



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

CAMPUS CARAÚBAS

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANA KEURI FERNANDES

**INFLUÊNCIA DA MICROGEOMETRIA DA ARESTA DE CORTE NA
RUGOSIDADE FINAL DO AÇO SAE 1045 NO PROCESSO DE
TORNEAMENTO**

CARAÚBAS - RN

2016

ANA KEURI FERNANDES

**INFLUÊNCIA DA MICROGEOMETRIA DA ARESTA DE CORTE NA
RUGOSIDADE FINAL DO AÇO SAE 1045 NO PROCESSO DE
TORNEAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como exigência final para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Msc. Wendell Albano -
UFERSA

CARAÚBAS – RN

2016

© Todos os direitos estão reservados a 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. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F363i Fernandes, Ana Keuri.
 Influência da microgeometria da aresta de
 corte na rugosidade final do aço SAE 1045 no
 processo de torneamento / Ana Keuri Fernandes. -
 2016.
 58 f. : il.

 Orientador: Wendell Albano.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2016.

 1. Usinagem. 2. Geometria da ferramenta. 3.
Rugosidade. 4. Desgaste de flanko. I. Albano,
Wendell, 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.

ANA KEURI FERNANDES

**INFLUÊNCIA DA MICROGEOMETRIA DA ARESTA DE CORTE NA
RUGOSIDADE FINAL DO AÇO SAE 1045 NO PROCESSO DE
TORNEAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido (UFERSA), como exigência
final para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

APROVADO EM 11/11/2016

BANCA EXAMINADORA

[REDACTED]

Prof. Msc. Wendell Albano - UFERSA
Orientador - Presidente

[REDACTED]

Prof. Dr. Ramsés Otto Cunha Lima - UFERSA
Primeiro Membro

[REDACTED]

Prof. Filipi Marques de Souza - UFERSA
Segundo Membro

A Maria de Lourdes, minha avó, e a Albaniza, minha mãe, mulheres excepcionais, que nunca mediram esforços pra me ajudar a alcançar meus objetivos. Meu amor por vocês tende ao infinito.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu bom Deus por renovar minhas forças diariamente, não permitindo que eu desistisse.

À minha avó Maria de Lourdes que soube ser avó, mãe e até mesmo pai. Pelo seu imenso amor, dedicação e carinho, por me mostrar que mesmo em meio a dificuldades é possível seguir em frente e conquistar o que se deseja. Palavras não são e nunca serão suficientes para demonstrar o meu amor por ti.

À minha mãe Albaniza, que sempre me apoiou e acreditou em mim. Obrigado pelos sacrifícios que fez em razão da minha educação. Essa conquista também é sua.

Aos meus irmãos Arthur, Hugo e João Vicente por todo amor e carinho.

Ao restante da minha família, tios, tias, primos e primas, que sempre torceram pela minha vitória.

Ao meu namorado e melhor amigo Giovaninny Duarte. Obrigada por cada carinho seu, pelo respeito, atenção e companheirismo, por amar meus defeitos e minhas qualidades. Amo-te.

Aos meus amigos Tayla Silva, Kerolaynny Brenda, Hugo Alexandre, pelos momentos de descontração e por me mostrarem que os verdadeiros amigos são aqueles presentes em todos os momentos da vida, sejam esses momentos bons ou ruins. Obrigada por todo carinho, confiança e lealdade.

Ao meu orientador professor Msc. Wendell Albano pela confiança em meu trabalho e por todo ensinamento.

Ao técnico do laboratório de Usinagem da UFERSA, Campus Mossoró, Euclides, por realizar a afiação das ferramentas de corte.

“A persistência é o caminho do êxito”

(Charles Chaplin)

RESUMO

A geometria da ferramenta de corte é um dos critérios importantes a serem levados em consideração quando se deseja obter um bom resultado em operações de usinagem, uma vez que ela exerce uma grande influência na formação e saída do cavaco, nas forças de corte, na vida da ferramenta e rugosidade da peça usinada. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa do desempenho de ferramentas de aço rápido com geometria convencional e geometria alisadora em termos de rugosidade e vida da ferramenta. Para tal fim foram realizadas as medições da rugosidade do aço SAE 1045 e a verificação do desgaste de flanco nas ferramentas de corte, após a operação de faceamento, com utilização de fluido de corte, no torno mecânico convencional. Como resultado do procedimento experimental realizado, obtiveram-se valores de rugosidade do corpo de prova, usinado com as duas ferramentas, bem próximos, sendo, no entanto a ferramenta convencional a que apresentou melhor desempenho. Com relação ao desgaste e vida da ferramenta, percebeu-se que a geometria alisadora se destacou sobre a geometria convencional, uma vez que a mesma chegou ao fim de sua vida útil após 36 passes enquanto que a convencional atingiu seu fim com 33 passes. Outro fator importante observado foi a presença de aresta postiça de corte em ambas as ferramentas, principalmente na com geometria alisadora.

Palavras-chaves: Usinagem. Geometria da ferramenta. Rugosidade. Desgaste de flanco.

ABSTRACT

The geometry of the cutting tool is one of the important criteria to be taken into consideration when you want to get a good result in machining operations, since it has a great influence on the formation and out of the chip, the cutting forces in life tool and workpiece roughness. This study aims to conduct a comparative analysis of high-speed steel tools performance with conventional geometry and wiper geometry in terms of roughness and tool life. To this end measurements were made of SAE 1045 steel surface roughness and verification of flank wear on cutting tools, after the facing operation with cutting fluid used in the conventional lathe. As a result of the experimental procedure performed were obtained roughness values of the test piece, machined with two tools, very close, being, however, the conventional tool presented the best performance. With regard to wear and tool life, it was realized that the wiper geometry stood over conventional geometry, since it reached the end of its useful life after 36 passes while conventional reached its end with 33 passes. Another important factor observed was the presence of cut-up edge on both tools, particularly with the wiper geometry.

Keywords: Machining. The tool geometry. Roughness. Flank wear.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição e Características dos Aços Rápidos.....	21
Tabela 2 - Parâmetros empregados na determinação da rugosidade.	32
Tabela 3 - Descrição das ferramentas de aço rápido.	34
Tabela 4 - Valores de rugosidade do aço SAE 1045 obtidos com as ferramentas IC e IIC.	44
Tabela 5 - Valores de rugosidade do aço SAE 1045 obtidos com as ferramentas IA e IIA.	46
Tabela 6 - Média das rugosidades obtidas com as quatro ferramentas.	48
Tabela 7 - Média das rugosidades causadas pelas geometrias convencional e alisadora.	49
Tabela 8 - Valores de desgaste de flanco encontrados nas ferramentas de aço rápido.	50
Tabela 9 - Tabela com os valores de desvio padrão para as ferramentas IC, IIC, IA e IIA.	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos processos de fabricação.	16
Figura 2 - Operação de torneamento.	18
Figura 3 - Elementos da cunha cortante de uma ferramenta para torneamento.	23
Figura 4 - Nomenclatura e alguns ângulos usados em ferramentas para operações de torneamento.	23
Figura 5 - Representação do raio de ponta de uma ferramenta de geometria convencional.	26
Figura 6 - Raio de ponta de uma ferramenta com geometria alisadora.	26
Figura 7 - Desgaste de flanco.	28
Figura 8 - Desgaste de Cratera.	29
Figura 9 - Desgaste de entalhe.	29
Figura 10 - Imagem da aresta de uma ferramenta cortando com uma aresta postiça de corte.	30
Figura 11 - Ferramentas de aço rápido.	33
Figura 12- Corpo de prova de aço SAE 1045.	34
Figura 13 - Serra de fita.	35
Figura 14 - (a) Esmeril; (b) Afiadora universal.	36
Figura 15 - Torno mecânico convencional.	36
Figura 16 - Rugosímetro Portátil.	37
Figura 17 - Microscópio digital.	37
Figura 18 - (a) Remoção de material da ferramenta; (b) Aferição das ferramentas com ângulos desejados.	38
Figura 19 - (a) Faceamento do aço 1045 com a ferramenta de widia; (b) Realização do furo de centro no aço 1045.	39
Figura 20 - Torneamento do aço SAE 1045 usando a ferramenta de aço rápido.	40
Figura 21 - Verificação da rugosidade da superfície do aço SAE 1045.	41
Figura 22- Captura da imagem da aresta de corte da ferramenta usando o microscópio digital.	42
Figura 23 - Medição do crescimento de desgaste de flanco na aresta cortante da ferramenta.	42
Figura 24 - Comportamento da rugosidade gerada com as ferramentas IC e IIC.	45
Figura 25 - Desvio padrão para as ferramentas IC e IIC.	45
Figura 26 - Comportamento da rugosidade gerada com as ferramentas IA e IIA.	47
Figura 27 - Desvio padrão das ferramentas IA e IIA.	47
Figura 28 - Rugosidades geradas com as quatro ferramentas.	48
Figura 29 - Geometria convencional x Geometria alisadora.	49
Figura 30 - Comportamento do desgaste de flanco nas ferramentas de aço rápido.	51
Figura 31 - Desvio padrão das ferramentas IC e IIC.	52
Figura 32 - Desvio padrão das ferramentas IA e IIA.	52
Figura 33 - (a) Ferramenta IC antes dos passes; (b) Ferramenta IC após 33 passes.	53
Figura 34 - (a) Ferramenta IIC antes dos passes; (b) Ferramenta IIC após 33 passes.	53
Figura 35 - (a) Ferramenta IA antes dos passes; (b) Ferramenta IA após os 36 passes.	54
Figura 36- (a) Ferramenta IIA antes dos passes; (b) Ferramenta IIA após 39 passes.	54

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVOS GERAIS	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	USINAGEM.....	16
3.2	TORNEAMENTO	17
3.3	FERRAMENTAS DE CORTE	18
3.3.1	Materiais para ferramentas	19
3.3.1.1	Aço Rápido.....	20
3.3.2	Geometria da ferramenta	22
3.3.2.1	Ferramentas com geometria convencional e com geometria alisadora	25
3.3.3	Desgaste e vida da ferramenta	27
3.4	ACABAMENTO SUPERFICIAL	30
3.4.1	Rugosidade superficial	31
4.	METODOLOGIA	33
4.1	MATERIAIS	33
4.2	EQUIPAMENTOS.....	35
4.3	MÉTODOS	38
4.3.1	Afição das ferramentas	38
4.3.2	Preparação do corpo de prova.	38
4.3.3	Usagem do aço SAE 1045	39
4.3.4	Análise da rugosidade e medição de desgaste e vida da ferramenta	40
4.3.5	Análise estatística	43
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1	AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE DO CORPO DE PROVA	44
5.2	AVALIAÇÃO DE DESGASTE DE FLANCO E FIM DE VIDA DA FERRAMENTA... 50	
6.	CONCLUSÃO	55
7.	REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

A usinagem é um dos processos de fabricação mais utilizados mundialmente, principalmente no setor industrial, uma vez que todos os produtos industrializados em algum momento durante a sua confecção passam por alguma operação de usinagem, seja ele no processo convencional ou não. De acordo com Ferraresi (1970), o processo de usinagem convencional apresenta como principais operações o torneamento, fresamento, aplainamento, furação, etc., sendo o torneamento uma das mais utilizadas, devido sua alta aplicabilidade e flexibilidade, tanto para a produção como para o acabamento superficial de peças usinadas.

O acabamento superficial segundo Amorim (2002) pode ser definido como o conjunto de irregularidades que tendem a formar um padrão ou textura característicos em uma superfície, sendo representado geralmente pela rugosidade. Reis e Silva (2001) diz que o acabamento superficial apresenta grande influência com relação às condições de funcionamento e confiabilidade das peças usinadas, podendo ser influenciado por parâmetros como, condições de corte, geometria da peça, material da ferramenta e geometria da ferramenta de corte.

No que se refere à geometria da ferramenta de corte, a mesma pode ser descrita de acordo com Vos (2014) como uma série de propriedades geométricas capazes de influenciar na formação e saída do cavaco, nas forças de corte, desgaste da ferramenta e rugosidade da peça, possuindo assim grande importância na usinagem de materiais. Atualmente para o melhoramento do acabamento superficial, além das ferramentas de geometria convencional que apresentam apenas um raio de ponta, existem as ferramentas de geometria alisadora.

As ferramentas de corte de geometria alisadora são ferramentas que apresentam uma alteração no raio de ponta. São usadas em operações de semiacabamento e acabamento em usinagem e apresentam alta produtividade (SANDVIK, 2012).

A alta produtividade aliada ao baixo custo de produção e maior qualidade dos produtos são os principais objetivos das empresas e indústrias de usinagem atualmente. No entanto o Brasil vem sofrendo um período de crise financeira que está afetando todos os setores, até mesmo o setor de ferramentas para usinagem. Por isso as empresas precisam trabalhar na busca por alternativas que façam com que as mesmas continuem a operar com menos capital sem comprometer a boa qualidade de seus produtos, para tanto elas investem

em pesquisas com o objetivo de melhorar as ferramentas de corte, que são as principais responsáveis pela qualidade das peças fabricadas por processos de usinagem.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo comparar o desempenho de ferramentas de aço rápido, de geometria convencional com ferramentas de geometria alisadora a partir de valores de rugosidade obtidos no processo de torneamento do aço SAE 1045 visando assim descobrir qual delas possui maior eficiência com relação ao acabamento da superfície das peças usinadas e ainda qual apresenta maior vida útil.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo comparar o desempenho de ferramentas de aço rápido, de geometria convencional com ferramentas de geometria alisadora a partir de valores de rugosidade obtidos no processo de torneamento do aço SAE 1045.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

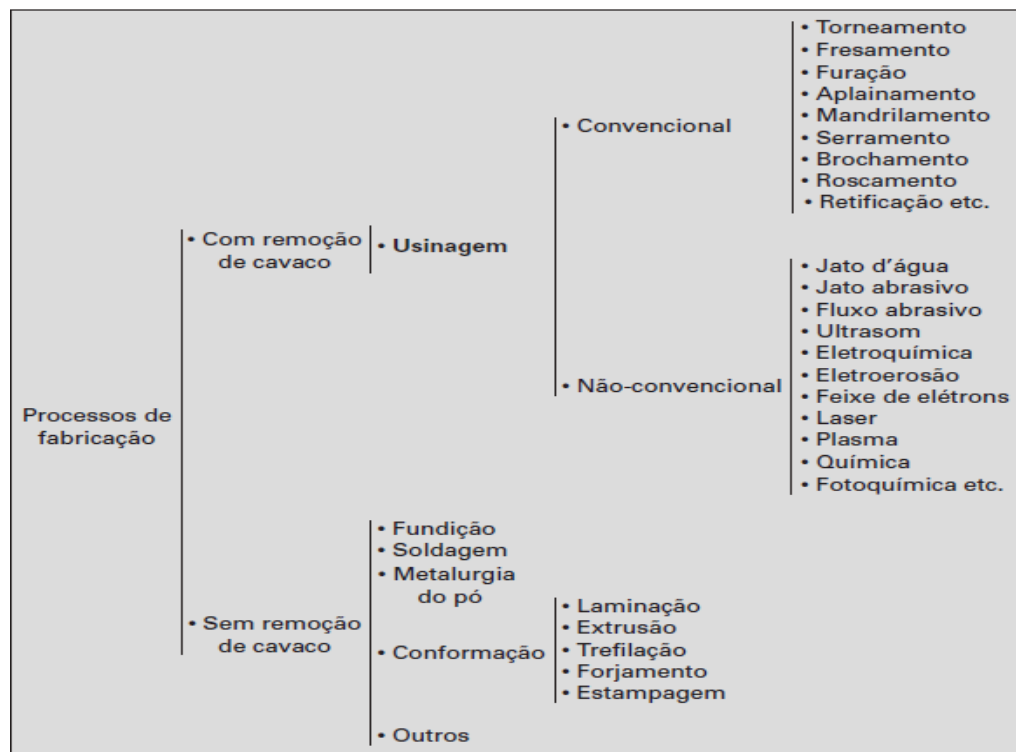
- Definir geometrias das ferramentas (convencionais e alisadoras);
- Realizar a afiação das ferramentas;
- Realizar os ensaios de usinagem;
- Coleta de dados para levantar a curva de vida das ferramentas;
- Verificação da rugosidade do corpo de prova;
- Elaborar as análises estatísticas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 USINAGEM

Para Ferraresi (1970), as operações de usinagem são operações que ao conferir á peça a forma, as dimensões ou o acabamento, ou até mesmo a combinação dos três, produz cavaco, que por sua vez pode ser definido como a porção de material da peça retirada pela ferramenta que apresenta caracteristicamente uma forma geométrica irregular. As operações de usinagem podem ser divididas entre processos convencionais e não convencionais, como mostra a Figura 1, onde dentre os processos convencionais destacam-se em decorrência de seu uso bastante amplo o fresamento, a furação e o torneamento.

Figura 1 - Classificação dos processos de fabricação.



Fonte: Adaptada de Machado *et al* (2011, p.18)

3.2 TORNEAMENTO

O torneamento mecânico, Figura 2, é um processo de usinagem que tem por finalidade obter superfícies de revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para que isso ocorra, a peça deve girar em volta do eixo principal de rotação da máquina, e a ferramenta deve se deslocar simultaneamente segundo uma trajetória coplanar ao referido eixo Ferraresi (1970). De acordo com Amorim (2002), o torneamento apresenta três características que nem sempre estão presentes em outros processos de usinagem:

- O corte é normalmente contínuo;
- O corte pode ser descrito em coordenadas cilíndricas, sendo coordenadas polares para a seção reta da peça em rotação e mais uma coordenada da profundidade para designar o movimento da ferramenta;
- O movimento da peça e da ferramenta é simultâneo.

Ainda no que se refere a torneamento, para Machado *et al* (2011), a mesma pode ser dividida em operação de desbaste e em operação de acabamento. No desbaste procura-se garantir alta taxa de remoção de material enquanto que no acabamento a principal preocupação é com a qualidade final da peça. Esta última pode ser obtida através do torneamento de acabamento, que de acordo com Azambuja (2012), é a operação final, ou até mesmo a única realizada em alguns casos, com o objetivo de garantir a qualidade superficial assim como as tolerâncias dimensionais desejadas da peça ou componente. E para que o torneamento assim como qualquer outra operação de usinagem seja bem sucedido é primordial que se leve em consideração inúmeros fatores, dentre eles as boas condições das ferramentas de corte que serão utilizadas na operação.

Figura 2 - Operação de torneamento.



Fonte: Adaptada de Sandvik (2016).

3.3 FERRAMENTAS DE CORTE

A ferramenta foi um dos primeiros instrumentos usados pelo homem, tendo origem na era pré-histórica, com o objetivo de intensificar a força de suas mãos e de seus braços, permitindo uma melhor realização de suas tarefas Ferraresi (1970). Sendo de fundamental importância para as operações de usinagem, as ferramentas vêm sofrendo grandes evoluções ao decorrer dos anos e inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de garantir maior eficiência das mesmas. Esse fato pode ser explicado devido o grande avanço tecnológico na área da usinagem e ao surgimento de novos materiais Rodrigues (2005). Uma das principais características que deve possuir uma ferramenta de corte segundo Machado *et al* (2011), é que o seu material de fabricação seja de dureza superior ao material da peça ou componente a ser usinado, por isso para garantir que a ferramenta que será utilizada na operação de usinagem será satisfatória é muito importante que se conheça além de outras características, o material usado em sua fabricação.

3.3.1 Materiais para ferramentas

De acordo com Diniz, Marcondes, Coppini (2013), para selecionar o material da ferramenta adequado, uma série de fatores devem ser considerados, como por exemplo, o material a ser usinado, o processo de usinagem, condições da máquina operatriz, forma e dimensões da ferramenta, custo do material da ferramenta, condições de usinagem e condições de operação. Além desses critérios o material para ferramenta deve ainda apresentar, segundo Machado *et al* (2011), propriedades como:

- Alta dureza;
- Tenacidade suficiente para evitar falhas por fratura;
- Alta resistência ao desgaste abrasivo, à compressão e ao cisalhamento;
- Boas propriedades mecânicas e térmicas em temperaturas elevadas;
- Ser inerte quimicamente;
- Alta resistência ao impacto e ao choque térmico.

Todas essas características dificilmente estão presentes em um só material, principalmente a dureza e a tenacidade. Uma das principais dificuldades encontradas na fabricação de ferramentas de corte de acordo com Amorim (2002) está relacionada com o balanço entre essas duas propriedades, pois como as mesmas são bastante distintas e inversamente proporcionais, geralmente alta dureza indica baixa tenacidade e alta tenacidade indica baixa dureza, é difícil serem encontradas juntas. Entretanto, atualmente com o crescente avanço tecnológico é possível obter um material que possua essas duas propriedades reunidas. Segundo Diniz, Marcondes, Coppini (2013), não há uma classificação geral de materiais de ferramentas, entretanto com base em seus valores de dureza e resistência ao desgaste abrasivo eles podem ser agrupados da seguinte forma:

- Aços rápidos;
- Metal duro;
- Material cerâmico;
- Nitreto Cúbico de Boro;
- Diamante.

Dentre os materiais para ferramentas de corte citados anteriormente serão aprofundados os conhecimentos apenas sobre o aço rápido, pois o mesmo é o foco do presente trabalho.

3.3.1.1 Aço Rápido

Para Espanhol (2008), os aços rápidos surgiram com o objetivo de substituir as ferramentas de aço carbono. Esses aços foram assim denominados em decorrência de sua capacidade de reter durezas (1000 HV ou 65-70 HRC) mesmo quando usados em corte rápido de materiais. De acordo com Diniz, Marcondes, Coppini (2013), são aços de alta liga de tungstênio, molibdênio, cromo, vanádio, cobalto e nióbio e apresentam ainda tenacidade, alta resistência ao desgaste e alta dureza a quente, podendo ser usado em temperaturas de até 600° C. Os mesmos podem ser divididos segundo Chiaverini (2012) em duas categorias: a categoria “T” que correspondem aos aços com tungstênio e a categoria “M” que corresponde aos tipos predominantes ao molibdênio. Essas duas categorias são ainda divididas em duas subcategorias que compreendem os tipos que possuem cobalto. A Tabela 1 a seguir mostra algumas características e a composição dos aços rápidos.

Tabela 1- Composição e Características dos Aços Rápidos.

Tipo de Aço	Classificação SAE	% C	% Mn	% Si	% Cr	% V	% W	% Mo	% Co	Tenacidade	Resistencia ao desgaste	Dureza a quente
Ao W	T1	0,7	0,3	0,25	4	1	18	-	-	Baixa	Muito Boa	Muito boa
	T2	0,85	0,3	0,25	4	2	18	-	-			
	T3	1	0,3	0,25	4	3	18	-	-			
	T7	0,8	0,3	0,25	4	2	14	-	-			
	T9	1,2	0,3	0,258	4	4	18	-	-			
Ao W Co	T4	0,75	0,3	0,25	4	1	18	-	5	Baixa	Muito Boa	Excelente
	T5	0,8	0,3	0,25	4	2	18	-	8			
	T6	0,8	0,3	0,25	4	1,5	20	-	12			
	T8	0,8	0,3	0,25	4	2	14	-	5			
Ao Mo	M1	0,8	0,3	0,25	4	1	1,5	8	-	Baixa	Muito Boa	Muito boa
	M2	0,85	0,3	0,25	4	2	6	5	-			
	M3	1	0,3	0,25	4	2,75	6	5	-			
	M4	1,3	0,3	0,25	4	4	5,5	4,5	-			
	M10	0,85	0,3	0,25	4	2	-	8	-			
Ao Mo Co	M6	0,8	0,3	0,25	4	1,5	4	5	12	Baixa	Muito Boa	Excelente
	M30	0,85	0,3	0,25	4	1,25	2	8	5			
	M34	0,85	0,3	0,25	4	2	2	8	8			
	M35	0,85	0,3	0,25	4	2	6	5	5			
	M36	0,85	0,3	0,25	4	2	6	5	8			

Fonte: Adaptada da tabela 5.1 de Diniz, Marcondes, Coppini (2013, p.79).

Outro fator que pode causar uma influência significativa no bom desempenho das ferramentas usadas em operações de usinagem é a sua geometria de corte.

3.3.2 Geometria da ferramenta

De acordo com Machado *et al* (2011), se não houver um preparo adequado da geometria da ferramenta a operação de usinagem não será bem sucedida mesmo que o material utilizado para a fabricação da mesma seja o melhor possível. Para Boehs, Friedrich, Caldeira (2001), a geometria da ferramenta exerce uma grande influência na formação e saída do cavaco, nas forças de corte, na vida da ferramenta e rugosidade da peça usinada. E deve ainda ser adaptada a condições como: ductilidade ou fragilidade do material da peça, tenacidade e resistência ao desgaste do material da ferramenta, rigidez da máquina-ferramenta, entre outras. Outro fator que é extrema importância para um bom resultado na usinagem é o conhecimento das principais partes e principais ângulos da cunha de corte da ferramenta.

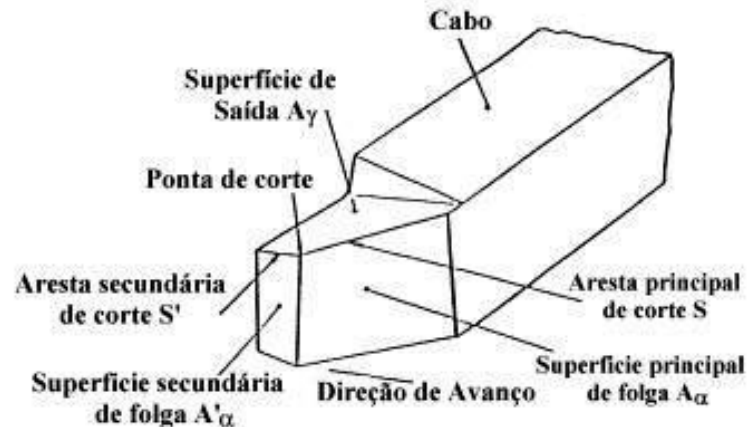
Para uma melhor determinação dos ângulos da cunha de corte de uma ferramenta de usinagem é necessário inicialmente que se conheçam suas partes construtivas. De acordo com a norma brasileira NBR 6163-Conceitos da Técnica de Usinagem Geometria da Cunha Cortante: Terminologia (ABNT, 1980), as mesmas podem ser definidas como:

- Superfície de saída: onde há a formação e saída do cavaco durante a operação de usinagem;
- Superfícies de folga (principal/secundária): são superfícies que determinam a folga entre a ferramenta e a superfície a ser usinada;
- Arestas de corte: são definidas pela intersecção das superfícies de saída e de folga. E podem ser divididas em principal e secundária;
- Aresta principal de corte: cunha cortante voltada para a direção do avanço no plano de trabalho;
- Aresta secundária de corte: cunha de corte indicando a direção contrária a do avanço.
- Ponta de corte: é a intersecção das arestas principal e secundária de corte.

As Figuras 3 e 4 a seguir mostram os elementos da cunha cortante de uma ferramenta para torneamento e os ângulos utilizados em ferramentas em algumas operações de

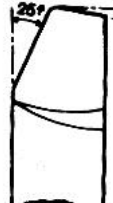
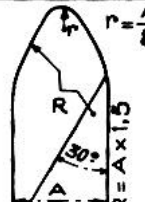
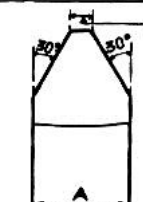
torneamento. Uma vez conhecido as principais partes de uma ferramenta deve-se empregar um sistema de referência para a determinação dos ângulos de cunha.

Figura 3 - Elementos da cunha cortante de uma ferramenta para torneamento.



Fonte: Adaptada de Machado *et al* (2011, p.40).

Figura 4 - Nomenclatura e alguns ângulos usados em ferramentas para operações de torneamento.

NOMENCLATURA E ÂNGULOS LATERAIS							
N.º 1	NOME	N.º 2	NOME	N.º 3	NOME	N.º 4	NOME
	Alisar e passe fino		Desbaste a passe grosso		Desbaste grosso à esq.		Desbaste grosso à dir.
							
N.º 5	NOME	N.º 6	NOME	N.º 7	NOME	N.º 8	NOME
	Desbaste fino à esq.		Desbaste fino à dir.		Desb. p/ ambos os lados		Alisado de bronze
							

Fonte: Adaptada de Casillas (1970, p.329).

Geralmente são empregados dois sistemas de referência para facilitar a determinação dos ângulos da cunha cortante da ferramenta. De acordo com Machado *et al* (2011) são eles, o sistema de referência, que é usado para determinar a geometria da cunha de corte ao longo das

etapas de projeto, execução e controle da ferramenta, e o sistema efetivo de referência, que por sua vez é usado para a determinação da geometria da cunha de corte durante a operação de usinagem. Para se determinar os ângulos de cunha cortante dentro dos sistemas de referências têm-se os planos do sistema de referência.

- Plano de referência (Pr): perpendicular à direção admitida de corte. Para ferramentas de torneamento o plano de referência é paralelo à superfície de apoio do cabo;
- Plano de corte principal (Ps): tangente à aresta de corte e perpendicular ao plano de referência;
- Plano de corte secundário (Ps'): tangente à aresta de corte secundária e perpendicular ao plano de referência ambos passando pelo ponto de referência;
- Plano ortogonal (Po): perpendicular ao plano de referência e ao plano de corte;
- Plano admitido de trabalho (Pf): perpendicular ao plano de referência e paralelo à direção admitida de avanço.

Tendo definidos os planos de referência, é possível conhecer os ângulos adequados da cunha de corte. Os mesmos responsabilizam-se pela determinação da posição e da forma da cunha da ferramenta e são agrupados com relação aos ângulos medidos no plano de referência, no plano de corte e no plano ortogonal. De acordo com a norma brasileira NBR 6163-Conceitos da Técnica de Usinagem Geometria da Cunha Cortante: Terminologia (ABNT, 1980) os ângulos são os seguintes:

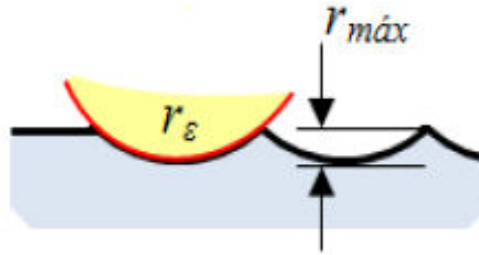
- Plano de referência:
 - a) Ângulo de posição da ferramenta (χ_r): formado pelos planos de corte e admitido de trabalho. Esse ângulo é responsável pela distribuição das tensões no início e no fim do corte e por influenciar na direção de saída do cavaco. O mesmo pode variar de 45° e 95°;
 - b) Ângulo de posição secundário (χ_r'): encontra-se entre o plano secundário de corte e o plano admitido de trabalho;
 - c) Ângulo de ponta (ϵ_r): formado pelos planos principal e secundário de corte. Em inserts quadrados pode ser usado 90° e em inserts triangulares 60°;

- Plano de corte:
 - a) Ângulo de inclinação da ferramenta (λ_s): localiza-se entre a aresta de corte e o plano de referência da ferramenta é sempre agudo e tem seu vértice indicando a ponta de corte, varia de -11° a 11° ;
- Plano ortogonal
 - a) Ângulo de folga (α): localizado entre a superfície e folga e o plano de corte da ferramenta. É responsável por evitar o atrito entre a peça e a superfície de folga varia de 5° a 20° . Em ferramentas de aço rápido varia de 6° e 12° ;
 - b) Ângulo de cunha da ferramenta (β): origina-se pelas superfícies de saída e de folga. Para operações de torneamento de materiais moles varia de 40° a 50° , materiais tenazes 55° a 75° e materiais duros e frágeis 75° a 85° ;
 - c) Ângulo de saída (γ): encontra-se entre a superfície de saída e o plano de referência da ferramenta e varia de -8° a 20° . Em ferramentas de aço rápido varia de 8° a 18° .

3.3.2.1 Ferramentas com geometria convencional e com geometria alisadora

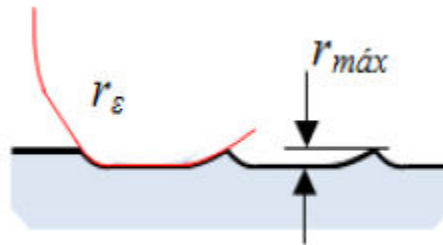
A indústria metal mecânica e de transformação de produtos vem evoluindo bastante ao longo dos anos, e em decorrência disso o mercado da usinagem vem se tornando ainda mais competitivo. O tempo de produção assim como a qualidade do produto final são fatores determinantes para obter um bom retorno financeiro. Como já citado neste trabalho a geometria da ferramenta é o fator determinante quando se fala de acabamento e qualidade final do produto, e em decorrência desse fato, atualmente no mercado é possível encontrar além das ferramentas de geometria convencional, Figura 5, as ferramentas de geometria alisadora, Figura 6.

Figura 5 - Representação do raio de ponta de uma ferramenta de geometria convencional.



Fonte: Mello *et al.* (2012) apud Izquierdo (2013).

Figura 6 - Raio de ponta de uma ferramenta com geometria alisadora.



Fonte: Mello *et al.* (2012) apud Izquierdo (2013).

De acordo com a Sandvik (2012), as pastilhas de geometria alisadora são usadas em operações de acabamento e semiacabamento e possuem o raio de ponta modificado fazendo com que a profundidade de corte e o avanço sejam dobrados sem provocar danos no acabamento da peça e garantindo assim alta produtividade e melhor qualidade. Segundo Azambuja (2012), diferentes das convencionais que apresentam apenas um raio de ponta que pode variar de 0,2mm a 2,4mm, sendo os mais usuais 0,4, 0,8 e 1,2mm, as ferramentas de geometria alisadora podem apresentar 3 ou mais raios de ponta, conferindo assim melhor interação com a superfície da peça, sendo capazes de tornear com altas faixas de profundidade e garantir melhor acabamento superficial.

3.3.3 Desgaste e vida da ferramenta

De acordo com Machado *et al* (2011), é de grande importância compreender o procedimento pelo qual a ferramenta se desgasta, pois assim é possível prever medidas corretivas e efetivas para prolongar a vida da mesma.

A vida de uma ferramenta pode ser definida por Ferraresi (1970) como o tempo em que ela trabalha efetivamente, até perder a capacidade de corte ou atingir um critério estabelecido de fim de vida. Quando o tempo é atingido a ferramenta deve ser reafiada ou substituída. Para Diniz, Marcondes, Coppini (2013), a ferramenta deve ser substituída quando:

- Houver perda da qualidade ou a quebra da aresta de corte;
- A ferramenta atingir uma temperatura excessiva;
- Tolerâncias dimensionais fora dos padrões especificados;
- Acabamento superficial insatisfatório;
- Força de usinagem excessiva.

Souza (2004), diz que a ferramenta, devido a condições de corte fica sujeita a fatores de origem térmica, química, mecânica e abrasiva. Tendo em vista que o material da ferramenta assim como o material da peça é homogêneo, podem-se observar avarias e desgastes de diferentes naturezas na ferramenta durante o seu uso, essas avarias fazem com que a mesma sofra deterioração mais rápida. Diniz, Marcondes, Coppini (2013), define desgaste como uma perda de partículas da ferramenta pela ação do corte, e segundo Machado *et al* (2011) avarias são fenômenos inesperados causados pela quebra, lascamento ou trinca da aresta cortante. Muitos são os tipos de avarias e desgastes que podem ocorrer em uma ferramenta durante a usinagem, mas para Amorim (2002) os principais desgastes são:

- Desgaste de flanco

Um modo de verificar a vida útil da aresta de corte da ferramenta é avaliar o desgaste de flanco (V_B). Esse desgaste ocorre nas superfícies de folga, atingindo a aresta principal e a secundária de corte. Na aresta principal esse tipo de desgaste causa um aumento da temperatura e das forças de corte fazendo com que haja vibrações na ferramenta ou na

peça. Já na aresta secundária provoca um desgaste excessivo que resulta numa superfície com um acabamento ruim e em peças com especificação incorreta, uma vez que a mesma é responsável pelo controle dimensional e pela qualidade superficial. O desgaste de flanco pode ocorrer devido a vários fatores.

Segundo Caldeirani Filho (1998) e Sousa (1998) a potência do motor de acionamento do eixo-árvore, os componentes da força de usinagem, a temperatura de corte e a vibração do sistema, influenciam diretamente para o surgimento do mesmo. Segundo a norma ISO 3685 (1993), para ferramentas de aço rápido em operações de desbaste o valor de desgaste de flanco médio é de 0,3mm e de desgaste de flanco máximo de 0,6mm, no entanto no trabalho em questão apenas os valores de V_B médio serão analisados e discutidos. A Figura 7 a seguir mostra uma ferramenta com desgaste de flanco.

Figura 7 - Desgaste de flanco.

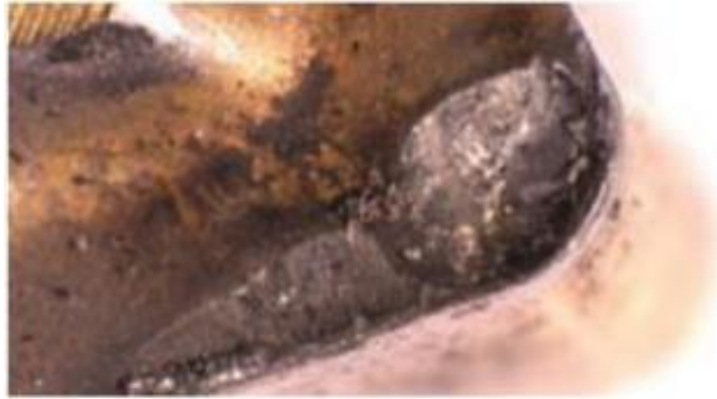


Fonte: Adaptada de Sandvik (2016).

- Desgaste de Cratera

Acontece na superfície de saída da ferramenta onde esta localizada a zona de deslizamento do cavaco. Ocorre geralmente a altas velocidades e se dá pela combinação entre os mecanismos de desgaste por abrasão e por difusão. Ver Figura 8.

Figura 8 - Desgaste de Cratera.

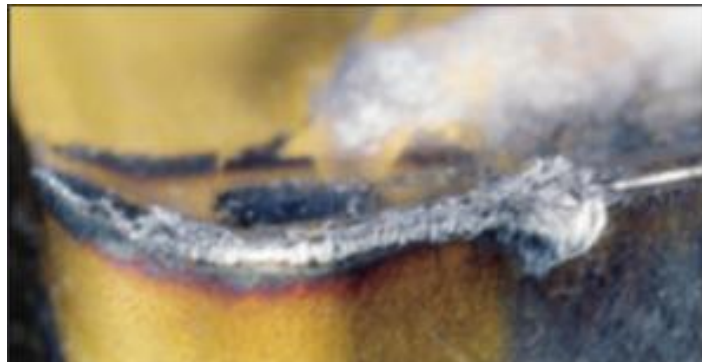


Fonte: Adaptada de Sandvik (2016).

- Desgaste de entalhe

Ocorre devido um aumento da temperatura e da velocidade de corte. Este tipo de desgaste modifica a forma da ponta da ferramenta influenciando assim o acabamento superficial, como mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Desgaste de entalhe.



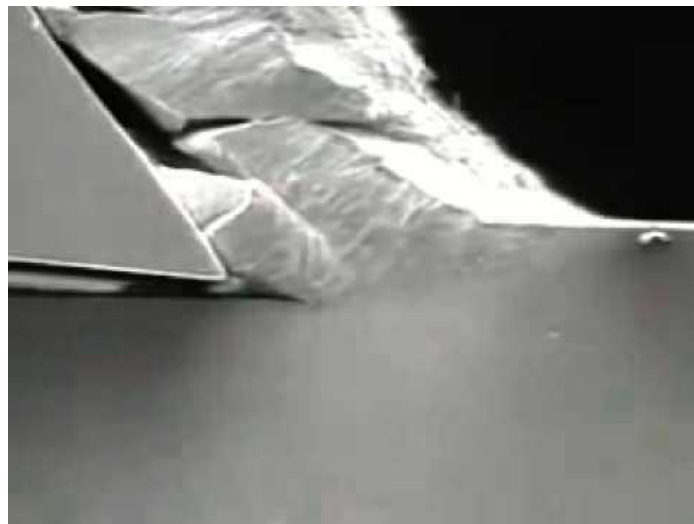
Fonte: Adaptada de Sandvik (2016).

Outro fator que pode afetar o desempenho da ferramenta e principalmente o acabamento superficial e as dimensões da peça é a aresta postiça de corte ou APC.

- Aresta postiça de corte

De acordo com Bortolini Junior e Oliveira (2013) a aresta postiça de corte é composta de partículas do material usinado (cavaco), que se aglomeram na superfície de saída da ferramenta. Segundo Machado *et al* (2011), o tamanho da APC, que age como aresta cortante, não deve aumentar indefinidamente, ou seja, ao atingir um valor onde a tensão de cisalhamento é satisfatória para mudar a zona primaria de cisalhamento a mesma é arrastada entre a superfície da peça e a superfície de folga da ferramenta, modificando assim, a geometria da ferramenta, a formação do cavaco, a rugosidade da peça e consequentemente o seu acabamento superficial. A Figura 10 a seguir mostra uma ferramenta com aresta postiça de corte

Figura 10 - Imagem da aresta de uma ferramenta cortando com uma aresta postiça de corte.



Fonte: Adaptada de Simão (2014).

3.4 ACABAMENTO SUPERFICIAL

O acabamento superficial pode ser caracterizado como o conjunto de irregularidades provocadas por sulcos ou marcas deixadas pela ferramenta durante a operação de usinagem, formando um padrão de textura em uma superfície e pode ser representado pelos valores de rugosidade (AMORIM, 2002).

3.4.1 Rugosidade superficial

Um componente ou peça usinado, geralmente é examinado depois ou até mesmo durante a operação de usinagem em termos tanto macrogeométricos quanto em termos microgeométricos. Em termos macrogeométricos avaliam-se as dimensões, forma e orientação, que são fáceis de medir quando comparados aos termos microgeométricos que compreendem a rugosidade. Esta por sua vez pode ser definida como o conjunto de irregularidades que resultam de uma ação característica do processo de corte e pode ser afetada por diversas variáveis e avaliada de acordo com vários parâmetros como, parâmetros de amplitude, de espaço ou parâmetros híbridos (MACHADO *et al.*, 2011).

A Norma ABNT NBR ISO 4287 (2002), apresenta os principais parâmetros empregados na determinação da rugosidade como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros empregados na determinação da rugosidade.

Símbolo	Nome	Definição
Ra	Desvio aritmético médio	Média aritmética dos valores absolutos das ordenadas no comprimento de amostragem.
Rq	Desvio médio quadrático	Raiz quadrada da média dos valores das ordenadas no comprimento de amostragem.
Rt	Altura total do perfil	Soma da maior altura de pico do perfil e da maior profundidade de vale do perfil no comprimento de avaliação.
Rz	Altura máxima do perfil	Soma da altura máxima dos picos e a maior das profundidades dos vales no comprimento de amostragem.
Rsz	Fator de assimetria do perfil (<i>skewness</i>)	Quociente entre o valor médio dos valores das ordenadas e Rq ao cubo, no comprimento de amostragem.
Rku	Fator de achatamento do perfil	Quociente entre o valor médio dos valores das ordenadas à quarta potência e o valor de Rq à quarta potência no comprimento de amostragem.

Fonte: Adaptada da tabela 9.1 de Machado *et al.*(2011, p.302).

4. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta uma abordagem geral dos procedimentos empregados para a realização dos ensaios de usinagem no corpo de prova de aço SAE 1045 utilizando ferramentas de aço rápido. Nele serão detalhados, em tópicos, todos os materiais, equipamentos e métodos utilizados.

4.1 MATERIAIS

Para a realização desse trabalho foram utilizadas ferramentas de aço rápido com dimensões de $3/8'' \times 4''$, com geometrias convencional e alisadora, fixadas ao torno com o auxílio de um porta ferramentas. Como o equipamento utilizado apresentava problemas não foi possível garantir um valor exato do raio de ponta das ferramentas, portanto o que caracteriza a ferramenta alisadora usada nesse trabalho é o fato de que a mesma possui uma área de contato para o corte maior do que a convencional, como mostrado na Figura 11.

Ambas as ferramentas apresentavam duas arestas cortantes permitindo que os ensaios fossem realizados em duplicata, ou seja, duas ferramentas com geometria alisadora e duas com geometria convencional. Na Tabela 3 a seguir estão descritos os ângulos conferidos as ferramentas de ambas as geometrias.

Figura 11 - Ferramentas de aço rápido.



Fonte: o autor (2016).

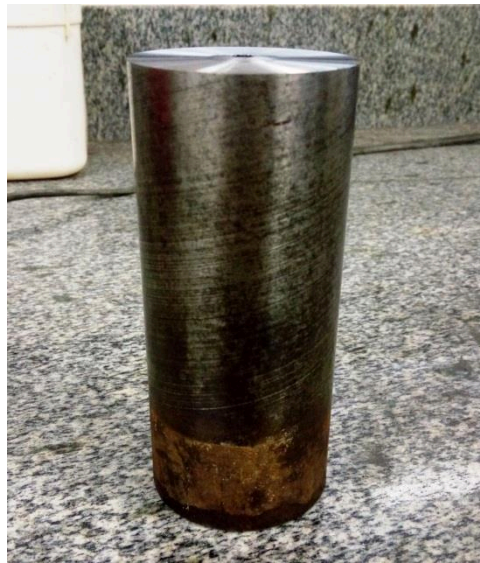
Tabela 3 - Descrição das ferramentas de aço rápido.

Ferramenta	Geometria	Ângulo de saída (γ_0)	Ângulo de folga (α_0)
IC	Convencional	15°	5°
IIC			
IA	Alisadora	5°	25°
IIA			

Fonte: o autor (2016).

Para a realização das análises utilizou-se um tarugo de aço SAE 1045, mostrado na Figura 12, com 120mm de comprimento, diâmetro externo de 50mm, diâmetro interno de 8mm e área útil de 42mm.

Figura 12- Corpo de prova de aço SAE 1045.



Fonte: o autor (2016).

4.2 EQUIPAMENTOS

Neste tópico serão descritos os equipamentos usados para a realização dos procedimentos experimentais necessários para a obtenção dos dados.

Para a realização do corte do tarugo de aço SAE 1045 utilizou-se uma serra de fita Clark Machine Tool Supply SF 250 A, localizada no laboratório de usinagem da Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, campus Caraúbas, mostrada na Figura 13.

Figura 13 - Serra de fita.



Fonte: o autor (2016).

A afiação das ferramentas foi realizada com a utilização do esmeril ME – 6 A (Ferrari), e da afiadora universal modelo PP-U3 da Vitor & Buono LTDA, Figura 14, ambos localizados no laboratório de usinagem da UFERSA campus Mossoró.

Figura 14 - (a) Esmeril; (b) Afiadora universal.



(a)



(b)

Fonte: o autor (2016).

A usinagem do aço SAE 1045 realizou-se no torno mecânico convencional Manrod Quality Machines MR-302 (Ver Figura 15), situado na UFERSA campus Caraúbas no laboratório de usinagem.

Figura 15 - Torno mecânico convencional.



Fonte: o autor (2016).

Para a verificação da rugosidade da superfície do corpo de prova usinado foi utilizado um rugosímetro portátil Mitutoyo modelo Surftest SJ-210, mostrado na figura 16, com *cut off* de 2,5mm. O equipamento é localizado no laboratório de Metrologia da UFERSA campus Caraúbas.

Figura 16 - Rugosímetro Portátil.



Fonte: o autor (2016).

A verificação do desgaste e vida das ferramentas, mais precisamente do desgaste de flanco, foi realizada com o auxílio do microscópio digital portátil da Unimake com ampliação de até 500x (Ver Figura 17). O software usado na medição do desgaste de flanco foi o Image-Pro plus win 32.

Figura 17 - Microscópio digital.



Fonte: o autor (2016)

4.3 MÉTODOS

4.3.1 Afição das ferramentas

A afiação das ferramentas foi realizada no laboratório de usinagem da UFERSA campus Mossoró pelo técnico de laboratório com o auxílio de um esmeril e uma afiadora universal (Ver Figura 18). Inicialmente utilizou-se o esmeril para realizar uma remoção previa de material, com o objetivo de deixar o mais próximo possível dos ângulos desejados. Esse procedimento fez-se necessário para acelerar o processo, pois a afiadora apresentava um pequeno problema, que poderia retardar a afiação. Em seguida usou-se a afiadora para conferir à ferramenta a angulação desejada.

Figura 18 - (a) Remoção de material da ferramenta; (b) Aferição das ferramentas com ângulos desejados.



(a)



(b)

Fonte: o autor (2016).

4.3.2 Preparação do corpo de prova.

A preparação do corpo de prova foi realizada no laboratório de usinagem da UFERSA campus Caraúbas, onde primeiramente cortou-se o tarugo de aço SAE 1045, com o auxílio de uma serra de fita, deixando-o com 120 mm de comprimento. Após o corte, a peça foi faceada utilizando uma ferramenta de widia brasada em uma barra de metal sem especificação prévia, com uma velocidade de corte de 200m/mim e uma rotação igual a 1255rpm, encontrada utilizando a Equação 1 da velocidade de corte . Realizado o faceamento prévio, fez-se um furo no centro do corpo de prova com uma broca de 8mm com o objetivo de evitar que a ferramenta cortasse com sua aresta posterior (Ver Figura 19).

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

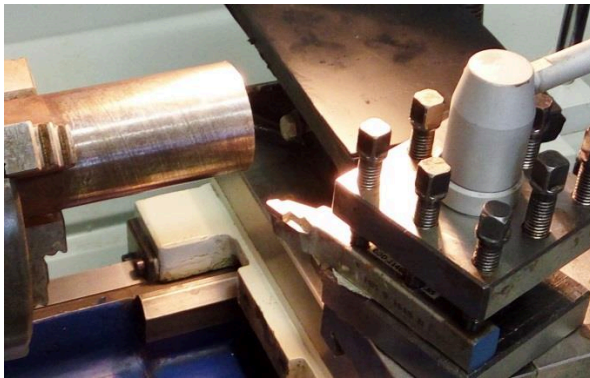
Onde,

V_c : velocidade de corte (m/mim);

D : diâmetro externo do corpo de prova (mm);

n : rotação da máquina (rpm).

Figura 19 - (a) Faceamento do aço 1045 com a ferramenta de widia; (b) Realização do furo de centro no aço 1045.



(a)



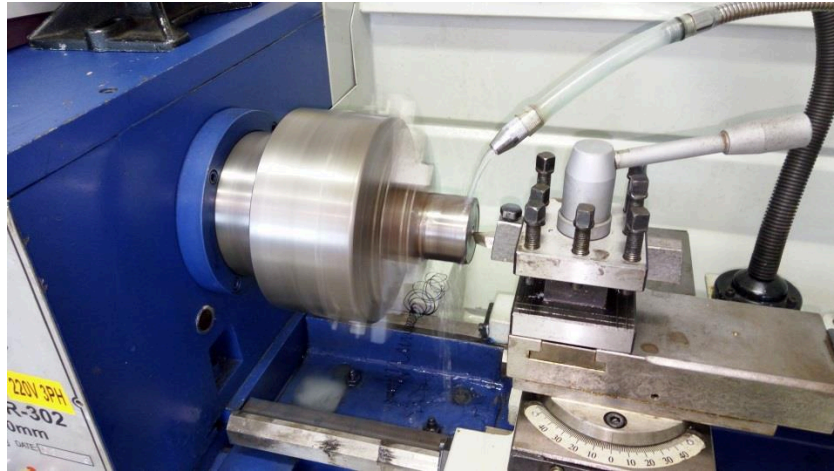
(b)

Fonte: o autor (2016).

4.3.3 Usinagem do aço SAE 1045

O procedimento experimental consistiu em ensaios realizados no laboratório de usinagem da UFERSA campus Caraúbas, aplicando ferramentas de aço rápido com geometrias convencional e alisadora, na operação de faceamento, com uso de fluído de corte, em um corpo de prova de aço SAE 1045, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Torneamento do aço SAE 1045 usando a ferramenta de aço rápido.



Fonte: o autor (2016).

Foram realizados, com avanço automático, cortes perpendiculares ao eixo de rotação do corpo de prova, do centro para a extremidade, pois dessa forma a velocidade de corte e consequentemente as forças de corte seriam crescentes. Utilizou-se uma profundidade de corte (a_p) de 0,4 mm, um avanço (f) de 0,253mm/rot e uma rotação do torno convencional de 300rpm, encontrada utilizando a Equação 1 da velocidade de corte, descrita no tópico anterior, com diâmetro externo (D) do corpo de prova de 50mm, com velocidade de corte inicial (V_{c_i}) de 7,5 m/mim e final (V_{c_f}) de 47m/mim.

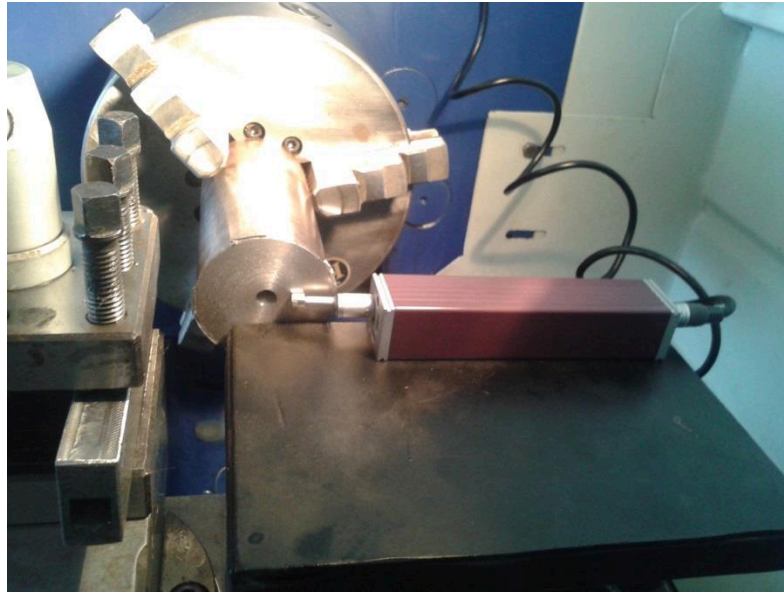
A velocidade de corte recomendada para uma operação de desbaste usando ferramentas de aço rápido é de 20m/mim, porém resolveu-se usar um valor maior, pois, após realizar alguns passes com a ferramenta percebeu-se que a mesma não estava apresentando nenhum tipo de desgaste ou avaria, sendo assim insatisfatória para o objetivo deste trabalho, uma vez que ao continuar utilizando essa velocidade de corte o tempo determinado para a realização das análises demandariam um tempo maior do que o disponível.

4.3.4 Análise da rugosidade e medição de desgaste e vida da ferramenta

Os valores de rugosidade foram obtidos com o uso do rugosímetro portátil. Os dados foram retirados de três pontos distintos da superfície do corpo de prova não sendo necessária a retirada do mesmo do torno, uma vez que foi utilizado um suporte para auxiliar na medição.

Ao longo do procedimento prático, as ferramentas de corte e o corpo de prova usinado, nas quatro situações, foram supervisionados através da verificação periódica, com o objetivo de observar e medir os desgastes na ferramenta e os valores de rugosidade (R_a) do corpo de prova a cada três passes dados. A Figura 21 a seguir mostra a verificação da rugosidade no aço SAE 1045.

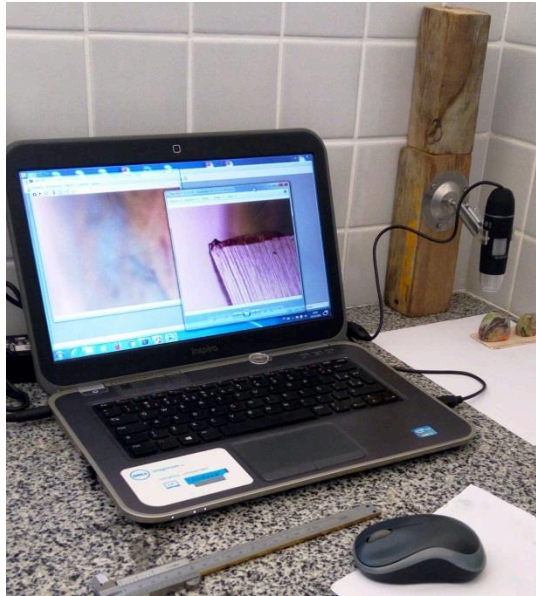
Figura 21 - Verificação da rugosidade da superfície do aço SAE 1045.



Fonte: o autor (2016).

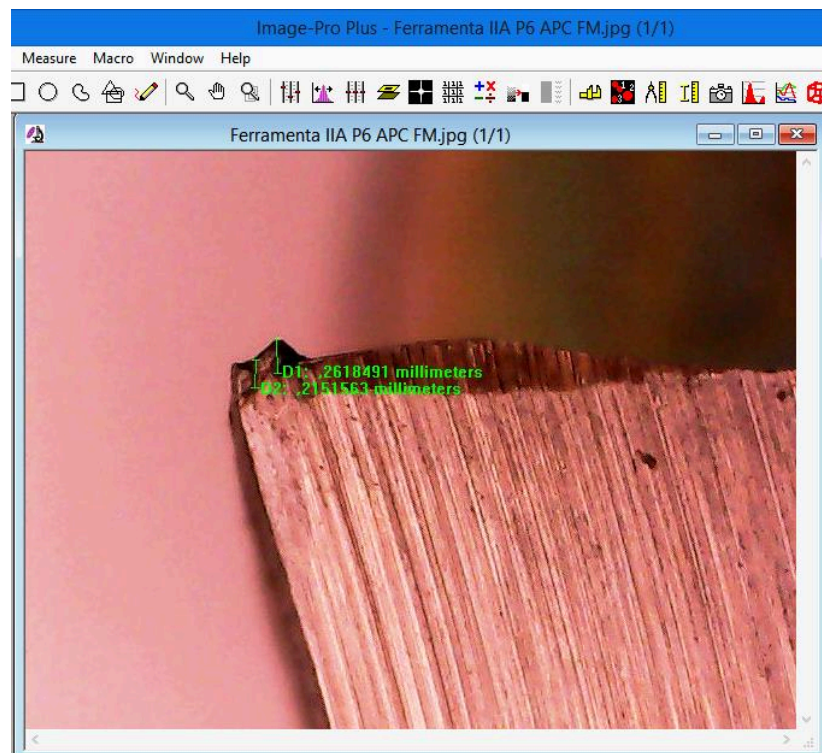
Para acompanhar o crescimento do desgaste de flanco, utilizou-se um microscópio digital portátil com ampliação de 500x, mostrado na Figura 22. Para tal fim fez-se necessária a retirada da ferramenta do torno mecânico a cada 3 passes, como descrito anteriormente. A verificação do crescimento do desgaste de flanco foi possível com o auxílio do software de medição Image-Pro plus win 32, como mostrado na Figura 23.

Figura 22- Captura da imagem da aresta de corte da ferramenta usando o microscópio digital.



Fonte: o autor (2016).

Figura 23 - Medição do crescimento de desgaste de flanco na aresta cortante da ferramenta.



Fonte: o autor (2016).

4.3.5 Análise estatística

A análise estatística consistiu na criação de tabelas e gráficos, com o auxílio do software Microsoft Excel 2010, a partir dos valores de rugosidade média obtidos da superfície do corpo de prova. Esta, por sua vez, foi encontrada em quatro situações, duas ferramentas com geometria convencional e duas com geometria alisadora. Através dos dados organizados foi possível a interpretação e discussão dos resultados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No capítulo em questão serão apresentados os dados de rugosidade e desgaste de flanco, obtidos durante esta pesquisa. Inicialmente serão descritos e discutidos os valores de rugosidade encontrados na superfície do corpo de prova do aço SAE 1045, e em seguida a avaliação dos desgastes ocorridos na aresta cortante das ferramentas e consequentemente a verificação da vida útil das mesmas. As análises foram realizadas usando duas ferramentas de geometria convencional e duas ferramentas de geometria alisadora.

5.1 AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE DO CORPO DE PROVA

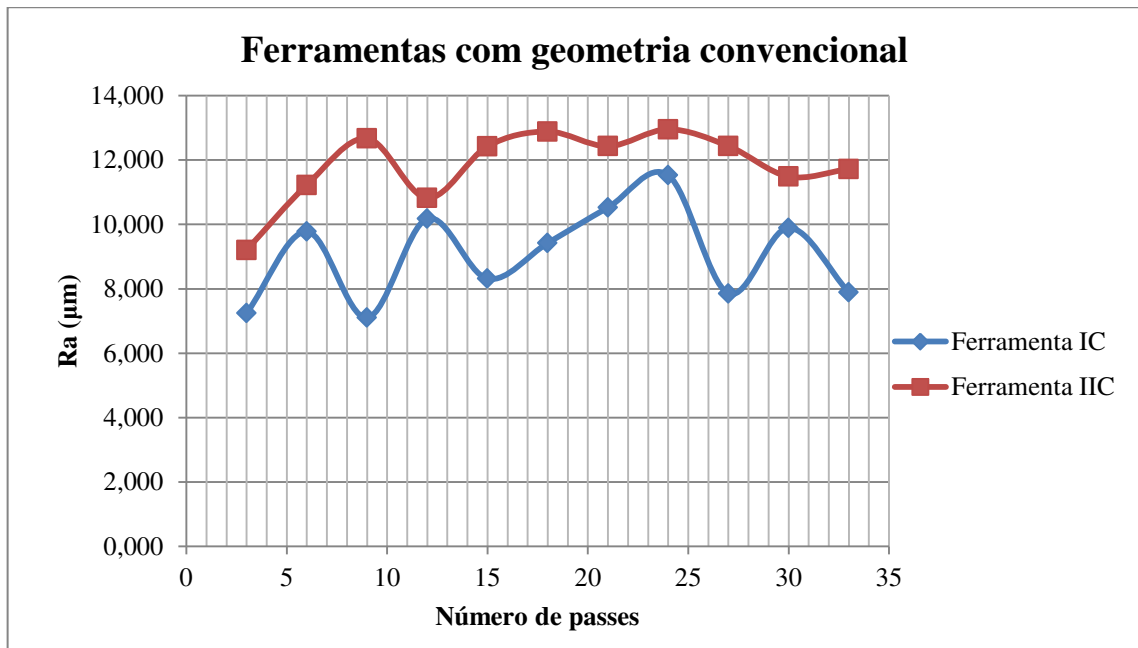
A primeira etapa experimental realizada no presente trabalho teve como objetivo avaliar a rugosidade média gerada na superfície do aço SAE 1045 por ferramentas de geometria convencional e alisadora, sendo utilizadas para tal fim, duas ferramentas com geometria convencional apresentando $\alpha_0 = 5^\circ$ $\gamma_0 = 15^\circ$, e duas ferramentas com geometria alisadora com $\alpha_0 = 25^\circ$ $\gamma_0 = 5^\circ$. Na Tabela 4 e nas Figuras 24 e 25, é possível observar os dados referentes à rugosidade gerada pelas ferramentas convencionais (IC, IIC), que foram medidos a cada três passes. Através de sua análise é possível observar que os valores de Rugosidade maiores foram obtidos com a ferramenta IIC, uma vez que a mesma teve como maior valor uma $R_a = 12,952 \mu\text{m}$ enquanto que a ferramenta IC gerou uma R_a máxima de $11,528 \mu\text{m}$.

Tabela 4 - Valores de rugosidade do aço SAE 1045 obtidos com as ferramentas IC e IIC.

Número de passes	Rugosidade Média (μm)		Desvio padrão	
	Ferramenta IC	Ferramenta IIC	Ferramenta IC	Ferramenta IIC
3	7,243	9,208	1,461	1,120
6	9,779	11,225	1,402	0,738
9	7,102	12,669	1,474	0,711
12	10,180	10,821	1,335	0,737
15	8,315	12,425	1,406	0,548
18	9,423	12,883	1,457	0,599
21	10,524	12,429	1,629	0,594
24	11,528	12,952	1,770	0,670
27	7,856	12,433	1,167	0,493
30	9,893	11,487	1,418	0,165
33	7,888	11,721	1,461	1,120

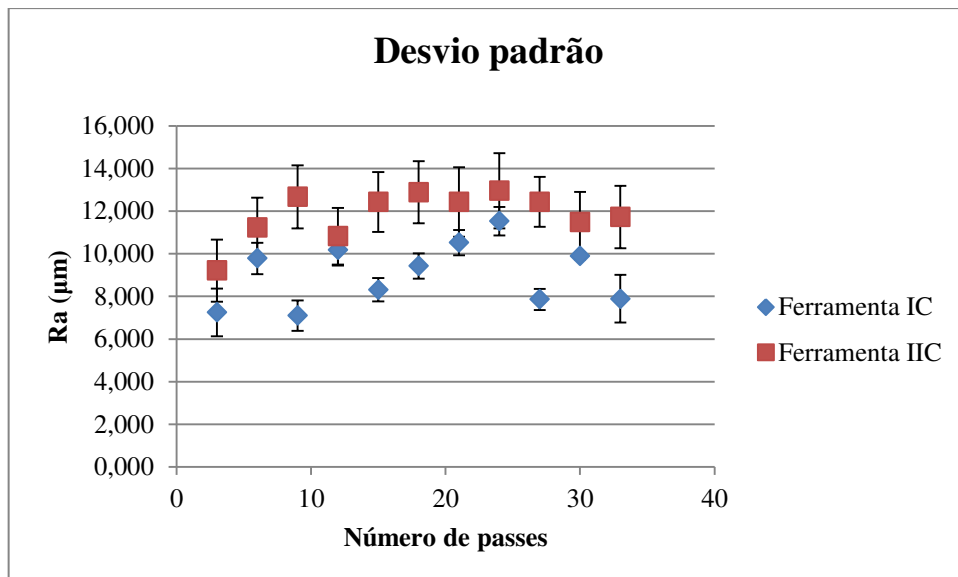
Fonte: o autor (2016).

Figura 24 - Comportamento da rugosidade gerada com as ferramentas IC e IIC.



Fonte: o autor (2016).

Figura 25 - Desvio padrão para as ferramentas IC e IIC.



Fonte: o autor (2016).

A ferramenta de geometria alisadora IA gerou os menores valores de Ra, ficando de 9 a 12μm, se comparada com a ferramenta IIA, que apresentou valores de 9 a 13μm como mostrados na Tabela 5 e na Figura 26 e 27. Nelas, é possível observar que a Ferramenta IIA foi à única que realizou 39 passes e que se comparada com as demais, tanto a IA quanto a IC e

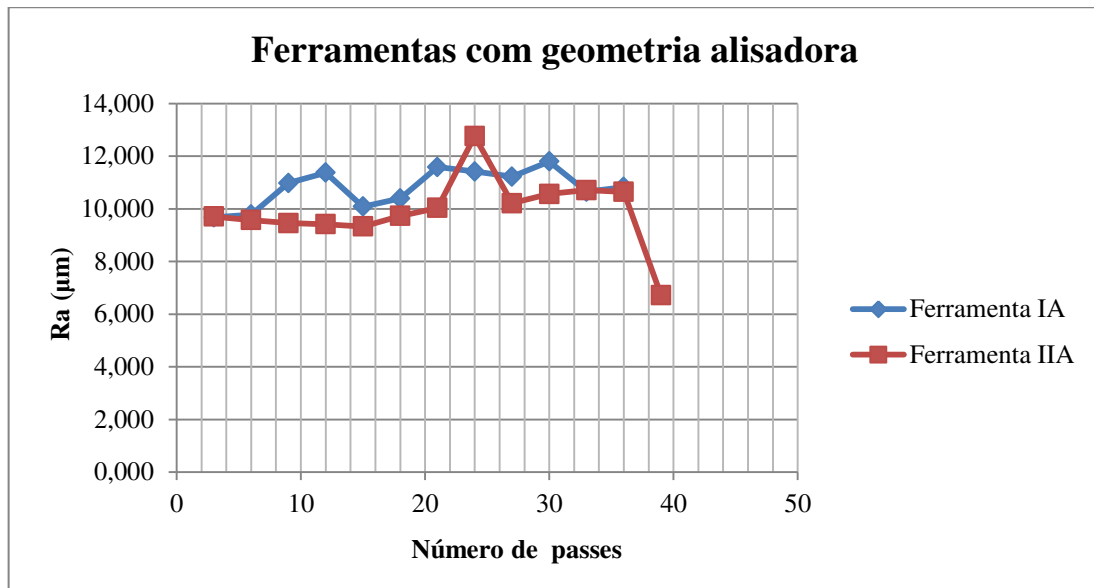
IIC, apresentou uma rugosidade abaixo $7\mu\text{m}$. Isso se deve ao fato de que ao realizar a usinagem com a ferramenta IIA a mesma apresentou aresta postiça de corte (APC). E por isso resolveu-se aumentar a rotação do torno de 300rpm para 460rpm, e consequentemente a velocidade de corte de 47m/min para 72m/min, uma vez que a APC de acordo com Diniz, Marcondes, Coppini (2013), se forma devido a baixas velocidades de corte, ductilidade do material e baixa temperatura de corte.

Tabela 5 - Valores de rugosidade do aço SAE 1045 obtidos com as ferramentas IA e IIA.

Número de passes	Rugosidade Média (μm)		Desvio Padrão	
	Ferramenta IA	Ferramenta IIA	Ferramenta IA	Ferramenta IIA
3	9,676	9,706	0,709	1,323
6	9,783	9,573	0,641	1,380
9	10,980	9,457	0,547	1,443
12	11,376	9,419	0,579	1,511
15	10,087	9,328	0,605	1,587
18	10,393	9,734	0,518	1,670
21	11,589	10,034	0,442	1,793
24	11,418	12,763	0,459	1,962
27	11,225	10,214	0,508	1,716
30	11,797	10,567	0,617	1,961
33	10,651	10,711	0,126	2,285
36	10,829	10,644	0,709	2,774
39	-	6,720	0,709	1,323

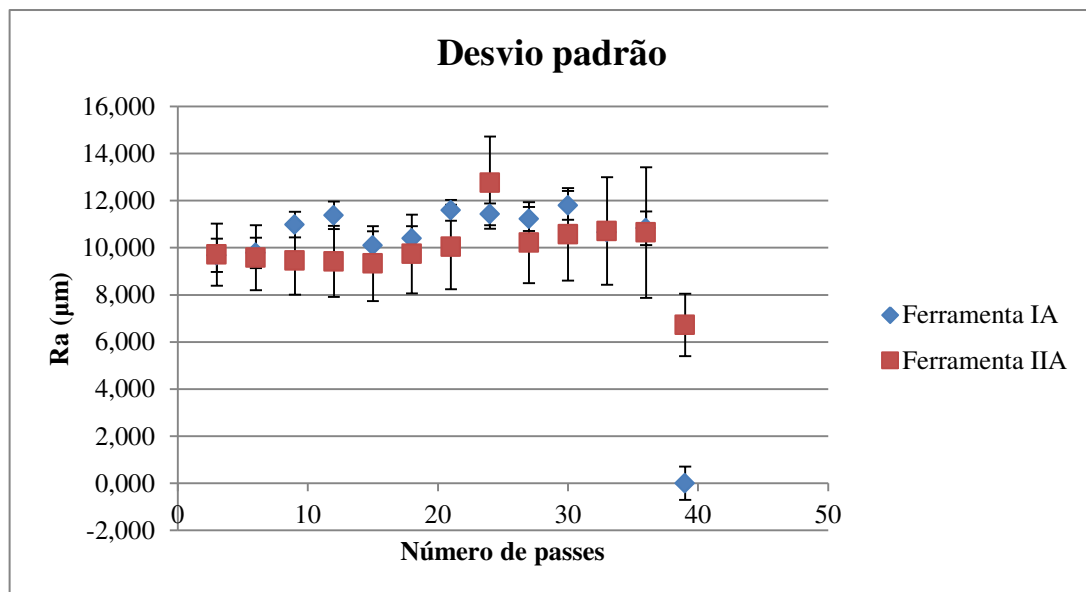
Fonte: o autor (2016).

Figura 26 - Comportamento da rugosidade gerada com as ferramentas IA e IIA.



Fonte: o autor (2016).

Figura 27 - Desvio padrão das ferramentas IA e IIA.



Fonte: o autor (2016).

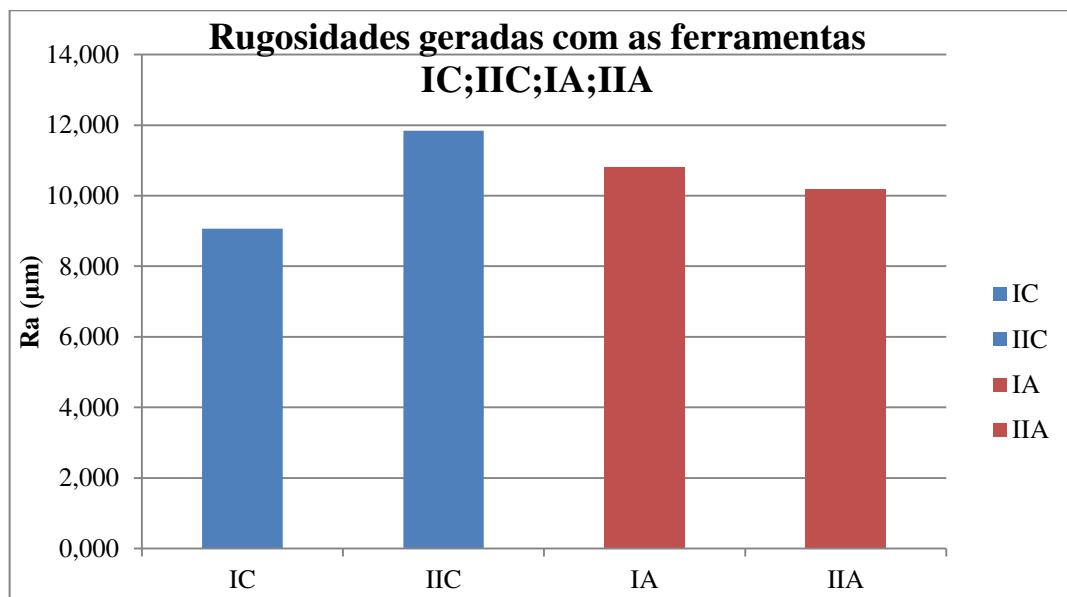
A Tabela 6 e a Figura 28 mostram as médias das rugosidades do corpo de prova geradas com as ferramentas IC, IIC, IA, IIA.

Tabela 6 - Média das rugosidades obtidas com as quatro ferramentas.

Ferramenta	Média
IC	9,067
IIC	11,841
IA	10,817
IIA	10,179

Fonte: o autor (2016).

Figura 28 - Rugosidades geradas com as quatro ferramentas.



Fonte: o autor (2016).

Após avaliar os dados das quatro ferramentas separadamente, fez-se a média das ferramentas IC e IIC para obter a média da rugosidade da geometria convencional, e a média das ferramentas IA e IIA para a média da geometria alisadora, como pode ser observado na Tabela 7 e Figura 29.

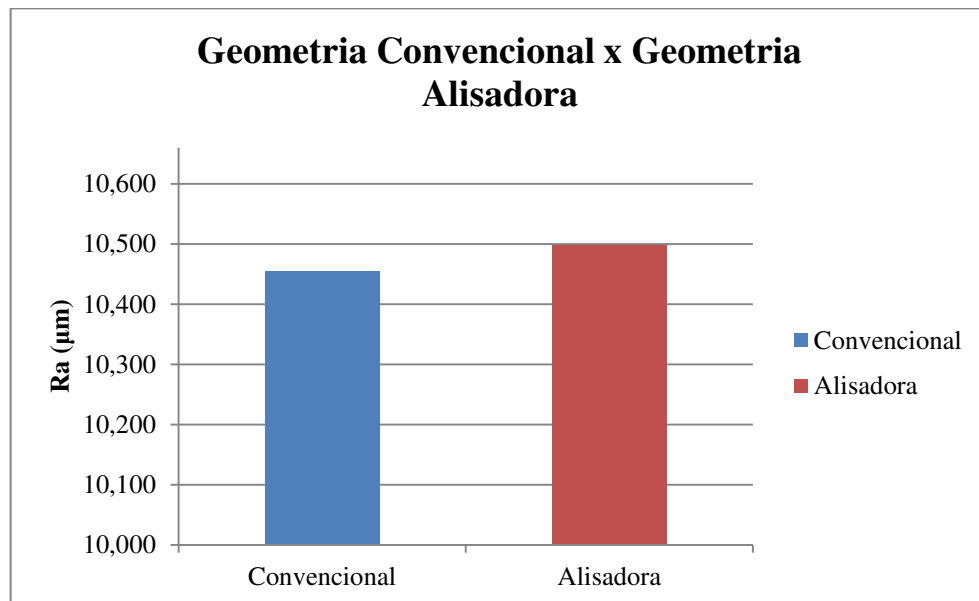
Os dados encontrados mostram que os valores de rugosidade causados pelas duas ferramentas ficaram bem próximos, porém a geometria alisadora apresentou uma rugosidade maior que a convencional. Esse fato pode ser explicado, pois a ferramenta alisadora durante a usinagem do aço SAE 1045 apresentou aresta postiça de corte, responsável por interferir diretamente na rugosidade e consequentemente no acabamento superficial da peça como discutido anteriormente.

Tabela 7 - Média das rugosidades causadas pelas geometrias convencional e alisadora.

Geometria das ferramentas	Ra (μm)
Convencional	10,454
Alisadora	10,498

Fonte: o autor (2016).

Figura 29 - Geometria convencional x Geometria alisadora.



Fonte: o autor (2016).

Os dados de rugosidade encontrados significam entre outras coisas que as ferramentas usadas estavam apresentando desgastes ou avarias caracterizando o fim de sua vida útil.

5.2 AVALIAÇÃO DE DESGASTE DE FLANCO E FIM DE VIDA DA FERRAMENTA

Na Tabela 8 e na Figura 30 estão mostrados os dados de desgaste de flanco médio obtidos da superfície de folga das ferramentas de aço rápido, medidos a cada três passes e na Tabela 9 e nas Figuras 31 e 32, os desvios padrões de ambas as ferramentas. Nela pode-se observar que as ferramentas IC e IIC chegaram ao fim de sua vida útil após a realização de 33 passes, não sofrendo muita variação com relação aos valores de V_B mesmo com o surgimento de aresta postiça de corte. Enquanto que a ferramenta IA e IIA que também apresentaram APC, tiveram seu fim de vida útil com bastante variação de V_B , após 36 e 39 passes respectivamente.

Tabela 8 - Valores de desgaste de flanco encontrados nas ferramentas de aço rápido.

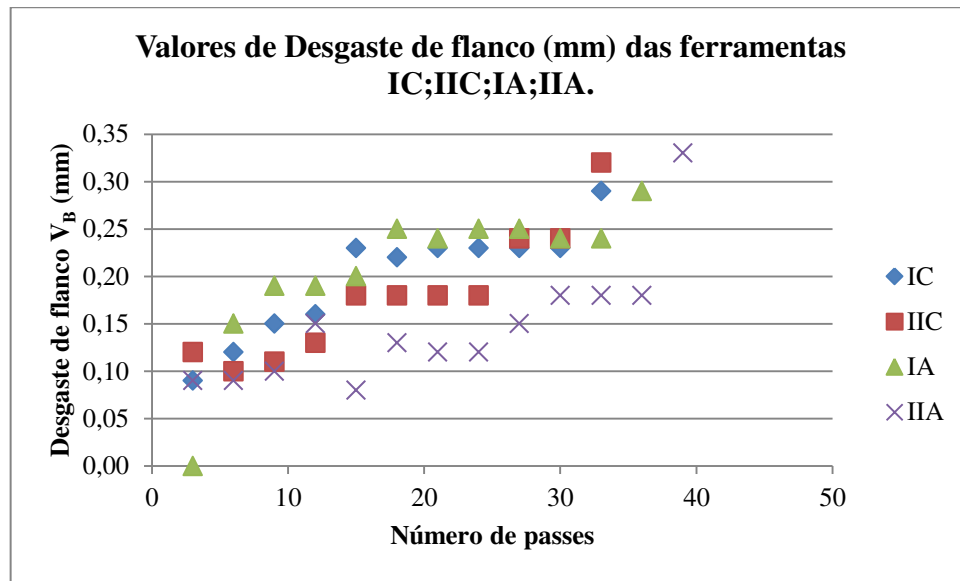
Número de passes	Ferramentas			
	IC	IIC	IA	IIA
3	0,09	0,12	0,00	0,09
6	0,12	0,10	0,15*	0,09*
9	0,15*	0,11	0,19	0,10*
12	0,16*	0,13	0,19	0,15
15	0,23	0,18	0,20	0,08*
18	0,22	0,18**	0,25	0,13*
21	0,23	0,18	0,24*	0,12**
24	0,23*	0,18*	0,25	0,12**
27	0,23*	0,24	0,25*	0,15**
30	0,23	0,24*	0,24	0,18**
33	0,29*	0,32	0,24*	0,18**
36			0,29*	0,18**
39				0,33

*APC removida

**APC não removida

Fonte: o autor (2016).

Figura 30 - Comportamento do desgaste de flanco nas ferramentas de aço rápido.



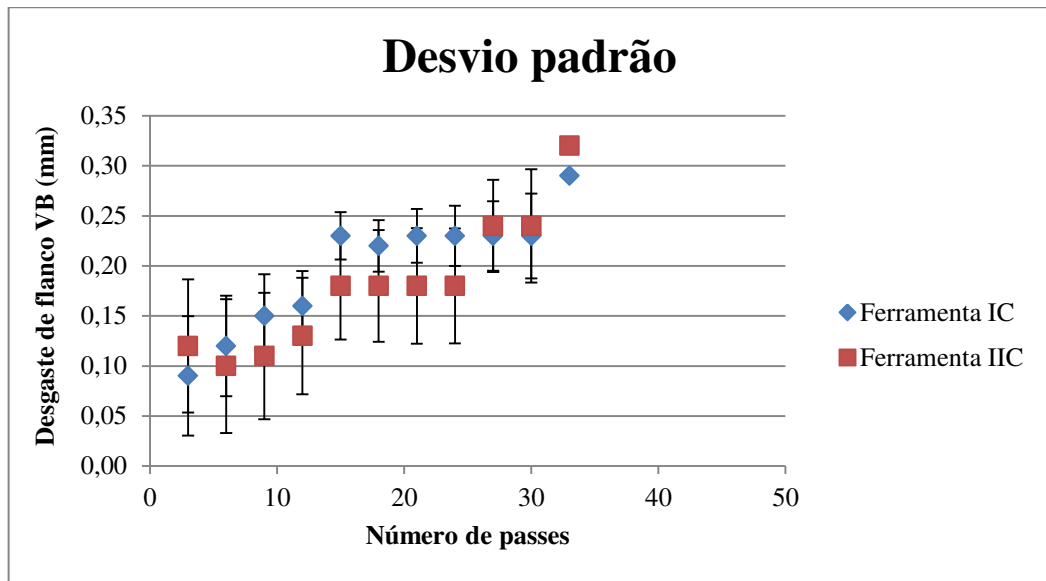
Fonte: o autor (2016).

Tabela 9 - Tabela com os valores de desvio padrão para as ferramentas IC, IIC, IA e IIA.

Número de passes	Desvio padrão Ferramentas			
	IC	IIC	IA	IIA
3				
6	0,060	0,066	0,075	0,066
9	0,050	0,067	0,039	0,066
12	0,042	0,063	0,032	0,067
15	0,035	0,058	0,029	0,067
18	0,024	0,053	0,024	0,071
21	0,026	0,056	0,018	0,068
24	0,027	0,058	0,019	0,071
27	0,030	0,057	0,021	0,073
30	0,035	0,046	0,024	0,072
33	0,042	0,057	0,029	0,075
36			0,035	0,087
39				0,106

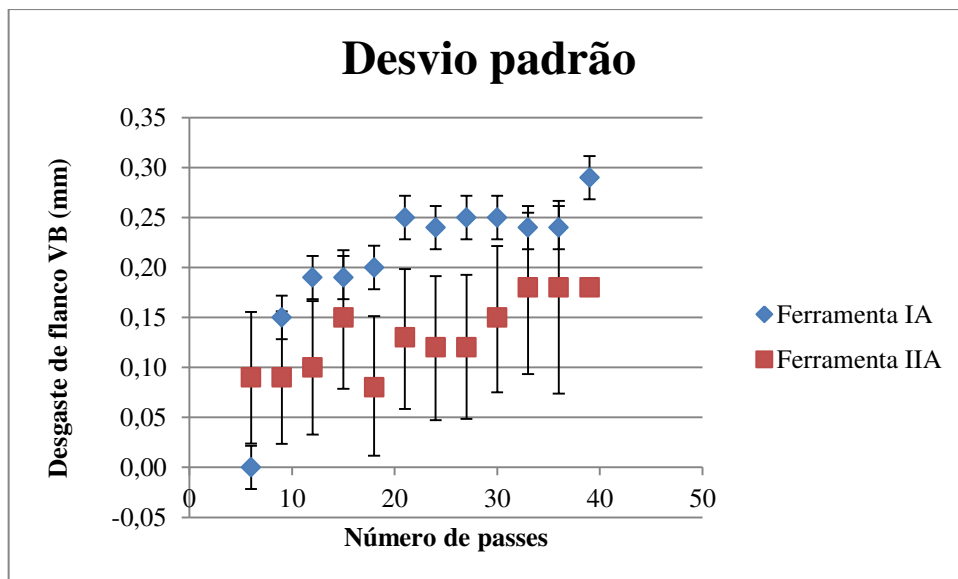
Fonte: o autor (2016).

Figura 31 - Desvio padrão das ferramentas IC e IIC.



Fonte: o autor (2016).

Figura 32 - Desvio padrão das ferramentas IA e IIA.



Fonte: o autor (2016).

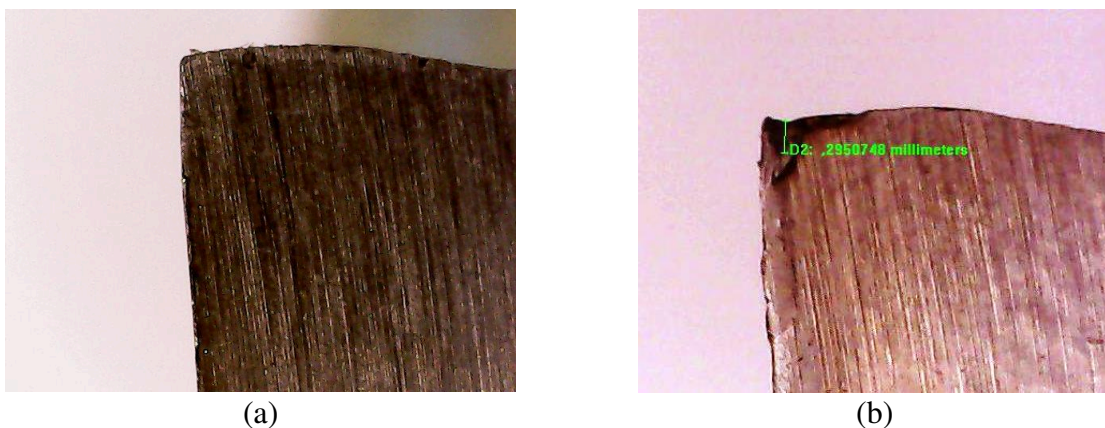
Essa variação nos valores de desgaste de flanco ocorridos nas ferramentas IA e IIA, pode ser explicada devido ao fato do surgimento de aresta postiça de corte permanente na IIA, principalmente após 21 passes, como visto na Tabela 8, não conseguindo remove-las antes dos próximos passes como ocorrido na IA. Tendo sido necessário o aumento da velocidade de

corte, como descrito no tópico anterior, para a retirada da APC presente na ferramenta, para que pudéssemos obter um valor concreto de desgaste de flanco.

A presença de APC durante o processo de usinagem pode ser explicada devido ao fato de que mesmo trabalhando com uma velocidade de corte acima do especificado para as determinadas condições, a temperatura gerada durante o processo pode ter sido afetada pelo uso de fluido de corte, que foi utilizado com uma vazão de 1 l/mim, uma vez que a mangueira de fluido não apresentava um regulador de vazão.

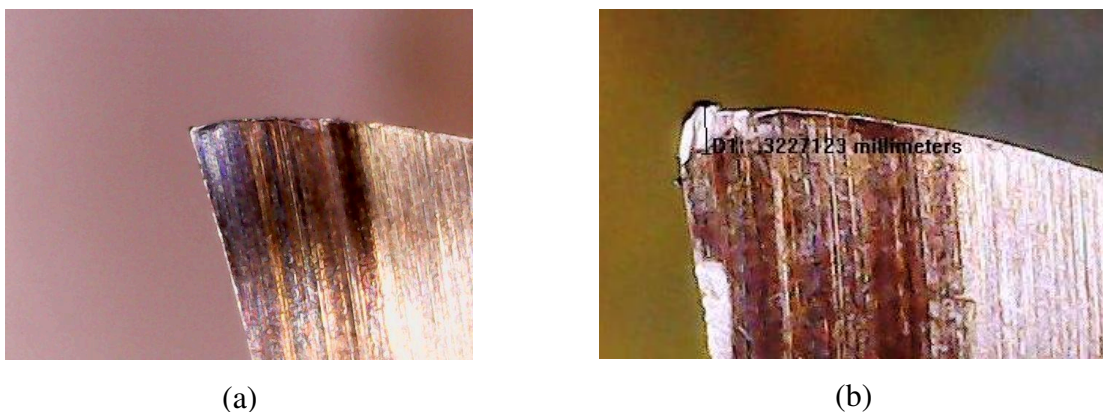
As Figuras 33, 34, 35 e 36 a seguir mostram as ferramentas antes da realização dos passes e o desgaste de flanco gerado após os passes.

Figura 33 - (a) Ferramenta IC antes dos passes; (b) Ferramenta IC após 33 passes.



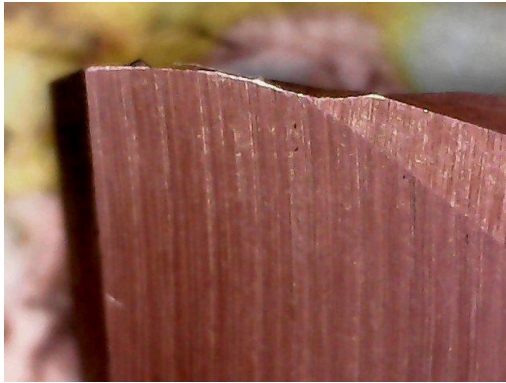
Fonte: o autor (2016).

Figura 34 - (a) Ferramenta IIC antes dos passes; (b) Ferramenta IIC após 33 passes.



Fonte: o autor (2016).

Figura 35 - (a) Ferramenta IA antes dos passes; (b) Ferramenta IA após os 36 passes.

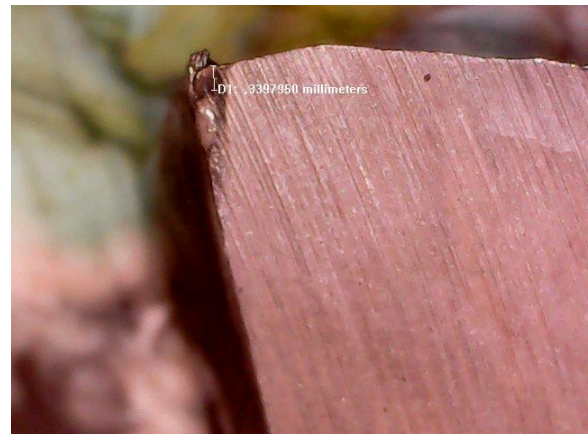


Fonte: o autor (2016).

Figura 36- (a) Ferramenta IIA antes dos passes; (b) Ferramenta IIA após 39 passes.



(a)



(b)

Fonte: o autor (2016).

6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados encontrados com a realização dos procedimentos experimentais pode-se concluir que:

- a) Comparando a ferramenta de geometria alisadora com a de geometria convencional, com relação aos valores de rugosidade obtidos do corpo de prova, percebeu-se que ambas as ferramentas apresentaram resultados bem similares, com valores bem próximos, no entanto nesse quesito a convencional se destacou em relação à alisadora.
- b) Com relação ao desgaste e vida da ferramenta, a de geometria alisadora se sobressaiu em comparação com a convencional, apresentando $V_B = 0,3$ após aproximadamente 38 passes enquanto que a convencional apresentou após 33 passes.
- c) A aresta postiça de corte influencia diretamente na rugosidade da peça e no desgaste e vida da ferramenta, pois ao mesmo tempo em que ela protege a aresta cortante ela afeta as dimensões e o acabamento da superfície da peça, como pode ser visto no trabalho.
- d) A afiação influenciou na geometria das ferramentas, principalmente pelo fato dos planos observados não estarem bem definidos em decorrência de problemas com a afiadora utilizada.

7. REFERÊNCIAS

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. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3685:** Tool-life testing with single-point turning tools. Abnt, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287:** Especificações Geométricas do produto (GPS) – Rugosidade - Método do Perfil - Termos, Definições e Parâmetros de Rugosidade, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6163:** Geometria de Cunha de Corte. Abnt, 1990.

AZAMBUJA, Alexandre Souza. **Análise comparativa da vida das ferramentas de corte alisadora (Wiper) e convencional (Standard) no torneamento de acabamento do aço SAE 4140.** 2012. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

BOEHS, Lourival; FRIEDRICH, Delmonte N.; CALDEIRA, Pedro F.. Influência da afiação na resistência ao desgaste de ferramentas de aço rápido sinterizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 1., 2001, Curitiba. **Anais...**. Curitiba: Cobef, 2001. p. 1 - 8.

BORTOLINI JUNIOR, Celson; OLIVEIRA, Luis Fernando de. **Efeito da Aplicação do Fluido de Corte na Usinagem da Superliga NIMONIC 80A.** 2013. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

CALDEIRANI FILHO, J. Estudo e monitoramento do processo de fresamento frontal com fresas de insertos intercambiáveis. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas, 1998.

CHIAVERINI, Vicente. **Processos de Fabricação e Tratamento**. 2. ed. São Paulo: Person, 2012.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013. 270 p.

ESPANHOL, Victor. **Análise dos esforços de corte e acabamento superficial no torneamento de aço com ferramenta de superfície lisa e com quebra-cavaco**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Blucher, 1970. 751p.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 397 p.

REIS, Alexandre M.; SILVA, Márcio B. da. Análise das superfícies usinadas em presença de aresta postiça de corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 1., 2001, Curitiba. **Anais...**. Curitiba: Cobef, 2001. p. 1 - 9.

RODRIGUES, Alessandro Roger. **Estudo da geometria de arestas de corte aplicadas em usinagem com altas velocidades de corte**. 2005. 249 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SANDVIK. **Manual Técnico de Usinagem**. São Paulo: Sandvik Coromant, 2012.

SOUZA, André João de. **Aplicação de multissensores no prognóstico da vida da ferramenta de corte em torneamento**. 2004. 226 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SOUZA, M. M. Utilizando a vibração mecânica para monitorar o desgaste das ferramentas de corte e o acabamento superficial no processo de fresamento. Tese

(Doutorado)-Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, 1998.

VOS, Patrick de. Influência da geometria no processo de usinagem. **Usinagem Brasil**, São Paulo, p.1-2, ago. 2014.