeepkumar *et al.* (2015), a velocidade de corte é o principal parâmetro que influencia na temperatura da interface cavaco-ferramenta, em relação aos outros parâmetros de corte, outro parâmetro que ajuda a elevar a temperatura de corte é a profundidade do corte.

Para encontrar o comprimento usinado por minuto (Equação 3), é encontrado por meio do avanço (f) e da rotação da máquina (n).

$$I = f * n \quad (3)$$

2.1.4 Temperatura de corte no processo de usinagem

De acordo com Machado *et al.* (2011), grande parcela da potência consumida no processo de usinagem resulta em calor localizado nos arredores da aresta de corte da ferramenta, causando diversos problemas técnicos e econômicos. Os desgastes de ferramentas de corte, em sua grande maioria são desencadeados pelas altas temperaturas desenvolvidas nesta região.

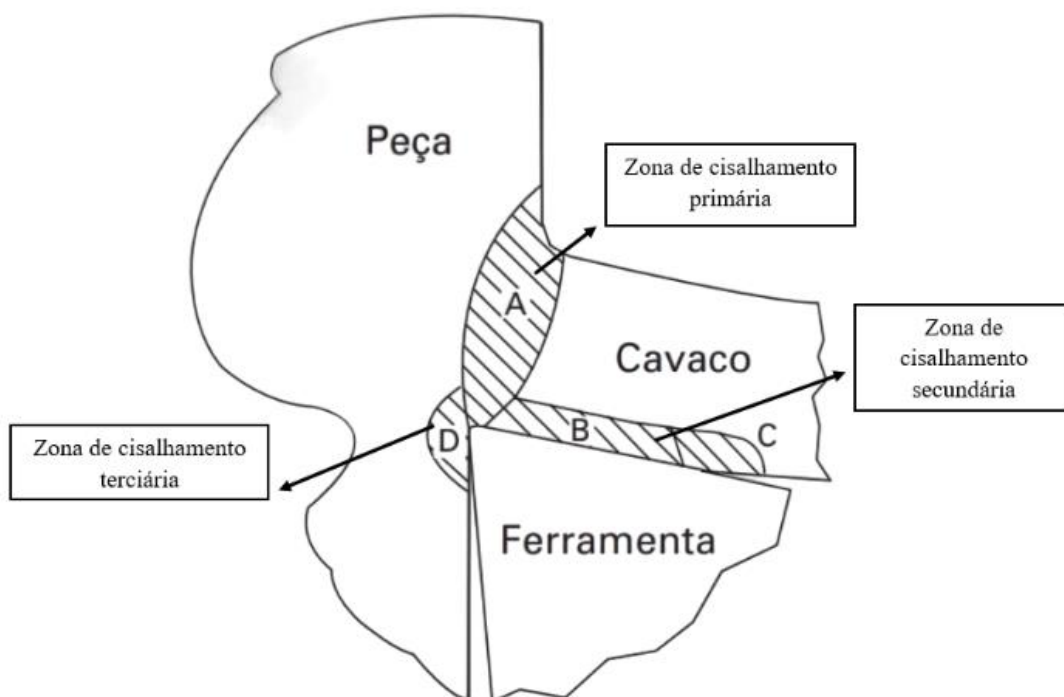
Para Pereira (2019), a quantidade de calor gerado durante o processo de usinagem sofre variações que estão associadas aos seguintes fatores: material da ferramenta de corte e parâmetros de corte, principalmente a velocidade de corte, que possui maior influência sobre a

elevação da temperatura. Esses fatores, influenciam diretamente nos custos operacionais dos processos.

O custo da usinagem está relacionado a quantidade de material removido, desta forma, os parâmetros envolvidos para a remoção de material são velocidade de corte, avanço e profundidade, quando eleva-se esses aspectos, a produtividade torna-se mais elevada e ocorre uma redução de custos no processo produtivo, porém, quando esses parâmetros são elevados, ocorre um aumento significativo na quantidade de calor gerada, ocasionando um aumento na temperatura de corte e causando desgastes na ferramenta e má qualidade da peça usinada. Desta forma, pode-se perceber que a quantidade de calor gerada, é um agente que delimita a vida da ferramenta de corte e a produtividade (LIMA JUNIOR, 2020).

Machado *et al.* (2011) destaca que a energia utilizada para a produção do cavaco é vista por meio de três áreas diferentes, como ilustra a Figura 3: zona de cisalhamento primária (ZCP), que está localizada entre a peça e a ferramenta; na zona secundária de cisalhamento (ZCS), onde o cisalhamento ocorre de forma acentuada na raiz do cavaco e a zona de cisalhamento terciária (ZCT), ocorrendo na superfície da peça.

Figura 3 - Zonas de geração de calor na usinagem



Fonte: Adaptado de Machado *et al.* (2011).

Na zona de cisalhamento primária (ZCP), o calor gerado é por causa da deformação plástica que ocorre nos planos de cisalhamento, em que, esse aquecimento resulta em elevadas temperaturas, proporcionando uma ductilidade no material e permitindo sua deformação. Na

zona de cisalhamento secundária (ZCS), o calor gerado em virtude do cisalhamento interno do cavaco e pela sua passagem por meio da zona de escorregamento na interface cavaco-ferramenta. Enquanto na zona terciária (ZCT), o calor é gerado na interface peça-ferramenta, por meio do trabalho realizado para vencer o atrito que está presente entre a aresta de corte e a superfície usinada da peça (ALMEIDA *et al.*, 2021).

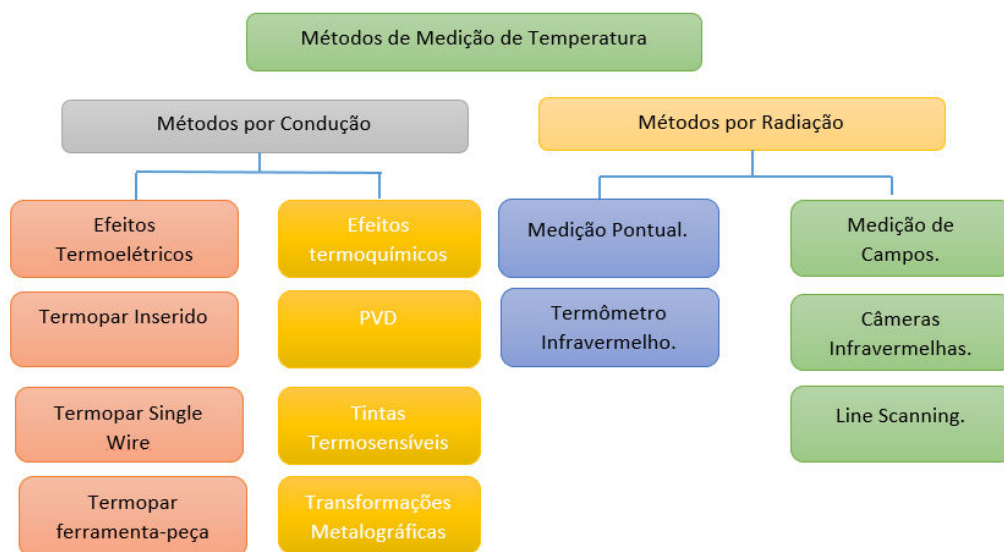
2.1.5 Métodos de Medição de Temperatura em Usinagem

Como já foi abordado durante a seção 2.1.4, as altas temperaturas de corte influenciam os mecanismos de desgastes da ferramenta de corte. Em decorrência dessa adversidade, é importante que se tenha um controle da temperatura na região de corte (SILVA, 2018). Mesmo com a existência de diversas técnicas de medição de temperatura na região do corte, executar esta atividade é uma missão difícil (TRENT; WRIGHT, 2000).

A literatura aborda métodos que são capazes de definir a temperatura de corte, estes métodos são divididos em três categorias: experimentais, analíticos e numéricos.

Existem inúmeras perspectivas que devem ser analisadas ao selecionar um método de medição de temperatura. A Figura 4, ilustra que os métodos de medição de temperatura podem ser divididos em duas categorias, sendo elas: métodos de condução ou radiação. A literatura destaca que mesmo existindo diversos métodos, nenhum possui competência suficiente para fornecer resultados precisos em diversas situações (LEONIDAS *et al.*, 2022).

Figura 4 - Métodos de medição de temperatura



Fonte: Adaptado de (LEONIDAS *et al.*, 2022)

2.1.5.1 Condução

A medição de temperatura por meio da condução, é caracterizada por medir gradientes de temperatura utilizando a monitoração de transferência de calor por meio de dois pontos que estão em contato direto com a peça. Pode-se afirmar que, a pintura térmica é uma das técnicas que possuem um menor custo, além de ser bastante simplificada. Para realizar a medição, é necessário que o material seja envolvido com tinta, de forma que, essa tinta seja capaz de sofrer alteração na sua coloração conforme a temperatura (LEONIDAS *et al.*, 2022).

Outro método que pode ser utilizado para encontrar a distribuição de temperatura na fase de saída da ferramenta de corte, é o método de pós finos de ponto de fusão constante. A distribuição da temperatura é aproximada analisando a linha limite que divide áreas de pó fundido e pó não fundido contidas na superfície da ferramenta. Desta forma, a linha de fronteira é definida como a linha de equitemperatura em que se encontra o ponto de fusão adicionado ao pó. Esse método não exige calibração, já que todos os pós utilizados possuem pontos de fusão constantes, o que possibilita obter a distribuição da temperatura. Porém, é um método que possui limitações como, o pó necessita de um longo período de tempo para ser derretido e o experimento requer várias repetições com diversos pós e diferentes pontos de fusão (GUIMARÃES *et al.*, 2022).

Ainda de acordo com Guimarães *et al.*, (2022), o método de pós finos foi aprimorado fazendo a utilização de revestimento de deposição física de vapor (PVD), o que permitia resultados com uma maior exatidão.

Utilizando a condução, o método mais usual de medir a temperatura é empregando um circuito elétrico, denominado termopar. Um termopar é constituído por dois condutores elétricos que são fabricados por diferentes metais e possuem pelo menos uma conexão elétrica que é chamada junção. A medição da temperatura é realizada por meio da diferença entre as temperaturas das juntas (BEASLEY; FIGLIOLA, 2020).

2.1.5.2 Radiação

As técnicas referentes a radiação, podem ser definidas como métodos termográficos sem que haja contato direto para mensurar a temperatura na superfície da peça tomando como base a energia térmica emitida. Elas podem ser divididas em medição para campo de temperatura (termográfica infravermelho) que engloba câmeras fotográficas com sensibilidade à radiação infravermelho e câmeras infravermelhas, como a medição pontual (pirômetro infravermelho). Essa técnica possui diversas vantagens em comparação com a técnica

termoelétrica, dentre elas: resposta eficiente, não possui efeitos desfavoráveis em temperaturas e materiais diversos, não possui o contato físico e pode realizar medições em peças de difícil acesso. É uma técnica adequada para realizar a medição de altas temperaturas (ABUKHSHIM; MATIVENGA; SHEIKH, 2006).

Lima (2005), destaca que, uma das desvantagens desse método que podem ser citadas, é que os resultados alcançados por meio da medição da temperatura não são pontuais, ou seja, apresentam um valor médio da temperatura em função da zona de medição conforme a sensibilidade do equipamento pode chegar até a 1mm², outro ponto que pode ser destacado é que, estes equipamentos só capturam temperaturas superiores a 200°C.

A utilização de câmeras para realizar a captação da radiação infravermelho para mensurar parâmetros de temperatura, tem sido recorrente. Este equipamento pode gerar mapas das curvas isotérmicas da área analisada. As peças são ilustradas em diversas cores para demonstrar diferentes zonas de temperatura, (Lima, 2005). Para este trabalho, foi utilizado a técnica de medição da temperatura na região de corte, fazendo uso de câmera termográfica.

2.2 LUBRIFICAÇÃO EM USINAGEM

De acordo com Teixeira e Gomes (2014), o americano F. W. Taylor foi o primeiro estudioso a descobrir e utilizar fluidos de corte no processo de usinagem. Em seu experimento, utilizou água para penetrar na superfície peça-ferramenta, conseguindo elevar a velocidade de corte em cerca de 33%, sem que houvesse danos referentes a ferramenta de corte. A água absorveu parte do calor gerado no decorrer do processo de corte.

Foi comprovado que a água seria o fluido na qual possuía o melhor calor específico em relação aos demais fluidos, sendo assim, o refrigerante mais eficiente, no entanto apresenta um alto poder corrosivo, danificando os elementos das máquinas. O artifício utilizado para sanar esse problema ocasionado pela corrosão gerada nos componentes das máquinas, foi adicionar óleos à água para produzir emulsões e aperfeiçoar a lubrificação no processo de usinagem (REIS, 2000).

Os fluidos de corte possuem algumas vantagens, como: a otimizar do desempenho da ferramenta de corte, melhor acabamento superficial da peça, melhores qualidades dimensionais, além de auxiliar na retirada de cavaco na área de corte. Desta forma, pode-se observar que os fluidos de corte são considerados mecanismos indispensáveis para o processo de usinagem, auxiliando a progressividade da produção e a qualidade final do produto, reduzindo custos e aumentando a lucratividade do setor de manufatura (STEPHENSON E AGAPIOU, 2016).

Quando o atrito presente na interface cavaco-ferramenta é reduzido, automaticamente é reduzida a adesão e a formação da aresta postiça de corte (APC), com isso, há uma diminuição da temperatura na área de corte, (LIMA JUNIOR, 2020).

Mesmo com tantas vantagens referentes ao processo de usinagem, os fluidos de cortes convencionais reportam problemas econômicos, ambientais e oferecem perigo a saúde do operador. Para realizar o armazenamento e descarte dos fluidos, o custo se torna duas vezes maior do que o custo total da usinagem (LIMA JUNIOR, 2020). Segundo Goindi e Garkar (2017), os fluidos de cortes possuem formulações que são vulneráveis ao crescimento de bactérias e fungos, e a contaminação por partículas e íons metálicos, desta forma, após um certo período de uso, devem ser descartados, caso este fluido de corte seja descartado em grandes quantidades, podem ocasionar sérios danos ecológicos e de contaminações.

Desta forma, a indústria vem preferindo realizar processos de usinagem a seco com o objetivo de reduzir os custos relacionados a aquisição dos lubrificantes de resfriamento, seu armazenamento, além de excluir os problemas relacionados ao meio ambiente e saúde do operador. Porém, o corte a seco proporciona temperaturas mais elevadas durante o corte (PAULA, 2021).

2.2.1 Tipos de lubrificação

Segundo Shigley (2005), a lubrificação visa a redução da fricção, o desgaste e aquecimento nas peças das máquinas que se deslocam uma em relação a outra. O lubrificante é uma substância que é empregada entre superfícies móveis e deslizantes entre si, possuindo como finalidade a redução da resistência ao deslocamento. Para Stachowiak e Batchelor (1993), os principais tipos de lubrificantes são a base de óleo mineral, óleo vegetal, base sintética, graxas aditivos.

Óleos minerais: é o lubrificante mais utilizado, é derivado do petróleo, sendo um produto de baixo custo. Existem uma diversidade de vantagens e desvantagens associadas a utilização do óleo mineral para a lubrificação de máquinas específicas, desta forma, parâmetros devem ser analisados antes de escolher um lubrificante e utilizá-lo em um sistema de lubrificação (STACHOWIAK E BATCHELOR, 1993).

Para Sembarski (2018), existem diversos pontos positivos em relação aos óleos minerais, como disponibilidade e baixo custo, porém, existem desvantagens como os problemas ocasionados pela oxidação e perda de viscosidade em temperaturas elevadas, além da combustão ou explosão na companhia de agentes oxidantes fortes e solidificação em temperaturas relativamente baixas.

Óleo vegetal: São caracterizados por terem sido os primeiros lubrificantes utilizados como óleos integrais no processo de usinagem dos metais. Porém, sua utilização tornou-se inacessível por ser um produto de alto custo, além de sofrer uma deteriorização rápida, contudo, ainda são utilizados como aditivos, nos fluidos minerais, com o intuito de melhorar suas propriedades lubrificantes. Os óleos vegetais possuem boa eficiência na redução de atrito, mas possuem baixa condutividade térmica e baixo calor específico, tornando ineficiente na condução de calor fora da região de corte (MACHADO *et al.*, 2011).

Base sintética: são óleos que se baseiam em substâncias químicas que criam soluções em água. São conhecidos por formarem soluções transparentes, favorecendo boa visibilidade durante o corte. Uma das suas vantagens é apresentar uma maior vida que os fluidos semi-sintéticos, porém, ainda possuem vida menor que os óleos integrais. Correspondem aos tipos mais utilizados em atividades complexas ou pesadas, possuem agentes umectantes que possibilitam que o fluido seja distribuído de forma eficiente sobre as superfícies metálicas, maximizando as propriedades de refrigeração (REIS, 2000).

Os lubrificantes sintéticos passaram a ser usados entre 1920 a 1945, quando ocorreu a crise do petróleo em países como Alemanha e França e pela forte necessidade por lubrificantes para máquinas que necessitavam de altas temperaturas. Inicialmente, tinham um elevado custo e pouca aceitação no mercado. Atualmente, sua demanda tem se intensificado, principalmente para aplicações voltadas para indústria de aviação com motores de turbina a gás de alto desempenho (SEMBARSKI, 2018).

Graxas: para Stachowiak e Batchelor (1993), graxas são definidas como óleos lubrificantes com viscosidade, mas na verdade são misturas de óleos lubrificantes e espessantes. São mais utilizadas em mancais de rolamentos ou engrenagens como lubrificantes semipermanentes de pouca manutenção. Possuem desempenho inferiores aos óleos minerais, com exceção de baixas velocidades de deslizamento, nessas configurações algumas graxas possuem melhor eficácia. As graxas precisam satisfazer as mesmas necessidades dos óleos lubrificantes, porém, é essencial que permaneçam como uma massa semi-sólida, mesmo com as altas temperaturas. Sua vida útil é definida pela perda da consistência semi-sólida para converte-se em líquido ou depósito rígido.

Aditivos: nessa classe estão os fluidos emulsíveis e semi-sintéticos. São tensoativos polares que possuem a característica de minimizar a tensão superficial, originando uma película monomolecular relativamente estável na interface óleo/água (MACHADO *et al.* 2011). Desta forma, Stachowiak e Batchelor (1993) destacam que, os emulsificantes possuem os seguintes objetivos: melhorar as características de desgaste e fricção, para absorção e lubrificação de

extrema pressão, melhorar a resistência a oxidação e seu controle, além de controlar a contaminação por produtos de reação, partículas de desgastes e outros detritos, reduzindo a diminuição excessiva da viscosidade do lubrificante em altas temperaturas, melhorando as características do lubrificante reduzindo o ponto de fluidez e inibindo geração de espuma.

Desta forma, pode-se perceber os diversos tipos de lubrificantes utilizados em diferentes áreas, já nos processos de usinagem, a lubrificação ocorre por meio de fluidos de corte, que podem ser caracterizados como refrigerantes ou lubrificantes.

2.2.2 Lubrificantes e refrigerantes

De acordo com Groover (2014), os refrigerantes são fluidos de corte indicado para minimizar os efeitos da temperatura na operação de usinagem. Possuem a função de remover o calor gerado, minimizando a temperatura da ferramenta e da peça, ajudando a ampliar a vida útil da ferramenta de corte. Como a água possui elevado calor específico e condutividade térmica, é utilizado em fluidos de cortes do tipo refrigerante. Os fluidos de corte do tipo refrigerante, são elementos eficazes quando estão trabalhando em altas velocidades de corte e são largamente utilizadas em processos de torneamento e fresamento.

Ainda de acordo com Groover (2014), os lubrificantes são fluidos de corte compostos à base de óleos, já que os óleos são caracterizados por serem líquidos com boa qualidade de lubrificação e são desenvolvidos para minimizar o atrito entre cavaco-ferramenta e ferramenta-superfície usinada. De modo geral, os fluidos de corte do tipo lubrificante possuem uma maior eficiência quando são utilizados em baixas velocidades de corte. Quando utilizados em velocidades superiores a 120m/mm tendem a não serem totalmente efetivos, já que não são capazes de alcançar a interface cavaco-ferramenta. Ao ser utilizado em temperaturas elevadas, o lubrificante tende a vaporizar antes mesmo de realizar o processo de lubrificação.

2.2.3 Condicionadores de metais

Para Machado *et al.* (2011), todo e qualquer esforço deve ser valido para aumentar a produtividade e reduzir a temperatura no processo de usinagem. Desta forma, no processo de usinagem, os fluidos de corte ou demais recursos podem ser uteis para reduzir as complicações impostas pelo atrito. Para Lima e Vale (2019), o atrito do par tribológico peça-ferramenta, eleva a temperatura do sistema, causando uma perda gradual do material da ferramenta, ocasionando redução de propriedades de dureza a quente, causando desgastes na aresta de corte. Com isso, os condicionadores de metais podem ser utilizados nos processos de usinagem e contribuir

consideravelmente, em função da sua capacidade de proteção contra desgastes, redução de atrito, sendo utilizado como substituto de fluidos de corte.

Uma solução para evitar ou reduzir o desgaste é manter as superfícies distantes ou adicionando uma camada lubrificante entre ambas. Uma solução para reduzir este desgaste entre as duas superfícies é a adição de uma camada de lubrificante líquida ou sólida entre estas superfícies e, em algumas aplicações, a lubrificação sólida apresenta maiores vantagens em relação a minimização do atrito (DEMÉTRIO, 2012).

Da Cunha 2012, afirma que o lubrificante sólido possui uma outra vantagem relevante em relação ao líquido, que está relacionado a temperatura, os lubrificantes líquidos são caracterizados por sua fácil decomposição e oxidação, entretanto, os lubrificantes sólidos podem atender a faixa de 1000 °C, mantendo um coeficiente de fricção baixo, (CUNHA, 2012). Ainda de acordo com Cunha (2012), é viável realizar combinações entre lubrificantes sólidos e líquidos, essas combinações resultam em associação de propriedades que proporcionam a redução do coeficiente de atrito.

Nos produtos químicos, há uma adição de óleos propositalmente, para que seja possível otimizar suas propriedades, desta forma, são conhecidos como aditivos. Os aditivos podem mudar drasticamente as propriedades de um lubrificante e são indispensáveis para o desempenho global, além disso, eles impõem características específicas do lubrificante como a corrosão, formação de espuma, desgaste e atrito (SANTANA *et al.*, 2010). Os condicionadores de metais não podem adentrar na classe dos aditivos para lubrificantes, em virtude na sua viscosidade ser semelhante a viscosidade dos fluidos sintéticos (OLIVEIRA, 2022).

Os condicionadores de metais são utilizados em ocorrências onde pretende-se reduzir o atrito, proteger a superfície ou peça contra situações adversas, servindo como metal de base para outro metal de resistência mecânica maior ou que contenha melhores propriedades e, em algumas situações agir como redutor de fadiga (SILVA, 2018).

Para Oliveira (2015), os condicionadores de metais podem ser caracterizados como uma ferramenta líquida e moderna para realizar a lubrificação em sistemas que possuem atrito como elemento predominante. Sua aplicação pode ser realizada na indústria automobilística, por proprietários de veículos ou em qualquer meio industrial que tenha a necessidade de reduzir atrito.

Neste trabalho, foi utilizado o condicionador de metal Militec-1, que é caracterizado por ser um líquido sintético de coloração dourada, semelhante a óleos sintéticos em relação a viscosidade, o mesmo não é um aditivo de óleo, já que não possui melhorias no índice de

viscosidade, além de não alterar a composição físico-química e nem o intervalo de troca de óleo (MILITEC, 2023).

O fabricante ainda afirma que, o Militec-1 pode ser aplicado puro ou com a adição de óleos ou graxas de origem mineral ou sintética. De acordo com a literatura (Alves, 2014; Vale, 2019); Silva, 2014), o produto ainda pode ser inserido nos processos de fabricação por meio da usinagem, sua utilização visa a formação de uma espécie de barreira química proporcionando a redução do atrito, da corrosão e da ferrugem, neste trabalho utiliza-se o condicionador de metal Militec-1, para realizar o processo de usinagem por meio de torneamento.

2.3 AÇO 1045

Aços são descritos como ligas compostas por ferro-carbono que podem incluir concentrações de outros elementos de liga. O teor de carbono dos aços, geralmente é inferior a 1,0%p. Como ilustrado na Tabela 2, indica a composição química dos aços (CALLISTER JUNIOR, 2020).

Tabela 2 - Composição química dos aços carbono (em %)

SAE-AISE	C	P	SI	S	Mn
1040	0,37-0,44	0,04 _{máx}	0,60 _{máx}	0,05 _{máx}	0,60-0,90
1042	0,40-0,47	0,04 _{máx}	0,60 _{máx}	0,05 _{máx}	0,60-0,90
1043	0,40-0,47	0,04 _{máx}	0,60 _{máx}	0,05 _{máx}	0,70-1,00
1044	0,43-0,50	0,04 _{máx}	0,60 _{máx}	0,05 _{máx}	0,30-0,60
1045	0,43-0,50	0,04 _{máx}	0,60 _{máx}	0,05 _{máx}	0,60-0,90
1046	0,43-0,50	0,04 _{máx}	0,60 _{máx}	0,05 _{máx}	0,70-1,00
1049	0,46-0,53	0,04 _{máx}	0,60 _{máx}	0,05 _{máx}	0,60-0,90
1050	0,48-0,55	0,04 _{máx}	0,60 _{máx}	0,05 _{máx}	0,60-0,90
1053	0,48-0,55	0,04 _{máx}	0,60 _{máx}	0,05 _{máx}	0,10-1,00

Fonte: Adaptado de (GALLO, 2006)

O aço 1045 é considerado um aço de médio teor de carbono, contendo 0,45% de carbono em sua composição, sendo caracterizado por ser um aço com boa ductilidade, plasticidade e dureza, possui ótimo desempenho quando está sujeito a outros esforços mecânicos e em trabalhos a frio (SOUZA; SILVA, 2018). Os autores Silva e Faria Neto (2012) destacam que, os aços com médio teor de carbono possuem boa usinabilidade, apresentam uma microestrutura composta por perlita grosseira, e uma quantidade mínima de ferrita obtida por meio do recozimento.

2.3.1 Aplicações e Propriedades do Aço SAE 1045

O aço SAE 1045 possui uma vasta utilização para fabricação de peças que necessitem de uma resistência mecânica superior à dos aços que possuem baixo teor de carbono. Geralmente é utilizado para a produção de eixos em geral, pinos, cilindros, ferrolhos, parafusos, grampos, pinças, pregos e colunas. De forma geral, é muito utilizado com durezas de 180 a 300 HB. Como é um aço para beneficiamento com temperabilidade baixa, ou seja, possui baixa penetração em sua seção transversal, não é indicado para seções superiores a 60 mm (ZIANI; FERNANDES, 2016).

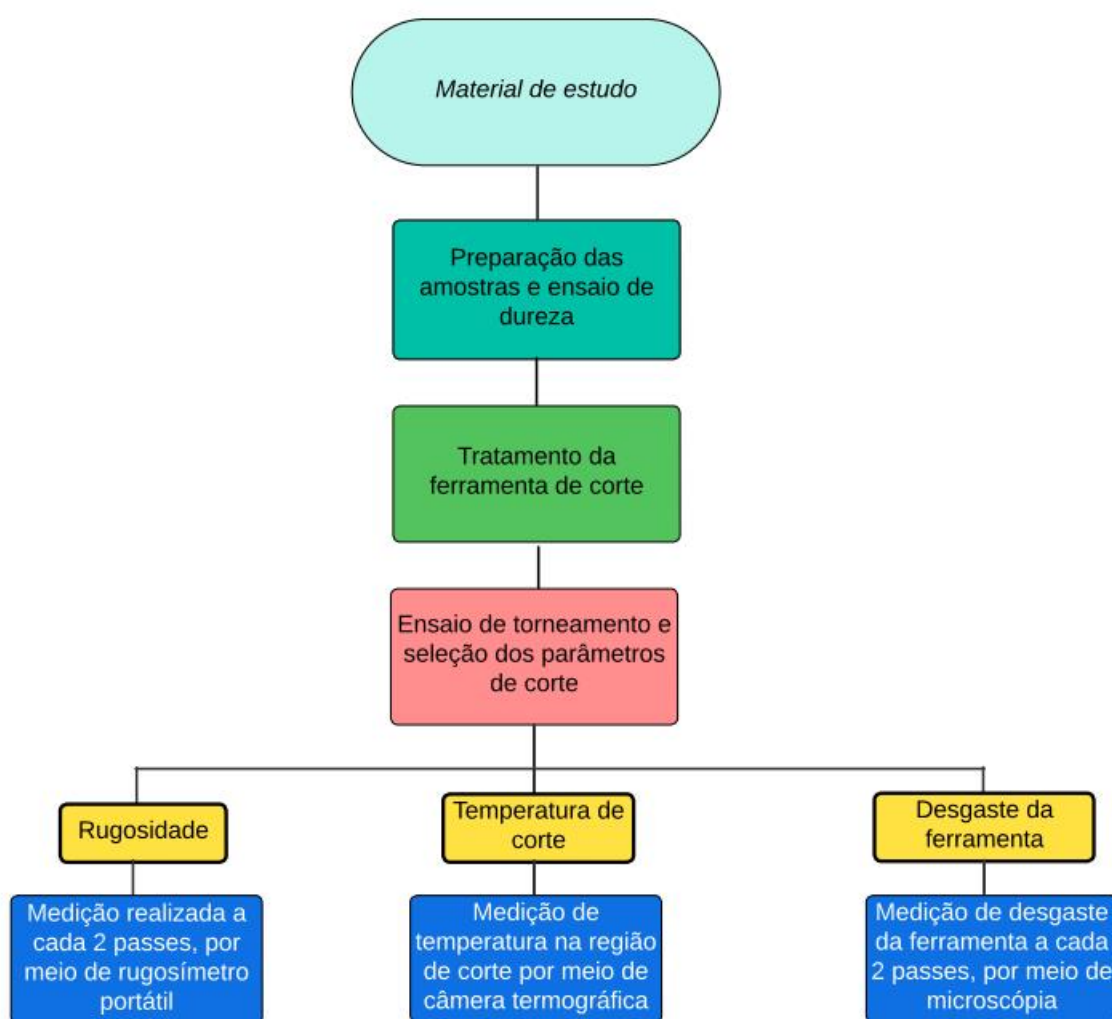
Processos de fabricação como forjamento, laminação, usinagem e soldagem também fazem uso do aço SAE 1045. O processo tratado neste trabalho é o processo de usinagem, na qual realizou-se uma operação de torneamento, fazendo uso de um torno mecânico.

3 METODOLOGIA

Este capítulo possui como foco a descrição dos métodos e materiais utilizados para a realização deste trabalho, como sua descrição e caracterização dos procedimentos realizados durante a pesquisa.

Fundamentando-se nos objetivos traçados e propostos para este trabalho, foi elaborado um fluxograma, como ilustra a Figura 5 para demonstrar de forma objetiva a metodologia utilizada neste trabalho.

Figura 5 - Procedimentos utilizados para a realização deste trabalho



Fonte: Autoria própria, 2023

3.1 Descrição da Metodologia

A realização dos ensaios deste trabalho, ocorreram nas dependências da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, onde se fez necessário a utilização dos Laboratórios de Ensaios

Mecânicos e Metalógrafa e o Laboratório de Usinagem e Soldagem. Antes de iniciar o processo de torneamento do tarugo, foi necessário realizar ensaios de microdureza Vickers, para que fosse possível coletar seus respectivos valores de dureza e comprovar a autenticidade do tarugo do aço SAE 1045. Posteriormente, foi possível iniciar o processo de torneamento por meio de desbaste longitudinal externo, onde foram utilizadas duas ferramentas de corte de metal duro, que foram submetidas aos mesmos processos de corte, a variável foi apenas o tratamento aplicado com o condicionador de metal Militec-1 em uma das ferramentas, enquanto a outra foi utilizada sem tratamento, por fim, foram coletados e analisados resultados das rugosidades da peça, desgastes das ferramentas e temperaturas de corte durante o processo de usinagem.

3.1.1 Material de Estudo

Para a realização deste trabalho, foi utilizado um tarugo do aço SAE 1045 comercial, este material possui boa usabilidade, médio teor de carbono e não havia passado por nenhum tipo de tratamento térmico. Como o ensaio foi realizado com duas ferramentas de corte, uma tratada com o condicionador de metal Militec-1 e uma não tratada, se fez necessário a utilização de duas barras de aço SAE 1045, ambas possuíam 400 mm de comprimento e 76,2 mm de diâmetro. Antes de iniciar o ensaio, foram realizados dois passes de 0,6 mm para realizar o acabamento e deixar o tarugo com 75 mm de diâmetro, enquanto sua face passou por um processo de faceamento, como o tarugo possuía um comprimento extenso, para realizar o faceamento foi necessário a utilização de uma luneta, como mostra a Figura 6, para reduzir a vibração da máquina. Para as operações de ajuste da peça, as ferramentas de usinagem não faziam parte do estudo.

Figura 6 - Faceamento do tarugo utilizando luneta



Fonte: Autoria Própria, 2023

3.2 ENSAIO DE DUREZA

Para realização do ensaio de dureza, o corte da amostra foi executado com o auxílio de uma máquina serra fita com aplicação de fluido, com o objetivo de não aquecer a amostra durante o corte, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Corte da amostra



Fonte: Autoria própria, 2023

Com a amostra cortada, foi possível efetuar o processo de lixamento como ilustrado na Figura 8, o lixamento foi feito em uma lixadeira metalográfica manual Arotec, fazendo uso de lixas d'água de granulometria de 120, 240, 400, 600, 800 e 1200.

Figura 8 - Lixadeira metalográfica manual Arotec



Fonte: Autoria Própria, 2023

Após o lixamento da amostra, realizou-se o ensaio de dureza Vickers, fazendo uso de um microdurômetro da marca Inspisse, tendo o seguinte modelo ISHT DV200 como demonstra a Figura 9. No ensaio, foi aplicada uma carga de 200 gF por um indentador piramidal de diamante. Para coletar os dados, foram realizadas 5 idetações em locais distintos e analisada a média aritmética dos dados coletados.

Figura 9 - Microdurômetro Insize ISHDTV2000



Fonte: Autoria Própria, 2023

3.3 Ensaio de Torneamento

Para dá início ao processo de torneamento, foi necessário definir todos os parâmetros de corte. Neste trabalho, os parâmetros de cortes não sofreram alterações. A única variação foi relacionada ao tratamento realizado em uma das ferramentas de corte. Os parâmetros de corte propostos nesse trabalho estão expostos por meio da Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de corte

Parâmetros de corte	Valores
Velocidade de corte (v_c)	354,84 – 307,53 (m/min)
Avanço (f)	0,065 (mm/volta)
Profundidade de corte (a_p)	0,5 (mm)
Rotação (n)	1506 (RPM)

Fonte: Autoria própria, 2023

O fabricante especifica os parâmetros ótimos para que a ferramenta seja capaz de fornecer melhores resultados, trabalhando da melhor maneira possível e tendo uma vida útil mais longa. Como é de conhecimento, a velocidade de corte é um dos principais parâmetros que influencia o desgaste da ferramenta, portanto, preferiu-se trabalhar com uma velocidade de corte mais elevada em relação a velocidade de corte ótima fornecida pelo fabricante, com o intuito de submeter a ferramenta a condições mais severas de usinagem, para que o desgaste da ferramenta pudesse surgir em um período mais curto, reduzindo o tempo do ensaio de usinagem.

A velocidade de corte (v_c), foi encontrada por meio da Equação 2. Esses valores foram convertidos para a rotação em que a máquina RPM.

$$n = \frac{v_c * 1000}{\pi * \phi} \quad (2)$$

Sabendo que o corpo de prova possuía 75 mm de diâmetro e tendo posse da velocidade de corte, tornou-se possível encontrar a rotação ideal da máquina, na qual encontrou-se um valor de 1506 rpm.

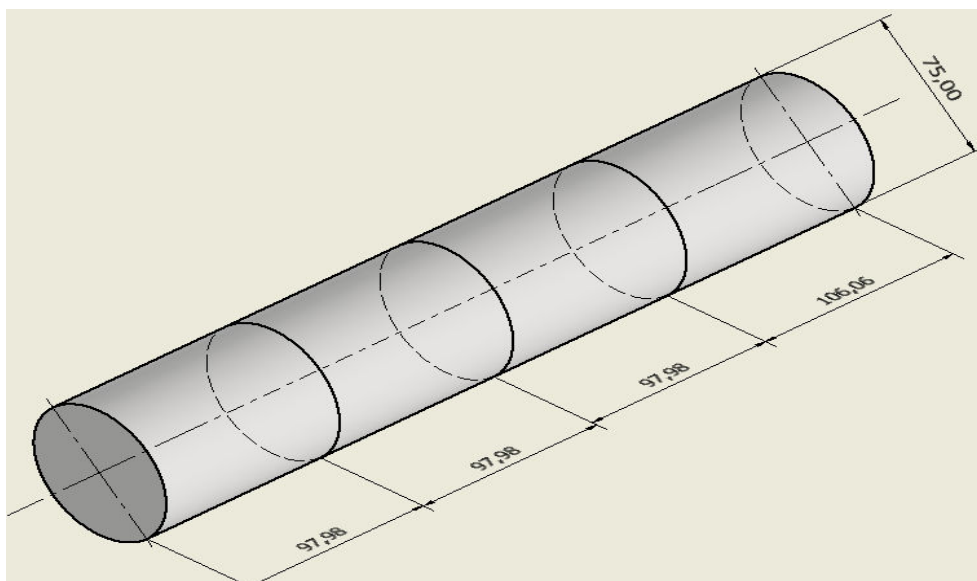
A profundidade de corte (a_p) utilizada foi mantida constante em 0,5 mm, sabendo que este parâmetro não é significativo para o desgaste da ferramenta e rugosidade final da peça, o raio de ponta (r) também foi mantido, já que o ensaio utilizou apenas um tipo de ferramenta.

De acordo com o fabricante, o avanço (f) recomendado é de 0,1 mm/rev à 0,5 mm/rev, para este trabalho, preferiu-se adotar um valor avanço menor do que o recomendado, já que desejava-se impor condições de cortes mais severas a ferramenta, desta forma o avanço selecionado corresponde a 0,065 mm/rev.

3.3.1 Especificações do Trabalho

Cada corpo de prova continha um comprimento total de 400 mm, em ambos os corpos de prova foram realizadas 3 marcações de trechos na superfície correspondente ao comprimento de cada passe. A Figura 10 ilustra que cada um destes trechos possuía 97,98 mm de comprimento.

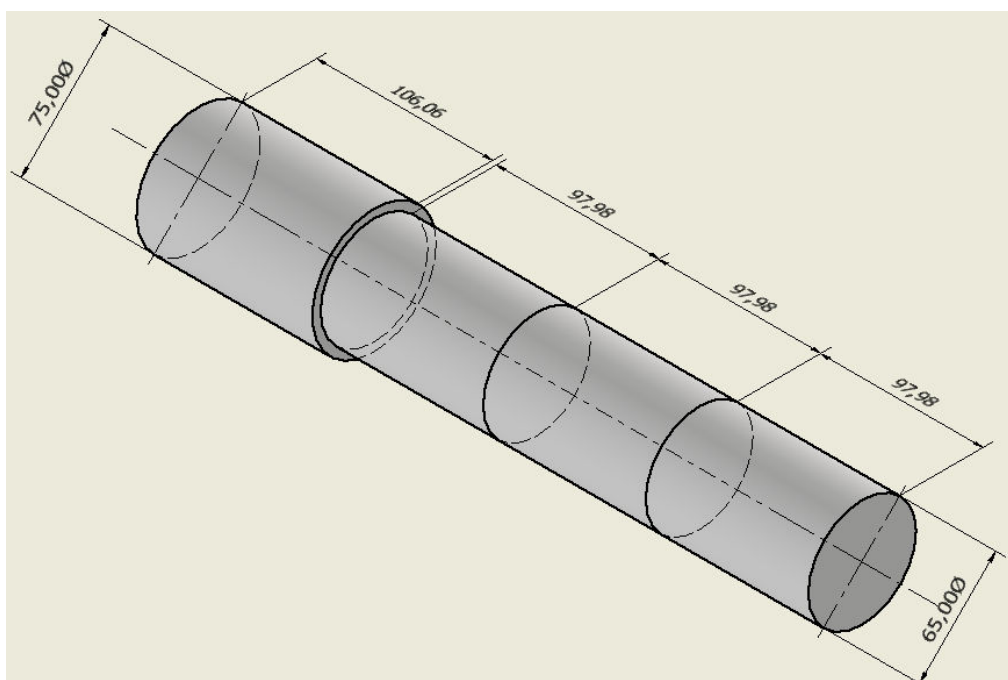
Figura 10 - Demonstração das especificações do corpo de prova



Fonte: Autoria Própria, 2023

Como foi definido nas descrições deste trabalho, foram realizados 20 passes em cada trecho do corpo de prova, cada passe foi realizado com uma profundidade de 0,5 mm. Ao concluir o 20º passe, o tarugo estava com 65 mm de diâmetro (Figura 11), ou seja, foram removidos 10 mm de diâmetro do material em forma de cavaco.

Figura 11 - Corpo de prova com usinagem concluída



Fonte: Autoria Própria, 2023

3.3.2 Tratamento da Ferramenta de Corte

Antes de iniciar o processo de torneamento com a segunda ferramenta de corte, foi necessário que a ferramenta passe-se pelo tratamento proposto, fazendo uso do condicionador de metal Militec-1. O tratamento foi feito por meio de um aquecedor que também conta com um misturador magnético (Figura 12). Inicialmente foram adicionados o condicionador de metal ao backer, e em seguida foram postos a ferramenta de corte e um misturador ao recipiente. O tratamento durou 30 minutos e a temperatura utilizada para realizar o tratamento foi 80 °C, conforme ensaios encontrados na literatura (VALE, 2019; ALVES, 2014). Durante o período referente ao tratamento, a temperatura variou e teve um erro estimado em 3 °C para mais ou para menos.

O equipamento utilizado para realizar o tratamento foi o agitador magnético com aquecimento da marca Fisatom modelo 752A, e possui a função de programar a temperatura desejada para o ensaio, como também a frequência em que o misturador irá misturar o composto. Com o auxílio de um suporte, foi possível adicionar um termômetro no interior do recipiente, para que fosse possível observar a temperatura real que a ferramenta se encontrava.

Para efetuar esse tratamento em específico, o agitador magnético foi programado para atingir a temperatura de 80 °C a uma rotacionando simultaneamente.

Figura 12 - Tratamento da ferramenta de corte



Fonte: Autoria Própria, 2023

3.3.3 Máquina Ferramenta e Ferramenta de Corte

A realização do processo de torneamento, foi executada por meio de um torno mecânico industrial modelo MR-302 da industrial Manrod, como demonstra a Figura 13, o mesmo conta com uma potência de 2 hp, além de avanços automáticos nos carros longitudinais e transversais.

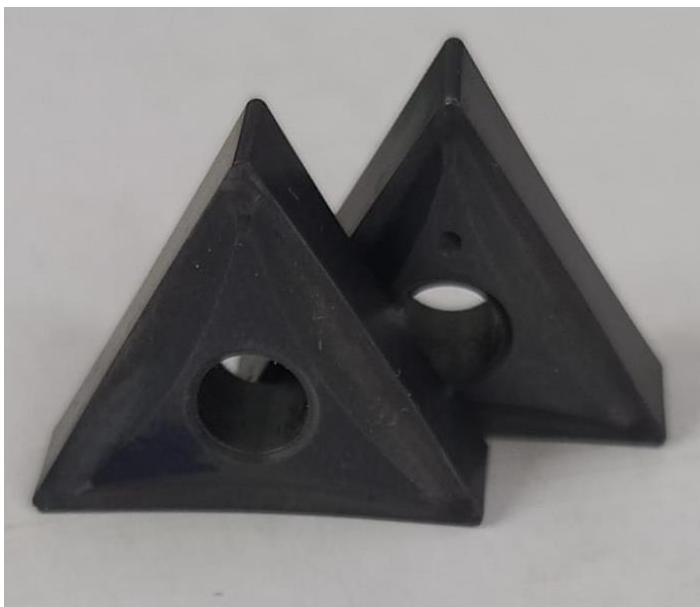
Figura 13- Torno Mecânico Manrod



Fonte: Autoria Própria, 2023

As ferramentas de corte escolhidas, foram pastilhas triangulares de metal duro, fabricante Korloy, tendo o seguinte modelo TNG160404-VP2, como ilustra a Figura 14, e possuindo as especificações expostas por meio da Figura 15. A ferramenta possui um raio de ponto de 0,4 mm, um ângulo de 60° graus entre as arestas e um comprimento de 16,5 mm.

Figura 14 - Ferramenta de metal duro Korloy TNG160404-VP2



Fonte: Autoria Própria, 2023

Figura 15 - Condições do Fabricante para Ferramenta



Fonte: Autoria Própria, 2023

3.3.4 Cálculos Para Realização do Torneamento

Antes de iniciar o processo de torneamento, foi necessário definir as seguintes condições de cortes: comprimento usinado durante um minuto, rugosidade teórica da superfície e velocidade de corte.

Para calcular o comprimento usinado por minuto, se fez necessário utilizar a Equação 3. Onde o comprimento usinado por minuto (I) é definido por:

$$I = f * n \quad (3)$$

Para calcular os dados de rugosidade teórica, pode-se utilizar a Equação 1.

$$R_a = \frac{f^2}{32 * r}$$

Desta forma, temos que:

f = É o avanço automático escolhido (mm/volta)

r = É o raio de ponta da ferramenta (mm)

Enquanto a velocidade de corte pode ser calculada por meio da Equação 2.

$$n = \frac{V_c * 1000}{\phi * \pi} \quad (2)$$

Onde:

V_c = Velocidade de corte (m/min)

ϕ = Diâmetro (mm)

n = Rotação da máquina (RPM)

3.3.5 Processo de Torneamento

A realização do processo de torneamento foi executada por meio de duas ferramentas de corte, uma das ferramentas foi tratada e a outra apresentava apenas as condições normais impostas pelo fabricante. Em ambos os insertos, foram utilizadas as três arestas de corte da ferramenta e coletados os valores referentes as temperaturas durante o corte, rugosidades superficiais das peças usinadas e desgastes das ferramentas.

As duas ferramentas de corte foram submetidas as mesmas condições, em que a rotação utilizada durante todo o processo de torneamento foi de 1506 rpm, um avanço por rotação de 0,065 mm/rev.

3.4 Medições dos Parâmetros

3.4.1 Desgaste da Ferramenta

Para adquirir os desgastes das arestas de corte das ferramentas, foi empregado um microscópio digital, que conta com uma ampliação de até 500x e uma resolução de captura de 640x480. Em todos os insertos, as imagens foram capturadas a cada 2 passes de 0,5 mm de profundidade de corte e 97,98 mm de comprimento de usinagem.

As medições (Figura 16) ocorreram mediante as seguintes etapas, a cada 2 passes concluídos, a ferramenta de corte era retirada do suporte do torno, e adicionada próxima a lente do microscópio para capturar a imagem. Onde, o suporte e a ferramenta de corte foram posicionados abaixo do microscópio de forma simétrica, para que a ferramenta pudesse ficar o mais próximo possível da lente do microscópio, e por fim, realizava-se a captura da imagem.

Figura 16 - Medição do desgaste da Ferramenta de Corte



Fonte: Autoria Própria, 2023

As medições do desgaste da ferramenta foram realizadas do meio do Software ImagePro. Para iniciar as medições, foi necessário fazer a calibração do equipamento, esta calibração foi feita por meio de uma régua graduada do próprio microscópio. Após a calibração, foi possível mensurar o desgaste da ferramenta, onde foi possível observar que o desgaste ocorria de forma progressiva, a medida em que a quantidade de passes estava sendo executadas, em nenhuma das amostras houve a detecção de avarias durante os ensaios.

3.4.2 Rugosidade

Para coletar a rugosidade final da peça foi utilizado um rugosímetro portátil do tipo SJ-210, da marca Mitutoyo (Figura 17). As medições foram realizadas a cada dois passes, onde o rugosímetro era posto sobre a peça que estava fixada na placa do torno, onde os valores coletados foram de R_a , que como mencionado no capítulo 2, é o parâmetro de rugosidade mais utilizado em todo o mundo.

Figura 17 - Rugosímetro portátil utilizado



Fonte: Autoria Própria, 2023

O valor considerado de rugosidade final, foi adquirido por meio de média aritmética dos 3 valores de rugosidade coletados, já que foram realizadas 3 medições em diferentes pontos afastados a 120° na circunferência do corpo de prova.

Para coletar dos dados de rugosidade, se fez necessário seguir os parâmetros sugeridos pela norma NBR 6504/1988 ilustrado por meio da Tabela 2.1 do capítulo 2, onde, neste trabalho em específico, o comprimento de amostragem teve variações entre 0,8 e 2,5, além de um $\ln$ variando entre 5 e 7.

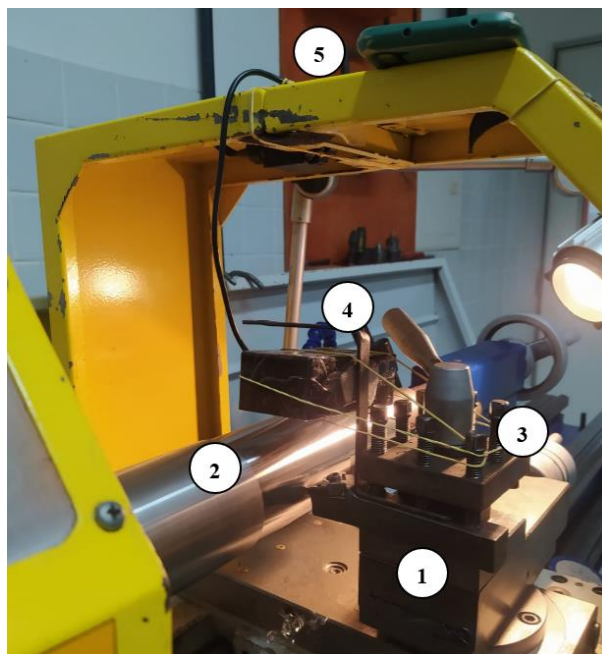
Os dados referentes a rugosidade superficial da peça foram encontrados por meio da Equação 1. Onde, efetuando os cálculos, tornou-se viável determinar o valor da rugosidade teórica, de forma que foi possível obter um valor prévio da rugosidade média após a realização dos ensaios de torneamento.

3.4.3 Temperatura na Região de Corte

Para medir a temperatura de corte, foi utilizado uma câmera termográfica da marca InfiRay, modelo P2 Pro. A câmera ficou fixada o mais próximo possível da região de corte (Figura 18), para coletar a temperatura que se encontrava naquela região. A câmera possui um

cabo do tipo USB, onde é possível conecta-la a um aparelho celular, possibilitando realizar a captura de fotografias ou vídeos da temperatura de corte.

Figura 18 - Medição da temperatura de corte utilizando câmera termográfica



Fonte: Autoria Própria, 2023

Onde, (1) ferramenta de corte; (2) peça usinada; (3) castelo do torno mecânico; (4) câmera termográfica; (5) aparelho celular.

As medições de temperaturas ocorreram na segunda aresta de ambas as ferramentas, e preferiu-se medir nos passes 1 e 2, 9 e 10, 19 e 20. Os dados de temperatura foram tratados por meio de tabelas confeccionadas pelo Excel, para facilitar o tratamento dos dados por meio de gráficos comparativos, entre a temperatura de corte mensurada com a ferramenta tratada e a ferramenta não tratada.

Para medir a temperatura, foram realizados vídeos durante todo o passe de 1 minutos, e a temperatura na região do corte foi coletada a 10 segundos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo é destinado para demonstrar os resultados obtidos por meio dos ensaios de dureza realizados no aço SAE 1045, como também os valores correspondentes as rugosidades superficiais das peças usinadas, desgastes das ferramentas de cortes e temperaturas de corte durante o processo de usinagem, onde esses resultados serão encontrados mediante os estágios descritos por meio do capítulo 3.

4.1 Ensaio de Dureza

Os valores coletados por meio do ensaio de microdureza Vickers (hv), estão descritos por meio da Tabela 4, a análise foi feita em um único corpo de prova do aço carbono SAE 1045. Mediante os valores obtidos, é possível notar que os valores encontrados não tiveram variações significativas.

Tabela 4 – Ensaio de microdureza Vickers

5 Identações e carga de 200 gF	Medições
Medições	Amostras (hv)
1	248,4
2	252,9
3	253,3
4	229,0
5	249,7
Média	246,66 hv

Fonte: Autoria própria, 2023

Utilizando uma tabela de conversões de dureza (Tabela 5), foi possível converter a dureza Vickers em dureza Brinell.

Tabela 5 - Tabela de conversão de dureza

Tabela de conversões de Durezas	
Durezas Brinell hb	Dureza Vickers hv
243	254
237	248
236	243
236	238

Fonte: Adaptado de Rijeza Metalurgia

De acordo com a Tabela 4, é possível notar que o valor médio encontrado pelo teste de microdureza é de 246,66 hv. Para encontrar uma dureza Brinell precisa, foi empregue o método de interpolação, resultando em uma dureza Brinell de 235,66 hb.

Segundo o catálogo da empresa de aços Gerdau (2018), o aço SAE 1045 possui uma dureza Brinell variando de 180 a 300 HB, com isso, pode-se observar que a dureza encontrada por meio do ensaio, encontra-se dentro desta faixa.

4.2 CÁLCULOS DO PROCESSO DE TORNEAMENTO

Para calcular o comprimento usinado por minuto, utilizou-se a Equação 3, definida por meio do capítulo 3, onde tem-se:

$$I = f * n \quad (3)$$

$$I = 0,065 * 1056$$

$$I = 97,98 \text{ mm/min} \quad (4)$$

Os dados referentes a rugosidade superficial da peça foram encontrados por meio da Equação 1, o valor encontrado é caracterizado como rugosidade média teórica.

$$R_a = \frac{f^2}{32 * r} \quad (1)$$

$$R_a = \frac{0,065^2}{32 * 0,4}$$

$$R_a = 0,033 \text{ } \mu\text{m} \quad (5)$$

Sabendo o valor da rotação da máquina e o diâmetro do corpo de prova, torna-se possível calcular a velocidade de corte, por meio da Equação 2. Assim, tem-se que:

$$n = \frac{V_c * 1000}{d * \pi} \quad (2)$$

$$1506 = \frac{V_c * 1000}{75 * \pi}$$

$$V_c = 354,84 \frac{m}{mm} \quad (6)$$

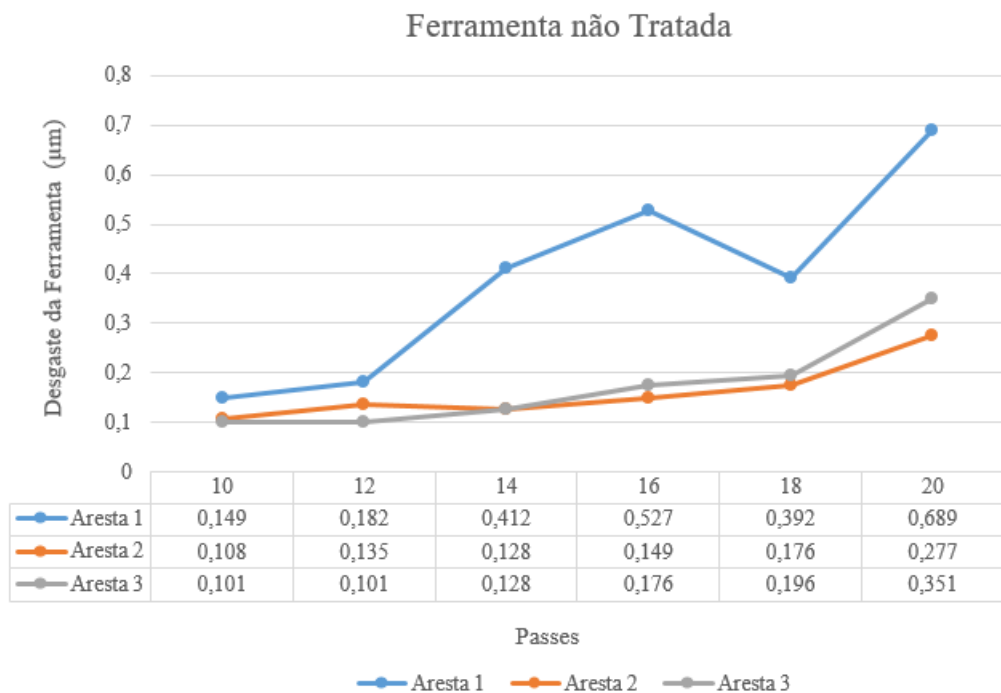
A Equação 6, demonstra a velocidade de corte quando o diâmetro for igual a 75 mm, enquanto a Equação 7 calcula a velocidade de corte, quando o diâmetro for igual a 65 mm.

$$1506 = \frac{V_c * 1000}{65 * \pi} = 307,53 \frac{m}{mm} \quad (7)$$

4.3 Resultados dos Desgastes Encontrados na Ferramenta de Corte

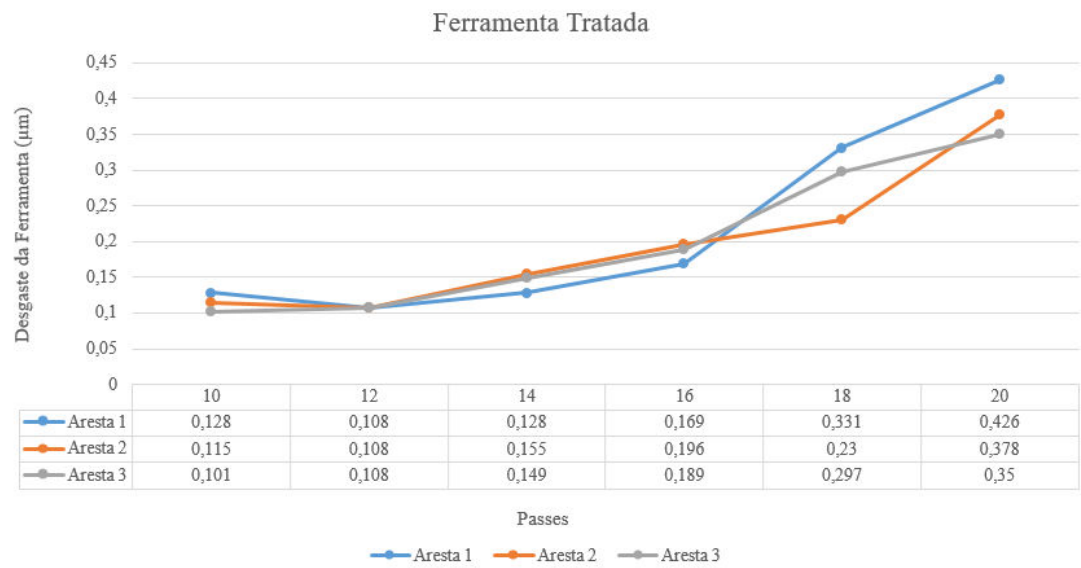
De acordo com a descrição realizada por meio do capítulo 3, a medição dos desgastes ocorreu a cada 2 passes. As ferramentas utilizadas começaram a desgastar-se a partir do 10º passe, como ilustra os Gráficos 1 e 2, para a ferramenta não tratada e a ferramenta tratada, respectivamente. Fazendo uso da ferramenta não tratada, a primeira aresta sofreu um grande desgaste, em virtude de uma folga encontrada no mecanismo de fixação da peça usinada, enquanto os desgastes das demais arestas sofreram pouca variação.

Gráfico 1 - Desgaste da ferramenta não tratada



Fonte: Autoria própria, 2023

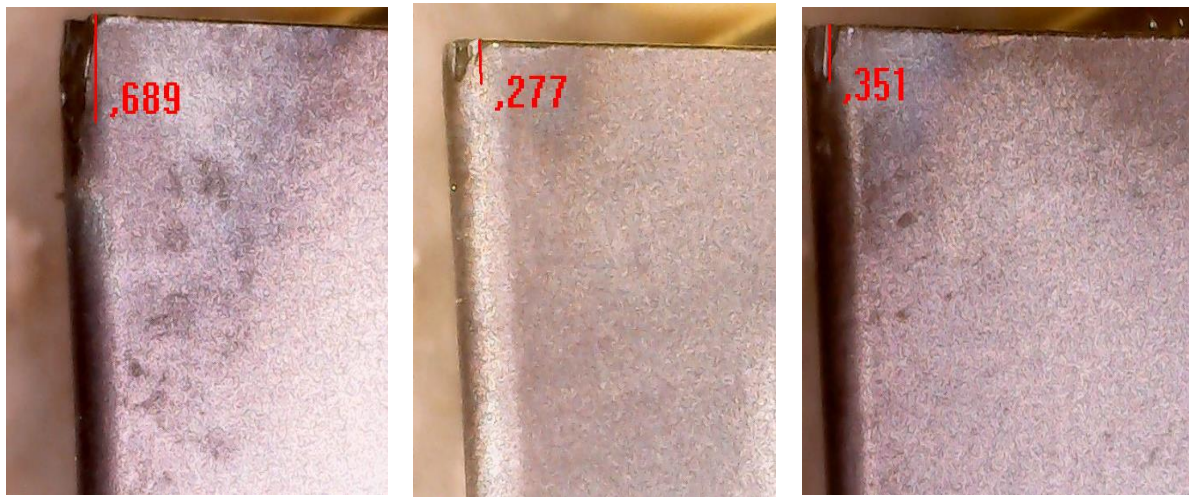
Gráfico 2 - Desgaste da ferramenta tratada



Fonte: Autoria própria, 2023

As Figuras 19 e 20 ilustraram os desgastes da ferramenta não tratada, e o desgaste da ferramenta tratada, onde serão expostos apenas o desgaste referente ao passe 20 de ambas as ferramentas nas três arestas de corte.

Figura 19 - Desgaste da ferramenta não tratada no passe 20



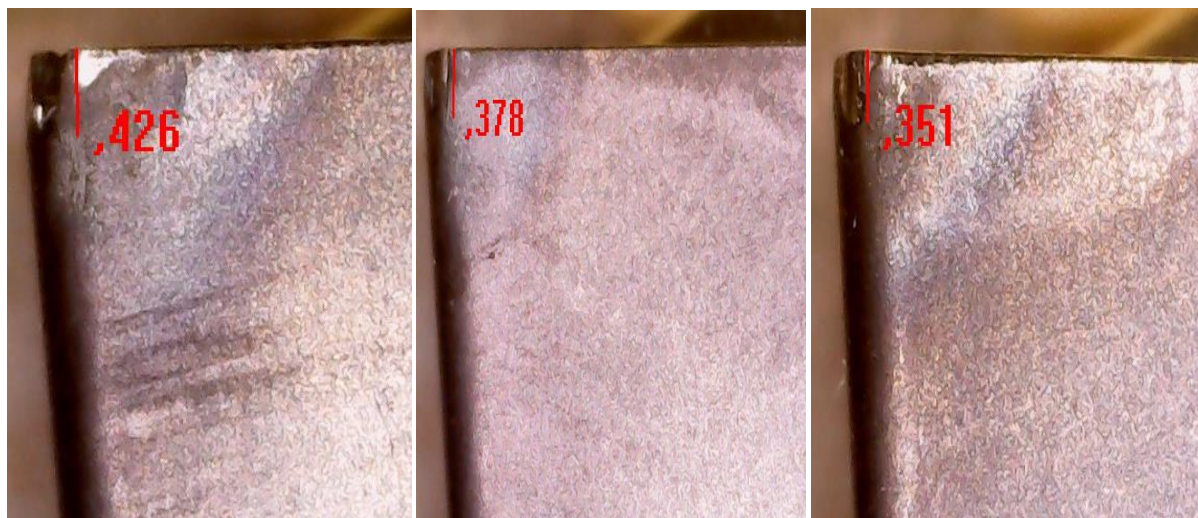
1° Aresta de corte

2° Aresta de corte

3° Aresta de corte

Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 20 - Desgaste da ferramenta tratada no passe 20



1° Aresta de corte

2° Aresta de corte

3° Aresta de corte

Fonte: Autoria própria, 2023

Fazendo a verificação das imagens (Figura 19 e 20) e analisando lateralmente as ferramentas (desgaste de flanco), nota-se que o tratamento com o condicionador de metal não foi capaz de obter melhorias no desgaste das ferramentas. Entretanto, observando a quina das ferramentas, é possível notar variações nos valores de desgaste, e a eficiência do condicionador de metal Militec-1 como pode ser visualizado nas Figuras 21 e 22, onde fazendo uso do condicionador de metais, o desgaste permaneceu praticamente constante.

Figura 21 - Desgaste da quina da ferramenta não tratada no passe 20



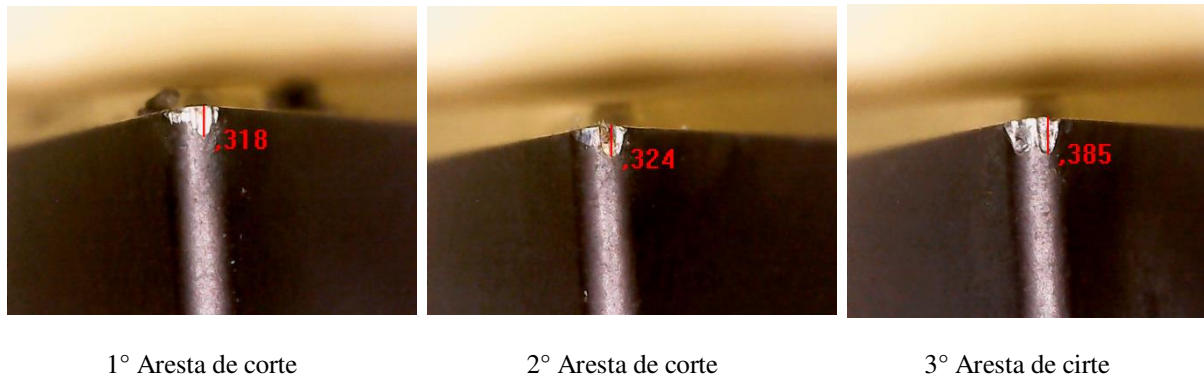
1° Aresta de corte

2° Aresta de corte

3° Aresta de corte

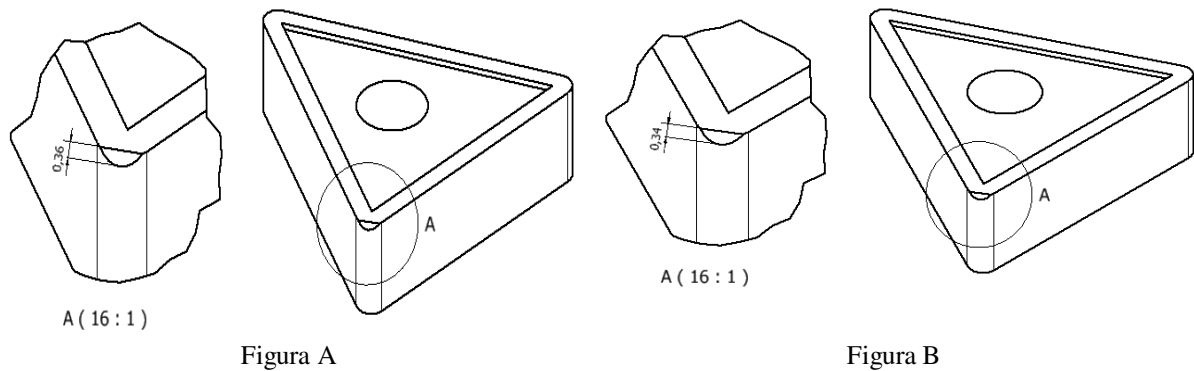
Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 22- Desgaste da quina da ferramenta tratada no passe 20



A Figura 23 ilustra as médias dos desgastes, em ambas as ferramentas, sendo possível perceber que a ferramenta tratada teve um menor desgaste em sua quina, em relação a ferramenta não tratada. Onde a Figura A representa a ferramenta não tratada e a Figura B representa a ferramenta tratada.

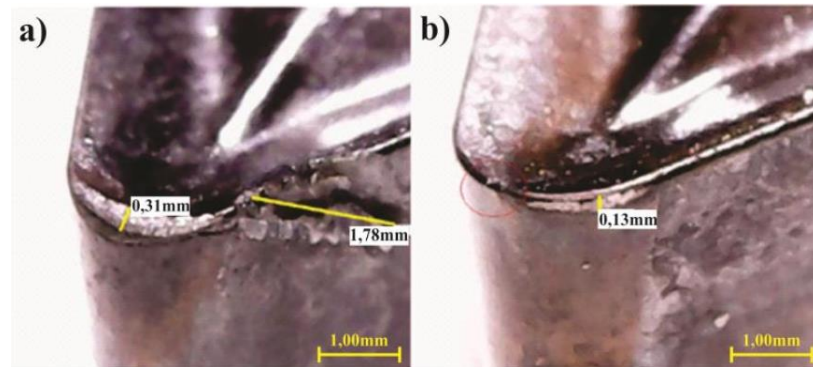
Figura 23 - Quina da ferramenta ilustrando o desgaste da ferramenta tratada e não tratada



Fonte: Autoria própria, 2023

Ao comparar os resultados obtidos por meio deste trabalho, com os resultados encontrados em outras referências, nota-se que, há diferenças significativas entre valores. No trabalho de (Vale, 2019), ao utilizar técnica de tratamento por meio de condicionadores de metais, as ferramentas tratadas obtiveram menores valores de desgastes medidos, como pode ser visto na Figuras 24, em que a Figura A representa a ferramenta não tratada e a Figura B representa a ferramenta tratada.

Figura 24 – Desgaste de flanco das arestas de corte 2° dos insertos condicionada e não condicionada



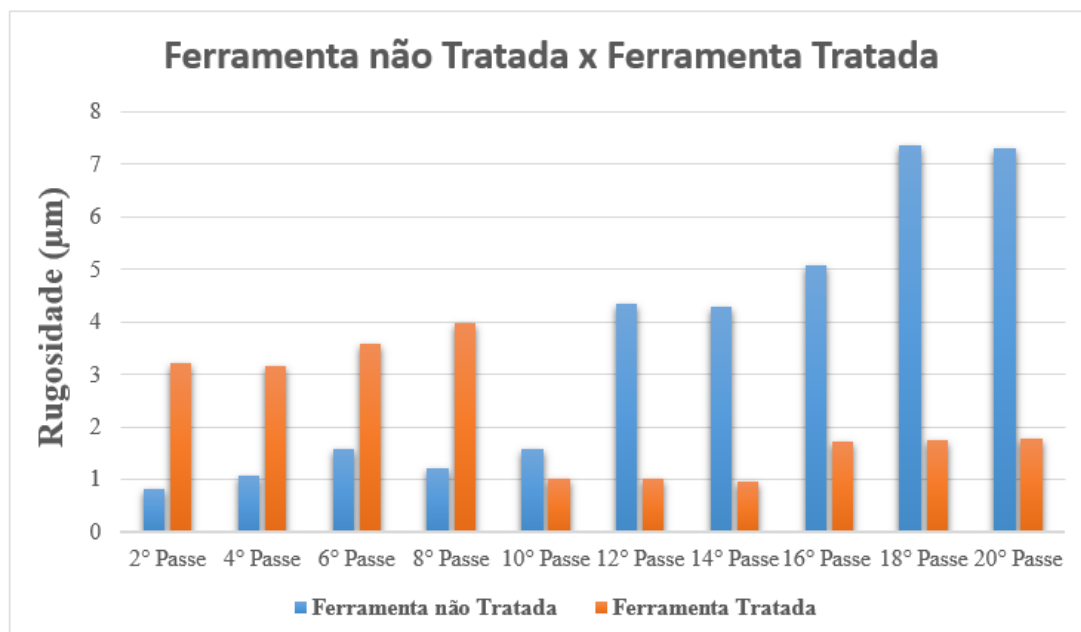
Fonte: Vale, 2019

4.4 Rugosidade Superficial Peça Usinada

A cada dois passes realizados na peça usinada, os corpos de prova tiveram sua rugosidade média coletada. De forma que, a rugosidade foi medida em três pontos distintos do corpo de prova e considerou-se a média aritmética. Os parâmetros de corte (Tabela 3) foram mantidos para as duas ferramentas utilizadas durante os ensaios.

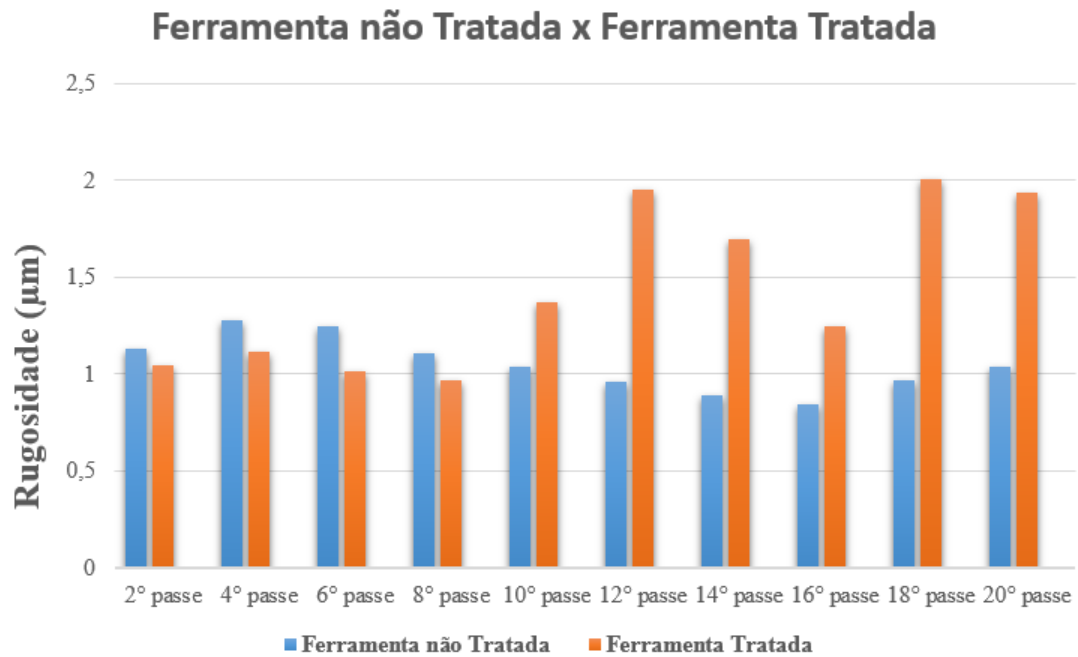
Desta forma, os valores de rugosidade média encontrados estão explícitos por meio dos Gráficos 3, 4 e 5. Estes gráficos representam uma análise comparativa entre os valores de rugosidade superficial encontrados ao fazer uso da ferramenta tratada e não tratada.

Gráfico 3 – Aresta 1



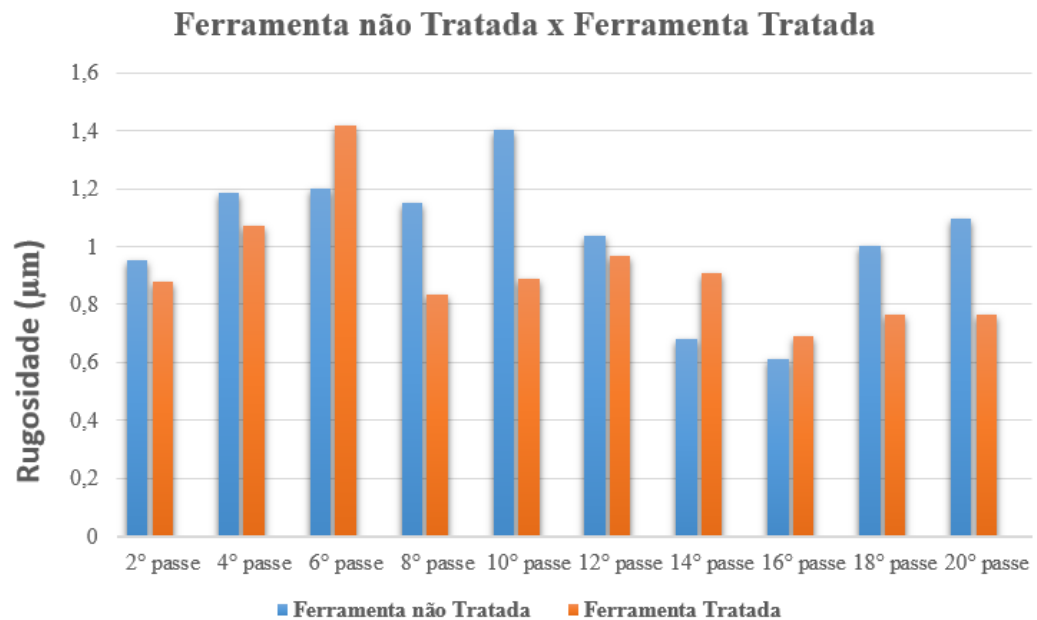
Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 4 – Aresta 2



Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 5 – Aresta 3



Fonte: Autoria própria, 2023

Ao observar os valores ilustrados por meio dos gráficos, pode-se observar que a rugosidade média encontrada na primeira aresta de ambas as ferramentas é bem superior as outras duas arestas. Essa discrepância ocorre por que a peça usinada possuía um comprimento elevado e mesmo com a utilização da contra ponta para fazer uma melhor fixação, a máquina

ainda sofria fortes vibrações, fazendo com que a peça usinada tivesse um acabamento empobrecido.

Como é possível observar, os valores referentes a rugosidade média encontrados sofreram alterações em relação a rugosidade média teórica, calculada por meio da seção 4.2, isso ocorreu porque a máquina sofre com a vibração constante, até por ser uma máquina de pequeno porte. Porém, observando os valores de rugosidade superficial encontrados, pode-se notar que os mesmos permanecem constantes, com exceção da primeira aresta de corte da ferramenta não tratada, já que durante a usinagem com esta aresta em específico, houve uma folga no mecanismo de fixação da peça (contra ponta). Neste trabalho, optou-se pela não utilização da luneta durante o processo de usinagem longitudinal. Já que ao fazer uso da mesma, havia um maior atrito entre a peça e o equipamento, causando desgastes na peça.

Ao analisar os dados referentes a rugosidade encontrados por meio deste trabalho, é perceptível que a ferramenta tratada por meio do condicionador de metal Militec-1, não obteve uma variação significativa de rugosidade da peça em relação a ferramenta não tratada.

4.5 Temperatura Medida na Região de Corte

Como mencionado no capítulo 3, a temperatura na região de corte foi medida por meio de uma câmera termográfica, e os dados coletados foram tratados no Excel. Os Gráficos 6, 7, 8, 9, 10 e 11 trazem uma análise comparativa dos passes 1, 2,9,19,19 e 20, em relação a ferramenta tratada e não tratada e ainda demonstra o quão a temperatura variou em termos de porcentagem.

Gráfico 6 – Temperatura região de corte no passe 1

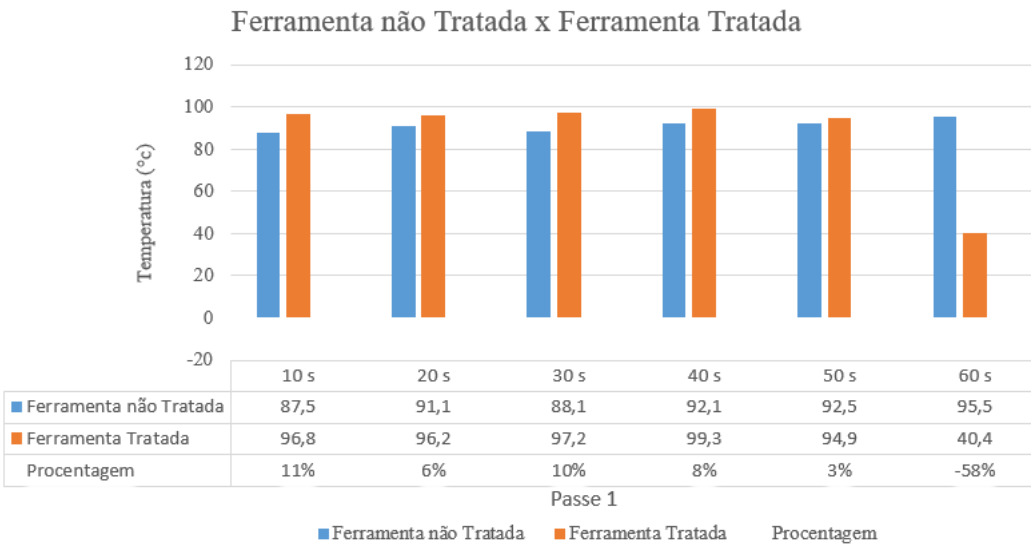
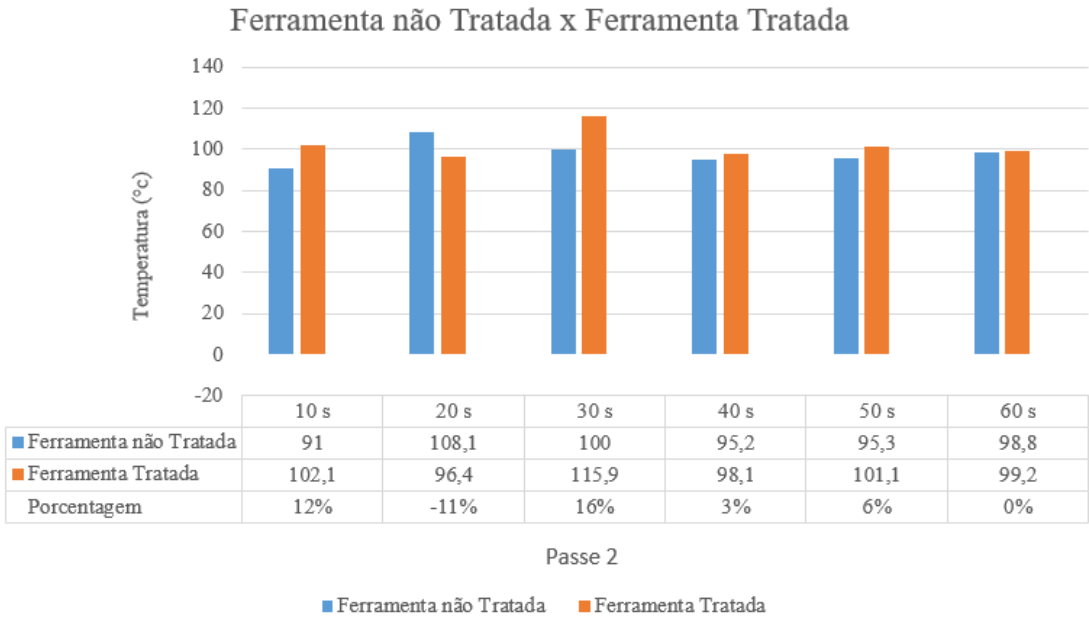
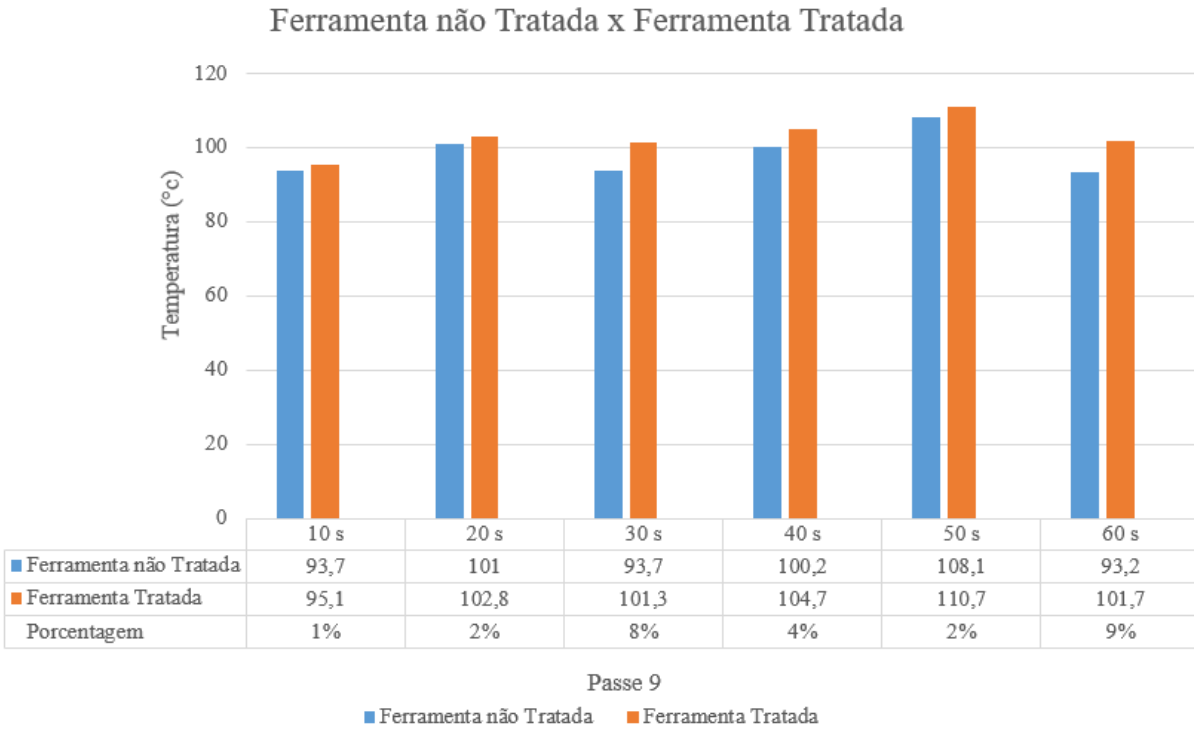


Gráfico 7 – Temperatura na região de corte no passe 2



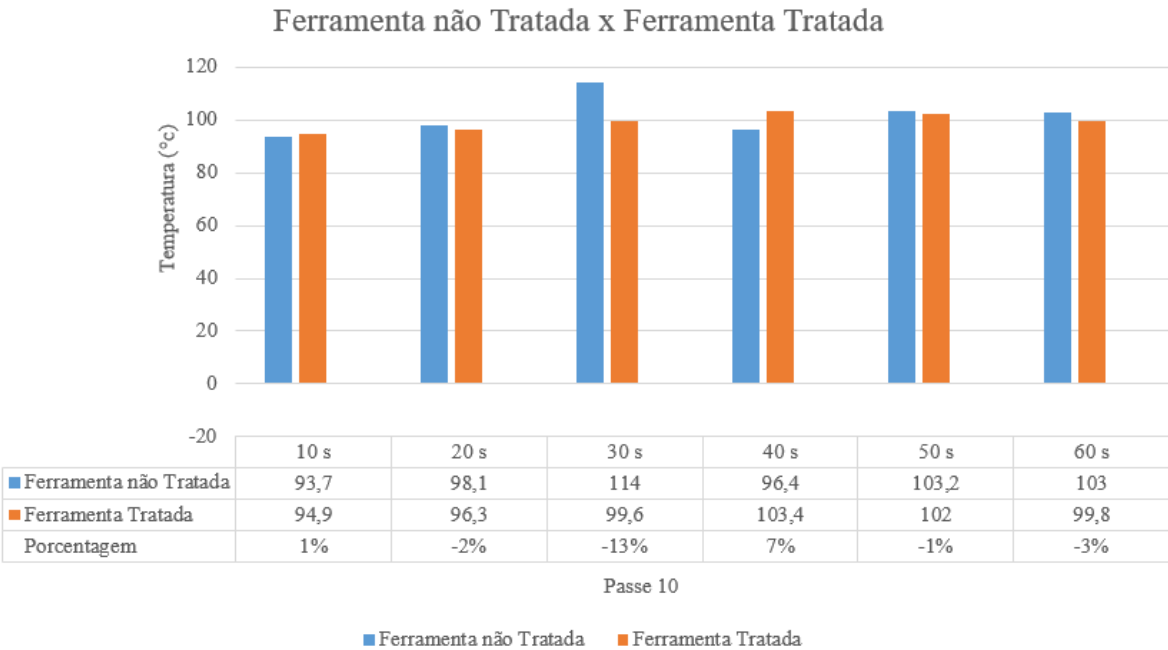
Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 8 – Temperatura na região de corte no passe 9



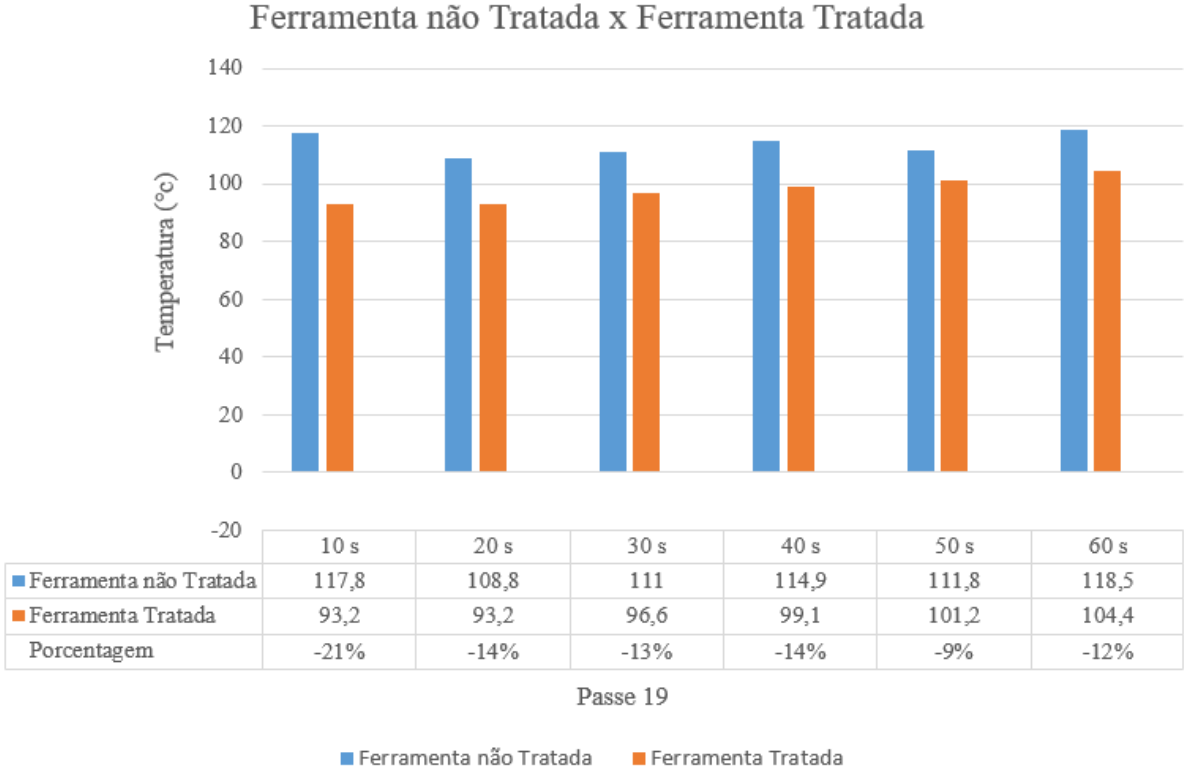
Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 9 – Temperatura de corte no passe 10



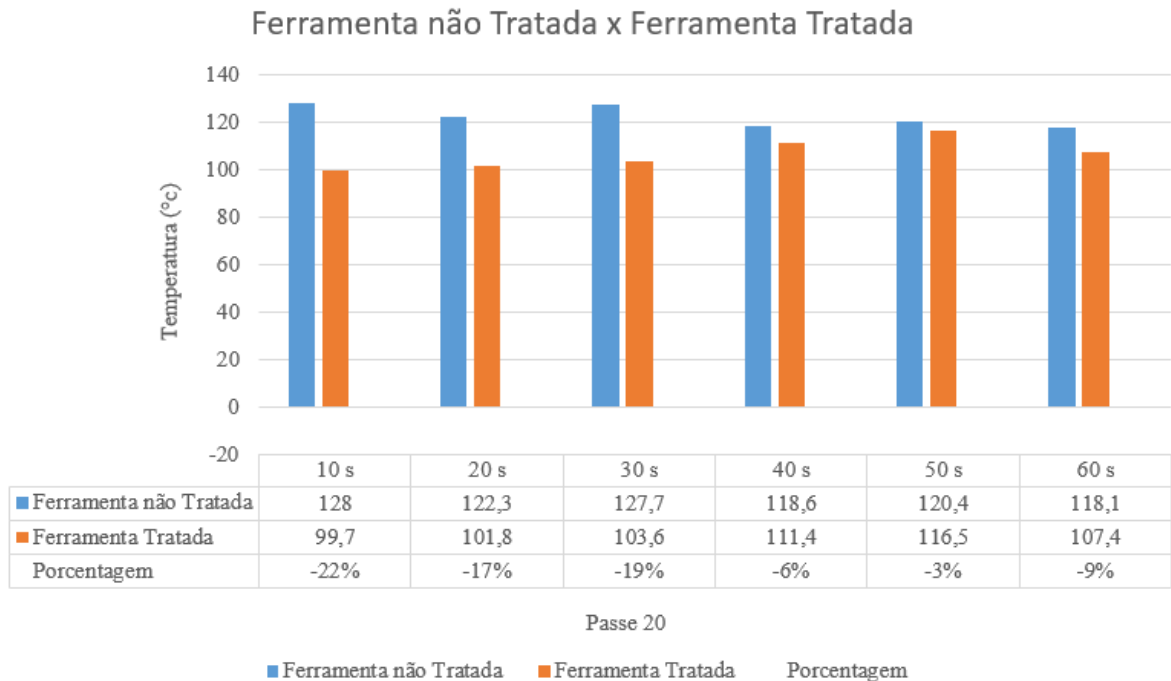
Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 10 – Temperatura na região de corte no passe 19



Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 11 - Temperatura na região de corte no passe 20



Fonte: Autoria própria, 2023

Ao analisar os gráficos, é possível perceber que o condicionador de metal Militec-1, não gerou impactos positivos em relação a temperatura de corte na região de remoção do cavaco. Pode-se perceber que no passe 1, fazendo uso da ferramenta tratada a temperatura sofreu elevações de até 11% em relação a ferramenta não condicionada.

A temperatura reduziu de forma significativa nos passes 19 e 20, de forma específica, durante esses passes, houve uma redução de temperatura de até 22%. Ao analisar todos os gráficos, para a ferramenta tratada, observa-se que em 50% das medições da temperatura sofreram acréscimo dos valores em relação a ferramenta não tratada, não gerando resultados significativos, justificando que o produto apresentou eficácia neste estudo.

Como descrito no Capítulo 3, a temperatura na região do corte foi coletada por meio de vídeos realizados com uma câmera termográfica, a Figura 25 representa a captura da temperatura de corte no 20º passe de ambas as ferramentas. O ponto vermelho demonstra que a maior temperatura de corte está justamente no cavaco, como está exposto na literatura, enquanto o ponto azul representa a menor temperatura.

Figura 25 – Captura da temperatura de corte no 20° passe

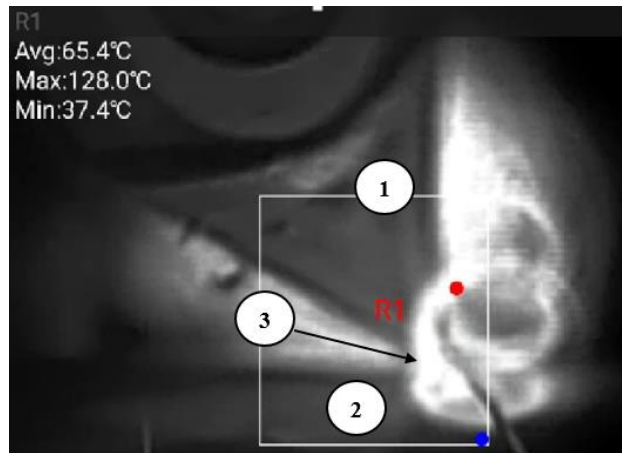


Figura A – Ferramenta não tratada

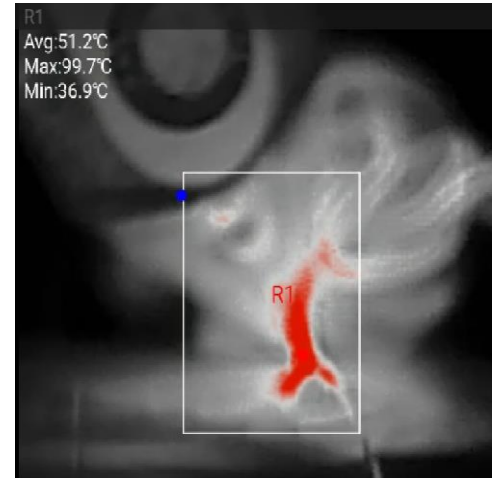


Figura B – Ferramenta tratada

Fonte: Autoria própria, 2023

Onde: (1) ferramenta de corte (2) peça usinada (3) região do corte.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base em todos os levantamentos feitos durante este trabalho, esse capítulo possui como objetivo evidenciar as conclusões e sugestões para trabalhos futuros que possuam temáticas semelhantes.

5.1 Conclusões

Ao comparar os valores de desgastes das ferramentas, rugosidade superficial das peças e temperaturas nas regiões do corte, fazendo uso do condicionador de metal não foi possível obter resultados significativo em nenhum dos valores analisados por este trabalho.

Ao medir a temperatura na região do corte, foi possível identificar que nos últimos passes executados foram alcançados valores de redução de temperatura da ordem de 22%, porém, fazendo uma análise mais minuciosa, pode-se notar que em 50% das medições de temperatura, a ferramenta de corte tratada obteve temperaturas superiores em relação a ferramenta não tratada, provando sua ineficácia do condicionador de metal neste estudo.

Para realizar o tratamento da ferramenta para este trabalho em específico, foi utilizado um agitador e aquecedor magnético, enquanto, nas literaturas pesquisadas, as ferramentas foram tratadas com o auxílio de um forno elétrico. Desta forma, essa mudança no tratamento da ferramenta de corte, pode ter influência nos resultados encontrados, fazendo com que o experimento não tenha sido capaz de obter resultados satisfatórios em relação aos valores de rugosidades superficiais das peças, temperaturas de corte e desgastes das ferramentas, provando assim, a inviabilidade do condicionador de metal Militec-1 no uso de processos de usinagem como torneamento, nas condições estudadas por este trabalho.

Como o condicionador de metal utilizado não obteve resultados positivos em relação aos dados analisados, pode-se afirmar que além de não possuir viabilidade técnica, o mesmo também não possui viabilidade econômica, já que os custos processo de manufatura tornou-se mais elevado em virtude da sua utilização.

5.2 Sugestões

Após a conclusão do ensaio e a coleta de todos os dados propostos, rugosidade superficial, desgastes das ferramentas e temperaturas de corte, tornou-se possível assegurar que o condicionador de metal Militec-1, não proporcionou nenhuma influência positiva diante os procedimentos propostos para este trabalho.

Com os resultados obtidos, é possível otimizar alguns parâmetros para trabalhos futuros, que utilizem o aço SAE 1045 e condicionadores de metais.

Dentre as principais sugestões, pode-se citar:

- Alterações nos parâmetros utilizados para realizar o tratamento na ferramenta de corte, visto que neste trabalho foi utilizado um misturador e aquecedor magnético, e demais autores utilizam forno elétrico para realizar o tratamento, desta forma, trabalhos futuros podem variar tanto a metodologia utilizada para aquecer o conjunto, como também variar a temperatura e o tempo em que será feito o tratamento.
- Análise físico-química do condicionador de metal antes e após tratamento.
- Utilizar um condicionador de metal de marca diferente.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR ISO 3685: Ensaio de vida da ferramenta de ponta única para torneamento, 2017.
- ABUKHSHIM, N. A.; MATIVENGA, P. T.; SHEIKH, M. A. Heat generation and temperature prediction in metal cutting: A review and implications for high speed machining. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 46, n. 7–8, p. 782–800, 2006.
- ALMEIDA, Renan Padron *et al.* PORTA-FERRAMENTAS REFRIGERADO INTERNAMENTE POR MEIO DE UM FLUIDO SOB EFEITO ELETROHIDRODINÂMICO OU DE CAMPO MAGNÉTICO PARA RESFRIAMENTO DA FERRAMENTA DE CORTE. **Peticionamento Eletrônico**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-23, 18 maio 2021.
- ALVES, Dario José. **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONOMICA DA APLICAÇÃO DE CONDICIONADORES DE METAIS EM PROCESSO DE ALARGAMENTO**. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Uninove, São Paulo, 2014.
- AMORIM, Heraldo José de. Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro. 2002.
- ARAÚJO, Alex dos Santos. **MEDIÇÃO DA TEMPERATURA EM USINAGEM NO TORNEAMENTO DO AÇO 1045 UTILIZANDO OS SISTEMAS TERMOPAR CAVACO FERRAMENTA E CÂMERA TERMOGRÁFICA**. XIX Colóquio de Usinagem, Olinda, v. 1, p. 1-4, 29 out. 2015.
- ARENDT, Cristiane. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE DESGASTE DE FERRAMENTAS DE CORTE NO TORNEAMENTO DE FERRO FUNDIDO NODULAR AUSTEMPERADO**. 2017. 67 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2017.
- BORBA, Vinícius Rodrigues. **ANÁLISE DA FORÇA DE USINAGEM E DA RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO DE AÇOS ENDURECIDOS COM FERRAMENTAS DE PCBN E DE METAL-DURO**. 2016. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- CALLISTER JUNIOR, Willian de. **Fundamentos da Ciência e dos Materiais**. 5. ed. Rio de Janeiro: Gen, 2020. 851 p.
- CUNHA, José Thiago da. **Estudo do desgaste de rodas de pontes rolantes utilizadas em siderurgia**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DE MADDIS, Manuela et al. Infrared Thermography for Investigation of Surface Quality in Der Finish Turning of Ti6Al4V. **Metals**, v. 12, n. 1, p. 154, 2022.

DE SANTANA, Jaciana Silva et al. Estudo Tribológico De Óleos Biodegradáveis De Coco E De Rícino Através De Ensaio Abrasivos. **HOLOS**, v. 4, p. 88-98, 2010.

DEMÉTRIO, Vagner Bendo. **DESENVOLVIMENTO DE AÇOS AUTOLUBRIFICANTES VIA COMPACTAÇÃO DE PÓS GRANULADOS**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

DINIZ, Anselmo Eduardo. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2001. 250 p.

Ferraresi, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo, Brasil: Edgard Blücher, 1970.

FIGLIOLA, Richard S.; BEASLEY, Donald E. **Theory and design for mechanical measurements**. John Wiley & Sons, 2020.

GALLO, Giuliano Batelochi. **INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO SOBRE A TENACIDADE DE UM AÇO AISI SAE 1045 COM MÉDIO TEOR DE CARBONO, AVALIADA POR ENSAIOS DE IMPACTO**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Mecânica na Área de Projetos e Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2006.

GERDAU. **Aço Construção Mecânica**. Disponível em: <https://www.ggdmetals.com.br/produto/sae-1045/>. Acesso em: 18 abr. 2023.

GOINDI, Gyanendra Singh; SARKAR, Prabir. Dry machining: a step towards sustainable machining—challenges and future directions. **Journal of cleaner production**, v. 165, p. 1557-1571, 2017.

GROOVER, Mikell P. **Processos de Fabricação**. 4. ed. Rio de Janeiro: Gen, 2014. 631 p.

LEONIDAS, Emílio et al. A comparative review of thermocouple and infrared radiation temperature measurement methods during the machining of metals. **Sensors**, v. 22, n. 13, p. 4693, 2022.

LIMA JUNIOR, Edmilson Dantas de. **MEDICÃO DA TEMPERATURA DE CORTE NO TORNEAMENTO DO AÇO-FERRAMENTA AISI D6 TEMPERADO E REVENIDO AUXILIADO POR LN2**. 2020. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, Natal, 2020.

LIMA, Frederico Romangnoli Silveira. **MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DE PROBLEMAS INVERSOS EM CONDUÇÃO DE CALOR: APLICAÇÕES EM PROCESSOS DE USINAGEM**. 2001. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.

LONGBOTTOM, J. M.; LANHAM, J. D. Cutting temperature measurement while machining – a review. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, v. 77, n. 2, p. 122–130, 2005.

MACHADO, A. R. et al. Teoria da Usinagem dos Materiais. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

MILITEC: Disponível em: <<https://militecbrasil.com.br/perguntas-frequentes/>>. Acessado em 14 mar.2023, 19:08 .

OLIVEIRA, Fernando Santos de. **Avaliação de Desempenho Econômico da Aplicação de um Condicionador Metálico em Machos de Corte no Processo de Rosqueamento Interno**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2015.

OLIVEIRA, Paulo Roberto de Sá de. **Avaliação tribológica de condicionadores de metais comerciais através do teste pino-disco**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

PARRA, Bruno Serafim; GENNARI, Ronaldo Crosio; MELCHIADES, Fábio Gomes; BOSCHI, Anselmo Ortega. Rugosidade Superficial de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**. São Carlos, p. 1-4. 02 mar. 2006.

PAULA, Marcelo Antunes de. **Aspectos da usinagem a seco com ferramenta cerâmica experimental (Al₂O₃+MgO) no aço inoxidável martensítico AISI 410 endurecido**. 2021. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Engenharia Mecânica na Área de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2021.

PEREIRA, Verner Petersen. **ANÁLISE DA TEMPERATURA ÓTIMA DE CORTE PARA O PAR: METAL DURO REVESTIDO VS. AÇO ABNT 1045**. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PEREIRA GUIMARAES, Bruno Miguel et al. Cutting temperature measurement and predestino in machining processes: Comprehensive review and future perspectives. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 120, n. 5-6, p. 2849-2878, 2022.

PINTO, Vinicius Carvalho. **ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CORTE NA INTEGRIDADE SUPERFICIAL DO AÇO SAE 1045 APÓS TORNEAMENTO**. 2017. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, Natal, 2017.

PIRES, Guilherme de Lucena. **INFLUÊNCIAS DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DE CORTE NA USINAGEM POR TORNEAMENTO: UM ROTEIRO PRÁTICO PARA**

DISCIPLINAS DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO. 2021. 60 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, UFERSA, Caraúbas, 2021.

PRADEEPKUMAR, M. *et al.* A Review on Heat Generation in Metal Cutting. **International Journal Of Engineering And Management Research**, Telangana, v. 1, n. 1, p. 1-5, 4 ago. 2015.

QIU, M.; LI, Y.; CHEN, L.; YAN, J. Bearing Tribology: Principles and Applications. 1 ed., Beijing, 871 p., 2017.

REIS, Alexandre Martins. **Influência do ângulo de posição secundário da ferramenta, raio de ponta e lubrificação na usinagem em presença de aresta postiça de corte**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2000.

SANTANA, Jaciana Silva de. ESTUDO TRIBOLÓGICO DE ÓLEOS BIODEGRADÁVEIS DE COCO E DE RÍCINO ATRAVÉS DE ENSAIOS ABRASIVOS. **Rede de Revistas Científicas da América Latina**, Natal, v. 4, n. 1, p. 1-12, 01 jan. 2010.

SEMBARSKI, Paulo Ricardo Borgmann. **INFLUÊNCIA DO TIPO DE LUBRIFICAÇÃO NO DESGASTE POR DESLIZAMENTO DE METAIS**. 2018. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2018.

SHENG, Jing. A modeling method for turning parameters coupling based on minimum cutting tool wear. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 76, p. 705-712, 2017.

SHIGLEY, J. E.; Mischke, C. R.; Budynas, R. G.: Projeto de Engenharia Mecânica. 7ª Edição. Bookman. 2005.

SILVA, Ana Carolina Ribeiro da. **CALIBRAÇÃO DE UM SISTEMA PARA MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DE CORTE PELO MÉTODO TERMOPAR FERRAMENTA-PEÇA**. 2018. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

SILVA, Deivison das Graças. **ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO DESGASTE EM ROLAMENTOS COM USO DE CONDICIONADOR METÁLICO**. 2018. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2018.

SILVA, Edson Nunes da. **VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO UTILIZANDO MACHOS DE ROSCAS COM CONDICIONADOR METÁLICO**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Uninove, São Paulo, 2014.

SILVA, Ricardo Angelo da; FARIA NETO, Antonio. ESTUDO DA MICROESTRUTURA DO AÇO SAE 1045 PARA A MELHORIA DA USINABILIDADE. UMA PROPOSTA PARA A GESTÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM. **Congresso Internacional Cooperación Universidad-Industria**. Taubaté, p. 1-22. 1 fev. 2012.

SOORI, Mohsen; AREZOO, Behrouz. Cutting tool wear prediction in machining operations, a review. **Journal of New Technology and Materials**, 2022

SOUZA, Dougals de Assis; SILVA, Geanne B . S. e. ANÁLISE DA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 1045 TERMICAMENTE TRATADO. **Revista Perspectivas Online: Exatas e Engenharia**. O, C Ampos dos Goytacazes, p. 1-1. 1 ago. 2018.

STACHOWIAK, Gwidon W.; BATCHELOR, Andrew W.. **ENGINEERING TRIBOLOGY**. Austrália: Butterworth, 1993. 770 p.

TEIXEIRA, Eliézer Reis; GOMES, Diego Ap. Amarante. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE LUBRIFICAÇÃO E REFRIGERAÇÃO NA USINAGEM DO AÇO SAE 1045**. 2014. 151 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2014.

TIBURCIO, Ulisses Frazão de Oliveira. **MEDICÃO E ANÁLISE DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DA MADEIRA DE EUCALIPTO NA USINAGEM DE TORNEAMENTO CILÍNDRICO E LIXAMENTO**. 2009. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal Cutting**. 4. ed. Woburn: ButterworthHeinemann, 2000.

VALE, Allis Calmeis Nogueira do. **AValiação DO DESEMPENHO DE INSERTOS DE METAL DURO TRATADOS COM CONDICIONADOR DE METAIS NO TORNEAMENTO DO AÇO SAE 1045**. **COBEF**. Mossoró-RN, p. 1-5. 07 ago. 2019.

ZIANI, Allison Mineo; FERNANDES, Eder. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE USINAGEM NO ACABAMENTO SUPERFICIAL DE AÇOS (SAE 1020 E SAE 1045), NO PROCESSO DE TORNEAMENTO UTILIZANDO ANALISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)**. 2016. 136 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2016.