

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

NATAN FELIPE SEVERO DALLA CORTE

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NA FORÇA DE CORTE DEVIDO À VARIAÇÃO DO
ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA FERRAMENTA
PARA USINAGEM COM INSERTOS ROMBOIDAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2019

NATAN FELIPE SEVERO DALLA CORTE

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NA FORÇA DE CORTE DEVIDO À VARIAÇÃO DO
ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA FERRAMENTA
PARA USINAGEM COM INSERTOS ROMBOIDAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima

Co-orientador: MsC. Vitor Baldin

PATO BRANCO

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NA FORÇA DE CORTE DEVIDO À VARIAÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA FERRAMENTA PARA USINAGEM COM INSERTOS ROMBOIDAIIS

Natan Felipe Severo Dalla Corte

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 29/11/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. MsC. Cícero Gallina de Aguiar
(UTFPR – Departamento de Engenharia Mecânica)

Profa. MsC. Nayane Lais S. Garbin
(UTFPR – Departamento de Engenharia Mecânica)

Prof. Dr. Fábio de Freitas Lima
(UTFPR – Departamento de Engenharia Mecânica)

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

(*A folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica.)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família. Aos meus pais, Rubens Ricardo Dalla Corte e Vânia Inês Severo Dalla Corte e avó Olíria Ana de Camargo, pois sem eles nada disso seria possível, e também a minha avó paterna Ilda Lago Dalla Corte, cuja lembrança sempre esteve presente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Professor Fábio de Freitas Lima e ao meu coorientador Vitor Baldin pelo suporte, o companheirismo e a amizade durante toda a pesquisa.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná junto a coordenação do curso de Engenharia Mecânica, pelos ensinamentos e oportunidade de realização desse trabalho.

Aos amigos e colegas acadêmicos Rafael Gerônimo, Matheus Colpani, Italo Péres e Philipi M. dos Santos pelo apoio nas horas difíceis, em especial a Davi H. Lapolli cujo conhecimento e amizade foram imprescindíveis para a realização desse trabalho.

Ao professor Álisson Rocha Machado e a todo o departamento de engenharia mecânica da PUC-PR Campus Curitiba, pelos conhecimentos, sugestões e ajuda no processo experimental.

A minha avó Olíria Ana de Camargo, aos meus pais Rubens Ricardo Dalla Corte e Vânia Inês Severo Dalla Corte, pela motivação e por acreditarem em meu potencial e me motivar a dar meu melhor sempre. E a minha tia Rita Dalla Corte pelo constante incentivo.

EPÍGRAFE

The world ain't all sunshine and rainbows. It's a very mean and nasty place and I don't care how tough you are it will beat you to your knees and keep you there permanently if you let it. You, me, or nobody is gonna hit as hard as life. But it ain't about how hard ya hit. It's about how hard you can get hit and keep moving forward. How much you can take and keep moving forward. That's how winning is done! (STALLONE, Sylvester, 2006)

O mundo não é um mar de rosas; é um lugar sujo, um lugar cruel, que não quer saber o quanto você é durão. Vai botar você de joelhos e você vai ficar de joelhos para sempre se você deixar. Você, eu, ninguém vai bater tão duro quanto a vida! Mas não se trata de bater duro, se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando. É assim que se vence! (STALLONE, Sylvester, 2006)

RESUMO

DALLA CORTE, Natan Felipe. Análise da Influência na Força de Corte Devido à Variação do Ângulo de Inclinação da Ferramenta para Usinagem com Insertos Romboidais. 2019. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

O presente trabalho trata do estudo da análise da variação do ângulo de inclinação da ferramenta para usinagem com insertos romboidais, a fim de comparar e entender a influência deste ângulo nas forças atuantes no processo de usinagem. A pesquisa teve como objetivo identificar meios de mensurar as forças de corte e de usinagem, bem como meios para analisar os resultados a serem obtidos. Os resultados encontrados indicam que a variação do ângulo de inclinação da ferramenta pode auxiliar o processo de usinagem, porém ângulos muito negativos tem sua eficiência muito baixa e, em alguns aspectos, acabam afetando negativamente a usinagem e a vida útil da ferramenta.

Palavras-chave: Usinagem, Força de Corte, Força de Usinagem, Dinamômetro, Dinamometria, Ângulo de Inclinação da Ferramenta, Insertos Romboidais

ABSTRACT

DALLA CORTE, Natan Felipe. Analysis of influence on cutting force by variation of tool's inclination angle for turning with rhomboid inserts. 2019. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

The present work approaches the analysis of the variation of tool's inclination angle for turning with rhomboid inserts, in order to compare and understand the influence of this angle on the forces acting on the turning process. The research aimed to identify means of measuring cutting and turning forces, as well as ways to analyze the results to be obtained. The results indicate that the variation of the tool angle can help the turning process, but negative angles have very low efficiency and, in some aspects, negatively affect the turning and tool's life.

Keywords: Turning, Cutting Force, Turning Force, Dynamometer, Dynamometry, Tool Tilt Angle, Rhomboid Inserts

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Geometria de uma ferramenta de torneamento.	22
Figura 2: Sistema de Referência da ferramenta.....	22
Figura 3: Ângulos medidos no plano ortogonal.....	23
Figura 4: Ângulos medidos no plano de corte.....	23
Figura 5: Classificação da integridade superficial.....	27
Figura 6: Dureza dos materiais de ferramenta de corte.....	29
Figura 7: Avarias em ferramentas de corte.....	31
Figura 8: Formas de desgaste.....	31
Figura 9: CNC Cincinnati Hawk-150.....	36
Figura 10: Célula de carga.....	37
Figura 11: Célula de carga.....	37
Figura 12: Inserto WIDIA.....	38
Figura 13: Dimensões do Inserto.....	38
Figura 14: Suporte comercial.....	39
Figura 15: Suporte fabricado com ângulo -9°	39
Figura 16: Suporte fabricado com ângulo -5°	40
Figura 17: Suporte com ângulo de -5°	40
Figura 18: Suporte com ângulo de -9°	40
Figura 19: Fluido de corte Mobilcut 321.....	41
Figura 20: Corpo de prova.....	42
Figura 21: Dimensões do corpo de prova.....	42
Figura 22: Corpo de prova.....	42
Figura 23: Fixação do suporte no dinamômetro.....	44
Figura 24: Processo de medição de rugosidade superficial.....	44
Figura 25: Parâmetros do rugosímetro.....	45
Figura 26: Processo de medição de rugosidade.....	45
Figura 27: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.125.....	49
Figura 28: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.125.....	50
Figura 29: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.25.	50

Figura 30: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.25.	51
Figura 31: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.5.	51
Figura 32: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.5.	52
Figura 33: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.125.	53
Figura 34: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.125.	53
Figura 35: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.25.	54
Figura 36: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.25.	54
Figura 37: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.5.	55
Figura 38: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.5.	55
Figura 39: Imagem da aresta de corte obtida em MEV da ferramenta 1	62
Figura 40: Imagem da aresta de corte obtida em MEV da ferramenta 2	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química do aço 8620 (em %)	21
Tabela 2: Comparação de durezas	29
Tabela 3: Modelo de planejamento 2K	34
Tabela 4: Parâmetros utilizados	43
Tabela 5: Ensaio λ -5° , $f = 0.125$, sem fluido de corte	46
Tabela 6: Ensaio λ -5° , $f = 0.125$, com fluido de corte	46
Tabela 7: Ensaio λ -5° , $f = 0.25$, sem fluido de corte	46
Tabela 8: Ensaio λ -5° , $f = 0.25$, com fluido de corte	47
Tabela 9: Ensaio λ -5° , $f = 0.5$, sem fluido de corte	47
Tabela 10: Ensaio λ -5° , $f = 0.5$, com fluido de corte	47
Tabela 11: Ensaio λ -9° , $f = 0.125$, sem fluido de corte	47
Tabela 12: Ensaio λ -9° , $f = 0.125$, com fluido de corte	47
Tabela 13: Ensaio λ -9° , $f = 0.25$, sem fluido de corte	48
Tabela 14: Ensaio λ -9° , $f = 0.25$, com fluido de corte	48
Tabela 15: Ensaio λ -9° , $f = 0.5$, sem fluido de corte	48
Tabela 16: Ensaio λ -9° , $f = 0.5$, com fluido de corte	48
Tabela 17: Rugosidade do corpo de prova dos ensaios com suporte de ângulo -9° , sem fluido de corte	56
Tabela 18: Rugosidade do corpo de prova dos ensaios com suporte de ângulo -9° , com fluido de corte	56
Tabela 19: Rugosidade do corpo de prova dos ensaios com suporte de ângulo -5° , sem fluido de corte	56
Tabela 20: Rugosidade do corpo de prova dos ensaios com suporte de ângulo -5° , com fluido de corte	56
Tabela 21: Cálculo da força de usinagem para os ensaios com suporte de ângulo -5°	57
Tabela 22: Cálculo da força de usinagem para os ensaios com suporte de ângulo -9°	57
Tabela 23: Fatores utilizados como parâmetros de teste	58
Tabela 24: Variações de combinações dos testes	58
Tabela 25: Resultados a serem comparados	59

Tabela 26: Comparação final dos resultados obtidos.....	59
Tabela 27: Comparação dos resultados com e sem o uso de fluido de para os mesmos parâmetros de usinagem	61

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

λ	Ângulo de inclinação da ferramenta	°
$A\lambda$	Superfície de saída da ferramenta	-
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	-

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Principal	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 JUSTIFICATIVA	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 AÇO DE BAIXA LIGA	20
2.2 AÇO SAE 8620	20
2.2.1 Influência dos elementos de liga (Cr, Ni, Mo).....	21
2.3 SISTEMA DE REFERÊNCIA DE GEOMETRIA DA FERRAMENTA.....	21
2.4 FORMAÇÃO DE CAVACOS	24
2.5 FORÇA DE CORTE E POTENCIA DE USINAGEM.....	25
2.6 INTEGRIDADE SUPERFICIAL	26
2.7 MATERIAIS DE FERRAMENTA	28
2.7.1 Metal Duro.....	30
2.8 DESGASTE E AVARIAS DAS FERRAMENTAS DE CORTE	30
2.9 FLUIDOS DE CORTE	32
2.9.1 Classificação dos fluidos de corte	32
2.9.2 Métodos de aplicação dos fluidos de corte.....	33
2.10 ANÁLISE MULTIVARIÁVEL	33
2.10.1 Experimentos fatoriais	33
2.10.2 Experimento fatorial 2K	33
2.11 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA MEV	34
2.11.1 Princípio de funcionamento	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	36

3.2 MATERIAIS	36
3.2.1 Equipamentos	36
3.2.2 Insertos.....	37
3.2.3 Suporte.....	38
3.2.4 Fluido de corte.....	41
3.3 MÉTODOS	41
3.3.1 Parâmetros de usinagem dos ensaios	43
3.3.2 Procedimento dos ensaios	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
5. CONCLUSOES	64
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A ferramenta, foi um instrumento crucial para o desenvolvimento do homem, desde eras pré-históricas. Com o descobrimento dos metais, tais como: zinco, cobre e ferro, a partir de 700 A.C, praticamente todas as ferramentas eram feitas em ferro. De extrema importância para o desenvolvimento tecnológico de ferramentas, foi a descoberta dos aços, e de como temperá-los aumentando significativamente o emprego de materiais para ferramentas. (FERRARESI, 1977)

Com a descoberta de novos e mais resistentes materiais, e a utilização da água e do vapor como fontes de energia, propiciaram a aparição de máquinas-ferramentas responsáveis pela fabricação de outras máquinas e instrumentos, substituindo o trabalho humano em diversas atividades, e impulsionando a indústria metal-mecânica.

Em 1774, John Wilkinson construiu o que seria a primeira mandriladora, utilizada inicialmente para mandrilar cilindros de máquinas a vapor. Em 1797, Henry Maudslay desenvolveu o primeiro torno com avanço automático, em seguida surgiram a plainadora e, em 1860, a retificadora. J.R. Brown, desenvolveu em 1862 a primeira fresadora universal. Outro desenvolvimento importante veio da parte de F.W. Fellows, quando em 1896 desenvolveu uma máquina capaz de fabricar praticamente todo tipo de engrenagem.

A necessidade de maior produtividade, menores custos de produção, bem como a segurança do operador, impulsionou o investimento para se desenvolver ferramentas com maior vida útil. O constante crescimento de mercado, tornou necessária a utilização de ferramentas com maior produtividade, tais como: aços rápidos, carboneto de tungstênio, etc. Também se fez necessário o desenvolvimento dos processos de fabricação, o que favoreceu avanços tecnológicos das máquinas-ferramentas, tais como máquinas automáticas, e posteriormente máquinas comandadas numericamente (CN). Porém como a usinagem sendo um processo de conversão de matéria prima em peças acabadas através da remoção de cavaco, máquinas e ferramentas não são os únicos fatores importantes no processo de usinagem (MACHADO et al., 2009).

As condições ideais de corte, por exemplo, são capazes de alterar diversos fatores na produção de peças, tais como: remoção correta do cavaco, tamanho, acabamento superficial, e por consequência custo total do projeto. Sendo

assim, a geometria correta da ferramenta de corte, se faz de grande importância para a obtenção do melhor resultado possível. Deste modo, tornou-se necessária a criação de duas normas, a NBR 6162 - MOVIMENTOS E RELAÇÕES GEOMÉTRICAS. NA USINAGEM DOS METAIS. - TERMINOLOGIA (ABNT, 1989) e a NBR 6163 – CONCEITOS DA TÉCNICA DA USINAGEM: GEOMETRIA DA CUNHA CORTANTE. – TERMINOLOGIA (ABNT – 1980), que tratam deste assunto.

A norma ABNT NBR 6162/1989, tem como objetivo a definição de uma terminologia padrão para a geometria da ferramenta de corte, bem como o sistema de referência da ferramenta, os planos do sistema de referência de cada ferramenta, e por fim os ângulos medidos em cada plano de referência.

Já a norma ABNT NBR 6163/1980, aborda somente a geometria da cunha de corte, descrição das partes construtivas da ferramenta, sistema de referência da ferramenta, ângulos da cunha de corte, geometria da cunha de corte, e fatores influenciados pela geometria da ferramenta.

A geometria da ferramenta de corte influencia, diretamente no desempenho da usinagem. Através de análises feitas por meio dela, pode-se encontrar melhores condições de força e potência de corte, estimar o desgaste da ferramenta, acabamento superficial, temperatura de usinagem, forma de cavaco, entre outros. Quanto maior for a precisão necessária na usinagem, mais específica será a geometria da peça (MACHADO et al., 2009).

O ângulo de inclinação da aresta de corte, varia, segundo a norma, entre -11° a $+11^\circ$ e tem como principais funções, controlar a direção de saída do cavaco, proteger a aresta de corte contra impactos e atenuar vibrações. Também tem grande efeito no esforço de usinagem, temperatura e vida útil da ferramenta. O que levanta a seguinte questão: Em termos de produção, que resultados podemos obter com a variação do ângulo de inclinação (λ_s) da aresta de corte?

O trabalho em questão aborda o desenvolvimento de um suporte de usinagem neutro, ou seja, sem variação no ângulo de posição, para usinagem do aço 8620, com inserto romboidal CNMG120408RH, com variação no ângulo de inclinação de acordo com as normas ABNT NBR 6162 e ABNT NBR 6163, para uma análise através da redução de força de corte e potência de usinagem, acabamento superficial, aumento da vida útil da ferramenta e melhoria do custo do processo de usinagem, tendo em vista que poucos são os dados existentes a respeito da variação deste ângulo.

1.2 OBJETIVOS

Analisar a influência da variação do ângulo de inclinação (λ_s) nas grandezas físicas do processo de usinagem, com foco principal na redução da força de corte, afim de estabelecer um melhor custo benefício para a utilização do inserto romboidal, além de mensurar as demais influências que a variação do ângulo (λ_s) possa causar.

1.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é coletar e analisar dados da variação do ângulo de inclinação da ferramenta de usinagem e apresentar uma aplicação pratica para esses dados na melhoria dos processos de usinagem.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Realizar uma vasta pesquisa bibliográfica das ferramentas, variáveis do processo de usinagem, e características do material usinado, para reunir informações suficientes para a completa análise dos resultados.
- Dimensionar e fabricar diferentes suportes de usinagem, cada um com uma variação do ângulo estudado, e realizar testes para a coleta de dados.
- Mensurar os dados obtidos e analisar os fatores de principal influência e aplicação para esses dados.
- Comparar o desgaste nas ferramentas usadas em diferentes ângulos.
- Analisar a influência do fluido de corte no processo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Vários são os fatores que podem ser influenciados alterando a geometria das ferramentas de usinagem, e sua importância é tamanha, que a correta variação nos ângulos da cunha de corte está diretamente relacionada com o êxito exigido da ferramenta na operação. O Ângulo de inclinação (λ_s), além de alterar a superfície de saída (A_λ) do cavaco, também é alterada com objetivo de proteger a ferramenta contra impactos e atenuar vibrações. Porém não existem estudos mais aprofundados quanto a influência desse ângulo, o que a alteração do mesmo na fabricação dos suportes ocorrer de maneira desleixada, claro que respeitando a variação de -11° a $+11^\circ$, mas sem o devido aproveitamento dos benefícios que essas alterações podem trazer no resultado final do processo. O que torna importante os resultados deste trabalho para conhecimento e precisa fabricação das ferramentas de usinagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AÇO DE BAIXA LIGA.

Aços em geral, mais utilizados dentre os materiais metálicos por sua ampla capacidade de aplicação, seja na fabricação de ferramentas, na confecção de peças ou estruturas. Isso se dá devido ao baixo custo de obtenção de obtenção somado a versatilidade de propriedades que se podem ser obtidas.

Aços de baixa liga possuem uma quantidade de elementos de liga inferior a 5%, e são os aços mais consumidos dentre os ligados. Os elementos mais típicos são: Cr, Mo, Ni, Mn, Si. Elementos esses que tem como finalidade elevar consideravelmente a temperabilidade, elevar a dureza de camadas nitretadas e facilitar a transição de dureza entre o núcleo e a superfície do aço cementado (CARUSO et al, 2001).

2.2 AÇO SAE 8620.

O aço 8620 é um aço para cementação e posterior beneficiamento ligado ao níquel, cromo e molibdênio, o que lhe confere uma boa temperabilidade. Após cementação, sua dureza superficial pode atingir até 62 HRC.

É normalmente utilizado em componentes mecânicos de uso tais como: pinos guia, anéis de engrenagem, cruzetas, eixos, coroas, virabrequins, pinhões e engrenagens em geral.

O aço 8620, consiste segundo norma ABNT/SAE em sua composição 0,55 de Níquel (Ni), 0,50% de Cromo (Cr) e 0,20% de Molibdênio (Mo), sendo denominado segundo referência dessa composição a série 86XX. Os dois dígitos finais da sua descrição fazem referência a sua porcentagem de carbono 0,20%, como mostrados na tabela 1 (GGD METALS et al, 2017).

Tabela 1: Composição química do aço 8620 (em %)

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
0,17	0,10	0,60	0,35	0,35	0,15
–	–	–	–	–	–
0,23	0,40	0,95	0,75	0,75	0,25

Fonte: GGD Metals. (2017)

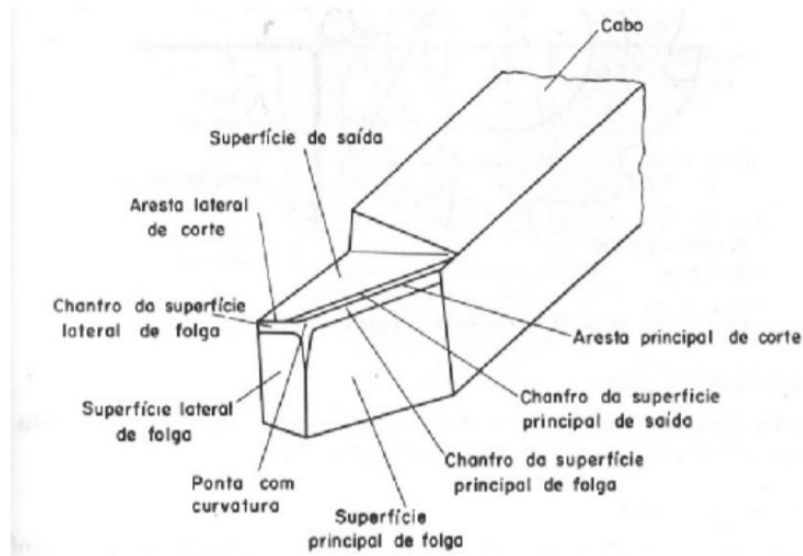
2.2.1 Influência dos elementos de liga (Cr, Ni, Mo)

A adição dos elementos de liga, tem como função a obtenção de propriedades específicas. O cromo tem como principais funções melhorar a temperabilidade, a resistência a oxidação e melhora a resistência a altas temperaturas. Já o molibdênio, além de melhorar a resistência a corrosão, também atua como refinador de grão, contrabalanceando a fragilidade ao revenido. Por fim o níquel aumenta a resistência e tenacidade do aço, e melhora a resistência a corrosão dos aços com baixo teor de carbono (COSTA E MEI ,2006).

2.3 SISTEMA DE REFERÊNCIA DE GEOMETRIA DA FERRAMENTA.

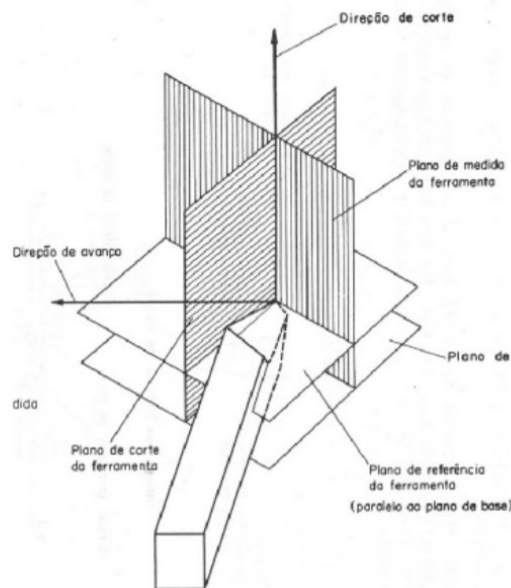
Para que possa ser feita a correta análise dos fatores influenciados pela variação do ângulo de inclinação (λ_s), algumas terminologias e definições são necessárias. Na figura 1 está representada a geometria de uma ferramenta de tornear qualquer, na figura 2 está representado o sistema de referência, enquanto na figura 3 está representado o plano de trabalho de uma cunha de corte e os ângulos medidos no plano ortogonal. Já na figura 4 estão representados os ângulos medidos no plano de corte, no caso a serem alterados nesse trabalho.

Figura 1: Geometria de uma ferramenta de torneamento.



Fonte: Norma ABNT NBR 6163. (1980)

Figura 2: Sistema de Referência da ferramenta



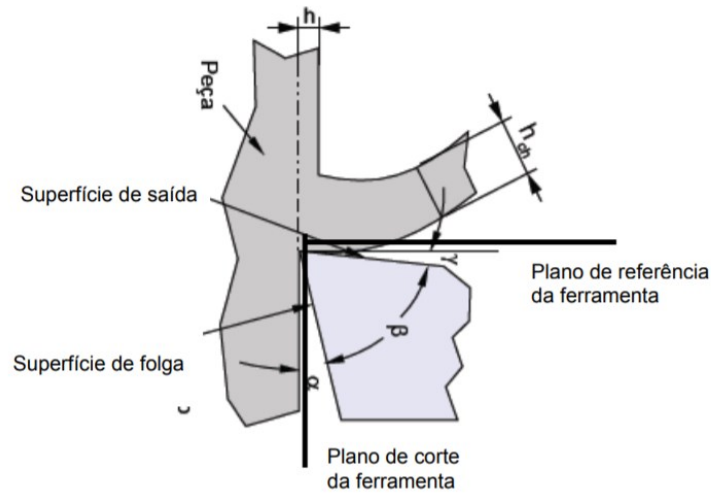
Fonte: Norma ABNT NBR 6163. (1980)

- Plano de referência: é o plano que, passando pelo ponto de referência, é perpendicular à direção de corte.

- Plano de corte: é o plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é o plano tangente ou que contém a aresta de corte e é perpendicular ao plano de referência.

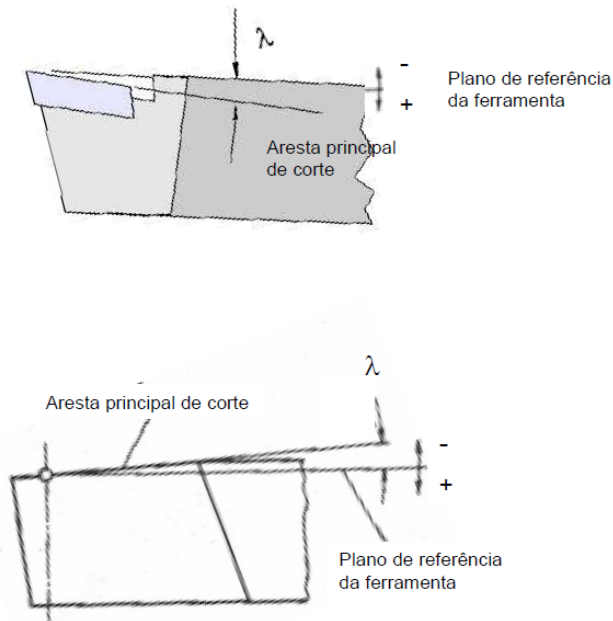
- Plano de medida (ou ortogonal): é o plano perpendicular ao plano de referência e ao plano de corte. (Norma ABNT NBR 6163, 1980)

Figura 3: Ângulos medidos no plano ortogonal



Fonte: Norma ABNT NBR 6163. (1980)

Figura 4: Ângulos medidos no plano de corte.



Fonte: Norma ABNT NBR 6163. (1980)

- Ângulo de inclinação (λ_s): É o ângulo entre a aresta de corte e o plano de referência da ferramenta, medido no plano de corte. O ângulo de inclinação situa-se sempre de forma que o seu vértice indica a ponta de corte. É positivo quando o plano de referência da ferramenta ficar fora da cunha de corte (Norma ABNT NBR 6163, 1980).

Esse ângulo, além de alterar a superfície de saída do cavaco, também tem as seguintes funções:

- Controlar a direção de saída do cavaco.

- Proteger a aresta de corte da ferramenta contra impactos.
- Quando negativo, atenuar vibrações.

- Superfície de saída (A_1): Superfície sobre a qual o cavaco se move (MACHADO et al., 2009).

2.4 FORMAÇÃO DE CAVACOS

Segundo Machado (2009), o processo de usinagem pode ser definido como: *processo de fabricação com remoção de cavaco*. Uma definição mais abrangente é a seguinte: *operação que ao conferir à peça forma, dimensões e acabamento, produz cavaco*. E por cavaco entende-se: *porção de material da peça retirada pela ferramenta e caracterizada por apresentar forma geométrica irregular*.

A definição do processo de usinagem como sendo um processo de fabricação com remoção de cavaco, mostra a importância do estudo científico da formação de cavaco para o entendimento dos processos de usinagem. Vários são os fatores que influenciam na formação do cavaco, tais como: geometria da ferramenta, material da ferramenta, quebra cavaco, condições de corte, material da peça, fluido de corte, e máquina-ferramenta. O estudo desses fatores proporciona melhorias no processo de usinagem, o aperfeiçoamento das arestas de corte, com quebra cavacos mais eficientes, a descoberta de novos materiais para ferramentas de corte e a possibilidade de usinar os mais variados tipos de materiais. Sabe-se que o cavaco se forma da combinação de altíssimas velocidades de deformação, seguidas de ruptura do material da peça.

Para fins de estudo mais detalhado, o processo de usinagem divide-se em quatro partes:

- Recalque inicial: Uma pequena porção do material (ainda solidária à peça) é recalcada (deformações elásticas e plásticas) contra a superfície de saída da ferramenta.

- Deformação e Ruptura: Esta deformação plástica aumenta progressivamente, até que as tensões de cisalhamento se tornem suficientemente grandes, de modo a se iniciar um deslizamento (sem que haja perda de coesão) entre a porção de material recalcada e a peça.

- Deslizamento das lamelas: Continuando a penetração da ferramenta, haverá uma ruptura (cisalhamento) parcial ou completa do cavaco, acompanhando o plano de cisalhamento já citado anteriormente e dependendo da ductilidade do material e das condições de usinagem.

- Saída do cavaco: Prosseguindo-se, devido ao movimento relativo entre a ferramenta e a peça, inicia-se um escorregamento da porção do material deformada e cisalhada (cavaco) sobre a superfície de saída da ferramenta. Enquanto isso, nova porção do material está se formando e cisalhando, a qual irá também escorregar sobre a superfície de saída da ferramenta, repetindo o processo (MACHADO et al., 2009).

2.5 FORÇA DE CORTE E POTENCIA DE USINAGEM

O conhecimento da força de usinagem, auxilia no planejamento de processos, pois possibilita a estimativa da potência necessária para o processo e as forças atuantes nos elementos da máquina-ferramenta, força essa responsável pelo desgaste ou colapso da ferramenta (que sofre esforços mecânicos e atividade térmica), influenciando diretamente na viabilidade econômica do projeto.

A abordagem do estudo das forças, se divide de duas maneiras

- Teórica:
 - Fenômeno da formação do cavaco – Corte ortogonal (Bidimensional)
- Empírica:
 - Equacionamento a partir de dados experimentais – Corte espacial (Tridimensional) (MACHADO et al., 2009).

Segundo Machado (2009), a determinação teórica, ou experimental do ângulo do plano de cisalhamento, ângulo pelo qual o material se rompe para formar cavacos, permite a projeção da força de usinagem (F_U) nas diversas direções de interesse. Os componentes da força de usinagem variam com a seção do cavaco, em uma relação quase linear, em especial a força de corte (F_C). Da relação linear entre força de corte e área da seção é dada a equação 1:

$$F_C = k_s \cdot A \quad [\text{N}] \quad [1]$$

Onde:

k_s é a pressão específica de corte.

A é a área da seção de corte.

Segundo Machado (2009) a força de usinagem pode ser decomposta em 3 componente básicas:

- Força de corte (F_c): é a projeção da força de usinagem sobre o plano de trabalho, na direção de corte, dada pela velocidade de corte.
- Força de avanço (F_f): a projeção da força de usinagem sobre o plano de trabalho, dessa vez na direção de avanço, dada pela velocidade de avanço.
- Força passiva (F_p): é a projeção da força de usinagem perpendicular ao plano de trabalho.

Sendo essas três forças um resultado da decomposição da força de usinagem, tem-se a relação:

$$F_u = \sqrt{(F_c)^2 + (F_f)^2 + (F_p)^2} \quad [N] \quad [2]$$

2.6 INTEGRIDADE SUPERFICIAL

Segundo Machado (2009), a condição final de uma superfície usinada é resultado de um processo que envolve deformações plásticas, ruptura, recuperação elástica, geração de calor, vibração, tensões residuais e às vezes, reações químicas.

Como é influenciado por uma grande variedade de fatores o termo integridade superficial não pode ser definido apenas em uma dimensão e não abrange somente a textura da superfície ou a sua forma geométrica. Na figura 5 podemos ver alterações que podem ocorrer em superfícies usinadas e uma classificação destas.

Figura 5: Classificação da integridade superficial



Fonte: Adaptado de MACHADO, Teoria da Usinagem dos Materiais, 2015.

Acabamento superficial como falado acima, é uma combinação de vários fatores, divididos em rugosidade, ondulações e falhas.

Rugosidade da superfície é composta de irregularidades finas ou erros microgeométricos resultantes da ação inerente ao processo de corte, e pode ser medida de várias formas, sendo que o rugosímetro será utilizado neste trabalho. E será usada como parâmetro para controle do processo de usinagem.

Ondulações consistem em irregularidades superficiais ou erros geométricos cujos espaçamentos são maiores do que as irregularidades da rugosidade. Geralmente causadas por vibrações e flexões da ferramenta em virtude da força de corte, temperatura de corte ou erros de fixação da peça ou ferramenta.

Falhas são interrupções na topografia típica de uma superfície, causadas por defeitos da peça tais como falhas, trincas, e bolhas, ou também podem ocorrer durante o processo de corte (MACHADO et al., 2009).

2.7 MATERIAIS DE FERRAMENTA

Segundo Machado (2009), dureza e resistência ao desgaste estão diretamente relacionadas com a capacidade de imprimir altas velocidades aos processos, uma vez que esse parâmetro é o principal responsável pelo aumento da temperatura, temperatura essa que tende a reduzir as propriedades da ferramenta.

Na metodologia de seleção de ferramentas, os seguintes fatores devem ser considerados, material da peça, tipo de corte, geometria e tamanho do componente, tamanho do lote, dados de usinabilidade do material, dados econômicos do processo, capacidade da máquina e requisitos de geometria da superfície usinada.

A seleção de uma determinada ferramenta, deve ser feita correlacionando as propriedades mecânicas do material da ferramenta com as propriedades mecânicas da peça. Em outras palavras a ferramenta deve possuir uma dureza maior que a dureza da peça (MACHADO et al., 2009).

Segundo Amorin (2003) a dureza relativa de corte (H_r), relaciona a dureza do material da ferramenta (H_T) e a dureza do material a ser usinado (H_p), como mostrado na equação 3:

$$H_r = \frac{H_T}{H_p} \quad [3]$$

Como definido anteriormente, o material utilizado neste trabalho é o aço SAE 8620, com dureza de aproximadamente 62HRC. A ferramenta selecionada é fabricada em metal duro. A dureza relativa do metal duro em escala Vickers (HV) é de aproximadamente 1600 HV, como podemos verificar na figura 6:

Figura 6: Dureza dos materiais de ferramenta de corte



Fonte: Adaptado de

<https://slideplayer.com.br/slide/2857231/10/images/12/Cobertura+e+dureza+A%C3%A7os+Vidro+Metal+duro+Cobertura+Diamante+Vickers.jpg>, Acessado em 11/nov/2019.

Para a correta utilização da equação 2, é necessária uma conversão de dureza. Como o metal duro, possui uma dureza relativamente difícil de se obter através de tabelas de conversão, optou-se por converter a dureza do aço SAE 8620 para a escala de dureza vickers. Podemos observar na tabela 2, uma escala aproximada de comparação de durezas.

Tabela 2: Comparação de durezas

Dureza Vickers (HV)	Dureza Rockwell				Dureza Shore (HS)	Resistência à Tração (Aproxim.) Mpa
	Escala A Pré-Carga: 80kgf Ponta de Diamante	Escala B Pré-Carga: 100kgf Escala 1/16"	Escala C Pré-Carga: 150kgf Ponta de Diamante	Escala D Pré-Carga: 100kgf Ponta de Diamante		
	(HRA)	(HRB)	(HRC)	(HRD)		
940	85.6	—	68.0	76.9	97	—
920	85.3	—	67.5	76.5	96	—
900	85.0	—	67.0	76.1	95	—
880	84.7	—	66.4	75.7	93	—
860	84.4	—	65.9	75.3	92	—
840	84.1	—	65.3	74.8	91	—
820	83.8	—	64.7	74.3	90	—
800	83.4	—	64.0	73.8	88	—
—	—	—	—	—	—	—
780	83.0	—	63.3	73.3	87	—
760	82.6	—	62.5	72.6	86	—

Fonte: Adaptado de Mitsubishicarbide.com

A dureza do aço SAE 8620 é de 62 HRC, ou seja, aproximadamente 760 HV, aplicando na equação 2, temos a dureza relativa (H_r) de 2.10, em outras palavras

a ferramenta possui uma dureza maior que duas vezes a dureza do material da peça, o que justifica seu uso segundo os parâmetros abordados acima.

2.7.1 Metal Duro

A descoberta do metal duro, junto a descoberta dos aços rápidos, foi de grande importância na área dos materiais para ferramentas de corte, pois a partir destes as velocidades de corte puderam ser aumentadas consideravelmente (MACHADO et al., 2009).

É produzido através da metalurgia do pó, onde sua matéria prima é misturada em forma de pó, e submetidos a um processo de compressão, sinterização e posterior retificação. Constituído basicamente por um carboneto extremamente duro e de alta resistência ao desgaste, em geral carboneto de tungstênio misturado a outros carbonetos com propriedades semelhantes, como de titânio, tântalo e nióbio, responsáveis pela dureza e resistência ao desgaste. E também constituído por um elemento ligante, usualmente cobalto, metal do grupo do ferro, responsável por aglomerar as partículas duras dos carbonetos, o que dá a tenacidade característica desse tipo de material (FERRARESI, 1977).

2.8 DESGASTE E AVARIAS DAS FERRAMENTAS DE CORTE

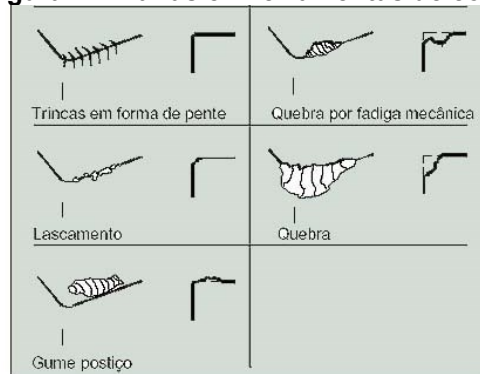
Apesar de seu custo representar apenas uma pequena fração do custo do processo de fabricação, o desgaste acelerado ou avarias na ferramenta de corte, acaba por exigir sua substituição. Substituições de ferramentas levam a parada das máquinas, o que amplia os custos do processo e gera perda de produtividade.

Os fenômenos que causam a mudança na geometria da aresta de corte são divididos em 3 tipos: avaria, desgaste e deformação plástica, e suas definições são as seguintes:

- Avaria: promove a perda de material e ocorre de maneira repentina, causado pela quebra, lascamento ou trinca da aresta de corte. A quebra e o lascamento, levam a uma perda considerável de material, já a trinca é a abertura de uma fenda no corpo da ferramenta. No geral a trinca raramente ocorre no torneamento, a

menos que as condições de corte não sejam apropriadas para a ferramenta, ou que a ferramenta possua um defeito. A figura 7 mostra os tipos de avarias na ferramenta.

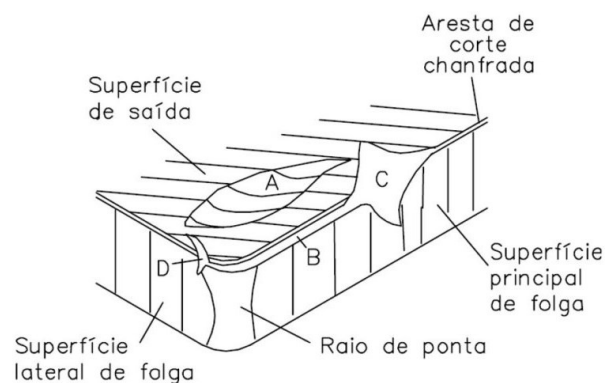
Figura 7: Avarias em ferramentas de corte



Fonte: Adaptado de <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/imagens/avarias/01.jpg>. Acessado em 12/nov/2019.

- Desgaste: outro fenômeno que promove a perda de material, porém desta vez de maneira contínua e progressiva, e em pequenas porções. O desgaste nada mais é do que a destruição da superfície que compõe a ferramenta. A temperatura de corte tem grande influência nesse fenômeno. O desgaste pode ser subdividido em 3 tipos, como ilustrado na figura 8:
 1. Desgaste de cratera (área A).
 2. Desgaste de flanco (área B).
 3. Desgaste de entalhe (áreas C e D).

Figura 8: Formas de desgaste



Fonte: Adaptado de Machado et al, 2015, p.277.

- Deformação plástica: é um fenômeno que altera a geometria da aresta de corte, através do deslocamento de material. Ocorre por cisalhamento devido as tensões que atuam na superfície de corte. Mais comum em ferramentas com alta tenacidade, como aço rápido, ligas fundidas e metal duro (MACHADO et al., 2009).

2.9 FLUIDOS DE CORTE

O uso correto de fluidos de corte auxilia o processo de manufatura, reduzindo custos, aumentando a produtividade. Suas principais funções, segundo Machado et al. (2015), são: lubrificação a baixas velocidades de corte, refrigeração a altas velocidades de corte, remoção dos cavacos da zona de corte, e proteção da máquina-ferramenta e da peça contra a oxidação. Outros benefícios do uso de fluidos de corte são: aumento de vida útil da ferramenta, redução das forças de usinagem e da potência de usinagem, melhoria do acabamento da peça, redução do risco de distorção da peça (MACHADO et al., 2009).

2.9.1 Classificação dos fluidos de corte

Em geral, os fluidos de corte são classificados em 3 tipos:

- Óleos
- Emulsões
- Soluções

Os fluidos oleosos, são em grande maioria compostos de óleos minerais obtidos do refino do petróleo, em alguns casos aditivados com óleos de origem vegetal ou animal, já que este tem sua utilização de forma pura inviável, devido ao alto custo e rápida deterioração. Os fluidos oleosos, apesar da baixa condutividade térmica, são os mais eficientes para redução de atrito.

Já os fluidos emulsionáveis, ou semissintéticos, tem em sua composição uma mistura bifásica de óleos minerais ou vegetais, adicionados à água em proporções de 1:10 até 1:100, somados a agentes emulsificantes que garantem a uniformidade da mistura.

Por fim, as soluções ou fluidos sintéticos, são aqueles que se dissolvem completamente na água, formando uma fase única, portanto são monofásicos. Na maioria dos casos não possuem agentes minerais ou vegetais, possuem boas propriedades lubrificantes e refrigerantes e também tem uma maior vida útil (MACHADO et al., 2009).

2.9.2 Métodos de aplicação dos fluidos de corte

São 3 os principais métodos de aplicação do fluido: jorro a baixa pressão, sistema a alta pressão (até 163 bar) e atomização (de 1ª 5 bar), sendo o sistema de jorro a baixa pressão o mais utilizado devido a sua simplicidade (MACHADO et al., 2009).

2.10 ANALISE MULTIVARIÁVEL

Quando se tratando de análises de processos de fabricação ou melhoria de produtos, onde tem-se mais de um fator que altera o resultado final é fundamental a utilização de um método de análise multivariável, pois o grande número de combinações de parâmetros para análise, torna o experimento muito longo e em alguns casos inviável (CARPINETTI. 2009).

2.10.1 Experimentos fatoriais

Para casos de experimentos com mais de duas variáveis, como é o caso da usinagem, planejamentos fatoriais mostram-se mais eficientes, pois possibilitam a análise das combinações dos níveis de cada variável (CARPINETTI. 2009).

2.10.2 Experimento fatorial 2K

Este experimento consiste na análise de k fatores em apenas 2 níveis resultando em 2^k combinações. Onde após definidos os fatores de controle (variáveis)

é traçado uma matriz de planejamento através dos níveis de combinações para testes, e da sequência de realização dos testes.

A definição dos níveis de combinação se dá a partir dos fatores de controle, sendo um nível baixo e um nível alto. Já os testes devem abranger todas as combinações de níveis possíveis (CARPINETTI. 2009). Na tabela 3, é mostrado um modelo de planejamento.

Tabela 3: Modelo de planejamento 2K

Teste	Fator de Controle		
	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

Fonte 1: Adaptado de CARPINETTI, Planejamento e Análise de Experimento, 2009.

Em seguida são definidos a sequência de testes a serem realizados para analisar as interações dos níveis de combinação dos fatores e calculado o efeito principal de cada fator. (CARPINETTI. 2009).

2.11 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA MEV

O microscópio eletrônico de varredura é um aparelho que diferente dos demais microscópios, utiliza um feixe de elétrons, que fazem uma varredura sob a superfície da peça, o que permite solucionar os problemas relacionados a luz branca e também ultrapassar o limite de aumento máximo de 2000x dos microscópios convencionais, para até 300.000 vezes (DEDAVID. 2007).

2.11.1 Princípio de funcionamento

Como citado anteriormente, o MEV emite um feixe de elétrons para explorar a superfície da amostra, ponto a ponto, que transmite o sinal para uma tela que realiza a varredura sincronizada com o feixe de elétrons incidente. O sinal de imagem é resultado da interação entre o feixe e a superfície da peça, na grande maioria o MEV

utiliza como fonte de elétrons um filamento de tungstênio aquecido, que opera a uma faixa de tensões de aceleração que variam de 1 a 50 kV. Em seguida é focalizado sobre a amostra com uma serie de lentes eletromagnéticas, o feixe interagindo com a amostra produz elétrons que são coletados e convertidos em sinal de vídeo (DEDAVID. 2007).

3 METODOLOGIA

3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os procedimentos, materiais e equipamentos utilizados na realização deste trabalho estão apresentados abaixo. Foram fabricados dois suportes de usinagem para os insertos romboidais com variação de -5° e -9° , com a finalidade de estudar os efeitos dessa variação. Os corpos de prova foram usinados em sessões iguais de 9 mm de comprimento cada. Os ensaios foram realizados seguindo parâmetros estipulados para a melhor coleta de dados, variando velocidade de corte e avanço, com profundidade de corte fixa.

3.2 MATERIAIS

3.2.1 Equipamentos

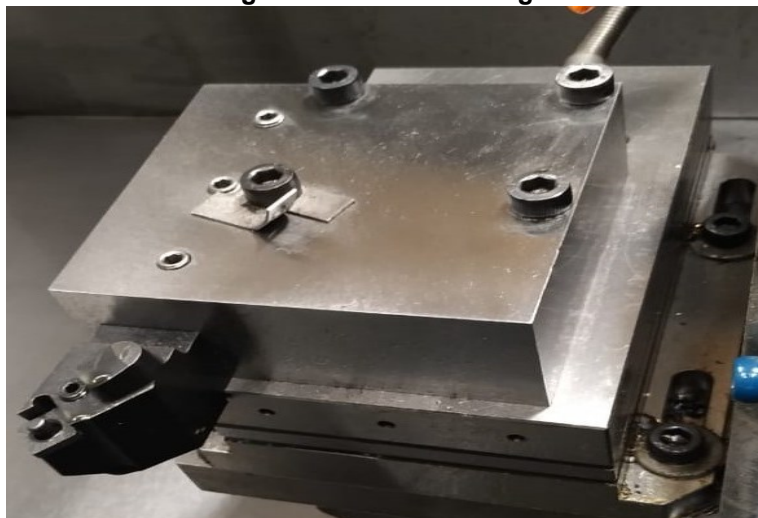
Os ensaios foram realizados em torno CNC Cincinnati modelo Hawk 150, como ilustrado na figura 9, no setor de Engenharia Mecânica da PUCPR no campus Curitiba, com a autorização prévia da instituição, utilizando um dinamômetro com célula de carga e aquisitor de dados Klister. Como ilustrados abaixo nas figuras 10 e 11.

Figura 9: CNC Cincinnati Hawk-150



Fonte: Autoria própria 2019

Figura 10: Célula de carga.



Fonte: PUC Campus Curitiba.

Figura 11: Célula de carga.



Fonte: PUC Campus Curitiba.

3.2.2 Insertos

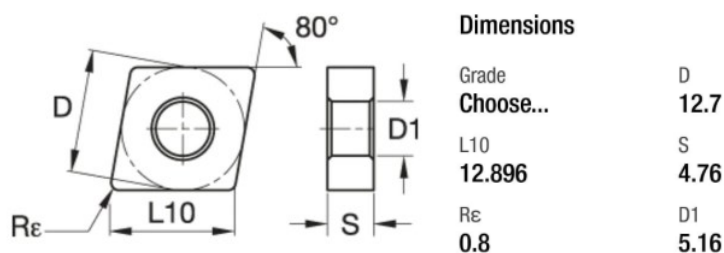
O inserto romboidal da marca WIDIA modelo CNMG120408RH, com ângulo de ponta de 80° , 4.76 mm de espessura, diâmetro da circunferência inscrita no inserto de 12.7 mm e raio de ponta de 0.8mm, como ilustrado nas figuras 12 e 13.

Figura 12: Inseto WIDIA



Fonte: Adaptado de google imagens, acessado em 04/07/19.

Figura 13: Dimensões do Inseto.



Fonte: Adaptado de WIDIA Machining Central App, acessado em 04/07/19.

3.2.3 Suporte

O suporte utilizado como referência, é um suporte fabricado em aço 4140 de fabricante desconhecido, com ângulo de inclinação da ferramenta de aproximadamente -10° , dentro dos limites estipulados pela norma NBR 6162 - MOVIMENTOS E RELAÇÕES GEOMÉTRICAS. NA USINAGEM DOS METAIS. - TERMINOLOGIA (ABNT, 1989) com posição de ferramenta neutra como ilustrado na figura 14.

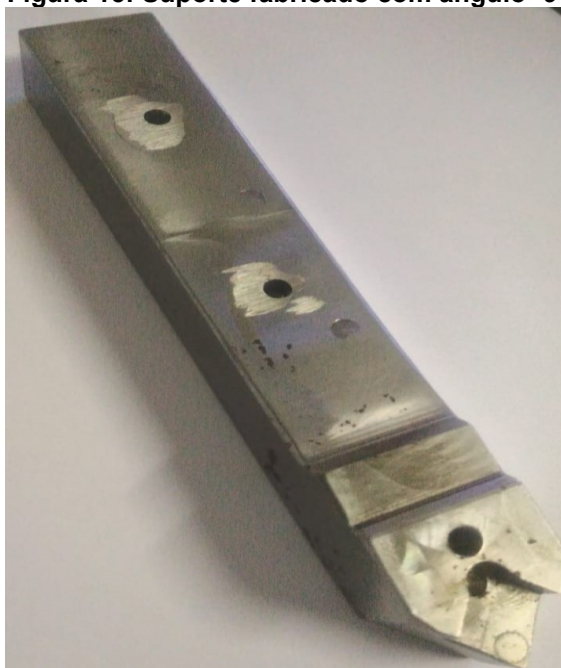
Figura 14: Suporte comercial



Fonte: Autor

A partir do suporte de referência, foram fabricados 2 suportes para realização dos ensaios. Os suportes fabricados com variação de -5° e -9° no ângulo de inclinação, como pode ser visto nas figuras 15, 16, 17 e 18.

Figura 15: Suporte fabricado com ângulo -9°



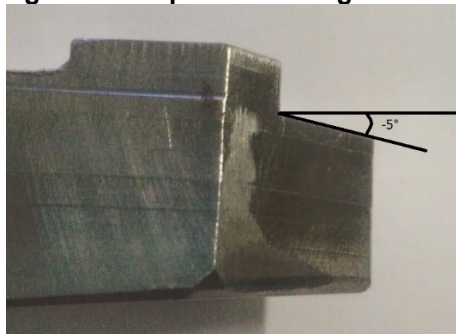
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 16: Suporte fabricado com ângulo -5°



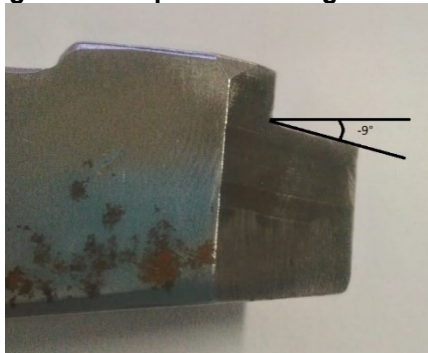
Fonte: Autorial própria 2019.

Figura 17: Suporte com ângulo de -5°



Fonte: Autorial própria 2019.

Figura 18: Suporte com ângulo de -9°

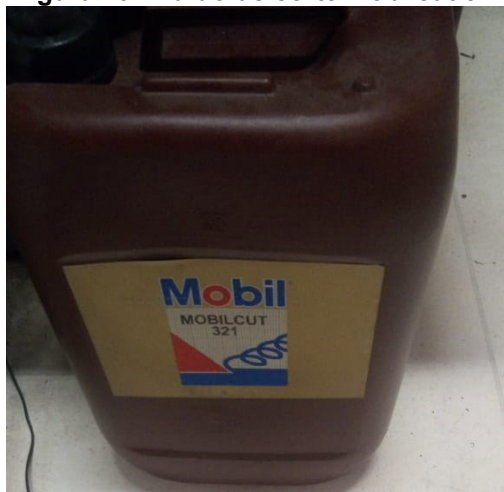


Fonte: Autorial própria 2019.

3.2.4 Fluido de corte

O fluido de corte utilizado (ilustrado na imagem 19), foi o mobilcut 321 da marca mobil. Um fluido sintético e bioestável, isento de óleo mineral, o que auxilia na lubrificação, refrigeração e baixa produção de espuma.

Figura 19: Fluido de corte Mobilcut 321



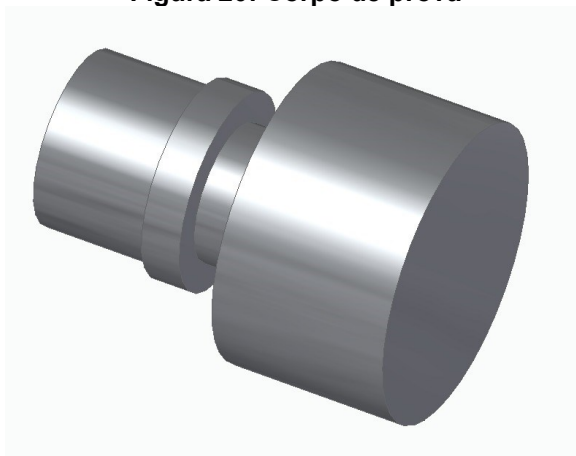
Fonte 2: Autoria própria, 2019

3.3 MÉTODOS

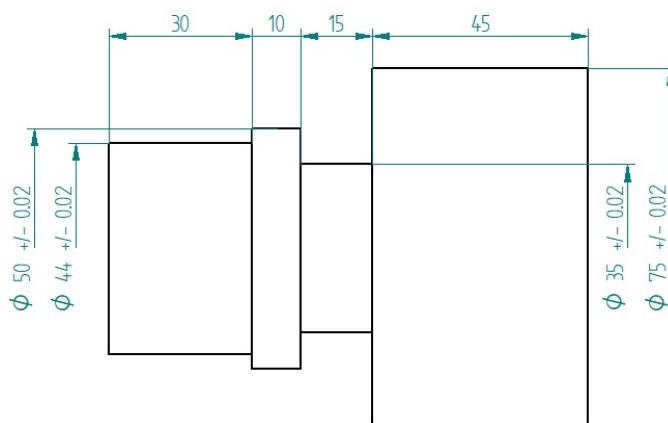
Foi utilizado como corpo de prova, um tarugo de aço SAE 8620, dividido em 5 seções de 9mm, avanço de 0,125mm, 0.25mm e 0.5mm por revolução, a profundidade de corte fixada em 1mm e a velocidade de corte variando entre 185/225/265/305/350 [m/min]. De onde foi medido através do dinamômetro as forças de corte atuantes sob a peça.

Após a usinagem de cada sessão, foram comparadas as rugosidades e comparadas com a rugosidade da usinagem com o outro suporte, para os mesmos parâmetros de corte.

Os corpos de prova foram fabricados conforme os parâmetros estipulados pelo laboratório de usinagem da PUC-PR, para que fosse corretamente inserido no CNC, como é ilustrado nas figuras 20 e 21 e 22.

Figura 20: Corpo de prova

Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 21: Dimensões do corpo de prova

Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 22: Corpo de prova

Fonte: Autoria própria, 2019

Com os parâmetros estipulados foram realizados ensaios para a coleta de dados.

3.3.1 Parâmetros de usinagem dos ensaios

Após a fabricação dos suportes e a confecção dos corpos de prova, foi realizada a dinamometria na usinagem dos corpos de prova de aço SAE 8620, com profundidade de corte (a_p) fixa em 1,0 [mm], velocidade de corte (V_c) variando de $V_c = 185/225/265/305/350$ [m/min] e avanço (f) variando em $f = 0.125/0.25/0.5$ [mm/rev] como mostrado na tabela 4, para mensurar as forças de corte no processo. Posterior a cada variação da velocidade de corte, foi medido a rugosidade superficial para fins comparativos.

Tabela 4: Parâmetros utilizados

	Parâmetros de usinagem utilizados (combinados entre si)				
Velocidade de corte (V_c) [m/min]	185	225	265	305	350
Avanço (f) [mm/rot]	0.125	0.25	0.5	*	*
Profundidade de corte (a_p) [mm]	1	1	1	1	1

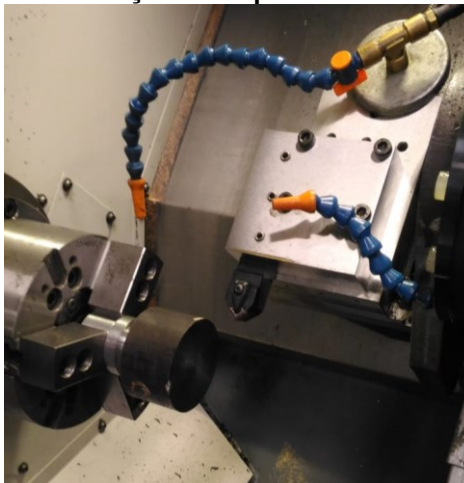
Fonte: Autoria própria, 2019.

3.3.2 Procedimento dos ensaios

As variáveis utilizadas nos ensaios, como citadas anteriormente, foram profundidade de corte (a_p), dada em mm, avanço (f), dado em mm/rot e a velocidade de corte (V_c) dada em m/min. Os primeiros ensaios foram realizados sem o fluido de corte. Posteriormente foram repetidos os parâmetros para a usinagem com fluido de corte.

Uma vez fixados os corpos de prova na placa do torno, foi montado o inserto no suporte com ângulo de -9° e fixado no dinamômetro como, ilustrado na figura 23. Ajustados os parâmetros de corte previamente escolhidos. Iniciou-se a usinagem.

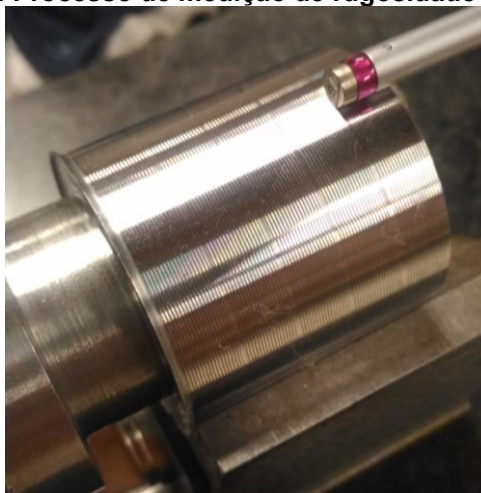
Figura 23: Fixação do suporte no dinamômetro



Fonte: Autoria própria, 2019.

Com a profundidade de corte fixada em 1 mm, e o avanço em 0.125 mm/rot, foram realizados 5 ensaios variando as velocidades de corte em 185, 225, 265, 305, 350 m/min, posteriormente medida a rugosidade superficial do corpo de prova nas 5 sessões, com o comprimento de amostragem de 0.8mm, seguindo a norma ISO 4288:1996 como ilustrado nas figuras 24, 25 e 26.

Figura 24: Processo de medição de rugosidade superficial



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 25: Parâmetros do rugosímetro

Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 26: Processo de medição de rugosidade

Fonte: Autoria própria, 2019.

Em seguida, foi preparado o corpo de prova e realizado outro ensaio com os mesmos parâmetros, porém utilizando fluido de corte, e medida as rugosidades superficiais para cada sessão para fins comparativos.

Após o primeiro ciclo de testes, foram repetidos os procedimentos citados acima para cada um dos valores de avanço previamente definidos. Vale salientar que os ciclos de ensaios, foram realizados com o mínimo de desgaste possível para obtenção dos resultados, pois profundidades de corte muito grandes acarretariam em um desgaste elevado da ferramenta de corte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo desta pesquisa foi uma ampla coleta de dados experimentais para comparar os resultados da influência na força de corte através da variação do ângulo de inclinação. Com os testes realizados através do dinamômetro, obteve-se os valores de F_c [N], F_p [N], F_f [N]. Os parâmetros utilizados nos ensaios foram $V_c = 185/225/265/305/350$ [m/min], $a_p = 1$ [mm] e $f = 0.125/0.25/0.5$ [mm/rot], para cada variação de ângulo foram realizados 2 ensaios, um sem fluido de corte e um com fluido. Os resultados do desvio padrão das forças de corte estão ilustrados abaixo nas tabelas 5 a 16.

Tabela 5: Ensaio $\lambda -5^\circ$, $f = 0.125$, sem fluido de corte

V_c [m/min]	$F_c(z)$ [N]	$F_p(x)$ [N]	$F_f(y)$ [N]
185	206,7	76,24	243
225	195,4	73,53	226,8
265	191,7	67,65	212,9
305	167,6	60,32	194
350	166,7	66,6	185,8

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 6: Ensaio $\lambda -5^\circ$, $f = 0.125$, com fluido de corte

V_c [m/min]	$F_c(z)$ [N]	$F_p(x)$ [N]	$F_f(y)$ [N]
185	379,2	210,6	215,9
225	368	213,9	204,4
265	364,1	207,8	186,3
305	354,7	195,3	170,8
350	351	194,2	162

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 7: Ensaio $\lambda -5^\circ$, $f = 0.25$, sem fluido de corte

V_c [m/min]	$F_c(z)$ [N]	$F_p(x)$ [N]	$F_f(y)$ [N]
185	678,6	272,4	800,1
225	581	270	778,9
265	557,7	258,5	757,8
305	554,1	254,2	745,9
350	555,2	257,5	738,8

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 8: Ensaio $\lambda -5^\circ$, $f = 0.25$, com fluido de corte

Vc[m/min]	Fc(z) [N]	Fp(x) [N]	Ff(y) [N]
185	580,8	274,3	658,1
225	561,7	264,3	646,6
265	551,7	255,3	626,2
305	554,3	253,3	619,7
350	557,8	247,8	612

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 9: Ensaio $\lambda -5^\circ$, $f = 0.5$, sem fluido de corte

Vc[m/min]	Fc(z) [N]	Fp(x) [N]	Ff(y) [N]
185	984,5	486,6	374
225	985,9	415	315,1
265	960	388,7	280,9
305	964,7	384,5	266,3
350	928	360	254,2

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 10: Ensaio $\lambda -5^\circ$, $f = 0.5$, com fluido de corte

Vc[m/min]	Fc(z) [N]	Fp(x) [N]	Ff(y) [N]
185	968,4	419,3	277
225	940,8	383,9	254,9
265	928,6	369	241,1
305	929,4	353,2	225,6
350	910	339,7	208,9

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 11: Ensaio $\lambda -9^\circ$, $f = 0.125$, sem fluido de corte

Vc[m/min]	Fc(z) [N]	Fp(x) [N]	Ff(y) [N]
185	358,3	236	939,9
225	356,9	218,9	916,2
265	342,9	221,2	900,4
305	335,1	215,3	882,7
350	326,8	212,5	864,6

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 12: Ensaio $\lambda -9^\circ$, $f = 0.125$, com fluido de corte

Vc[m/min]	Fc(z) [N]	Fp(x) [N]	Ff(y) [N]
185	366	229	309
225	367	221	185
265	410	227	213,1
305	351,8	216	190,7
350	349,2	214,7	175

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 13: Ensaio $\lambda -9^\circ$, $f = 0.25$, sem fluido de corte

Vc[m/min]	Fc(z) [N]	Fp(x) [N]	Ff(y) [N]
185	617,6	346,2	293,3
225	590,7	325,1	266,8
265	570,6	305,9	241,6
305	558,3	291,2	218,8
350	551,1	287,3	206,8

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 14: Ensaio $\lambda -9^\circ$, $f = 0.25$, com fluido de corte

Vc[m/min]	Fc(z) [N]	Fp(x) [N]	Ff(y) [N]
185	609	315	229
225	607,3	300	218
265	566,7	234	216,4
305	561,9	277	213,1
350	554,8	278,1	204,1

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 15: Ensaio $\lambda -9^\circ$, $f = 0.5$, sem fluido de corte

Vc[m/min]	Fc(z) [N]	Fp(x) [N]	Ff(y) [N]
185	1091	475,7	334
225	1048	454,7	297,3
265	965,4	422,2	276,7
305	965,7	420,5	266,3
350	967,4	415,9	242,8

Fonte: Autoria própria, 2019.

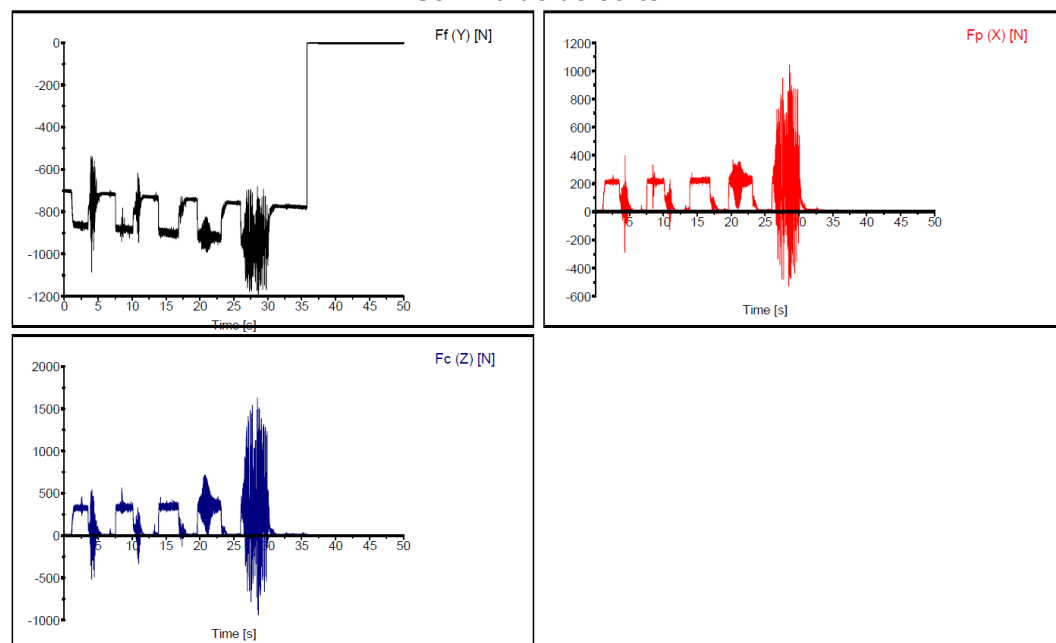
Tabela 16: Ensaio $\lambda -9^\circ$, $f = 0.5$, com fluido de corte

Vc[m/min]	Fc(z) [N]	Fp(x) [N]	Ff(y) [N]
185	1043	495	425
225	1001	466,6	391,9
265	985,1	442,2	365,9
305	974	427,8	346
350	963,8	411,1	323,7

Fonte: Autoria própria, 2019.

Na imagem 27 estão ilustrados os gráficos de variação das forças em função do tempo, para cada variação de velocidade para o avanço de 0.125, sem a utilização de fluido de corte para o ensaio com suporte com ângulo de inclinação de -9° .

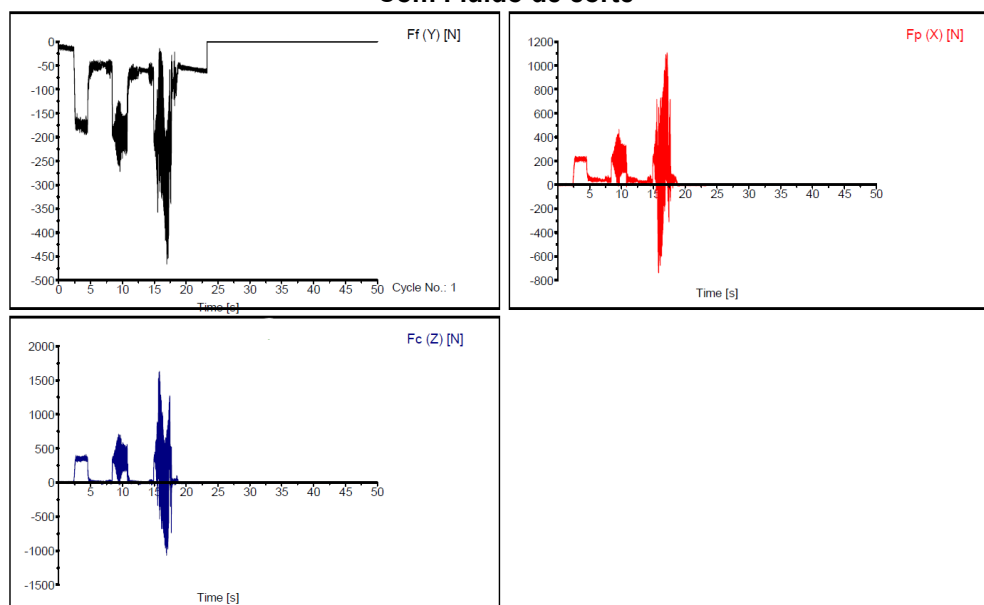
Figura 27: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.125. Sem fluido de corte



Fonte: Autoria própria, 2019.

Vale salientar que a variação aparente nos gráficos se dá devido a vibração no processo do corpo de prova e também que os valores negativos de F_f , se dão devido ao torno possuir avanço para esquerda e não para a direita, por isso para os cálculos foram adotados os módulos da força F_f . Para cada ensaio obteve-se 3 gráficos de força em função do tempo para as variações de velocidades. Na figuras 28, pode-se observar os valores obtidos no ensaio utilizando fluido de corte para o mesmo valor de avanço com mesmo ângulo.

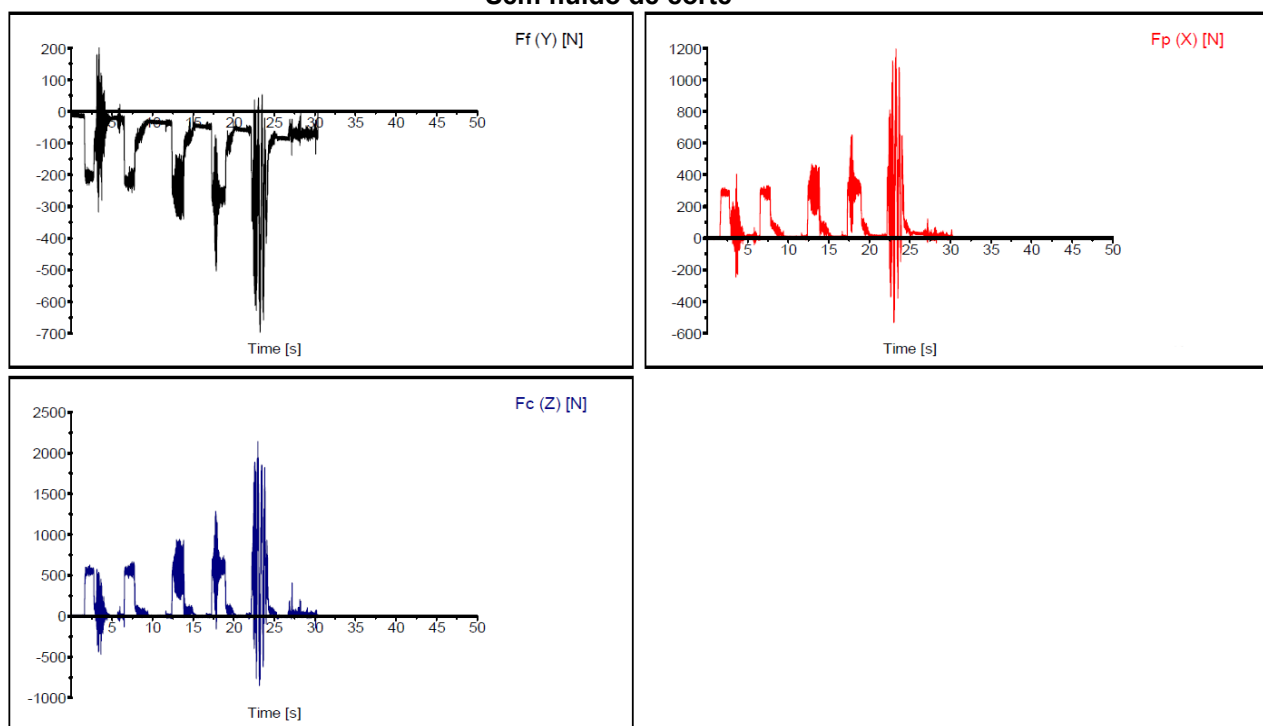
Figura 28: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.125. Com Fluido de corte



Fonte: Autoria própria, 2019.

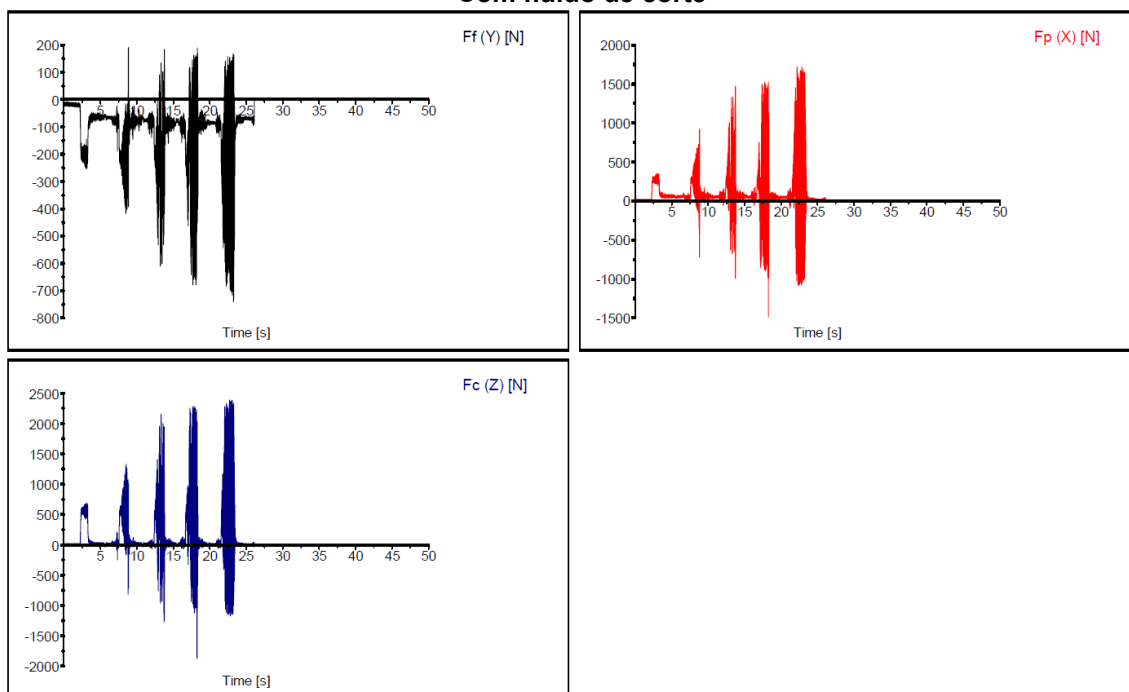
Nas figuras 29 e 30, pode-se observar os valores de força medidos no ensaio com avanço de 0.25, sem fluido de corte e com fluido de corte, respectivamente.

Figura 29: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.25. Sem fluido de corte



Fonte: Autoria própria, 2019.

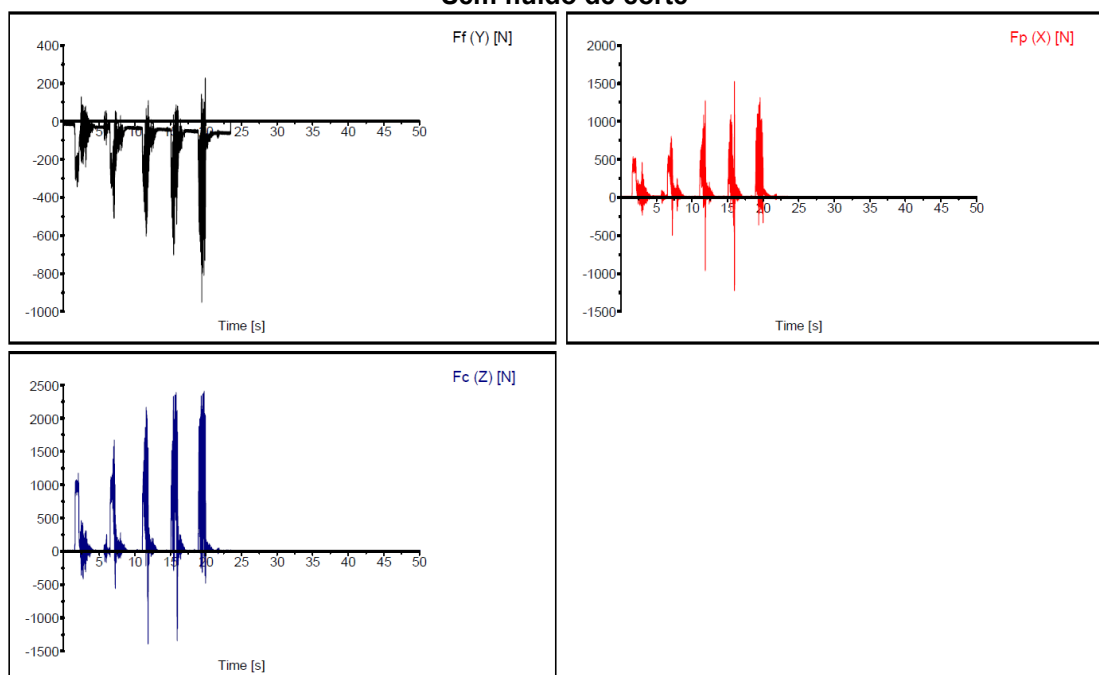
**Figura 30: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.25.
Com fluido de corte**



Fonte: Autoria própria, 2019.

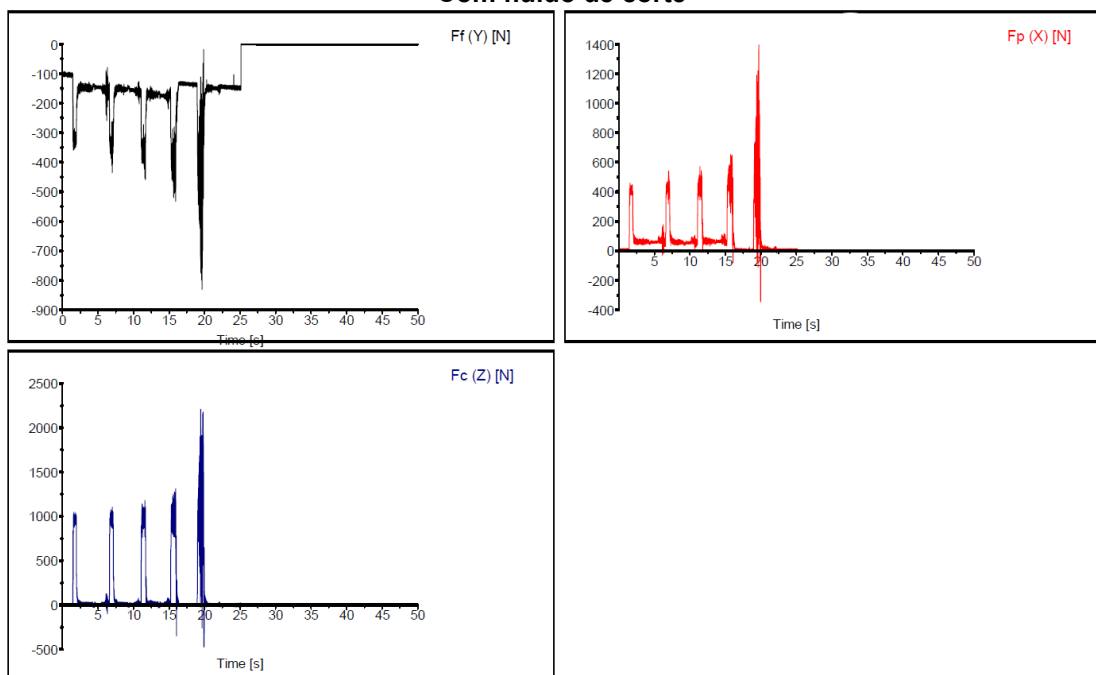
Já nas figuras 31 e 32 estão ilustrados os valores de força medidos no ensaio com avanço de 0.5, sem fluido de corte e com fluido de corte, respectivamente.

**Figura 31: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.5.
Sem fluido de corte**



Fonte: Autoria própria, 2019.

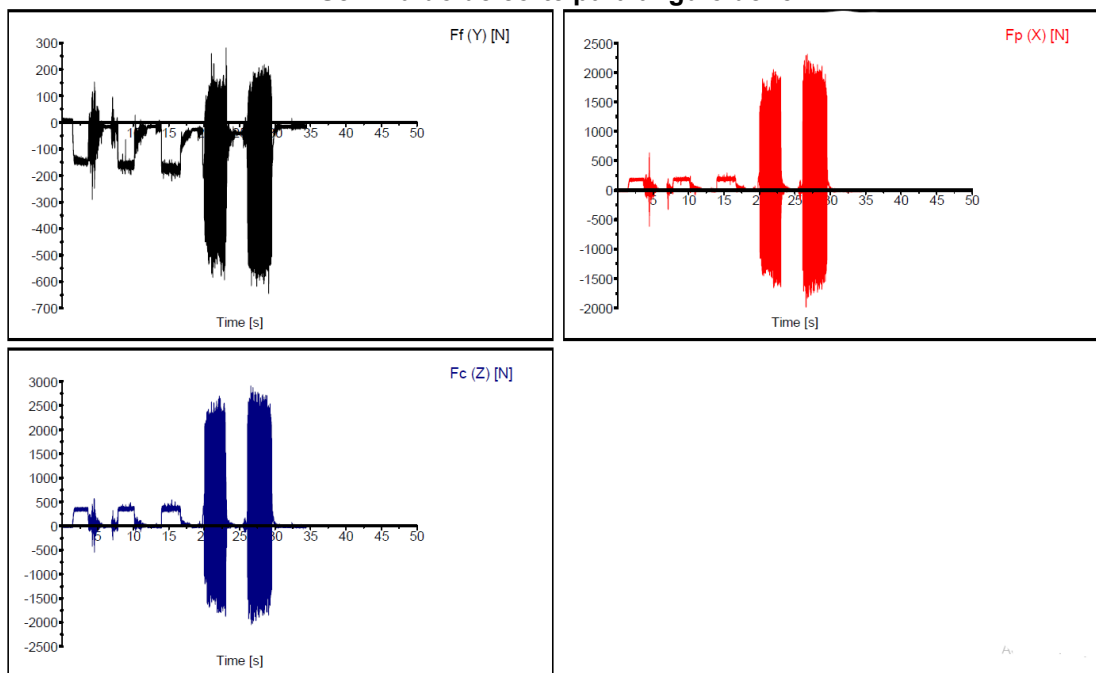
**Figura 32: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.5.
Com fluido de corte**



Fonte: Autoria própria, 2019.

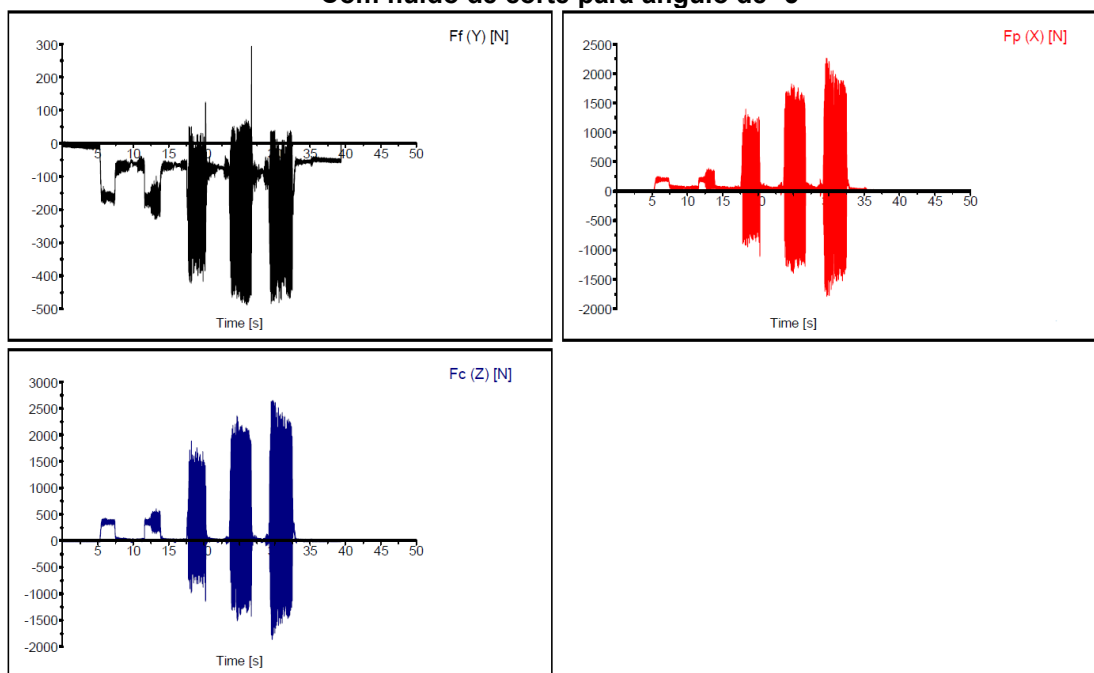
Por fim, nas figuras 33 e 34, 35 e 36, 37 e 38 estão ilustrados os gráficos dos valores de força obtidos nos ensaios com o suporte de ângulos -5° , para os valores de avanço 0.125, 0.25 e 0.5, sem fluido de corte e com fluido de corte respectivamente.

Figura 33: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.125. Sem fluido de corte para ângulo de -5°



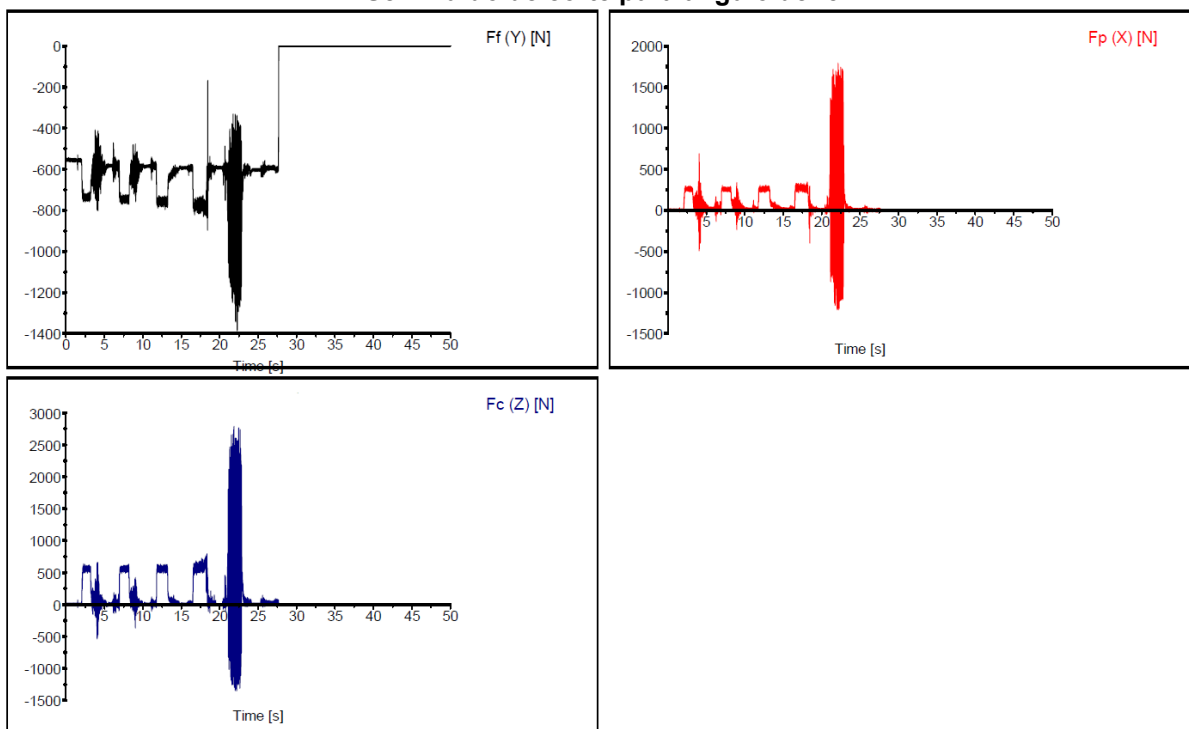
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 34: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.125. Com fluido de corte para ângulo de -5°



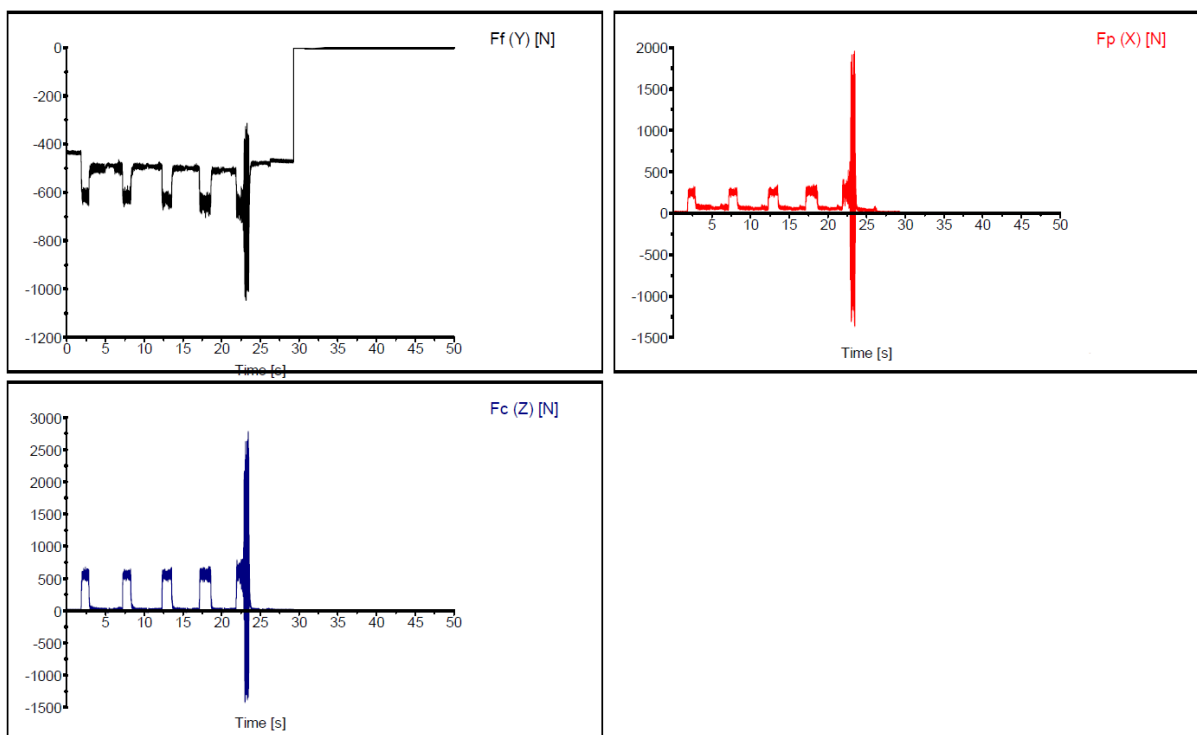
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 35: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.25. Sem fluido de corte para ângulo de -5°



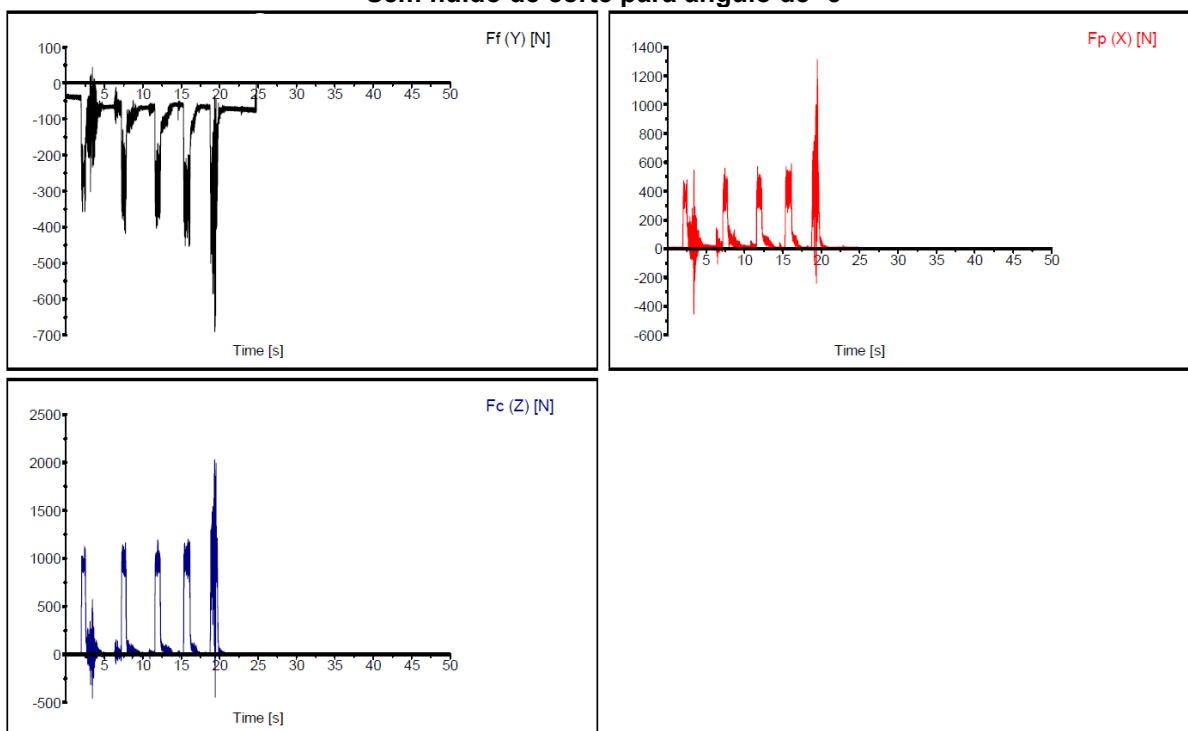
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 36: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.25. Com fluido de corte para ângulo de -5°



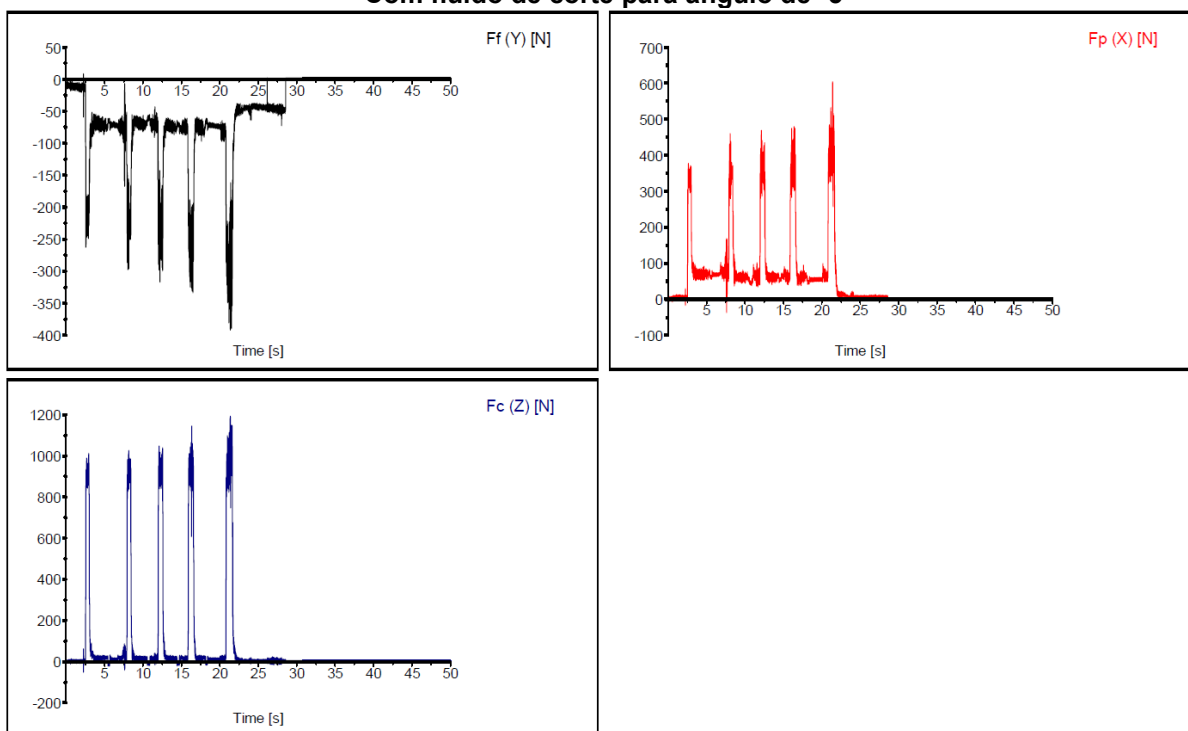
Fonte: Autoria própria, 2019.

**Figura 37: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.5.
Sem fluido de corte para ângulo de -5°**



Fonte: Autoria própria, 2019.

**Figura 38: Gráficos de variação de força para cada velocidade, com avanço de 0.5.
Com fluido de corte para ângulo de -5°**



Fonte: Autoria própria, 2019.

Após realizado cada ensaio, 3 amostras de rugosidade média (Ra) foram retiradas de cada sessão, e calculadas as médias. Os valores de rugosidade (μm) (em amarelo) medidos para cada variação de parâmetro f/V_c , são mostrados nas tabelas 17, 18, 19 e 20.

Tabela 17: Rugosidade do corpo de prova dos ensaios com suporte de angulo -9° , sem fluido de corte

$f \backslash V_c$	350	305	265	225	185
0,125	0,92	0,96	0,84	0,86	1,08
0,25	3,4	3,24	3,22	3,5	2,5
0,5	7,32	7,24	7,4	7,36	7,14

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 18: Rugosidade do corpo de prova dos ensaios com suporte de angulo -9° , com fluido de corte

$f \backslash V_c$	350	305	265	225	185
0,125	0,74	0,8	1,02	0,96	1,68
0,25	2,16	2,14	2,18	2,3	2,24
0,5	6,84	6,98	7	6,92	7,3

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 19: Rugosidade do corpo de prova dos ensaios com suporte de angulo -5° , sem fluido de corte

$f \backslash V_c$	350	305	265	225	185
0,125	0,52	0,42	0,7	0,7	0,86
0,25	2	1,96	1,88	2,42	2,02
0,5	6,98	7,22	7,22	7,12	7,32

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 20: Rugosidade do corpo de prova dos ensaios com suporte de angulo -5° , com fluido de corte

$f \backslash V_c$	350	305	265	225	185
0,125	0,34	0,36	0,72	1,12	1,02
0,25	1,74	1,64	1,56	1,62	1,68
0,5	7,14	7,04	4,04	6,88	6,94

Fonte: Autoria própria, 2019.

Utilizando os módulos das forças de corte (F_c), força de avanço (F_f) e da força passiva (F_p) é possível calcular a força total de usinagem (F_u), através da soma vetorial das 3 forças como podemos ver na equação 2.

$$F_u = \sqrt{(F_c)^2 + (F_f)^2 + (F_p)^2} \quad [2]$$

Devido à grande combinação de parâmetros, e ao número de dados obtidos, optou-se pelo método de avaliação de experimento fatorial 2K. Para esse método utiliza-se somente o maior e o menor valor obtido para cada variação de parâmetro. Assim, através da equação 3, segundo o método de avaliação, foi calculada a força de usinagem para os maiores e menores valores de cada velocidade de corte para cada avanço. Os resultados das forças de usinagem calculadas para os ângulos de -5° e -9° são mostrados nas tabelas 21 e 22.

Tabela 21: Calculo da força de usinagem para os ensaios com suporte de ângulo -5°

Fluido	λ	Vc [m/min]	f [mm/rot]	Fu [N]
S	-5	185	0,125	328,0037
S	-5	305	0,125	258,3526
C	-5	185	0,125	484,5181
C	-5	350	0,125	432,6184
S	-5	185	0,25	1083,909
S	-5	350	0,25	959,3637
C	-5	185	0,25	919,6003
C	-5	350	0,25	864,3435
S	-5	185	0,5	1160,127
S	-5	350	0,5	1027,327
C	-5	185	0,5	1091,027
C	-5	350	0,5	993,5468

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 22: Calculo da força de usinagem para os ensaios com suporte de ângulo -9°

Fluido	λ	Vc [m/min]	f [mm/rot]	Fu [N]
S	-9	185	0,125	1033,193
S	-9	350	0,125	948,4132
C	-9	185	0,125	530,9218
C	-9	350	0,125	445,7149
S	-9	185	0,25	766,3609
S	-9	350	0,25	654,9952
C	-9	185	0,25	722,8741
C	-9	350	0,25	653,2989
S	-9	185	0,5	1236,175
S	-9	350	0,5	1080,642
C	-9	185	0,5	1230,243
C	-9	350	0,5	1096,675

Fonte: Autoria própria, 2019.

Os parâmetros avaliados no método de experimento fatorial 2k, foram velocidade de corte (Vc), avanço (f), ângulo e a utilização ou não do fluido de corte.

Com 4 fatores de teste com duas combinações para cada fator de teste, obteve-se 16 variações de combinações, como ilustrado na tabela 23 e 24, onde foram comparados os resultados de Força de corte (Fc), força de usinagem (Fu) e rugosidade média (Ra) para o maior e menor valor obtidos nos ensaios dos dois suportes, como é mostrado na tabela 25.

Tabela 23: Fatores utilizados como parâmetros de teste

Fator	-1	1
Vc	185	350
f	0,125	0,5
λ	-9	-5
Fluido	S	C

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 24: Variações de combinações dos testes

Teste	Fator de controle			
1	185	0,125	-9	S
2	350	0,125	-9	S
3	185	0,5	-9	S
4	350	0,5	-9	S
5	185	0,125	-5	S
6	350	0,125	-5	S
7	185	0,5	-5	S
8	350	0,5	-5	S
9	185	0,125	-9	C
10	350	0,125	-9	C
11	185	0,5	-9	C
12	350	0,5	-9	C
13	185	0,125	-5	C
14	350	0,125	-5	C
15	185	0,5	-5	C
16	350	0,5	-5	C

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 25: Resultados a serem comparados

Teste	Fc [N]	Fu [N]	Ra [μm]
1	358,3	1033,193	1,08
2	326,8	948,4132	0,92
3	1091	1236,175	7,14
4	967,4	1080,642	7,32
5	206,7	328,0037	0,86
6	166,7	258,3526	0,52
7	984,5	1160,127	7,32
8	928	1027,327	6,98
9	366	530,9218	1,68
10	349,2	445,7149	0,74
11	1043	1230,243	7,3
12	963,8	1096,675	6,84
13	379,2	484,5181	1,02
14	351	432,6184	0,34
15	968,4	1091,027	6,94
16	910	993,5468	7,14

Fonte: Autoria própria, 2019.

Na tabela 26, pode-se observar os resultados das comparações realizadas para os mesmos valores de velocidade de corte e avanço, porém com ângulo de inclinação diferentes, utilizando como base os valores obtidos nos ensaios com o ângulo de inclinação de -9° e comparando-os com os resultados obtidos com o ângulo de -5° .

Tabela 26: Comparação final dos resultados obtidos

Comparações	ΔFc [N]	ΔFu [N]	ΔRa [μm]	%Fc	%Fu	%Ra
Sem Fluido de corte						
1_5	151,6	705,188876	0,22	42,31%	68,25%	20,37%
2_6	160,1	690,060581	0,4	48,99%	72,76%	43,48%
3_7	106,5	76,0470413	-0,18	9,76%	6,15%	-2,52%
4_8	39,4	53,3147027	0,34	4,07%	4,93%	4,64%
Com Fluido de corte						
9_13	-13,2	46,4037184	0,66	-3,61%	8,74%	39,29%
10_14	-1,8	13,096499	0,4	-0,52%	2,94%	54,05%
11_15	74,6	139,21641	0,36	7,15%	11,32%	4,93%
12_16	53,8	103,127845	-0,3	5,58%	9,40%	-4,39%

Fonte: Autoria própria, 2019.

Para a velocidade de corte de 185 m/min e avanço de 0.125 mm/rot, temos uma diferença de 42,31% na força de corte (Fc), 68,25% na força de usinagem (Fu) e

20,37% na rugosidade média (Ra), ou seja para estes parâmetros o suporte com ângulo de -5° possui uma maior eficiência. O mesmo ocorre para os parâmetros $V_c = 350$ m/min e $f = 0.5$ mm/rot, com redução de 48,99% da força de corte, 72,76% da força de usinagem e 43,48% da rugosidade média. Já para a velocidade de 185 m/min e avanço de 0.5, a redução das forças de corte e usinagem foi pequena, 9,76% e 6,15% respectivamente, e a rugosidade média da superfície piorou em 2,52%. Para a maior velocidade de corte, 350 m/min e o maior avanço 0.5 mm/rot a diferença entre os dois suportes foi menor ainda, porém com uma leve melhoria na rugosidade média 4,64%.

Nos resultados obtidos com o uso de fluido de corte pode-se observar que as diferenças entre os dois suportes de ângulos diferentes foram relativamente baixas. Para a menor velocidade 185 m/min e menor avanço 0.125 mm/rot, a força de corte aumentou em 3,61%, mas a força de usinagem diminuiu em 8,74% e a rugosidade média aumentou consideravelmente 39,29%. Já na combinação de maior velocidade 350 m/min e menor avanço 0.125 mm/rot, as variações nas forças de corte e de usinagem foram menores ainda, -0,52% e 2,94% respectivamente, em contrapartida houve obtive-se o melhor resultado em questão de rugosidade média, uma melhoria de 54,05%, o que pode ser avaliado uma maior eficiência do ângulo de inclinação de -5° . Para as combinações de menor velocidade 185 m/min com maior avanço 0.5 mm/rot e maior velocidade 350 m/min com maior avanço 0.5 mm/rot os resultados encontrados foram muito próximos para as forças de corte 7,15% e 5,58%, e forças de usinagem 11,32% e 9,40%, e valores quase inversos de rugosidade média 4,93% e -4,39%.

Outra comparação realizada com os resultados, foi entre os ensaios sem o uso de fluido de corte, e com o uso de fluido de corte, para os mesmos ângulos de inclinação, como podemos ver na tabela 27.

Tabela 27: Comparação dos resultados com e sem o uso de fluido de para os mesmos parâmetros de usinagem

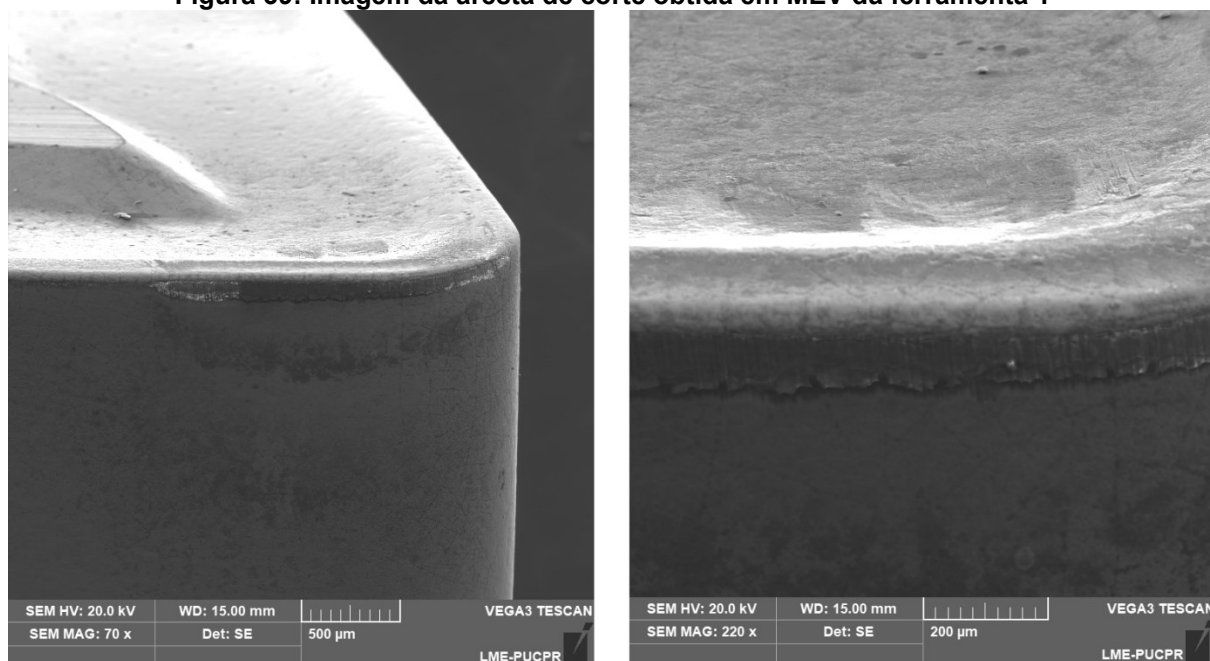
Comparações	ΔF_c [N]	ΔF_u [N]	ΔR_a [μm]	%F _c	%F _u	%R _a
1_9	-7,7	502,270737	-0,6	-2,15%	48,61%	-55,56%
2_10	-22,4	502,698375	0,18	-6,85%	53,00%	19,57%
3_11	48	5,93106681	-0,16	4,40%	0,48%	-2,24%
4_12	3,6	-16,032545	0,48	0,37%	-1,48%	6,56%
5_13	-172,5	-156,51442	-0,16	-83,45%	-47,72%	-18,60%
6_14	-184,3	-174,26571	0,18	-110,56%	-67,45%	34,62%
7_15	16,1	69,1004353	0,38	1,64%	5,96%	5,19%
8_16	18	33,7805976	-0,16	1,94%	3,29%	-2,29%

Fonte 3: Autoria própria, 2019.

Pode-se observar que para valores de avanço baixos 0.125 mm/rot as forças de corte aumentam, principalmente no suporte de ângulo -5° , e para os valores de avanço alto, quase não há alteração nas forças de corte. Porém para o suporte com ângulo de -9° o uso de fluido de corte reduz a força de usinagem em aproximadamente 50% para o menor valor de avanço, mas a melhoria na rugosidade só ocorre para o maior valor de velocidade de corte 350 m/min, já o ensaio com baixa velocidade e menor avanço teve uma piora de 55,56% de rugosidade média sem o uso de fluido de corte. O mesmo ocorre para o suporte com ângulo de -5° , onde sua rugosidade piora em 18,6% com os menores valores de velocidade de corte e avanço, e é importante observar o grande aumento nos valores de força de corte e força de usinagem 83,45% e 47,72% respectivamente. Já para o maior valor de velocidade 350 m/min e menor valor de avanço 0.125 mm/rot a força de corte aumenta 110,56% e 67,45% a força de usinagem, em outras palavras a força de corte dobra, e a de usinagem aumenta mais que a metade do valor com o uso do fluido de corte, mas a rugosidade superficial melhora em 34,62%.

Por fim, a última análise realizada foi a de desgaste de ferramenta, feita através das imagens obtidas na microscopia eletrônica de varredura. Na figura 39 pode-se observar a aresta de corte utilizada no suporte de -5° , com zoom de 70x e 220x.

Figura 39: Imagem da aresta de corte obtida em MEV da ferramenta 1

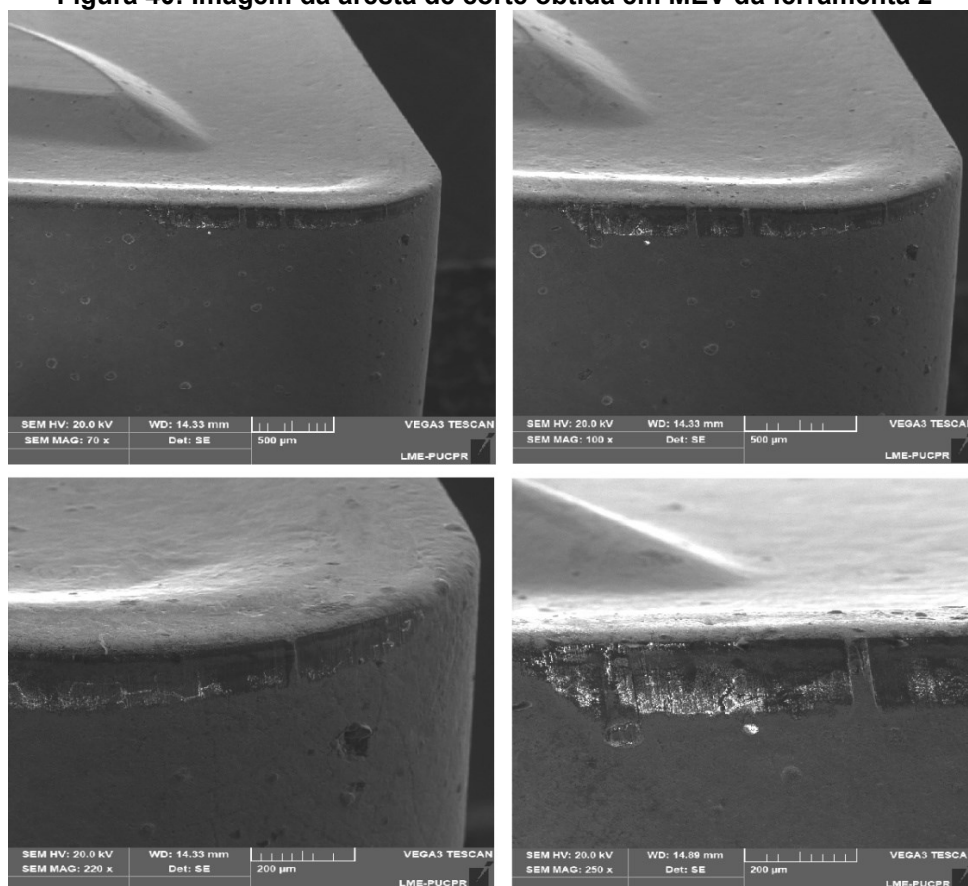


Fonte: Autoria própria, 2019.

É possível observar 2 tipos de desgaste, desgaste de flanco na superfície principal de folga e desgaste de cratera na superfície de saída. Também é possível observar trincas térmicas na superfície principal de folga.

Já na figura 40, estão ilustradas as microscopias da ferramenta utilizada nos ensaios com o suporte de ângulo de inclinação -9° , com zoom de 70x, 100x, 220x, e 250x respectivamente.

Figura 40: Imagem da aresta de corte obtida em MEV da ferramenta 2



Fonte 4: Autoria própria, 2019.

Na imagem é possível observar as trincas térmicas e de origem mecânica, e também a formação de lascamentos ao longo da superfície principal de folga. Vale salientar que em ambas as ferramentas não houve deformação plástica, o que pode-se entender como o uso correto das ferramentas dentro dos parâmetros de trabalho estipulados pelo fabricante.

As avarias nas ferramentas ocorreram de forma similar, com poucas diferenças, em exceção da deformação de cratera na ferramenta 1 e os lascamentos encontrados na ferramenta 2.

5. CONCLUSOES

A partir dos dados coletados é possível afirmar que para os parâmetros estipulados para os ensaios, o suporte com ângulo de inclinação de -5° , obteve uma maior eficiência quando comparado ao suporte de ângulo -9° principalmente para valores menores de avanço. Somente duas exceções as forças de corte e rugosidade média se apresentaram maiores para o suporte com ângulo de -5° , e mesmo nesses casos os valores de variação foram pequenos o que reforça a ideia de que valores muito negativos do ângulo de inclinação (muito próximos do limite estipulado pela norma) prejudicam o processo.

Já para os casos com fluido de corte, grandes diferenças ocorreram somente na rugosidade média, os valores de força de corte e força de usinagem quase não se diferenciam o que pode ser justificado na premissa de que o fluido de corte, apesar de proteger a ferramenta, acaba atrapalhando um pouco o processo de usinagem, uma vez que o calor gerado pela interface peça-ferramenta auxilia na remoção do material, a diferença na variação das forças para os casos com e sem fluido de corte reforça essa ideia.

A comparação realizada entre o corte com e sem fluido para os mesmos valores de ângulo de inclinação da ferramenta, coloca em questionamento o uso de fluidos de corte para a usinagem do aço SAE 8620 para o inserto romboidal. Vale lembrar que a indicação de aplicação do modelo de inserto utilizados nos ensaios é para desbaste a grandes profundidades de corte, e não é o mais recomendado para acabamento superficial. Quando analisados os resultados das forças à baixos valores de avanço nota-se um grande aumento nas forças de corte e de usinagem e em caso de também baixa velocidade de corte ocorreu piora considerável na rugosidade superficial (apc), conclui-se que para esse tipo de inserto, com os parâmetros de usinagem estipulados o fluido de corte é dispensável, pois quase não há alterações positivas e este gera um custo adicional ao processo de usinagem. Uma solução para a substituição do fluido de corte, seria o refino dos parâmetros de usinagem.

As microscopias realizadas em ambas as ferramentas, ajudam a justificar a maior eficiência do suporte com ângulos de -5° . Pois este apesar de apresentar um desgaste de cratera, apresentou menores trincas e pouco sinal de lascamento ao longo da superfície principal de folga.

Este trabalho conseguiu atingir as metas estipuladas, a coleta de dados foi suficiente para mostrar as influências da variação do ângulo de inclinação da ferramenta na força de corte e de usinagem, o que mostra que o ângulo de inclinação é um fator a ser somado aos parâmetros de usinagem na busca pela redução dos custos de processo e na melhoria do processo de usinagem de alguns materiais, que futuramente possam ser inseridos no mercado como opções de substituição aos materiais existentes.

Deixa-se como sugestão para posteriores trabalhos uma análise térmica do processo com a variação de ângulos de inclinação, e também o estudo de eficiência de outros ângulos e/ou outros tipos de insertos, para fins de apresentar melhorias aos processos de usinagem.

REFERÊNCIAS

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2. ed. Uberlândia: Blucher, 2009. 407 p.

_____, Álisson Rocha et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 3. ed. Uberlândia: Blucher, 2015. 407 p.

MITSUBISHI MATERIALS. **Função das características das ferramentas para torneamento**. Disponível em: <http://www.mitsubishicarbide.com/application/files/5414/8126/0910/tec_turning_features_pt-br.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

AÇOESPECIAL. **Aço SAE 8620**. P.21-23, 2017.

CARUSO, **Informações gerais sobre os aços**. São Paulo, 2001.

COSTA E MEI, **Aços e Ligas Especiais**. 2. Ed. Uberlândia: Blucher, 2006. 648 p.

FERRARESI, Dino et. al. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 2. ed. São Carlos: Blucher, 2014. 752 p.

NBR 6162 - **MOVIMENTOS E RELAÇÕES GEOMÉTRICAS NA USINAGEM DOS METAIS**. - TERMINOLOGIA (ABNT, 1989)

NBR 6163 – **CONCEITOS DA TÉCNICA DA USINAGEM: GEOMETRIA DA CUNHA CORTANTE**. – TERMINOLOGIA (ABNT – 1980)

WIDIA. **WIDIA TURNING**. 2010

DEDAVID, Berenice. **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicação e Preparo de Amostras**. 2007. 60p.

CARPINETTI, Luiz C. R. **Planejamento e Análise de Experimento**. 2009. 222p. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/6043/Planejamento%20e%20analise%20de%20experimentos%20fev%202018.pdf?sequence=5>. Acesso em 24/nov/2019