



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO

CENTRO DE ENGENHARIAS

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

SAMUEL DE LIMA MENEZES

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO REAPROVEITAMENTO DE FLUIDO DE CORTE,
INTEGRAL E SOLÚVEL, UTILIZADOS NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO
AÇO 1020.**

MOSSORÓ - RN

2018

SAMUEL DE LIMA MENEZES

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO REAPROVEITAMENTO DE FLUIDO DE CORTE,
INTEGRAL E SOLÚVEL, UTILIZADOS NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO
AÇO 1020**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA como requisito parcial para obtenção do Grau de Graduado em Engenharia Mecânica sob a orientação do Professor Dr. Ramsés Otto Cunha de Lima.

MOSSORÓ - RN

2018

© 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.

M541e Menezes, Samuel de Lima.

Estudo da viabilidade do reaproveitamento de fluido de corte, integral e solúvel, utilizados no processo de torneamento do aço 1020 / Samuel de Lima Menezes. - 2018.
73 f. : il.

Orientador: Ramsés Otto Cunha Lima.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Mecânica, 2018.

1. Fluido de corte. 2. Meio ambiente. 3. Reaproveitamento. 4. Análises químicas. 5. Rugosidade. I. Cunha Lima, Ramsés Otto, 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.

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO REAPROVEITAMENTO DE FLUIDO DE CORTE,
INTEGRAL E SOLÚVEL, UTILIZADOS NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO
AÇO 1020.**

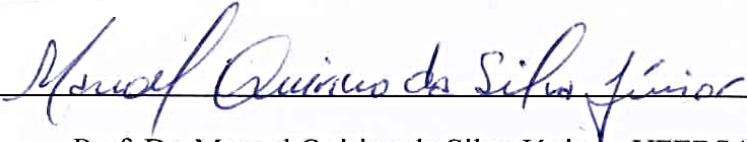
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Banca Examinadora do Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal Rural do
Semiárido em cumprimento a requisito parcial
para obtenção do título de Graduado em
Engenharia Mecânica.

APROVADO EM: 17 / 04 / 2018.

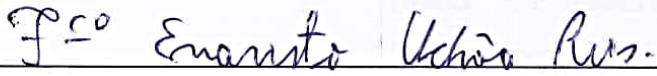
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ramsés Otto Cunha Lima – UFERSA
Presidente



Prof. Dr. Manoel Quirino da Silva Júnior – UFERSA
Primeiro Membro



Prof. Dr. Francisco Evaristo Uchoa Reis – UFERSA
Segundo Membro

Dedico este trabalho ao meu pai Flourisval Menezes Neto, a minha mãe Lucier Lúcia de Lima Menezes, a toda minha família e amigos, que sempre me apoiaram e foram fundamentais na minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre me abençoar e permitir que esse trabalho fosse concluído.

Agradeço aos meus familiares que sempre me apoiaram durante toda minha vida acadêmica. Em especial aos meus pais, Flourisval Menezes Neto e Lucier Lúcia de Lima Menezes, por todos os esforços dedicados a mim e por sempre acreditarem que eu podia ser um vencedor. Agradeço todos os conselhos e ensinamentos dados a mim, pois foram fundamentais na minha vida.

Agradeço ao professor Ramsés Otto Cunha de Lima por todo acompanhamento, orientação e tempo dedicado a este trabalho.

Agradeço ao professor Daniel Freitas Freire Martins e a todos do laboratório de Química da UFERSA, câmpus Caraúbas, pela ajuda e apoio.

Agradeço ao professor Wendell Albano por toda ajuda e incentivo durante o andamento do trabalho.

Agradeço a todos os professores da UFERSA que contribuíram para o desenvolvimento do meu conhecimento.

Agradeço a todos os meus amigos que sempre me ajudaram e me incentivaram a correr atrás dos meus sonhos.

Agradeço a todos os colegas de curso que compartilharam junto a mim muitos momentos difíceis e felizes durante todo o curso.

“A verdadeira motivação vem de realização, desenvolvimento pessoal, satisfação no trabalho e reconhecimento.” (Frederick Herzberg).

RESUMO

O processo de usinagem promove a retirada de material (Cavaco) da peça conferindo-a forma, dimensões e acabamentos, ou a combinação destas, por meio de ferramentas de corte. Durante esta operação o atrito inerente entre a ferramenta e a peça, gera calor, podendo haver desgastes ou perda das propriedades na ferramenta de corte, ou promover distorções tanto na peça quanto na ferramenta. Com o intuito de refrigerar e lubrificar as operações de usinagem são utilizados os fluidos de corte. Porém quando utilizados de maneira incorreta pode causar problemas de saúde aos operadores e seu descarte indevido pode gerar severos danos ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade da reutilização de dois tipos de fluidos de corte, utilizados em processo de torneamento, visando à redução nos impactos ambientais e a redução de custos. Para isso, os fluidos de corte utilizados foram coletados por um aparato acoplado ao torno, filtrados e submetidos a análises físico-químicas e os resultados foram comparados aos fluidos novos. Foram realizadas também análises da qualidade superficial (Rugosidade) das peças usinadas com os fluidos de corte novos e reaproveitados. Ainda com base nos valores de rugosidade das peças usinadas com os dois tipos de fluidos de corte, é conveniente realizar um estudo de qual fluido se mostrou mais eficiente, com melhores propriedades e melhores condições de usinagem. Constatou-se que os fluidos reaproveitados obtiveram bom desempenho podendo ser reutilizados sem gerar prejuízos ao processo, porém levando em consideração algumas condições, como o tempo de reutilização.

Palavras-chave: Fluido de corte, meio ambiente, reaproveitamento, análises químicas e de rugosidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem de um torno mecânico horizontal e seus componentes.....	19
Figura 2: Imagem do movimento relativo da peça e ferramenta.	20
Figura 3: Imagem ilustrativa da geometria da ferramenta de corte.....	22
Figura 4: Imagem da geração de calor e distribuição de temperatura ao conjunto peça; ferramenta; cavaco.....	23
Figura 5: Imagem da relação entre as funções e os benefícios da utilização dos fluidos de corte.	26
Figura 6: Imagem da relação da Rugosidade Ra com a posição do bocal de alimentação do fluido de corte.....	34
Figura 7: Imagem da rugosidade média Ra	43
Figura 8: Foto do tarugo de aço SAE 1020 utilizado para o experimento	45
Figura 9: Foto do recipiente (a) e rótulo (b) do óleo UNIMAX SAE 10W	46
Figura 10: Foto do recipiente do óleo solúvel em água LUBRAX UTILE PE.....	48
Figura 11: Foto do recipiente plástico utilizado para coletar o fluido usado	49
Figura 12: Foto do filtro	50
Figura 13: Foto do coletor acoplado ao torno	51
Figura 14: Imagem do rugosímetro SJ-210 Mitutoyo	53
Figura 15: Foto do recipiente em que há a deposição das partículas de metal no fundo consequência da decantação.	56
Figura 16: Foto do filtro em processo de filtração do óleo LUBRAX UTILE PE	57
Figura 17: Foto do algodão após a filtração do óleo integral.....	57
Figura 18: Foto do algodão após a filtração da emulsão.....	58
Figura 19: Foto do fluido recém-filtrado (a) e do fluido 7 dias após a filtração (b).....	60
Figura 20: Gráfico dos valores de Rugosidade média Ra	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades dos fluidos de corte solúveis e integral.....	27
Tabela 2: Fluido x Qualidade obtida.	32
Tabela 3: Propriedades físicas e químicas do Óleo UNIMAX SAE 10W.	47
Tabela 4: Propriedades Físico- Químicas do óleo LUBRAX UTILE PE	48
Tabela 5: Parâmetros de corte adotados para a experimentação	50
Tabela 6: Resultados das análises de pH.	59
Tabela 7: Resultados das análises de densidade	61
Tabela 8: Resultado da análise de água e sedimentos	62
Tabela 9: Resultados Rugosidade média Ra.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi Árido
CNC	Comando numérico computadorizado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ra	Rugosidade média

LISTA DE SÍMBOLOS

Q	Taxa de remoção de material
V _c	Velocidade de corte
A _p	Profundidade de corte
mm	Milímetros
m	Metro
μm	Micrometro
Min	Minuto
d	Densidade
m	Massa
v	Volume
g	Gramas
cm ³	Centímetros cúbicos
mL	Milímetros
Rot	Rotação
Rev	Revolução
Rpm	Rotação por minuto
%	Porcentagem

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	17
2.1.	OBJETIVO GERAL	17
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	USINAGEM	18
3.1.1	Torneamento	18
3.1.1.1	Parâmetros de corte.....	20
3.1.1.2	Ferramentas de corte para o torneamento.....	21
3.2	FLUIDOS DE CORTE.....	23
3.2.1	Funções básicas dos fluidos de corte	24
3.2.2	Classificação dos fluidos de corte	28
3.2.2.1	Fluidos Solúveis em água	28
3.2.2.2	Fluido de corte puro ou integral.....	30
3.2.3	Seleção do fluido de corte.....	32
3.2.4	Aplicação dos fluidos de corte	33
3.2.5	Principais problemas causados pelos fluidos de corte.....	35
3.3	REAPROVEITAMENTO	37
3.3.1	Decantação	37
3.3.2	Filtros naturais.....	38
3.4	ANÁLISES QUÍMICAS DOS FLUIDOS DE CORTE	38
3.4.1	pH.....	38
3.4.2	Densidade	39
3.4.3	Água e sedimentos	40
3.5	ACABAMENTO SUPERFICIAL	40

3.5.1 Rugosidade Superficial	41
3.5.2 Rugosidade Média (Ra).....	42
3.5.3 Influência dos parâmetros de corte na rugosidade.....	44
4 MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1 CORPO DE PROVA	45
4.2 FERRAMENTA DE CORTE	45
4.3 FLUIDOS DE CORTE UTILIZADOS	46
4.4 COLETA.....	49
4.5 FILTRO	49
4.6 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	50
4.7 ANÁLISES DOS FLUIDOS NOVOS E USADOS	52
4.7.1 Análise de pH	52
4.7.2 Análise de densidade	52
4.7.3 Análise de água e sedimentos.....	53
4.8 ANÁLISES DA RUGOSIDADE MÉDIA	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1 RESULTADOS PARA COLETA E REAPROVEITAMENTO DOS FLUIDOS DE CORTE	55
5.2 RESULTADOS PARA O SISTEMA DE FILTRAÇÃO	55
5.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	58
5.3.1 Resultados das análises de pH.	58
5.3.2 Resultados das análises de densidade	61
5.3.3 Resultados da análise de água e sedimentos.....	61
5.4 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE RUGOSIDADE MÉDIA (RA).....	62
5.5 INFLUÊNCIA DO TIPO DE FLUIDO DE CORTE NA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DAS PEÇAS.	64

6	CONCLUSÃO.....	66
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67
8	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Durante a operação de usinagem, a formação do cavaco gera uma grande quantidade de energia na forma de calor devido ao atrito ferramenta-peça e cavaco-ferramenta. Este calor pode ser responsável por desgastar a ferramenta além do normal, ocasionar um aumento nas dimensões da peça devido à dilatação térmica e promover a degradação superficial da peça. Para diminuir e/ou extrair da ferramenta e da peça esse calor, utilizam-se os fluidos de corte com função de lubrificação e/ou refrigeração (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013).

Os fluidos de corte são partes integrantes dos processos de fabricação de peças e dos processos de usinagem cujas funções são refrigerar, lubrificar, melhorar o acabamento superficial da peça, reduzir o desgaste das ferramentas promovendo uma maior vida útil às mesmas, remover os cavacos da área de corte, entre outras.

É importante ter conhecimento sobre o entendimento dos impactos ambientais gerados por estes fluidos que vão desde problemas à saúde dos operadores ocasionados pelo manuseio incorreto do mesmo ou pelo fato de não utilizar os EPI's adequados, até o descarte prematuro deste produto podendo ser responsável pela poluição dos solos e de recursos hídricos.

O reaproveitamento dos fluidos de corte é importante devido a vários fatores, dentre eles, destacam-se o fator ambiental e o econômico, pois o fluido que seria descartado poderá ser reutilizado, trazendo como consequência a redução de problemas ambientais e menores custos para a empresa.

Com o intuito de analisar se é viável o reaproveitamento dos fluidos de corte utilizados no processo de torneamento e avaliar o desempenho destes fluidos reaproveitados, foram realizadas algumas análises químicas nos fluidos novos e reaproveitados e comparados seus resultados. Mediu-se também a rugosidade superficial das peças torneadas com estes mesmos fluidos. Com isso espera-se obter bons resultados e confirmar que os fluidos usados possam ainda ser reaproveitados. A partir destas análises também é possível avaliar qual a influência do tipo de fluido de corte na qualidade superficial das peças para esse tipo de operação e para estas condições de usinagem.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade do reaproveitamento de dois tipos de fluido de corte utilizado no processo de usinagem por torneamento a fim de reduzir os custos na empresa e preservar o meio ambiente.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Selecionar os fluidos de corte com base nos fluidos utilizados na indústria e em pequenas oficinas de usinagem.

Selecionar um aparato para recolher o fluido usado bem como desenvolver um mecanismo de filtração para filtrar o mesmo.

Submeter os fluidos filtrados as análises de água e sedimentos para comprovar se realmente foram extraídas as impurezas.

Realizar análises de pH e densidade dos fluidos usados, e comparar com os fluidos novos.

Realizar análises da qualidade superficial (Rugosidade) das peças usinadas com os fluidos de corte novos e usados e comparar os resultados a fim de observar o quão significativo foi a variação.

Com base nas análises de rugosidades fazer um estudo de qual tipo de fluido de corte apresenta maior eficiência, melhores valores de rugosidade e melhores propriedades.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 USINAGEM

O processo de usinagem conceitua-se como um processo de fabricação que confere a uma peça dimensões, forma e acabamento através da retirada de material, denominado cavaco. E o cavaco é a porção de material da peça retirada pela ferramenta de corte que tem como característica geometria irregular (FERRARESI, 1977). A formação do cavaco ocorre porque a ferramenta confere a peça uma força de cisalhamento suficiente para rasgar o material, quebrando as ligações e fazendo-o desprender da peça.

As operações de usinagem são muito utilizadas na indústria de metal mecânica principalmente nos processos de fabricação. A usinagem é um ramo da mecânica que vem em crescente desenvolvimento ao longo dos anos, em escalas cada vez maiores de produção, exigindo cada vez mais tecnologias de ponta para aperfeiçoar o processo e diminuir o desperdício de material.

As operações de usinagem mais realizadas atualmente na indústria é o torneamento, fresamento e furação. Este trabalho será voltado ao processo de torneamento.

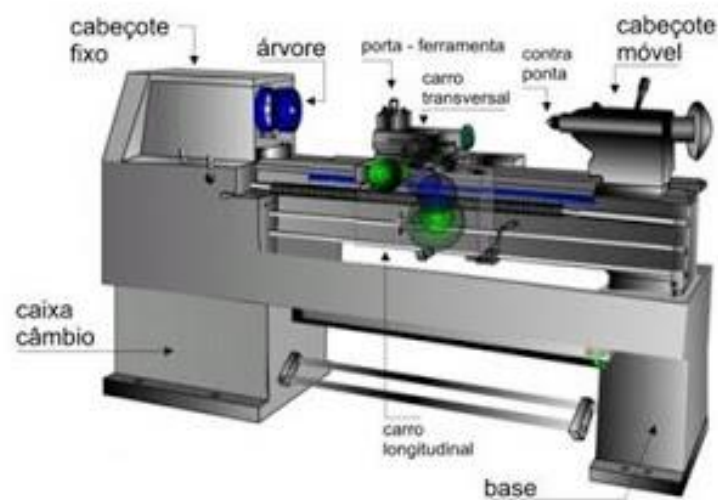
3.1.1 Torneamento

A operação de usinagem por torneamento é geralmente utilizada na fabricação de peças simétricas de revolução. A peça é presa na placa de castanha do torno mecânico e é submetida a um movimento rotação em torno do seu próprio eixo enquanto que a ferramenta de corte é presa firmemente na torre porta ferramenta que apresenta um movimento translativo de avanço (STOETERAU, 2016). O contato entre a ferramenta de corte, aliado ao movimento de avanço e profundidade, e a peça em rotação ocasiona a retirada de material da peça.

Desde as civilizações antigas que o princípio dos tornos mecânicos vem sendo aplicado pelos indivíduos, obviamente com o tempo e a evolução tecnológica o processo de torneamento foi sendo aperfeiçoado possibilitando novas aplicações e melhores rendimentos

(BORGES, 2016). Tendo em vista os diversos tipos de peças que devem ser fabricadas foram desenvolvidos também diversos tipos de tornos mecânicos, porém todos com o mesmo princípio. Dentre eles destaca-se o torno mecânico horizontal, o mais comumente utilizado nas indústrias. Tem esse nome porque a posição da árvore de trabalho é na horizontal (BORGES, 2016), o qual é representado na Figura 1.

Figura 1: Imagem de um torno mecânico horizontal e seus componentes



Fonte: (LEOPOLDO, 2013).

O torno mecânico tem grande funcionalidade para as indústrias de fabricação mecânica pelo fato de permitir o operador variar muitos parâmetros, variar os movimentos, mudar a posição e o formato da ferramenta, definir avanço, profundidade, rotação, entre outras. Isso permite executar uma série de operações distintas, como por exemplo: (BORGES, 2016).

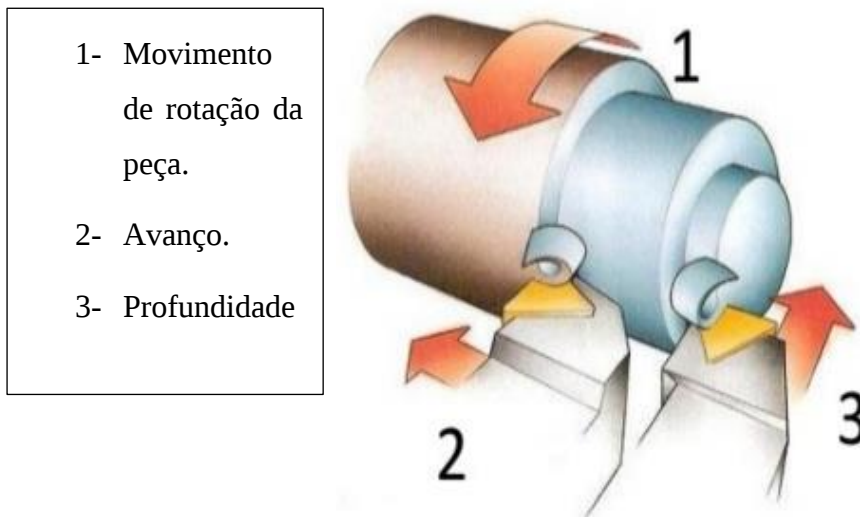
- Tornear superfícies externa e internas;
- Rosquear superfícies externa e internas;
- Faceamento;
- Sangramento;
- Recartilhamento;
- Tornear superfícies cônicas externas e internas;
- Furação;

- Perfilamento;
- Conferir melhor acabamento superficial a peça.

3.1.1.1 Parâmetros de corte

Para o torneamento de uma peça é de suma importância que sejam pré-definidos os parâmetros de corte. Na Figura 2 é mostrado os movimentos relativos da ferramenta e da peça.

Figura 2: Imagem do movimento relativo da peça e ferramenta.



Fonte: (RICARDO, 2014).

1. Movimento de rotação da peça ou movimento de corte:

Movimento entre ferramenta-peça que sem o movimento de avanço gera apenas uma remoção de cavaco durante um curso (BORGES, 2016).

Associado a esse movimento pode-se determinar a velocidade de corte (V_c), ou seja, a taxa na qual a superfície não cortada da peça passa pela aresta de corte da ferramenta, a qual é expressa em m/min (AMORIM, 2002). A Velocidade de corte pode variar dependendo do material e do diâmetro da peça, material da ferramenta de corte e a operação a ser executada.

2. Movimento de translação da ferramenta ou movimento de avanço:

Movimento entre peça-ferramenta que junto com o movimento de corte provoca a retirada contínua de cavaco (BORGES, 2016).

O avanço (f) é a distância percorrida pela ferramenta por revolução da peça (AMORIM, 2002). E é medida em $(\frac{mm}{rot})$.

3. Movimento transversal da ferramenta ou Profundidade.

A profundidade de corte (A_p) é o movimento entre ferramenta-peça no qual a espessura da camada de material a ser retirada é determinada de antemão, ou seja, é a espessura ou profundidade de penetração da ferramenta na peça, isso vai determinar a porção de material a ser retirada (AMORIM, 2002).

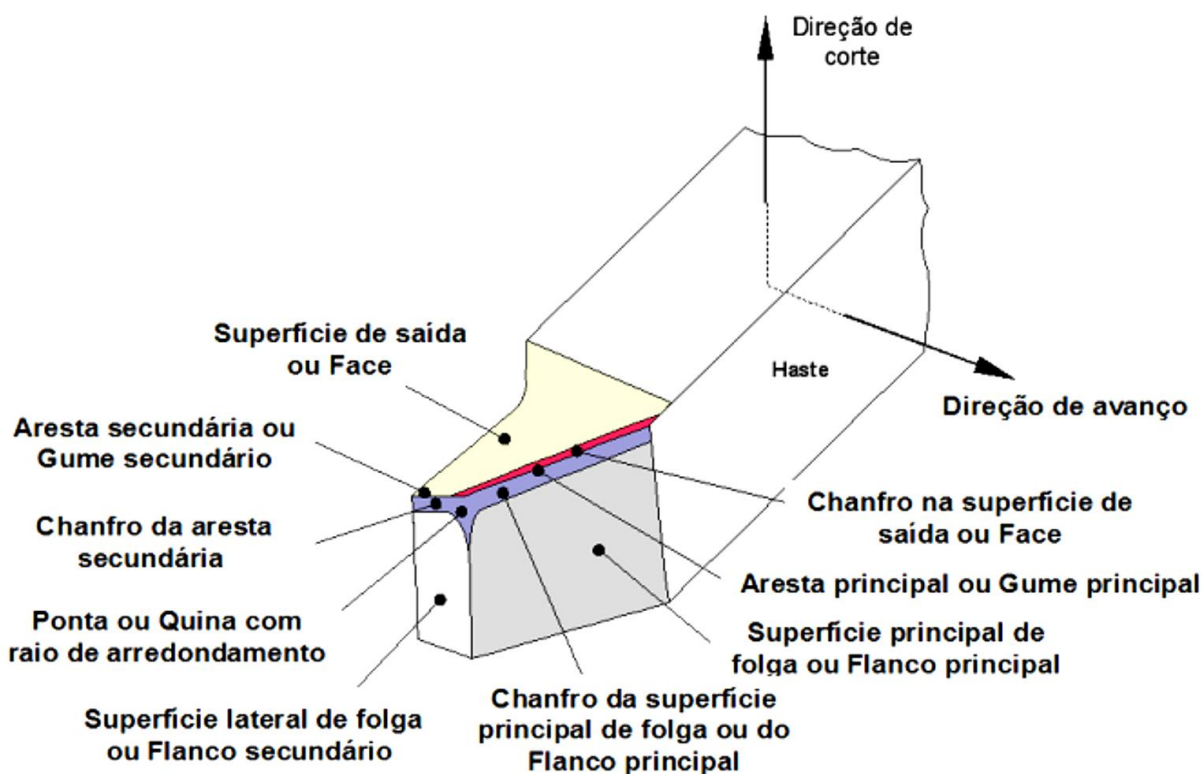
Com esses três parâmetros é possível determinar a taxa de remoção de material (Q) de acordo com a equação (1):

$$Q = V_c \cdot f \cdot A_p \quad \left(\frac{cm^3}{min}\right) \quad (1)$$

3.1.1.2 Ferramentas de corte para o torneamento

A ferramenta de corte é a responsável por fazer o corte na peça, e isso só é possível porque sua dureza é superior à dureza da peça. Estas ferramentas tem o corpo dividido basicamente em duas partes, uma parte cortante e uma parte para fixação (STOETERAU, 2016). As ferramentas de corte tem uma geometria bem específica, como mostrado na Figura 3, a fim de favorecer o corte do material e dar uma orientação ao cavaco desprendido.

Figura 3: Imagem ilustrativa da geometria da ferramenta de corte



Fonte: (KRATOCHVIL, 2018).

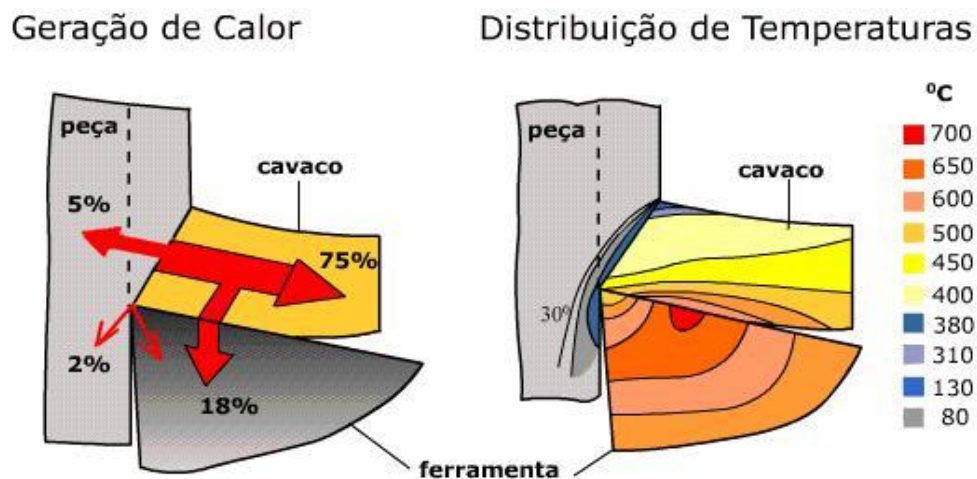
Ao longo dos anos estas ferramentas vêm sofrendo alterações em sua composição, aperfeiçoando as ferramentas já existentes e buscando novos materiais cada vez mais resistentes e eficientes, que suporte altas temperaturas, maior grau de dureza, maior durabilidade, menor desgaste, menor custo e que permita trabalhar com maiores velocidades de corte.

Alguns tipos de ferramentas encontrada no mercado são as ferramentas de aço rápido, aços especiais, metal duro, cerâmica e diamante, dentre outras. Cada qual apresenta características específicas assim como vantagens e desvantagens uma em relação às outras. A grande desvantagem das ferramentas de corte com elevada dureza, como as cerâmicas e as de diamante, é que não suportam grandes impactos e são altamente quebradiças.

3.2 FLUIDOS DE CORTE

Durante os processos de usinagem há uma grande liberação de energia na forma de calor afetando diretamente a peça e a ferramenta, essa energia ocorre devido ao atrito entre ferramenta-peça, deformação plástica e ao cisalhamento de material (MELO; BÄTZNER; SALAT, 2010). O calor gerado é influenciado diretamente por alguns fatores como velocidade de corte, velocidade de avanço e profundidade de usinagem. Este aumento de temperatura, quando acontece de modo excessivo, pode comprometer o tempo de vida útil da ferramenta bem como acarretar em um aumento das dimensões da peça. Segundo YUHARA (2001) *apud* MELO, BÄTZNER, SALAT (2010) a maior parte da energia utilizada para o cisalhamento do material é convertida em calor, sendo que, desta, cerca de 75% é removida pelo cavaco e os 25% restantes são distribuídos entre a peça (5%), a ferramenta(18%) e o meio (2%) como mostrado na Figura 4.

Figura 4: Imagem da geração de calor e distribuição de temperatura ao conjunto peça; ferramenta; cavaco.



Fonte: (CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, 2018).

Os fluidos de corte nesse contexto desempenham um papel muito importante para a indústria de metal mecânica, pois tem a habilidade de lubrificar e diminuir o atrito entre

ferramenta-peça, refrigerar o processo, promover o controle do cavaco, permitir uma maior velocidade de corte, reduzir o desgaste e garantir uma maior vida útil à ferramenta.

Porém até que os fluidos de corte adquirissem estas características com alto desempenho, o mesmo passou por várias etapas de evolução. A primeira aplicação de fluido de corte conhecida foi feita por Taylor em 1984, em que se aplicou uma determinada quantidade de água na área de corte percebeu que a velocidade de corte poderia ser aumentada entre 30 e 40% sem a redução da vida útil da ferramenta (AVILA; ABRÃO, 2001). Posteriormente foi utilizada água + sabão para minimizar a ação de oxidação da peça/ferramenta durante o processo.

Os fluidos de corte têm composições complexas com agentes químicos que variam de acordo com o tipo de operação executada e os metais a serem usinados.

A função do fluido de corte para Ferraresi (1977) é introduzir aos processos de usinagem melhorias tanto de aspecto funcional, conferindo a estes um melhor desempenho, como de caráter econômico, reduzindo custos operacionais, principalmente com afiação e troca de ferramentas.

Para Novaski & Rios (2002) *apud* Catai (2017) as principais funções dos fluidos na usinagem são realizar a lubrificação da região de corte, reduzindo o atrito entre a peça e o rebolo, diminuir o desgaste e o consumo de energia e proporcionar um melhor acabamento na peça final. Quanto à refrigeração, ela tem a função de eliminar o calor sem permitir que ocorram alterações dimensionais nas peças, promover a expulsão dos cavacos metálicos gerados na usinagem e, por fim, proteger máquinas e ferramentas contra a corrosão atmosférica.

3.2.1 Funções básicas dos fluidos de corte

Refrigeração

A principal função do fluido de corte é evidentemente a refrigeração, pois a energia liberada na forma de calor traz grandes prejuízos para os vários tipos de processos de usinagem. Quando a ferramenta de corte atinge certa temperatura afeta diretamente algumas de suas propriedades diminuindo consequentemente a eficiência de corte podendo quebra-la ou deixar a superfície da peça danificada. Outro problema é para a peça que devido suas

propriedades pode dilatar e mascarar as dimensões reais da mesma (MELO; BATZNER; SALATI, 2010). Com isso sua utilização se torna muito importante, pois garante maior vida útil à ferramenta e melhor acabamento superficial da peça.

Lubrificação

Tem essa característica devida sua capacidade de reduzir o atrito entre a ferramenta-peça e entre o cavaco e a ferramenta. O fluido penetra entre a ferramenta e a peça formando uma fina película, reduzindo o atrito entre elas, aumentando o ângulo de cisalhamento e, conseqüentemente, resultando em um cavaco de menor espessura.

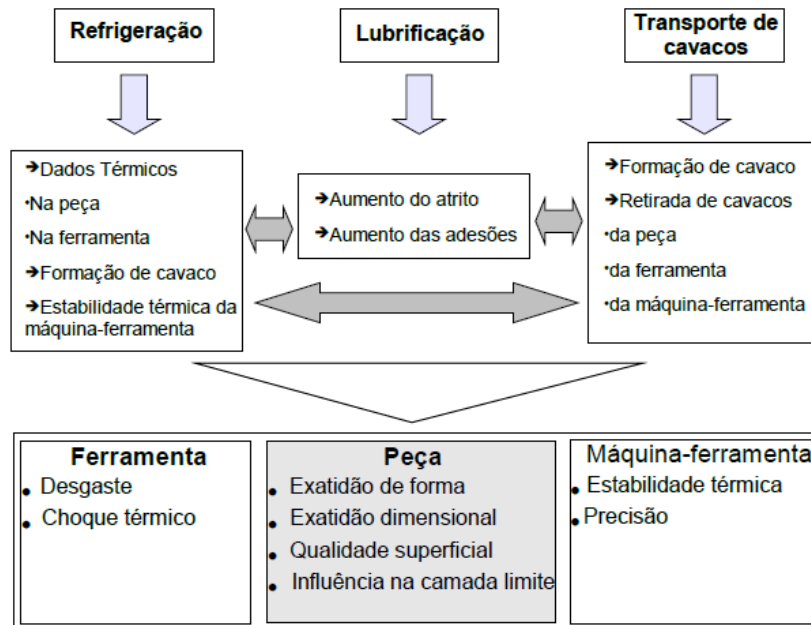
Para Muniz (2008) a escolha entre o mecanismo de refrigeração e lubrificação depende da operação aplicada. Em operações com velocidades baixas e pequenos avanços, necessita-se de um maior grau de lubrificação, enquanto que em operações em altas velocidades e avanço de corte alto, os mecanismos de refrigeração são melhores aplicados.

Remoção do cavaco da zona de corte

O transporte de cavacos como função do fluido de corte é especialmente útil em furação. O cavaco deve ser retirado da área de corte da usinagem para não comprometer o acabamento da peça, danificar a ferramenta ou mesmo impedir a usinagem. A remoção do cavaco pode ocorrer por alta pressão do jato de fluido na área de corte (MELO; BATZNER; SALATI, 2010).

A Figura 5 vai relacionar essas três funções básicas dos fluidos de corte e os benefícios gerados através da utilização dos mesmos.

Figura 5: Imagem da relação entre as funções e os benefícios da utilização dos fluidos de corte.



Fonte: (STOETERAU, 2016).

Podem-se citar também algumas funções secundárias dos fluidos de corte:

- Melhor acabamento da superfície usinada;
- Proteção contra a corrosão;
- Redução do consumo de energia;

Assim como funções os fluidos de corte também apresentam propriedades, algumas naturais, outras são adicionadas, em forma de aditivos, a fim de aumentar o desempenho e a eficiência do fluido. Vale ressaltar que estas propriedades variam de um fluido para outro e são específicos para determinadas operações e aplicações.

Algumas propriedades dos fluidos de corte:

- Condutividade térmica;
- Calor específico;
- Propriedades anticorrosivas;
- Baixa inflamabilidade;
- Propriedades antiespumantes: para não dificultar a visibilidade do operador;

- Baixa viscosidade;
- Odores: Muito importante que esses fluidos não tenham odores fortes que prejudiquem o operador;
- Estabilidade;
- Facilidade de preparação e manutenção;
- Resistente à ação de fungos e bactérias;
- Decantação do cavaco;

Na Tabela 1 observa-se algumas das propriedades citadas acima para os fluidos integrais e os fluidos solúveis em água. É possível observar através desta tabela que os fluidos possuem características diferentes, isso se dar devido à afinidade que cada um vai ter para cada propriedade mostrada.

Tabela 1: Propriedades dos fluidos de corte solúveis e integral

Propriedade do Fluido de Corte	Fluido Integral	Fluido solúvel
Calor específico	Baixo	Alto
Condutividade térmica	Fraca	Boa
Poder lubrificante	Bom	Fracos
Propriedade anticorrosiva	Boas	Fracas
Decantação do cavaco	Fraca	Boa
Bombeabilidade	Variável	Fácil
Perda por arraste	Altas	Baixas
Aceitação pelo operador	Menor	Maior

Fonte: (RUNGE e DUARTE, 1990).

Observa-se, por exemplo, que os fluidos integrais possuem boa lubrificação e boas propriedades anticorrosivas, já os solúveis tem relação fraca. Em contra partida os solúveis se destacam em relação aos integrais na condutividade térmica, calor específico e decantação do cavaco.

3.2.2 Classificação dos fluidos de corte

Na indústria, a classificação dos óleos é de suma importância e essencial para que haja uma boa aplicabilidade dos mesmos e alcançar os melhores resultados, a partir daí, houve a necessidade de classificar e padronizar os tipos de óleos existentes no mercado com base na viscosidade, pH, custos, e demais características físico/químicas, a fim de facilitar a compra e tornar-se economicamente mais viável à sua escolha.

Cada fluido de corte possui características particulares, vantagens e limitações distintas. Por meio da distinção destas características é possível fazer uma classificação dos diversos tipos de fluidos de corte.

Não existe hoje no mercado um único tipo de fluido que atenda todas as necessidades operacionais. O que existe são fluidos mais versáteis que podem ser aplicados em diferentes tipos de operações (CATAI, 2004 *apud* LIMA, 2013). Por outro lado torna-se também bastante difícil selecionar um fluido para uma operação em particular, devido a vários fatores que devem ser levados em considerações como a velocidade de corte, o material usinado, entre outros.

Segundo Motta & Machado (1995) *apud* Catai (2017), é importante observar que os fluidos de corte só proporcionarão um máximo desempenho, reduzirão custos e aumentarão a produção se ocorrer a escolha correta do tipo de fluido, sendo que ele necessariamente precisará atender às condições específicas de usinagem que lhe serão impostas.

Não existe apenas uma classificação para os fluidos de corte. Alguns autores como Soares (2016) classificam os fluidos de corte em sólidos, líquidos e gasosos. Já El Baradie (1996) traz a seguinte classificação:

- Fluidos solúveis em água.
- Óleo de corte puro ou integral.
- Gases.

3.2.2.1 Fluidos Solúveis em água

Estes fluidos são misturados com água em diferentes proporções formando emulsões ou soluções dependendo da concentração de óleo e da presença e quantidade de

emulsificadores, substâncias que reduzem a tensão superficial da água facilitando a dispersão do óleo na água, formando uma emulsão estável (MELO; BATZNER; SALATI, 2010).

Nos processos de usinagem esse tipo de fluido é bastante utilizado em processos a altas velocidades, pois possui maior capacidade de refrigeração e um moderado poder de lubrificação.

El Baradie (1996) também classificou os fluidos solúveis em água em três subcategorias, são elas:

- Óleos emulsificantes.
- Fluidos sintéticos.
- Fluidos semissintéticos.

Óleos Emulsificantes

Os óleos emulsificantes são formados pela combinação óleo e água, porém essas duas substâncias não se misturam, trata-se de água com partículas de óleo em seu interior. Isso só é possível devido à adição de emulsificadores que tem como função quebrar as partículas de óleo e mantê-las dispersas na água por longos períodos (LIMA, 2013).

Devido a essa combinação água/óleo os óleos emulsificantes são mais eficientes em praticamente todas as operações de usinagem, pois é aplicáveis a altas velocidades, baixas pressões de corte e elevada geração de calor, isto se deve a combinação das propriedades de lubrificação e com a propriedade refrigerante da água (LIMA, 2013). Para Alves e Oliveira a concentração da emulsão precisa ser observada, pois tal calor excessivo pode provocar a evaporação da água, tornando a emulsão mais diluída.

Caracteriza-se como vantagem a melhor extração de calor da interface peça/ferramenta. Já as desvantagens residem em apresentar menor poder de lubrificação (LIMA, 2013). Além de problemas a estabilidade biológica devido aos emulsificadores que ao passar do tempo servem de alimento para bactérias degradando gradativamente o fluido (MELO; BATZNER; SALATI, 2010). Segundo Ferraresi (1977) a vida das emulsões pode variar de uma semana a seis meses. Mas cuidados ao se refrigerar as emulsões podem melhorar a vida desses fluidos.

Fluidos sintéticos

Segundo El Baradie (1996a) estes fluidos são compostos por materiais inorgânicos e outros aditivos dissolvidos em água sem a presença de óleo mineral. São compostos monofásicos de óleos dissolvidos totalmente em água. Não há a necessidade da atuação de elementos emulsificadores, pois os compostos reagem quimicamente formando fases únicas (Diniz *et. al.*, 2003).

Em geral, estas substâncias permitem rápida dissipação de calor, bom controle dimensional, excelente poder detergente e boa visibilidade da região de corte, facilidade no preparo da solução e elevada resistência à oxidação do fluido e à corrosão. Os fluidos sintéticos apresentam elevada estabilidade microbiológica, não necessitando ser periodicamente descartado devido ao ataque de bactérias (GONÇALVES; YAGINUMA; YAMAMOTO, 2010).

Pode-se citar com desvantagens da utilização desta categoria de fluidos o baixo poder lubrificante (MELO; BATZNER; SALATI, 2010).

Fluidos semissintéticos

Os fluidos de corte semissintéticos constitui segundo Fernandes (2007) uma categoria que visa boa capacidade de lubrificação com menor quantidade de óleo, para isto combina as características dos fluidos sintéticos e dos emulsionáveis. São compostos majoritariamente por compostos sintéticos, complementados por óleos emulsionáveis numa proporção que varia entre 5 e 30% do total do fluido.

Os fluidos semissintéticos combinam algumas das melhores qualidades dos fluidos sintéticos com os óleos emulsionáveis, porém tem melhor capacidade lubrificante, além de maior proteção a corrosão e ao ataque as bactérias (FERNANDES, 2007).

3.2.2.2 Fluido de corte puro ou integral

São chamados de óleos integrais, pois não possuem água na sua composição. Como regra geral, todos os óleos integrais apresentam baixa capacidade de refrigeração e alta capacidade de lubrificação se comparados com os fluidos miscíveis em água, além de apresentar bom controle anti-ferrugem e uma longa vida útil (MELO; BATZNER; SALATI, 2010).

Apesar de sua excelente propriedade lubrificante o óleo integral possui pouca eficiência para dissipar o calor na zona de corte e são inflamáveis trazendo potenciais riscos de incêndio e geração de névoas prejudiciais à saúde do operador (LI *et al*, 2000 apud LIMA, 2013).

Podem ser classificados em: óleos minerais, óleos graxos, óleos mistos e óleos com aditivos.

Óleos minerais: Tem como vantagens, boa proteção contra a corrosão e alto poder lubrificante, porém em situações de extrema pressão sua capacidade de lubrificação é limitada (MELO; BATZNER; SALATI, 2010). Devido sua característica lubrificante, durante a usinagem o coeficiente de atrito entre ferramenta-peça é reduzido aumentando assim a vida útil da peça e da ferramenta, contribuindo para um melhor acabamento da superfície da peça usinada.

Óleos graxos: óleos formados de longas cadeias de carbono com extremos polarizados que aderem fortemente nas superfícies. São bons lubrificantes até em condições de extrema pressão. Com o tempo, se decompõem, apresentando um odor desagradável. São usados tanto óleos de origem animal quanto vegetal, tais como óleo de baleia, banha, óleo de soja, etc. (MELO; BÄTZNER; SALAT, 2010).

Óleo misto: É a mistura de óleos graxos com óleos minerais. São utilizados em processos a velocidades lentas e com baixas temperaturas onde se exige um melhor acabamento superficial. Tem essas características porque quando utilizado em temperaturas acima de 150°C seu poder lubrificante é perdido. Uma desvantagem é devido a sua pouca resistência ao envelhecimento, degradando-se rapidamente gerando odores desagradáveis. Geralmente são utilizados para usinagem de materiais específicos com o alumínio, latão, entre outros (MELO; BATZNER; SALATI, 2010).

Óleos com aditivos: Servem para melhorar as propriedades de um óleo. Geralmente são utilizados para processos específicos, como a usinagem com elevada força de corte e situações de extrema pressão (MELO; BATZNER; SALATI, 2010).

Na tabela 2 será apresentado uma comparação entre algumas propriedades dos fluido de corte solúvel e integral, onde avaliou-se parâmetros de qualidade.

Tabela 2: Fluido x Qualidade obtida.

1 = Ruim; 2 = Bom; 3 = Ótimo; 4 = Excelente;

	Sintético	Semissintético	Óleo solúvel	Óleo mineral
Calor removido	4	3	2	1
Lubrificação	1	2	3	4
Manutenção	3	2	1	4
Filtrabilidade	4	3	2	1
Danos ambientais	4	3	2	1
Custos	4	3	2	1

Fonte: (WEBSTER,1995 *apud* MELO, BATZNER e SALAT, 2010).

3.2.3 Seleção do fluido de corte

Ao selecionar o fluido de corte adequado para determinada operação de usinagem é necessário ter claro o objetivo que se deseja alcançar com a utilização do fluido de corte e levar em conta alguns fatores comentados a seguir (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013):

Condições de usinagem: Como por exemplo, determinar as velocidades de corte e de avanço dependendo do tipo de operação a ser executada, neste caso para operação de desbaste.

Material da peça: O material da peça vai influenciar significativamente na escolha do fluido. Portanto, na hora de escolha deve ser levado em consideração a composição da peça, as propriedades mecânicas, grau de dureza, etc. A partir daí surge o conceito de usinabilidade, facilidade que o material tem para ser usinado (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013).

Material da ferramenta: Também é muito importante a escolha da ferramenta adequada para obter sucesso ao final do processo. São encontradas no mercado ferramentas de

vários tipos como as de aço rápido, cerâmica, metal duro, diamante, entre outras. Estas se diferem pelas suas propriedades como: Dureza; Tenacidade; Resistência a abrasão; Estabilidade química; Preço e disponibilidade no mercado (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013).

Operação de usinagem: Cada operação de corte tem objetivos e parâmetros de usinagem diferentes entre si. Sendo assim, cada processo tem o fluido de corte que mais se adequa a ele, levando-se em conta a finalidade da operação e o material da peça a ser usinada (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013).

3.2.4 Aplicação dos fluidos de corte

De um modo geral para que os resultados da utilização dos fluidos de corte tenham efeitos satisfatórios, este deve ser aplicado exatamente na zona de corte, nas interfaces, peça/ferramenta/cavaco.

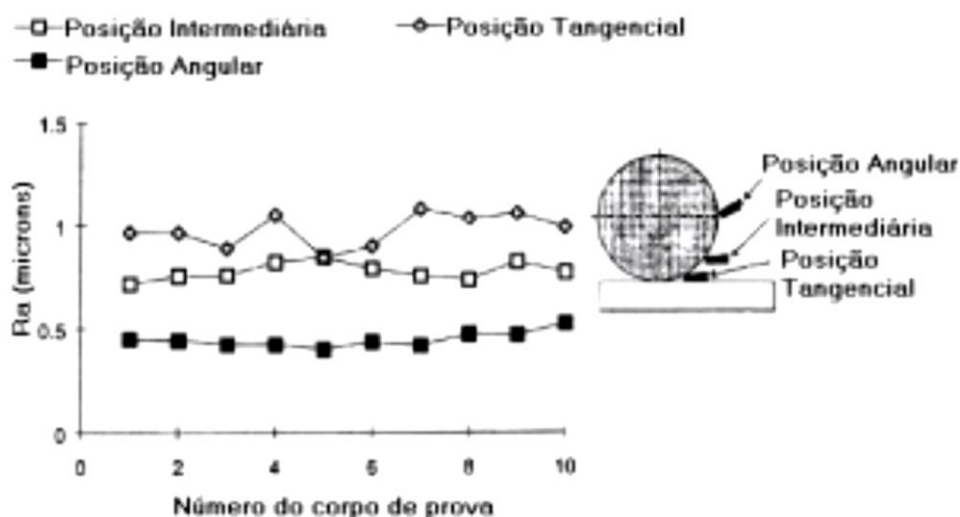
A aplicação correta dos fluidos na região de corte, em plena interface peça-rebolo, num processo de usinagem, é algo difícil de ser realizado. Vários estudos foram realizados sobre quais seriam os parâmetros, ferramentas e processos ideais a fim de que, na zona de corte, ocorresse sempre a melhor lubrificação e refrigeração possível da peça, evitando maiores danos térmicos e dimensionais a ela (CATAI, 2017).

De acordo com Ebbrell *et al.* (1999) *apud* Catai (2017), a aplicação correta dos fluidos na região de corte é de grande importância, pois possibilita o aumento da capacidade de sua lubrificação e refrigeração e promove a remoção de cavaco mais facilmente. A aplicação correta promove menores dispersões dos fluidos na região de corte, mas para isso é necessário levar em conta o tipo e o posicionamento do bocal, o que tem grande influência no processo de corte.

Ebbrell *et al.* (1999) realizou um estudo sobre o efeito do posicionamento do bocal em relação à peça e à ferramenta levando-se em conta a rugosidade média aritmética (R_a) da peça retificada. Comparativamente, para a posição angular de aplicação de fluido, obteve-se uma menor rugosidade na peça, devido, principalmente, à maior lubrificação/refrigeração efetiva dos grãos abrasivos da ferramenta. Isso acarreta menores danos e solicitações térmicas e maior rugosidade superficial da peça para a posição de aplicação tangencial, em que o efeito

conjugado lubrificação/refrigeração foi de menor eficiência. Os valores de rugosidade em relação a posição do bocal de alimentação do fluido de corte estão apresentados na Figura 6.

Figura 6: Imagem da relação da Rugosidade Ra com a posição do bocal de alimentação do fluido de corte.



Fonte: (CATAI, 2017).

Existem basicamente três maneiras de aplicação do fluido no processo de usinagem, são elas (MELO; BATZNER; SALATI, 2010):

Aplicação manual: O próprio operador faz a aplicação do fluido no local de atrito entre ferramenta-peça. A grande desvantagem é a limitação do operador em alguns tipos de operação (MELO; BATZNER; SALATI, 2010). Para Soares (2016) o jorro de fluido de corte é uma ação por gravidade e de baixa pressão. E consiste na aplicação do fluido na região de corte. Geralmente é utilizada em laboratórios de usinagem, em oficinas de torneamento ou em produção de pequenas quantidades de peças onde não se exige um controle tão rígido de aplicação abundante de fluido durante a usinagem.

Aplicação por jato: A aplicação é feita por mangueira ou tubos, geralmente acoplados na própria máquina. O operador só tem o trabalho de direcionar o jato para o local de atrito entre a ferramenta-peça e regular o fluxo de fluido que sai (MELO; BATZNER; SALATI, 2010). Para Soares (2016) é uma forma de aplicação bem interessante, pois o fluido ganha uma elevada pressão o que favorece o controle do cavaco, atuando com quebra cavaco,

aumento da vida útil da ferramenta, temperaturas de corte mais baixas e melhor integridade superficial da peça. É mais utilizada quando exige-se um controle maior em relação ao cavaco e a usinagem requer fluido abundante na zona de corte.

Aplicação por pulverização: Nessa forma de aplicação, o fluido é atomizado, geralmente com ar comprimido, e é direcionado à interface de corte por meio de esguichos. O aspecto mais importante por trás da atomização é a redução de resíduos (MELO; BATZNER; SALATI, 2010). Para Soares (2016) a mistura (fluido + ar pressurizado) é realizada no bico e a lubrificação é conferida pelo fluido lubrificante, enquanto uma ação refrigerante mínima é obtida pelo ar pressurizado que atinge a superfície da peça. Aplicando esse método, a névoa e os vapores perigosos são minimizados e torna-se mais fácil controlar o ajuste da mistura. Neste caso há uma redução no consumo de fluido e pode ser utilizada em diversos processos de fabricação onde o uso abundante de fluido é dispensável.

Ao definir a forma de aplicação deve-se considerar, além do tipo do fluido de corte empregado e as direções do jato, o tipo de operação de usinagem, a pressão e o volume do fluido (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013).

3.2.5 Principais problemas causados pelos fluidos de corte

Embora os fluidos de corte sejam bastante eficientes para os processos de usinagem e muito importante para a indústria de um modo geral, estes podem trazer vários prejuízos e resultados negativos, como por exemplo, ao processo, quando utilizados de maneira inadequada, a saúde do operador ao realizar o manuseio de forma incorreta e ao meio ambiente quando descartado de forma prematura.

Prejuízos ao operador

Aquele operador que não faz uso dos EPI's e faz o manuseio do fluido de maneira incorreta terá sua saúde prejudicada. O contato do fluido com o operador pode ser direto, por meio de vapores, névoas ou subprodutos formados durante a usinagem. Podemos facilmente citar algumas doenças relacionadas a esse tipo de prejuízo, são elas: doenças de pele como irritações e dermatites; Câncer de pele; Doenças pulmonares pela inalação dos vapores como asma, pneumonia, redução da capacidade respiratória; Entre outras (MELO; BATZNER; SALATI, 2010).

Além disso, os fluidos de corte sofrem mecanismos de degradação por meio da contaminação por bactérias. O fluido começa a degradar-se liberando um mal cheiro que é intensificando quando mantido em repouso, além de causar alergias e infecções as pessoas que tiverem contato. Vale ressaltar que durante essa fase de degradação o fluido perderá algumas de suas propriedades diminuindo seu desempenho durante o processo de usinagem.

Aspectos ambientais

Nas últimas décadas, os órgãos ambientais e as autoridades públicas têm se preocupado em viabilizar a harmonia entre as atividades industriais e o meio ambiente, dentre eles pode-se citar o destino dos resíduos industriais gerados. Por outro lado, à competitividade, globalização da economia e legislação ambiental mais rígida tem pressionado as indústrias a ajustar seus processos buscando atender os três aspectos mais importantes para a sua sobrevivência: tecnológico, econômico e ambiental. No Brasil, não existe uma legislação específica para fluidos de corte, mas através de uma revisão dos mais recentes textos da Legislação Ambiental Brasileira pode-se identificar algumas determinações sobre óleos lubrificantes, CONAMA 09/93 e o Decreto Lei 50.877/61 (ALVES; OLIVEIRA, 2005).

Trazendo para o contexto da usinagem e especificamente para o descarte dos fluidos de corte, facilmente são encontradas empresas que ainda fazem descaso disso o dão como destino final ao fluido joga-lo ao meio ambiente sem nenhuma preocupação ambiental.

Pode-se citar como danos causados ao meio ambiente os efeitos nocivos à atmosfera como a geração de vapores, a degradação do solo, contaminação de recursos hídricos, além da proliferação de bactérias contaminando o ambiente de trabalho. Vale ressaltar também que esse desperdício gera um custo que consequentemente será um prejuízo para a empresa.

Para Alves e Oliveira (2005) as considerações dos aspectos ambientais dos fluidos de corte são focadas, principalmente, em danos à saúde e aos recursos hídricos. Muitos produtos químicos usados na composição dos fluidos de corte, como biocidas, anticorrosivos, umectantes, antiespumantes e outros aditivos podem ter efeitos nocivos sobre o homem e a natureza.

Portanto, tendo em vista diminuir o desperdício dos fluidos de corte e garantir uma maior preservação ambiental, a proposta é fazer o reaproveitamento deste fluido através de mecanismos simples de captação e filtração do mesmo, além de uma análise minuciosa das propriedades dos fluidos utilizados e da rugosidade da peça usinada promovendo um ganho econômico e ambiental.

3.3 REAPROVEITAMENTO

Em muitos tornos mecânicos o fluido de corte utilizado é canalizado e fica armazenado no próprio torno até que seja reutilizado. Este processo acontece inúmeras vezes sem um acompanhamento adequado do fluido e por um longo período de tempo até que seja descartado.

Para Souza (2011) a relação custo-benefício relacionada à aquisição, armazenamento, preparo, controle em serviço e o descarte do fluido de corte geram despesas de cerca de 16% do custo de produção por peça. Portanto com o reaproveitamento do fluido de corte, evitaria o descarte prematuro e menores custos da produção por peça.

Pensando no reaproveitamento do fluido de corte dois fatores muito importantes devem ser definidos para que o reaproveitamento seja efetivado, são eles: um sistema para coletar o fluido que está sendo utilizado e um filtro que permita separar os resíduos metálicos de cavaco contidos nos fluidos.

Para o sistema de coleta deve ser selecionado um aparato que resista a temperatura do cavaco desprendido da peça. Além disso, deve atender a dimensões específicas do torno, que apresenta limitações de espaço.

MELO; BATZNER; SALATI (2010) propõe alguns sistemas de separação de sedimentos, como a decantação, separadores magnéticos, separadores de ciclone, centrífugas e filtros naturais. Dentre estes, os mais simples e que não necessitam de máquinas específicas para realizar a separação dos sedimentos, se destacam a decantação e os filtros naturais.

3.3.1 Decantação

O processo de decantação ocorre por um processo separação devido a ação gravitacional, o fluido é mantido estocado em um tanque, por exemplo, por um determinado tempo até que as impurezas se depositem no fundo do tanque, dependendo das condições pode ser equipado com esteiras de raspadores que permitem arrastar estas partículas depositadas (MELO; BATZNER; SALATI, 2010)

3.3.2 Filtros naturais

Podem ser permanentes ou descartáveis, são filtros simples que utilizam de materiais facilmente encontrados na natureza ou de fácil comercialização. Tem um princípio bem simples que devido à força gravitacional o fluido escoar por algumas camadas de materiais como pedras, areia fina, carvão em pó, algodão, com a função de reter as impurezas contidas no mesmo (MELO; BATZNER; SALATI, 2010).

As duas técnicas citadas acima quando em conjunto podem gerar ótimos resultados, pois a decantação tem o poder de separar partículas maiores e o filtro faz uma filtragem mais minuciosa e eficiente das partículas menores.

3.4 ANÁLISES QUÍMICAS DOS FLUIDOS DE CORTE

Para LISBOA; MORAES; HIRASHITA (2013) os mesmos cuidados que se tem com máquinas, por exemplo, deve-se ter com os fluidos de corte, a fim de evitar a degradação prematura dos mesmos. Para MELO, BATZNER e SALATI (2010) o monitoramento da qualidade do controle e da manutenção dos fluidos deve ser realizado para antecipar problemas. Aspectos importantes do controle de fluidos incluem inspeções de sistemas e medições periódicas dos parâmetros dos fluidos tais como a concentração, o crescimento microbológico e o pH. A estes itens é importante inserir o controle da qualidade da água que pode influenciar na estabilidade das emulsões. (RUNGE; DUARTE, 1990).

3.4.1 pH

O pH significa potencial hidrogeniônico, uma escala logarítmica que mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução. A escala compreende valores de 0 a 14, sendo de 0 a 7 considerada a faixa ácida onde próximo a zero compreende a acidez máxima e próximo a 7 o valor neutro, de 7 a 14 a faixa alcalina, onde próximo a 14 representa a alcalinidade máxima.

Segundo Melo; Batzner; Salati (2010) a contaminação dos fluidos de corte por bactérias anaeróbias e aeróbias resultam em redução do pH do fluido, mau cheiro característico, corrosão nos materiais e equipamentos envolvidos e irritação na pele e mucosas do operador. Para impedir a proliferação bacteriana, o pH adequado das emulsões deve estar entre 9 e 10,5.

Para El Baradie (1996b) *apud* Lima (2013) a pele humana tem um valor de pH normalmente entre 5,5 e 5,6. Soluções que tenham valores de pH superiores ou inferiores a esta podem causar irritações na pele do operador. Se o pH do fluido estiver abaixo de 8,5 aumenta a probabilidade de oxidação, por outro lado se o pH se elevasse bastante, acima de 9,3, aumentaria o risco de irritações na pele. O ideal para a emulsão seria um pH em torno de 9 e 9,3 entretanto o valor mais utilizado na prática é entre 8,5 e 9,3.

3.4.2 Densidade

A densidade é a relação entre a massa de um material e o volume por ele ocupado. A densidade nos auxilia na caracterização de uma substância. O cálculo da densidade é feito pela equação 2:

$$d = m / v \quad (\text{g/cm}^3) \quad (2)$$

O volume é uma grandeza física que varia com a temperatura e a pressão. Isso significa que, conseqüentemente, a densidade também dependerá da temperatura e da pressão do material. Por isso a importância de verificar a temperatura de solução antes de medir sua densidade.

Os fabricantes de fluidos de corte ao comercializar o produto fornece a informação de densidade que é determinado através da fabricação do fluido e padronizado através de teste. Portanto é de suma importância verificar se a densidade do fluido estar de acordo com o proposto pelo fabricante a fim de se obter eu máximo rendimento.

3.4.3 Água e sedimentos

O fluido de corte passa pelo processo de filtração para retirar senão todas, mas o máximo de partículas sólidas contidos nele, pois é de suma importância que o fluido de corte quando for reaproveitado esteja limpo de impurezas, visto que uma de suas funções primárias é lubrificar o processo e minimizar o atrito entre a ferramenta e a peça. Com isso pode-se concluir que se o fluido de corte depois de filtrado ainda apresentar um elevado grau de impurezas este deve passar novamente por um processo de filtração, desta vez por um processo mais eficiente.

Uma das principais funções dos fluidos de corte é lubrificar a interface ferramenta/peça/cavaco reduzindo assim o atrito. Portanto é de suma importância garantir que o fluido aplicado esteja limpo, livre de impurezas, para que não atue negativamente na zona de corte e interfira na qualidade superficial da peça.

O teste de água e sedimentos viabiliza a reutilização do fluido reaproveitado no sentido de garantir que o mesmo esteja isento de impurezas a lubrificação ocorra de melhor forma possível.

3.5 ACABAMENTO SUPERFICIAL

Uma forma bastante comum e eficiente de analisar a influência dos fluidos de corte nas operações de usinagem é avaliando o acabamento superficial da peça usinada utilizando diferentes fluidos de corte ou comparando quando se utiliza o fluido de corte e quando não se utiliza. Porém, para este trabalho se aplica o primeiro caso, em que será avaliado o acabamento superficial das peças utilizando diferentes fluidos de corte novos e reaproveitados.

Para Soares (2016) a aplicação do fluido de corte no torneamento é capaz de afetar diversos parâmetros de entrada e saída considerados importantes para a avaliação da operação. Dentre eles, pode-se citar a temperatura de corte, a força de corte, a potência de usinagem, o desgaste da ferramenta e ainda a qualidade da superfície usinada.

Soares (2016) diz ainda que a qualidade do corte pode ser avaliada de algumas formas, quais sejam: tolerâncias dimensionais, rugosidade e alterações subsuperficiais. Porém na maioria dos casos os corpos de prova são submetidos a avaliação de rugosidade superficial devido à relativa facilidade de realização do teste, sendo necessário apenas utilizar o equipamento específico denominado rugosímetro. Além disso, o parâmetro rugosidade é um dos mais utilizados como critério de qualidade na indústria.

Segundo Nunes (2011) o acabamento superficial de uma superfície usinada é a combinação de vários fatores como a rugosidade, ondulações e falhas. Para ele as ondulações são irregularidades superficiais ou erros geométricos cujos espaçamentos são maiores que as irregularidades consideradas como rugosidade, e podem ser provocadas por vibrações e deflexões da ferramenta ou peça, devido a forças de corte, temperatura ou erros de fixação da peça ou ferramenta. Define ainda que as falhas são interrupções na topografia típica da superfície da peça, podendo ser causadas por inclusões, trincas, bolhas ou podem surgir durante o processo de usinagem. Ambos são erros inerentes a erros de fabricação da superfície. Já a rugosidade será tratada no tópico seguinte.

3.5.1 Rugosidade Superficial

A rugosidade é definida como um erro micro geométrico presente na superfície da peça, pois não é verificável por meio de instrumentos convencionais de medição. Trata-se de um aglomerado de irregularidades, ou seja, pequenas saliências e reentrâncias. Pode ser detectada através de equipamentos eletrônicos, como o rugosímetro (COLACO; MEDEIROS, 2014). Para eles a rugosidade pode ser um fator de influência em peças mecânica, influenciando na resistência a fadiga, ao desgaste, corrosão, capacidade de deslizamento, entre outros.

Para Nunes (2011) a rugosidade são irregularidades finas ou erros micro geométricos resultantes da ação inerente do processo de corte, como marcas de avanço, aresta postiça de corte, desgaste da ferramenta, etc. Diz ainda que a rugosidade é usada para controlar o processo de fabricação e são diversos os parâmetros que agem sobre a rugosidade de uma peça, dentre eles estão: a máquina ferramenta, o tipo de ferramenta, o material da peça, a aplicação de fluido de corte e o processo de usinagem.

Como a superfície de uma peça pode apresentar ondulações e desvios macro geométricos, esta deve passar por uma filtragem que separa o perfil de rugosidade dos demais desvios da forma. Desta forma funciona o rugosímetro, o comprimento de onda do filtro (cutt-off) determina o que deve passar e o que não deve passar. Neste caso, o filtro deixa passar os sinais de rugosidade, que tem alta frequência e baixo comprimento de onda, e barra as ondulações e desvios macro geométricos, que tem baixa frequência e alto comprimento de onda (NUNES, 2011).

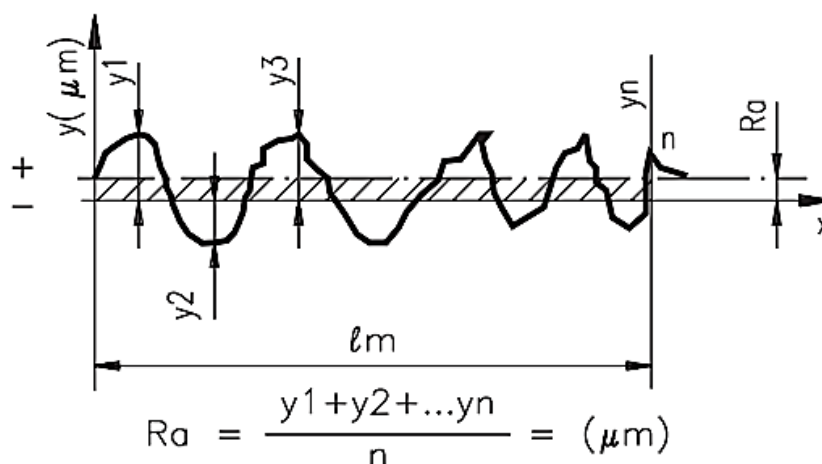
O rugosímetro tem um apalpador, que desliza sobre a superfície e manda os sinais para o amplificador, onde contém a parte eletrônica principal, dotada de um indicador de leitura que recebe os sinais da agulha, amplia-os, e os calcula em função do parâmetro escolhido. Este é capaz de calcular vários parâmetros de rugosidade, como a rugosidade média (R_a), rugosidade máxima (R_y), rugosidade total (R_t) e rugosidade média (R_z). Porém para este trabalho o que interessa é o parâmetro de rugosidade média R_a , pois é o parâmetro mais utilizado na indústria, todo tipo de rugosímetro apresenta este parâmetro e representa bem a qualidade superficial da peça devido seu valor se aproximar do valor médio.

3.5.2 Rugosidade Média (R_a)

Neste sistema de medição tem-se uma linha média, que é uma linha de referência, e todas as grandezas são definidas com base nela. Esta linha é disposta de modo que a soma de todas as áreas acima da linha deve ser igual a soma de todas as áreas abaixo dela.

A rugosidade média R_a é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (l_m) como mostra a Figura 7. Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição (l_m) (COSTA, 2018).

Figura 7: Imagem da rugosidade média Ra



Fonte: (PIRATELLI FILHO, 2011).

Este parâmetro pode ser usado nos seguintes casos: Quando for necessário o controle contínuo da rugosidade nas linhas de produção; Em superfícies em que o acabamento apresenta sulcos de usinagem bem orientados (torneamento, fresamento, etc.); Em superfícies de pouca responsabilidade, como no caso de acabamentos com fins apenas estéticos. (PIRATELLI FILHO, 2011).

É um parâmetro amplamente utilizado na indústria, todo rugosímetro apresenta esse tipo de parâmetro, é aplicado à maioria dos processos de fabricação e riscos decorrentes do processo, pela ferramenta, por exemplo, alteram pouco seu valor. Em contrapartida este parâmetro pode ocultar um defeito na superfície da peça por não distinguir muito bem picos e vales fora do padrão (PIRATELLI FILHO, 2011).

Segundo a norma NBR 8404/1984 de indicação do Estado de Superfícies em Desenhos Técnicos, a qual representa as diferentes classes (N1 a N12) e seus respectivos valores de rugosidade Ra (0,025 a 50 μm), tem-se que, para o torneamento, os valores de rugosidades devem ficar entre as classes N7 e N8, portanto, os valores de Ra devem variar entre 1,6 e 3,2 μm (TELECURSO 2000, 2018).

3.5.3 Influência dos parâmetros de corte na rugosidade

Segundo Machado *et al.* (2009) *apud* Nunes (2011) a rugosidade superficial sofre influência de vários parâmetros de usinagem, incluindo a geometria da ferramenta de corte, a geometria da peça, o material da peça, as condições de corte e o material da ferramenta.

Para Shaw (1986) *apud* Nunes (2011) o acabamento das peças torneadas dependem muito da relação entre o avanço e o raio de ponta da ferramenta.

Nunes (2011) diz a ainda que a alguns fatores podem contribuir para alterar os valores de rugosidade, são ele: vibração, deformação do cavaco, fluxo lateral do cavaco e erros de fixação da peça ou da ferramenta.

Outro fator importante é com relação a aresta postiça de corte, se a velocidade de corte for muito baixa e a aplicação do fluido de corte for insuficiente ou aplicada de forma errada, aumenta o atrito entre a ferramenta e a peça aumentando assim a temperatura da operação, o que pode vir a fundir pequenos pedaços de cavaco a ponta da ferramenta de corte e afetar diretamente a rugosidade da peça usinada. Além disso, muda a geometria da ferramenta gerando maiores esforços durante a usinagem.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico tem por finalidade descrever os materiais utilizados durante todo o processo experimental deste trabalho, bem como descrever os procedimentos utilizados, as técnicas, os parâmetros definidos e todo o planejamento para execução do experimento. A experimentação ocorreu no laboratório de usinagem da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) onde foi utilizado o torno mecânico do laboratório de usinagem para usinar as peças sob aplicação de dois tipos diferentes de fluido de corte.

4.1 CORPO DE PROVA

Os materiais utilizados para serem usinados foram dois tarugos de aço SAE 1020 trefilados (Figura 8) com dimensões de 30 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento cada.

Figura 8: Foto do tarugo de aço SAE 1020 utilizado para o experimento



Fonte: do autor.

4.2 FERRAMENTA DE CORTE

A ferramenta de corte utilizada para realizar o processo de usinagem foram pastilhas de metal duro do tipo TNMG 160408 – TF IC 908 da marca ISCAR.

Parâmetros propostos pelo fabricante:

- $V_c = 120-200$ m/min;
- $F = 0,12-0,30$ mm/rev;
- $A_p = 1,00-3,00$ mm;

Utilizou-se o suporte para pastilhas de metal duro MT JNR 2020 K16.

4.3 FLUIDOS DE CORTE UTILIZADOS

No processo de usinagem foram utilizados dois tipos de fluido de corte, um classificado como óleo mineral e outro classificado como óleo solúvel em água.

Para o primeiro caso o óleo utilizado foi o óleo UNIMAX SAE 10W (Figura 9) produzido pela INGRAX. É um óleo lubrificante recomendado para serviços pesados em motores diesel de alta velocidade. É um fluido utilizado para sistemas hidráulicos, caixa de engrenagem, etc.

Figura 9: Foto do recipiente (a) e rótulo (b) do óleo UNIMAX SAE 10W



Fonte: do autor

Na tabela 3 serão apresentadas algumas das suas propriedades físico-químicas.

Tabela 3: Propriedades físicas e químicas do Óleo UNIMAX SAE 10W.

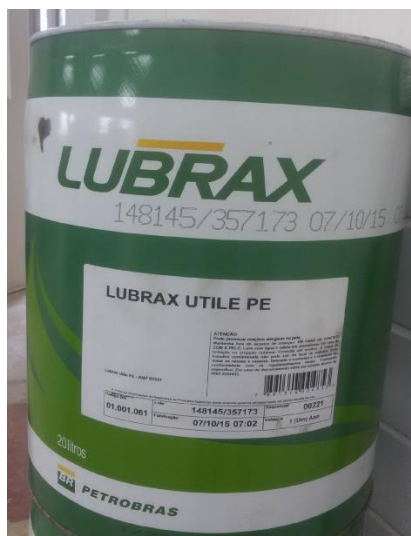
UNIMAX SAE 10W	
Viscosidade cSt a 40°C	43.9
Viscosidade cSt a 100°C	6.1
Índice de viscosidade	100
Densidade a 20°C	0.879
Ponto de fulgor (COC)°C	210
Ponto de fluidez °	-9
Corrosão lâmina de cobre	1b

Fonte: Ficha técnica do óleo disponibilizado pela INGRAX.

Sua escolha foi no sentido de representar a realidade de muitas oficinas de usinagem, onde utilizam de óleos integrais para lubrificar e refrigerar o processo de usinagem mesmo não sendo esta sua principal função.

Para o segundo caso foi utilizado o óleo solúvel em água LUBRAX UTILE PE, mostrado na Figura 10. É um óleo emulsionável de base naftênica para corte, usinagem e acabamento de metais. Sua mistura com água formam emulsões leitosas, homogêneas e estáveis de coloração branca. Apresenta baixa tendência à formação de espuma, e sua aditivação evita a corrosão das peças metálicas usinadas.

Figura 10: Foto do recipiente do óleo solúvel em água LUBRAX UTILE PE



Fonte: do autor.

Como este fluido de corte é uma emulsão composta por água e óleo foi preciso determinar a concentração de óleo em água para obter os melhores resultados. Segundo a ficha técnica do óleo LUBRAX UTILE PE a proporção é de 1:20, ou seja, deve-se ter de óleo, 5% do total da emulsão.

Na tabela 4 estão apresentadas algumas propriedades físico-químicas do óleo LUBRAX UTILE PE.

Tabela 4: Propriedades Físico- Químicas do óleo LUBRAX UTILE PE

GRAU ISO		--
Densidade a 20/4°C		0,9227
Ponto de Fulgor (VA)	(°C)	170
Ponto de Fluidez	(°C)	-21
Viscosidade a 40°C	(cSt)	47,4
Corrosão a lamina de cobre, 3h, 100°C		1b
Estabilidade da emulsão a 5,0%		estável
Espuma da emulsão a 5,0%	(mL)	traços

Fonte: Ficha Técnica do óleo disponibilizada pela LUBRAX

4.4 COLETA

Para captação do fluido utilizou-se um recipiente plástico (Figura 11), Eco Black - 6,5 litros – Ref. 3484 fabricado e comercializado pela Plasútil (Dimensões: 230 mm x 165 mm x 266 mm), material: Polipropileno.

Figura 11: Foto do recipiente plástico utilizado para coletar o fluido usado



Fonte: do autor.

4.5 FILTRO

Confeccionou-se um filtro que atendia prontamente a necessidade de filtragem e de baixo custo. Utilizou-se uma garrafa PET de 2 litros, algodão e pedras seixos (pedra bruta para aquário). A garrafa foi cortada ao meio, à parte do gargalho serviu como funil onde foi adicionada uma camada de algodão e por cima as pedras, como mostra a Figura 12, já o fundo da garrafa serviu de recipiente para coletar o fluido filtrado.

Figura 12: Foto do filtro



Fonte: do autor.

4.6 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental consiste no planejamento de etapas a serem seguidas e na execução das mesmas.

De início foram definidos os parâmetros de corte, apresentados na Tabela 5. Estes parâmetros foram definidos com base no tipo de operação, desbaste, tipo de aço escolhido, nos parâmetros sugeridos pela ferramenta de corte utilizada para tornear as peças e nas especificações do torno mecânico.

Tabela 5: Parâmetros de corte adotados para a experimentação

Parâmetros de corte	Valores	Unidades
Velocidade de corte (V_c)	140	m/min
Profundidade de Usinagem (A_p)	1,5	Mm
Avanço (f)	0,042	mm/rot
Rotação	1500	Rpm

Fonte: do autor.

É importante ressaltar que os parâmetros de corte adotados foram os mesmos para a usinagem com dois tipos de fluidos, assim como a quantidade de passes dado a cada peça. Foram conferidos três passes com profundidade de corte (A_p) de 1,5 mm em cada peça.

A forma de aplicação dos fluidos durante a usinagem das peças foi feita de forma manual, para isto utilizou-se uma garrafa PET de 500 ml, com um pequeno furo na tampa que permitia a passagem do fluido quando aplicada uma pressão.

No primeiro momento foram usados 1000 ml do óleo integral UNIMAX SAE 10W. Em um segundo momento foram usados 1000 ml da emulsão, ou seja, 50 ml de óleo solúvel LUBRAX UTILE PE e 950 ml de água.

A captação do fluido de corte ocorreu da seguinte forma:

O recipiente plástico foi acoplado ao torno mecânico, abaixo da placa de castanha que prende a peça (Figura 13), e então por gravidade, o fluido aplicado na zona de corte tinha a tendência de cair dentro do recipiente plástico.

Figura 13: Foto do coletor acoplado ao torno



Fonte: do autor.

O fluido coletado passou por um processo de filtração para separar os resíduos sólidos contidos nos mesmos.

Para os dois fluidos o processo de filtração foi o mesmo, com os mesmo materiais e a mesma técnica, porém para o óleo integral foi adicionado à etapa de decantação, onde o fluido

permaneceu em repouso por três dias para que as partículas de metal se depositassem no fundo do recipiente por ação da gravidade, com o intuito de diminuir as impurezas antes de ser filtrado.

Após a filtragem, os fluidos de corte foram armazenados em recipientes diferentes e levados ao laboratório de química para serem analisados.

4.7 ANÁLISES DOS FLUIDOS NOVOS E USADOS

As análises dos fluidos novos e usados foram realizadas no laboratório de Química da UFERSA – câmpus Caraúbas, por um técnico habilitado para executar essas análises.

4.7.1 Análise de pH

Mediu-se o pH com o auxílio de um pHmetro de bancada (PHMETER JK-PHM-005) calibrado com soluções padrão de pH 4 e de pH 7.

4.7.2 Análise de densidade

Na verificação da massa específica utilizou-se a técnica de picnometria, que consiste na medida do peso de um recipiente, com volume conhecido, em que se calibra esse volume de acordo com o peso da água pura no mesmo recipiente. Os picnômetros possuem baixo coeficiente de expansão, geralmente, 50 mL de volume e boa precisão.

Dessa forma, na obtenção da densidade das amostras, primeiramente foi feita a calibração do picnômetro, onde encheu-se o mesmo com água destilada, mediu-se a temperatura, para assim obter a densidade nessa temperatura. Com os valores da massa e da densidade, encontrou-se o volume de água que é equivalente ao volume do picnômetro. Em seguida encheu-se o picnômetro calibrado com as amostras e pesou-se, onde se obteve as massas através da diferença entre o picnômetro vazio e cheio de cada amostra. Portanto,

conhecendo a massa e o volume das amostras obteve-se a densidade dos fluidos de corte através da equação da densidade citada no tópico 3.4.2 deste trabalho.

4.7.3 Análise de água e sedimentos

Na determinação de água e sedimentos utilizou-se 10 mL da amostra em tubo de escala graduada até 0,1 mL, que é centrifugada na centrífuga de tubos microprocessada a 700 RPM, durante 10 min, verificando-se assim o volume de água e sedimentos que precipitou.

4.8 ANÁLISES DA RUGOSIDADE MÉDIA

Para medir a rugosidade média (Ra), das peças usinadas com os fluidos de corte novos e reaproveitados, utilizou-se o rugosímetro SJ-201 Mitutoyo representado na Figura 14. Este tem grande faixa de medição e vários parâmetros de rugosidade. Possui a faixa máxima de medição de 360 μ m (-200 μ m até +160 μ m). O SJ-210 permite obter os resultados da medição conforme as várias normas de rugosidade, que inclui o JIS (JIS-B-0601-2001, JIS-B-0601-1994, JIS-B-0601-1982), VDA, ISO-1997, e ANSI.

Figura 14: Imagem do rugosímetro SJ-210 Mitutoyo



Fonte: do autor.

O parâmetro de rugosidade média R_a foi o escolhido dentre os demais existentes, por ser o parâmetro mais utilizado na indústria, por representar muito bem o perfil de rugosidade de peças usinadas em que apresentam sulcos de usinagem bem orientados como na operação de torneamento. E por apresentar um valor médio, o torna um parâmetro contínuo e menos sujeito a receber interferência de efeitos ocasionais.

Foram realizadas 6 medições de rugosidade na superfície de cada peça: Usinada com o fluido de corte solúvel em água, novo e reaproveitado; Usinada com o fluido de corte integral, novo e reaproveitado. Das 6 medições, uma foi descartada, a de maior valor de rugosidade. As outras 5 foram utilizadas para avaliação dos resultados.

O curso de medição deste rugosímetro percorre uma distância (lm) de 4 mm a uma velocidade de 0,5 mm/s.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos tópicos seguintes serão apresentados, comparados e discutidos os resultados das análises físico-químicas dos fluidos, buscando fazer um paralelo entre o que era esperado e os resultados obtidos. Serão comparados os valores de rugosidade média das peças usinadas com os fluidos novos e reaproveitados e discutir sobre a influência do tipo de fluido de corte no acabamento superficial destas peças.

5.1 RESULTADOS PARA COLETA E REAPROVEITAMENTO DOS FLUIDOS DE CORTE

O volume coletado pelo recipiente foi de 350 ml, cerca de um terço, do total de volume gasto. O restante foi desperdiçado devido alguns fatores mostrados a seguir:

- Devido o movimento de rotação da peça o fluido sofria alteração da sua trajetória e era lançado para os lados, essa parcela de fluido não era captado.
- Devido o comprimento da peça assim que se iniciou o desbaste o fluido atuando na região de corte não caia dentro do coletor.

Portanto, devido a essas condições o reaproveitamento não foi maior, é impossível obter um reaproveitamento de 100%, mas é possível fabricar um aparato que consiga coletar um maior volume de fluido atendendo as limitações do torno, até para peças com comprimentos maiores.

5.2 RESULTADOS PARA O SISTEMA DE FILTRAÇÃO

Como foi apresentado no tópico 4.5, o sistema de filtração para ambos os casos foi utilizando um filtro caseiro a base de garrafa PET, algodão e pedra seixos, porém para o óleo integral foi adicionado à etapa de decantação.

Como mostrado na Figura 15 há várias partículas de metal depositadas no fundo do recipiente o que comprova que a técnica de decantação, embora seja uma técnica simples,

teve ótimos resultados. O período em que o fluido ficou em repouso foi de três dias. Não foi necessário submeter à emulsão a decantação devido sua viscosidade ser bem menor que a do óleo integral, sendo apenas a filtragem o suficiente.

Figura 15: Foto do recipiente em que há a deposição das partículas de metal no fundo consequência da decantação.



Fonte: do autor.

Na etapa filtragem do óleo integral utilizou-se o filtro caseiro (Figura 16), devido sua viscosidade a filtragem não foi instantânea, teve que ficar em repouso por 12 horas para que todo o fluido fosse totalmente filtrado.

Apesar de não ter sido filtrado por várias camadas de materiais o resultado final foi satisfatório, visualmente não apresentando nenhum tipo de impureza dentro do óleo.

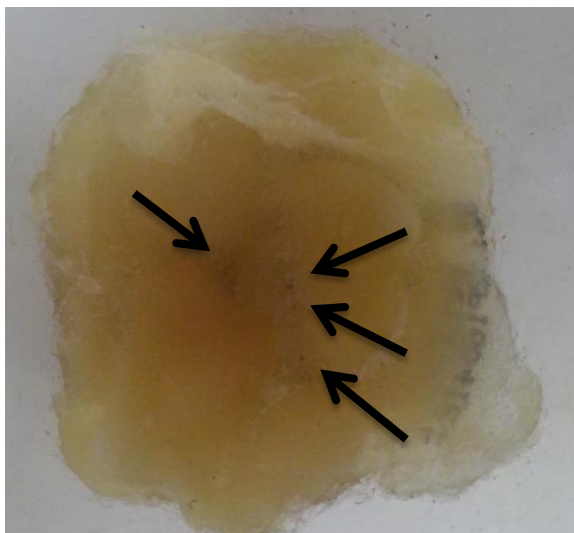
Figura 16: Foto do filtro em processo de filtração do óleo LUBRAX UTILE PE



Fonte: do autor.

Neste sistema de filtro o principal componente é o algodão, pois ele é o responsável por impedir que as partículas sólidas passem juntamente com o fluido. A avaliação do algodão ao final do processo é uma prova de que realmente a filtração foi efetiva, como mostra a figura 17. Observa-se vários pontos pretos por todo o algodão, os pontos pretos são as impurezas.

Figura 17: Foto do algodão após a filtração do óleo integral



Fonte: do autor.

A filtração da emulsão foi instantânea devido à sua viscosidade próxima à da água, escoou facilmente pelo algodão. Da mesma forma, foi possível analisar o algodão (Figura 18) e concluir que a filtração foi eficiente.

Figura 18: Foto do algodão após a filtragem da emulsão



Fonte: do autor.

A fim de se obter uma conclusão com maior grau de confiabilidade sobre a eficiência do filtro, realizou-se a análise de água e sedimentos no qual serão apresentados os resultados no tópico 5.3.3.

5.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Os resultados das análises físico-químicas são de suma importância para concluir se o fluido utilizado poderá ou não ser reutilizado. Além das análises realizadas outras análises poderiam ser feitas na intenção de fortalecer ainda mais a conclusão.

5.3.1 Resultados das análises de pH.

Com base nos valores de pH obtidos no laboratório de química da UFERSA, montou-se a Tabela 6.

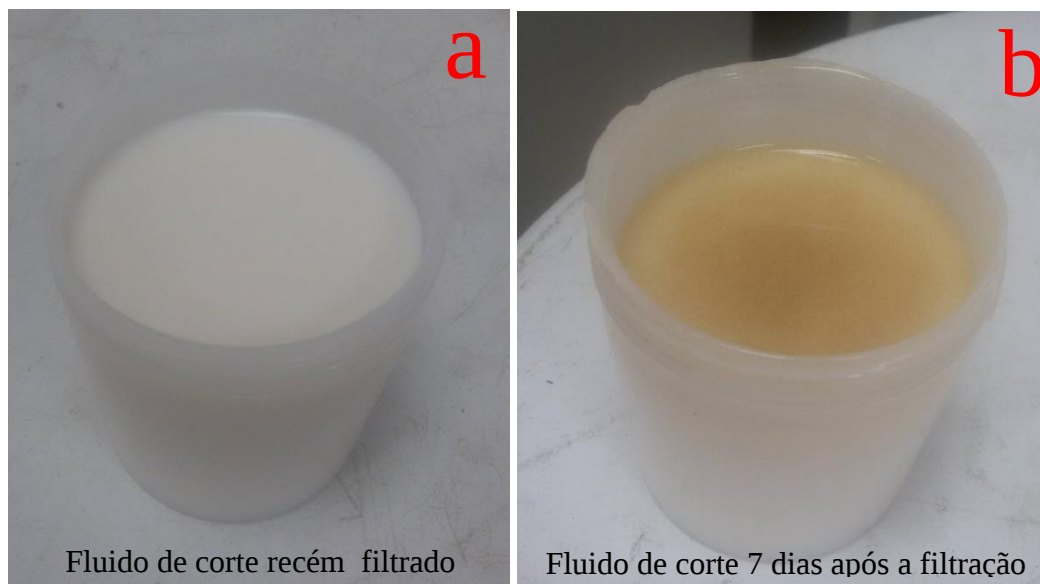
Tabela 6: Resultados das análises de pH.

pH				
Fluido de corte	1	2	3	Média
Óleo Integral Novo	5,46	5,39	5,35	5,40
Óleo Integral Usado e filtrado	6,05	5,97	5,99	6,00
Óleo Solúvel Novo	7,75	7,74	7,71	7,73
Óleo Solúvel usado e filtrado	7,25	7,22	7,18	7,22

Fonte: do autor.

Como mostrado na Tabela 6 e como já era esperado que houvesse uma variação nos valores de pH dos fluidos de corte novos e usados, a variação em parte foi em função do ataque de microbactérias, principalmente no período em que os fluidos estiveram em repouso compreendidos entre: o dia da coleta, filtragem, até serem feitas as análises, sete dias ao todo. Também devido a esse período de sete dias observou-se uma mudança na coloração da emulsão (água + óleo), de esbranquiçada para amarelada, isso se explica pelo fato de pequenas partículas de óleo separar-se da água, ou seja, a mistura passou a deixar de ser 100% homogênea, apresentando duas fases como mostrado na Figura 19.

Figura 19: Foto do fluido recém-filtrado (a) e do fluido 7 dias após a filtração (b)



Fonte: do autor.

Para RUNGE e DUARTE (1990) os valores do pH de soluções recém preparadas tendem a diminuir nas primeiros horas de uso, pela absorção do dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera. A redução típica é de 0,5 no valor do pH.

Diante disso, é possível afirmar que com o passar do tempo à emulsão irá apresentar novas características e conseqüentemente variar, mesmo que pouco, algumas de suas propriedades.

Como foi visto no tópico 3.4.1 deste trabalho que trata sobre pH, El Baradie (1996) coloca que o pH ideal para uma solução é entre 8,5 e 9,3. Embora novo, o fluido de corte solúvel em água não tem valor nessa faixa, mas teve o desempenho bastante satisfatório na usinagem.

Portanto apesar das variações, no que diz respeito ao pH, este não influenciará negativamente no desempenho dos fluidos, porém é importante atentar-se para o fator tempo, quanto mais tempo esse fluido passar em repouso, sem ser reutilizado, maior será o ataque por bactérias e conseqüentemente sua degradação.

5.3.2 Resultados das análises de densidade

Os valores de densidade obtidos no laboratório de química da UFERSA estão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados das análises de densidade

Densidade (g/mL)				
Fluido de corte	1	2	3	Média
Óleo integral novo	-	-	-	0,8790
Óleo integral usado e filtrado	0,8700	0,8760	0,8700	0,8720
Óleo solúvel novo	-	-	-	0,9227
Óleo solúvel usado e filtrado	0,9934	0,9941	0,9941	0,9939

Fonte: do autor.

Os valores das densidades para os fluidos de corte novos foram fornecidos pelos respectivos fabricantes por isso não consta os valores das medições 1, 2 e 3, apenas o valor final. As densidades dos fluidos de corte usados foram coletadas três vezes e feito uma média simples entre elas.

Pode-se notar na Tabela 7 que houve uma pequena variação nas densidades.

5.3.3 Resultados da análise de água e sedimentos

Os resultados da análise de água e sedimentos obtidos no laboratório de química da UFERSA estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultado da análise de água e sedimentos

Água e sedimentos				
Fluido de Corte	1	2	3	Média
Óleo integral novo	0	0	0	0
Óleo integral usado e filtrado	0	0	0	0
Óleo solúvel novo	0	0	0	0
Óleo solúvel usado e filtrado	Menor que 0,1 mL	Menor que 0,1 mL	Menor que 0,1 mL	Menor que 0,1 mL

Fonte: do autor.

A partir dos dados mostrados na Tabela 9, conclui-se que a filtragem de ambos os fluidos de corte foram eficientes, atendendo as expectativas. Apenas o fluido de corte solúvel em água que apresentou um teor de sedimento, porém muito baixa aproximadamente zero. Isso permite que o fluido seja reaproveitado sem prejuízos ao processo.

5.4 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE RUGOSIDADE MÉDIA (Ra)

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados da rugosidade média Ra geradas pelo rugosímetro.

Tabela 9: Resultados Rugosidade média Ra

Rugosidade média Ra (μm)								
Fluido de corte	1°	2°	3°	4°	5°	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Óleo integral novo	2,060	1,997	1,973	2,100	2,032	2,032	0,045	2,21 %
Óleo integral reaproveitado	2,195	2,006	2,411	2,227	2,171	2,202	0,118	5,36 %
Óleo solúvel novo	1,189	1,146	1,122	1,249	1,164	1,174	0,043	3,66 %
Óleo solúvel reaproveitado	1,291	1,474	1,240	1,329	1,306	1,328	0,079	5,95 %

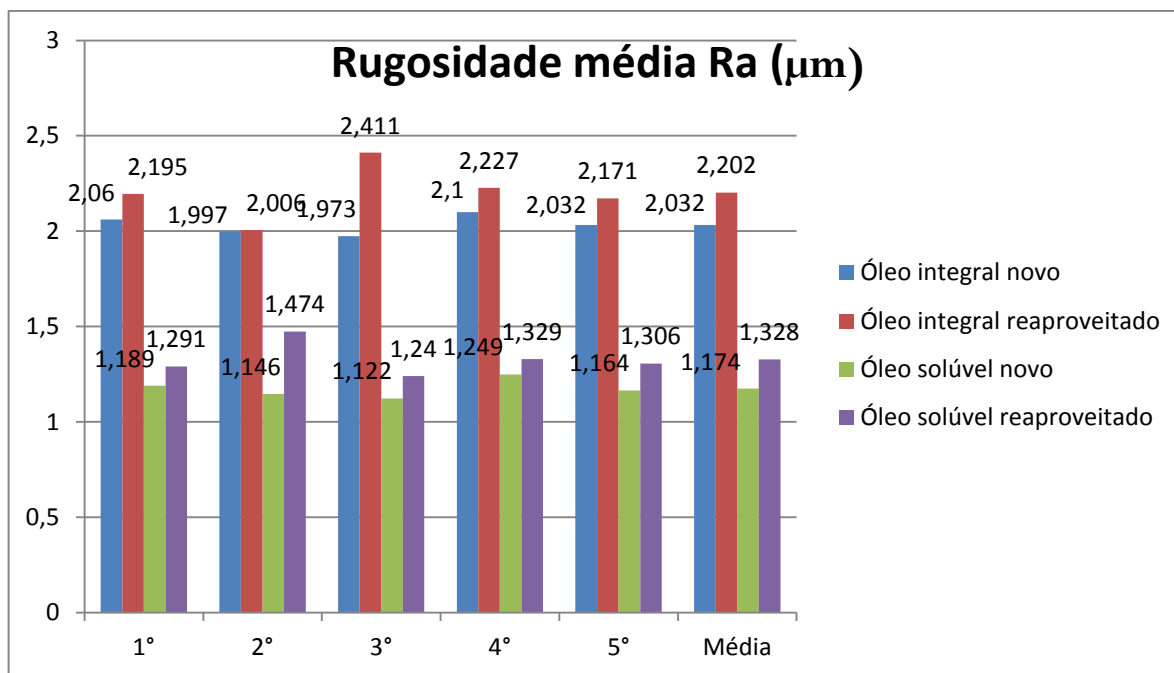
Fonte: do autor.

Para avaliação dos resultados calculou-se o desvio padrão que mede a dispersão em torno da média populacional de uma variável aleatória, neste caso a rugosidade. Um baixo desvio padrão indica que os pontos dos dados tendem a estar próximos da média ou do valor esperado. Para determinar se um desvio padrão é considerado baixo é necessário calcular o Coeficiente de Variação, o qual é interpretado como a variabilidade dos dados em relação à média. Quanto menor o CV mais homogêneo é o conjunto de dados. Um CV é considerado baixo quando for menor ou igual a 25%. Entretanto, esse padrão varia de acordo com a aplicação. Portanto, pode-se afirmar com base nos resultados obtidos que os valores de rugosidade apresentam uma baixa dispersão, ou seja, é um conjunto de medidas homogêneas, os valores se encontram bem próximos uns dos outros. Os fluidos reaproveitados foram aqueles com maiores dispersão nos resultados, ainda que sejam valores baixos.

Tomando como base a média, observa-se no Gráfico 1 um aumento de aproximadamente 8,4% do fluido de corte integral novo em relação ao reaproveitado, e um aumento de 13,1% do fluido de corte solúvel novo em relação ao reaproveitado. Percebe-se

também que o fluido de corte solúvel teve maior variação quando comparado ao fluido de corte integral.

Figura 20: Gráfico dos valores de Rugosidade média Ra



Fonte: do autor.

Nota-se através dos resultados obtidos que se manteve um padrão, valores bem aproximados. Estas variações podem ser justificadas por alguns fatores, dentre eles a vibração do torno e o desgaste da ferramenta de corte.

5.5 INFLUÊNCIA DO TIPO DE FLUIDO DE CORTE NA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DAS PEÇAS.

Na Tabela 9 estão dispostos os valores de Rugosidade média Ra das peças usinadas com os fluidos solúvel e integral, novos e reaproveitados. A partir dela é possível notar que a rugosidade das peças usinadas com os fluidos solúveis em água têm sempre valores menores, ou seja, apresentam melhor acabamento superficial do que as peças usinadas com os óleos integrais. Isso ocorre em decorrência de os fluidos terem características diferentes, o fluido

solúvel em água tem um poder refrigerante bem maior que o óleo integral, em contrapartida, o óleo integral tem maior poder lubrificante e segundo Alves e Oliveira (2005) os fluidos de corte com alto poder lubrificante fornecem piores valores de rugosidade.

Um segundo fator predominante é com relação a seleção dos fluidos selecionados, enquanto que o fluido de corte solúvel tem como principal função ser utilizado em processos de torneamento, o fluido de corte integral mineral selecionado é utilizado como função secundária, pois sua principal aplicação é ser utilizada em sistemas hidráulicos.

A velocidade de corte também tem influência, para Muniz (2008) em operações com maiores velocidades de corte necessita-se de um mecanismo de refrigeração mais eficiente. Já para velocidades baixas e pequenos avanços, necessita-se de um maior grau de lubrificação. Para os parâmetros de corte selecionados o fluido de corte solúvel é mais indicado e por isso esperava-se que um melhor acabamento superficial, assim como mostra os resultados obtidos.

6 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a captação do fluido não foi mais eficiente devido às limitações do torno mecânico e o desperdício devido o movimento de rotação da peça em dispersar o fluido.

A filtração, embora simples, também proporcionou ótimos resultados, com um custo baixíssimo, utilizando materiais facilmente comercializados e encontrados na natureza.

Os resultados das análises físico-químicas se mostraram bastante satisfatórios, concluindo-se que os fluidos de corte, neste caso integral e solúvel em água, podem ser reaproveitados sem que haja grandes variações das suas propriedades e diminuição no seu desempenho.

Com base nas análises de rugosidade média observa-se que apesar da variação dos resultados, no sentido de aumentar o grau de rugosidade e consequentemente ter um acabamento superficial pior, é importante ressaltar que essa variação foi muito baixa, em torno de 8% para o fluido integral e 13% para o fluido solúvel em água, ou seja, para indústria são variações aceitáveis para esse tipo de processo. A dispersão dos resultados, também, foi baixas, o que leva a conclusão de que estes fluidos podem ser reaproveitados sem trazer prejuízos ao processo.

Com relação a influência do tipo de fluido de corte na rugosidade das peças fabricadas por torneamento cilíndrico externo, para os fluidos selecionados, o óleo solúvel em água se mostrou mais vantajoso, proporcionando melhor acabamento superficial, tanto o fluido novo quando o reaproveitado.

Portanto, os fluidos de corte utilizados nos processos de torneamento poderão ser reutilizados, quando coletados e filtrados de maneira correta sem contaminação, e desde que sua reutilização seja imediata.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar a análise de microestrutura das peças antes e depois de usinadas, submetendo-as a um teste de metalografia e um ensaio de micro dureza, por exemplo, para concluir se suas propriedades mecânicas não foram alteradas durante o processo.

Além disso, outras análises químicas podem ser feitas, como a de viscosidade, para atestar se os fluidos mantiveram os mesmo índices de viscosidade antes e depois de serem utilizados.

Pode ser feito um acompanhamento da qualidade físico-química dos fluidos e de rugosidade das peças, a cada reutilização, por n vezes, e observar as mudanças relacionadas às suas propriedades.

Realizar uma análise para verificar e quantificar o ataque micro bacteriano e quão prejudicial pode ser para os fluidos de corte.

Uma forma de observar a influência do fluido de corte no torneamento é fazendo uma análise do cavaco, calculando a temperatura atingida na zona de corte e calculando a força de usinagem durante o corte.

8 REFERÊNCIAS

ALVES, Salete Martins; OLIVEIRA, João Fernando Gomes de. DESENVOLVIMENTO DE NOVOS FLUIDOS DE CORTE PARA RETIFICAÇÃO ADEQUADOS AO DESEMPENHO MECÂNICO E AO MEIO AMBIENTE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 8., 2005, Salvador. **Anais...** . Salvador: Abcm, 2005.

AVILA, R. F; ABRÃO, A.M. The effect of cutting fluids on the machining of AISI 4340 steel. **Journal of Materials Processing Technology**, n.119. p. 21-26, 2001.

AMORIM, Heraldo José de. **Estudo da relação entre velocidade de corte, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

BORGES, M. M.. **Torneamento**. [2016]. Disponível em: <<http://mmborges.com/processos/USINAGEM/TORNEAMENTO.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

CATAI, Rodrigo Eduardo et al. Estudo dos Métodos Otimizados de Aplicação de Fluidos de Corte no Processo de Retificação. **Revista da Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 11, n. 22, p.7-18, 17 mar. 2017.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. **Geração de calor e distribuição de temperatura**. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3652-geracao-de-calor-e-distribuicao-de-temperaturas#.Ws1KtC7wbIV>. Acesso em: 14 mar. 2018.

COLACO, Geraldo Alves; MEDEIROS, Ithyara Dheylle Machado de. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE USINAGEM SOBRE A RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO CILÍNDRICO EXTERNO EM CORTE A SECO E COM ABUNDÂNCIA DE FLUIDO DE CORTE**. In: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2014, Curitiba. **Anais...** . Curitiba: Abepro, 2014. p. 1 - 20.

COSTA, Hamilton Nunes da. **Parâmetros de avaliação rugosidade (acabamento superficial)**. 2018. Disponível em: <<http://moldesinjecaoplasticos.com.br/parametros-de-avaliacao-da-rugosidade-acabamento-superficial/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. Artiber Editora Ltda, Campinas, SP, Brasil, 4ª Edição, 2003, p.230-248.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1970.

EBBRELL, S. *et al.* The effects of cutting fluid application methods on the grinding process. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, School of Engineering, Liverpool John Moores University, Liverpool, jun./99.

EL BARADIE, M. A. Cutting fluids: part I. characterization. **Journal of Material Processing Technology**, Dublin, n. 56 p. 786-797, 1996a.

FERNANDES, B. U de. **Análise de métodos de lubri-refrigeração aplicados no processo de retificação cilíndrica interna de mergulho em aços endurecidos**. 2007. 163f. Tese (Doutorado) – Ciência e Tecnologia dos Materiais, Universidade Estadual Paulista, Bauru.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 796p.

GGD METAIS. SAE 1020. 2015. Disponível em: <<http://www.ggdmetals.com.br/produto/sae-1020/>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

GONÇALVES, Bruno Bastos; YAGINUMA, Gabriel Fernando; YAMAMOTO, Marcelo Kazuo. **ÓLEOS DE USINAGEM: TIPOS, CLASSIFICAÇÃO E DESEMPENHO**. 2010. 13 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia, Bauru, 2010.

KRATOCHVIL, Rafael. **Fundamentos do processo de usinagem**. Disponível em: <<http://moldesinjecaoplasticos.com.br/fundamentos-do-processo-de-usinagem/>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

LEOPOLDO, Pedro. **Torneamento**. 2013. Disponível em: <<http://estudecomserjao.blogspot.com.br/2013/08/torneamento-conceito-otorneamento-e.html>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

LIMA, Hugo Vilaça. **Análise do Comportamento do Fluido de Corte Recuperado/Reformulado no Processo de Retificação**. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (cefet-mg), Belo Horizonte, 2013.

LISBOA, Fabio Cordeiro de; MORAES, Jessyca Jordanna Barroso de; HIRASHITA, Massako de Almeida. **FLUIDOS DE CORTE: UMA ABORDAGEM GERAL E NOVAS TENDÊNCIAS**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Salvador-BA. Salvador: Abepro, 2013. p. 1 - 16.

MELO, Douglas Saito; BÄTZNER, Louise Novello; SALAT, Marcelo Reami. **FLUIDOS DE CORTE**. 2010. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico, Florianópolis, 2010.

MUNIZ, Cláudia Alves de Sousa. **Novas formulações de fluidos de corte: otimização, propriedades e recuperação do óleo usado**. 2008. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Química, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2008.

NUNES, Luciano Tadeu. **Análise estatística da influência dos parâmetros de corte na rugosidade no torneamento do aço microligado DIN 38MnSiVS5**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

OLIVEIRA, João Fernando Gomes de; ALVES, Salete Martins. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. **Produção**, São Paulo, v. 17, n. 1, p.129-138, Jan./Abr., 2007.

RICARDO, Elton. **Torno Mecânico**. 2014. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/EltonRicardo/aula-02-torno-mecnico>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

RUNGE, P. R. F., DUARTE, G. N. **Lubrificantes nas indústrias – produção, manutenção e controle**. Cotia, SP, Brasil, Triboconcept Edições Técnicas, 1990, 323p.

PIRATELLI FILHO, Antonio. **Rugosidade Superficial**. Brasília: Laboratório de Metrologia - 3º Seminário de Metrologia, 2011. 41 slides, color.

SENAI (São Paulo) (Org.). Processos mecânicos de usinagem. In: SENAI (São Paulo) (Org.). **Usinagem - Tecnologia de corte**. São Paulo: Senai, 1998. Cap. 1. p. 1-96.

SOUZA, André João de. Processos de fabricação por usinagem – Parte 1. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011, 89p. Disponível em: <http://www.chasqueweb.ufrgs.br/~ajsouza/ApostilaUsinagem_Parte1.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2012.

SOARES, Christianne Lacerda. **INFLUÊNCIA DO MODO DE APLICAÇÃO DO FLUIDO DE CORTE SOBRE A USINABILIDADE DO AÇO ABNT 4340 NO TORNEAMENTO**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

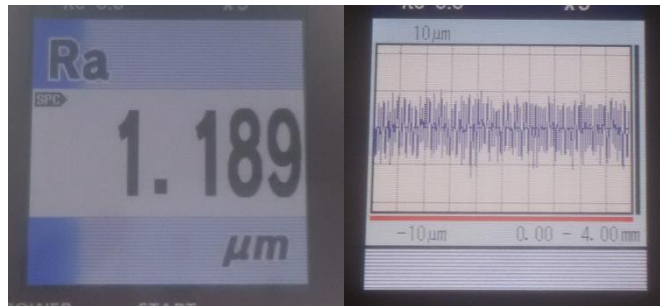
STOETERAU, Rodrigo Lima. **Usinagem com Ferramentas de Geometria Definida**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, [2016]. 99 slides, color.

TELECURSO 2000. **Parâmetros de rugosidade**: Aula 19. Disponível em: <http://www.grima.ufsc.br/capp/rugosidade/aula19_ParametrosDeRugosidade.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2018.

ULUTAN, D.; OZEL, T. **Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: a review**. International Journal of Machine Tools e Manufacture, v.51, p. 250-280, 2011.

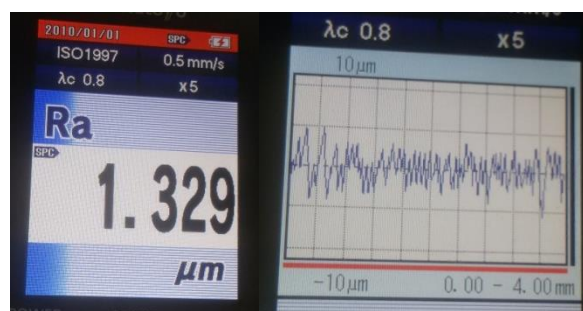
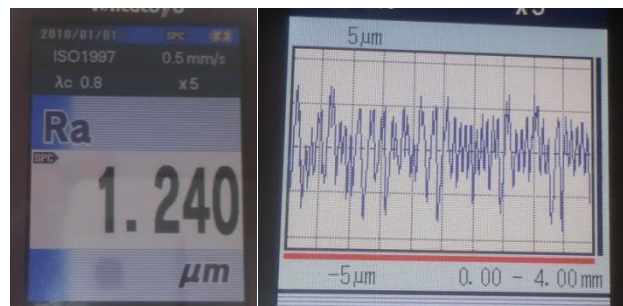
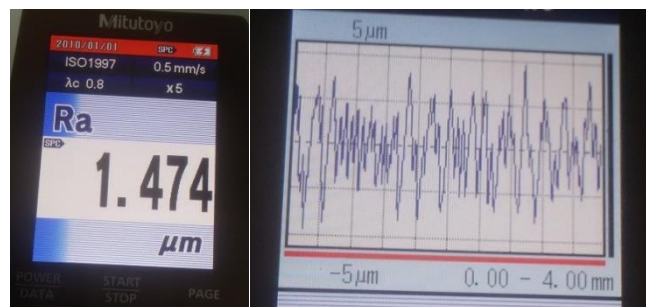
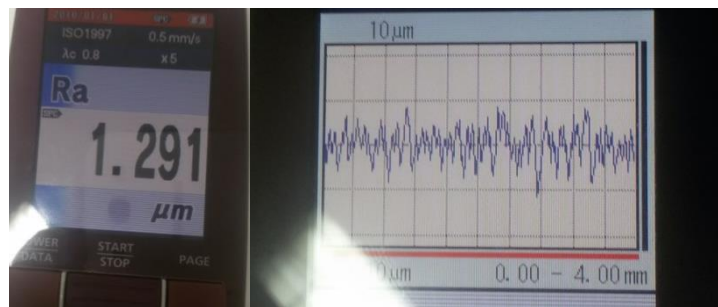
APÊNDICE A – VALORES DE RUGOSIDADES MÉDIAS (Ra) E GRÁFICOS GERADOS PELO RUGOSÍMETRO.

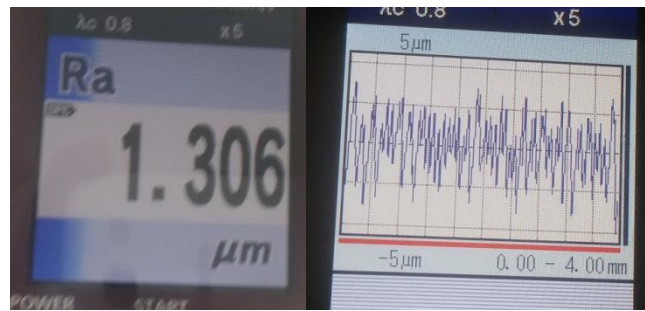
Fluido de corte solúvel novo:



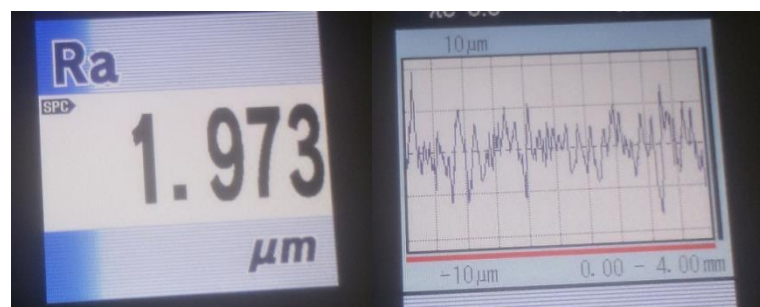
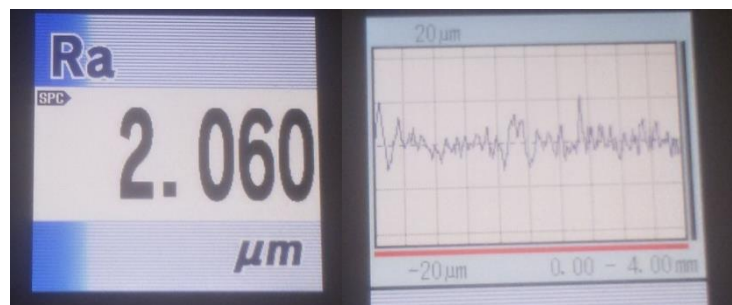
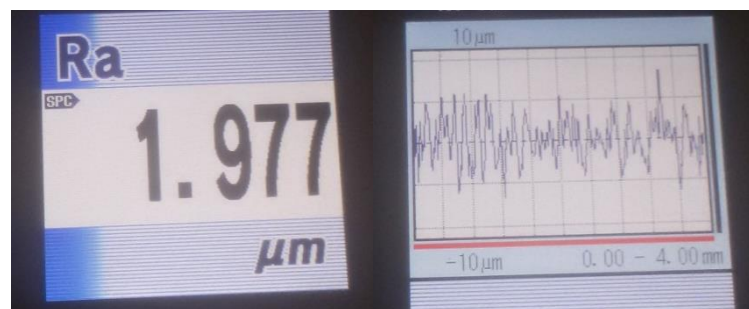


Fluido de corte solúvel reaproveitado:





Fluido de corte integral novo:



Fluido de corte integral reaproveitado:

