

ANDRÉ MANGETTI GRUB

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FLUIDOS DE
CORTE CONTAMINADOS NO PROCESSO DE
TORNEAMENTO DO AÇO INOXIDÁVEL
AUSTENÍTICO V304UF**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2013

ANDRÉ MANGETTI GRUB

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FLUIDOS DE CORTE
CONTAMINADOS NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO AÇO
INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO V304UF**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Álisson Rocha Machado

UBERLÂNDIA – MG

2013

G885a Grub, André Mangetti, 1986-
2013 Avaliação do Desempenho de Fluidos de Corte Contaminados no
Processo de Tornamento do Aço Inoxidável Austenítico V304UF/
André Mangetti Grub. - 2013.
130 f. : il.

Orientador: Alisson Rocha Machado.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Usinagem - Teses. 3. Fluidos de corte – Teses. 4. Aço inoxidável austenítico – Teses. I. Machado, Alisson Rocha. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

ANDRÉ MANGETTI GRUB

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FLUIDOS DE CORTE
CONTAMINADOS NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO AÇO
INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO V304UF**

Dissertação **APROVADA** pelo Programa de
Pós-graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia

Área de Concentração: Materiais e Processos de
Fabricação

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Álisson Rocha Machado – FEMEC - UFU (Orientador)

Prof. Dr. Leonardo Roberto da Silva – CEFET/MG

Profa. Dra. Rosineide Marques Ribas – ICBIM - UFU

Prof. Dr. Rosemar Batista da Silva – FEMEC - UFU

Uberlândia, 11 dezembro de 2013

*“O conhecimento torna a alma jovem e diminui a amargura da velhice.
Colhe, pois, a sabedoria. Armazena suavidade para o amanhã.”*

Leonardo Da Vinci

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Ricardo J. Grub

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Ao meu pai Ricardo, minha irmã Daiane e madrastra Regina, por toda ajuda e suporte necessários nos momentos mais difíceis da minha vida, minha eterna gratidão.

A todos que me ajudaram e incentivaram durante o período desse trabalho que tive sérios problemas de saúde.

Ao prof. Dr. Álisson Rocha Machado, pela confiança, apoio, dedicação, atenção e orientação durante a realização deste trabalho de mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia – POSMEC/UFU, pela oportunidade de realizar este curso.

A todos os colegas membros do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem – LEPU, principalmente a doutoranda Marcília B. Finzi, pela amizade, prestatividade e indispensável parceria neste trabalho.

Ao Laboratório de Microbiologia Molecular do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade Federal de Uberlândia (MICROMOL–ICBIM–UFU) pela importante parceria nesse trabalho.

Ao prof. Dr. Éder Silva, pela disponibilidade e conselhos durante os ensaios de usinagem.

Aos técnicos: Daniel Prado, Rodrigo César e Ângela M.S. Andrade pela ajuda na fase experimental.

Aos alunos de iniciação científica: Leonardo Costa, Victor Rubin, Franco Carbonera e José Fábio.

A todos meus amigos de Pirassununga-SP, em especial ao meu “irmão” Mateus Galvão Ferri, pelo companheirismo nos momentos de felicidade, dor e angústia.

Aos amigos de Uberlândia-MG, em especial ao Vinícius Furtado, Rafael Machado, Renato Machado, Moisés Superbi e Marco Antônio pelas inúmeras ajudas em anos de boa amizade.

À empresa Villares Metalls S.A., pelo material disponibilizado para a execução dos testes.

Às empresas fabricantes de fluido de corte IORGA e BLASER Swisslube do Brasil Ltda, pelos fluidos doados para a execução dos testes.

A CAPES pelo apoio financeiro.

GRUB, A. M. **Avaliação do Desempenho de Fluidos de Corte Contaminados no Processo de Torneamento do Aço Inoxidável Austenítico V304UF**. 2013. 130f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

RESUMO

Em processos de usinagem as principais funções dos fluidos de corte (FC) são refrigerar e lubrificar o sistema tribológico constituído pela peça, cavaco e ferramenta. Quando escolhidos e aplicados corretamente, eles podem aumentar a vida da ferramenta, diminuir as forças de usinagem e melhorar o acabamento da peça fabricada. No entanto ao longo de sua utilização, pesquisas apontam que os FC's à base de água (emulsões e soluções) tornam-se susceptíveis a contaminação microbiológica (bactérias) que usam nutrientes encontrados em sua composição para crescerem e se reproduzirem. Segundo a literatura especializada, as atividades metabólicas destes microrganismos degradam os FC's, alterando suas propriedades físicas e químicas. Entretanto, o estudo desse assunto é limitado, e não há trabalhos que indicam quantitativamente a influência desses fluidos contaminados nos parâmetros de usinagem. Deste modo, este trabalho teve como principal objetivo quantificar três índices de usinabilidade (forças de usinagem, acabamento superficial e vida da ferramenta) no processo de torneamento do Aço Inoxidável Austenítico V304UF, utilizando dois FC's aquosos (emulsionável de base vegetal e semissintético mineral). Esses FC's foram contaminados de forma induzida através de inoculações periódicas até alcançarem o nível de contaminação média igual a 10^5 UFC/mL. Deste modo, foi possível comparar a eficiência dos FC's novos com os contaminados no processo de torneamento. Os resultados mostraram que as contaminações dos FC's com 10^5 UFC/mL, alteraram o pH do meio, desestabilizaram as emulsões e causaram pequenas mudanças nos parâmetros de forças de usinagem, rugosidade e vida da ferramenta, principalmente nas condições com baixa velocidade de corte e taxas de avanço. Assim, para baixas velocidades de corte, os fluidos de corte contaminados, principalmente de base vegetal, podem causar pequenas influências em importantes parâmetros de usinabilidade do processo.

Palavras-chaves: *fluidos de corte, contaminação microbiológica, torneamento de aço inoxidável, vida da ferramenta, força de corte, acabamento superficial.*

GRUB, A. M. **Evaluation of the Performance of Contaminated Cutting Fluids when Turning AISI 304 Austenitic Stainless Steel.** 2013. 130p. M. Sc. Dissertation, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

ABSTRACT

In machining processes the main functions of cutting fluids (FC) are cooling and lubrication of the tribological system comprised of the workpiece, the chip and the cutting tool. When adequately chosen and correctly applied they may raise tool lives, reduce machining forces and improve the surface finishing of the workpiece. However, during their use, research has demonstrated that water based cutting fluids (emulsions and solutions) become susceptible to microbiological contamination (by bacterias) that uses nutrients encountered in their composition to grow and reproduce. According to the specialised literature, the metabolic activities of these microorganisms degrade the cutting fluids, altering their chemical and physical properties. However, the study of this theme is limited and there is no research work that quantitatively indicates the influence of these contaminants in the machinability parameters. Therefore, the present work has the main objective of quantifying three machinability parameters (cutting force, surface roughness and tool life) when turning V304UF stainless steel using two water based cutting fluids (emulsion of vegetable base and semi-synthetic of mineral base). These two cutting fluids were intentionally contaminated in an induced manner by periodic inoculations up to a mean contamination of 10^5 UFC/mL. With this procedure it was possible to compare the efficiency of new and contaminated cutting fluids during the turning process. The results showed that the contaminated cutting fluids with 10^5 UFC/mL changed the pH, destabilized the emulsions and caused small changes in the machinability parameters (machining force, surface roughness and tool life), mainly under low cutting speeds and feed rates. Thus, the contamination of the cutting fluids, particularly the vegetable base ones, can promote small influences in important machinability parameters.

Keyword: *cutting fluids, microbiological contamination, turning of stainless steel, tool life, cutting force, surface finishing.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Esquema dos tipos de Desgaste da ferramenta de corte: (A) desgaste de cratera; (B) desgaste de flanco; (C) e (D) entalhe(MACHADO et al., 2011. adaptado).....	24
Figura 2.2 -	Desgaste padrão para uma ferramenta de metal-duro (ISO 3685 (1993))..	25
Figura 2.3 -	Interface cavaco-ferramenta, na presença de APC (a) – APC, usinando a seco; (b) – APC, usinando com óleo lubrificante emulsionável (SALES, 1999).....	30
Figura 2.4 -	a) Classificação de diversos meios lubrificantes obtidos por esclerometria pendular b) curvas de resfriamento do corpo de prova em função do tempo (SALES, 1999)	31
Figura 2.5 -	Classificação dos fluidos de corte (YILDIZ e NALBANT, 2008 - adaptado).....	35
Figura 2.6 -	Representação da afinidade do óleo com a superfície metálica a)óleos vegetais; b) Os óleos minerais (WOODS, 2005 - adaptado).....	38
Figura 2.7 -	Direções de aplicação do fluido de corte (DA SILVA, 2006 - adaptado)	47
Figura 2.8 -	Esquema de um instrumento de MQF e seus componentes (SHOKRANI et al., 2012 - adaptado).....	48
Figura 2.9 -	Ilustração do método de aplicação do fluido de corte sob alta pressão (MACHADO, 1990).....	49
Figura 2.10 -	Condutividade térmica de aços inoxidáveis e aço-carbono (MARTIN e QCQUIDANT, 1992).....	51
Figura 2.11 -	Formação de biofilmes no maquinário. (a) sistema de engrenagens; (b) canaleta com emulsão em fluxo; (c) sensor para corte de peças; (d) tanque central da emulsão (CAPELLETTI, 2006).....	56
Figura 2.12 -	Formação de biofilmes (DIRCKX e DAVIES, 2005 adaptado)	57
Figura 2.13 -	Esquema explicativo da contagem em placa e diluição seriada (TORTORA et al., 2003 - adaptado)	59
Figura 2.14 -	Geração e emissão de resíduos em uma indústria metal-mecânica (OLIVEIRA e ALVES, 2007).....	62
Figura 3.1 -	Fluxograma das etapas experimentais realizadas.....	67
Figura 3.2 -	Representação das regiões onde foram feitos os ensaios de dureza	69

- Figura 3.3 - Imagens da microestrutura do Aço Inoxidável Austenítico V304UF com aumento de 12,5x. a) região central; b) região intermediária; c) região periférica.....70
- Figura 3.4 - Esquema ilustrativo do processo de contaminação dos fluidos de corte. a) placa com meio de cultura sólido inoculado com bactérias; b) meio de cultura líquido (BHI Caldo); c) estufa com temperatura de 35°C; d) meio de cultura líquido contendo bactérias recuperadas do FC-A e FC-B; e) transferência do meio de cultura líquido para os tubos falcon (50 mL); f) Centrifugação em centrifuga Excelsa 206-R; g) “massa” bacteriana (inóculo) após centrifugação; h) “massa” bacteriana concentrada no fundo do tubo; i) inóculo ressuscitado em solução isotônica salina (0,9%) por agitação (vortex IKA); j) inóculo em solução salina (1016 UFC/mL); l) contaminação do fluido de corte (na imagem FC-A) 73
- Figura 3.5 - Esquema utilizado para manter o fluido com temperatura favorável para o crescimento bacteriano (na imagem FCC-B) 75
- Figura 3.6 - a) Espectrofotometro UV-2501PC. Em destaque o local de compartimento da amostra; b) interior do equipamento; c) cubetas: I. referência, II. Amostra 77
- Figura 3.7 - Esquema para avaliação dos pH dos fluidos de corte 77
- Figura 3.8 - Torno CNC Romi Multiplic 35D utilizado nos teste de torneamento (PEREIRA, 2009) 78
- Figura 3.9 - Insertos utilizados nos teste de torneamento. a) foto dos insertos da marca Sandvik, b) representação da geometria do inserto com $iC = l = 15,7$ mm, $s = 4,76$, $r_\epsilon = 0,8$ mm (SANDVIK, 2012).....79
- Figura 3.10 - a) Suporte de ferramentas Sandvik; b) Representação da geometria da ferramenta (SANDVIK, 2012) 79
- Figura 3.11 - Desenho esquemático do sistema de aquisição de força. A – torno, B - Peça, C-Ferramenta, D - Dinamômetro, E - Amplificador, F - placa A/D, G – Computador (SUAREZ, 2012 adaptado) 80
- Figura 3.12 - Microscópio SZ6145TR – OLYMPUS e software Image Pro-express (PEREIRA, 2009) 81
- Figura 3.13 - a) EDS; b) MEV; c) computador com programas específicos 81
- Figura 3.14 - O processo de torneamento pode ser representado por uma função ligando as variáveis de entrada (esquerda) às variáveis de saída (direita) 82
- Figura 3.15 - Representação da fixação do corpo de prova dividido em dois trechos de

	usinagem e os intervalos de usinagem	83
Figura 3.16 -	Rugosímetro Mitutoyo SJ-201 pronto para amedida do parâmetro Ra no aço inoxidável austenítico V304UF após usinagem	84
Figura 3.17 -	Processo de torneamento nos ensaios de vida utilizando em jorro o FCN-B	85
Figura 4.1 -	Gráficos das forças de corte e avanço (F_c e F_f) em função do avanço (f) utilizando o FCN-A e FCC-A. a) ensaios com $v_c=125$ m/min; b) ensaios com $v_c=250$ m/min	89
Figura 4.2 -	Gráficos das forças de corte e avanço (F_c e F_f) em função do avanço (f) utilizando o FCN-B e FCC-B. a) Ensaios com $v_c=125$ m/min; b) ensaios com $v_c=250$ m/min	90
Figura 4.3 -	Comparação das forças de corte e avanço (F_c e F_f) em função do avanço (f) utilizando FCN-A e FCN-B. a) Ensaios com $v_c = 125$ m/min; b) ensaios com $v_c= 250$ m/min	92
Figura 4.4 -	Gráficos das forças de corte e avanço (F_c e F_f) em função do avanço (f) utilizando FCC-A e FCC-B. a) Ensaios com $v_c = 125$ m/min; b) ensaios com $v_c= 250$ m/min	93
Figura 4.5 -	Valores da Rugosidade (R_a) em função do avanço (f) utilizando o Fluido de Corte Novo de base mineral (FCN-A) e Fluido de Corte Contaminado de base mineral (FCC-A). a) ensaio com $v_c = 125$ m/min; b) ensaio com $v_c= 250$ m/min	95
Figura 4.6 -	Valores da Rugosidade (R_a) em função do avanço (f) utilizando fluido de corte novo de base vegetal (FCN-B) e fluido de corte contaminado de base vegetal (FCC-B) a) ensaio com $v_c=125$ m/min; b) ensaio com $v_c=250$ m/min	96
Figura 4.7 -	Valores da Rugosidade (R_a) em função do avanço (f). a) utilizando fluido de corte novo de base mineral (FCN-A) e vegetal (FCN-B); b) utilizando fluido de corte contaminado de base mineral (FCC-A) e vegetal (FCC-B)	98
Figura 4.8 -	Curvas de vida da ferramenta utilizando o fluido de corte novo de base mineral (FCN-A) e fluido de corte contaminado de base mineral (FCC-A) a) $v_c=125$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $a_p=1$ mm; b) $v_c=250$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $a_p=1$ mm	99

Figura 4.9 -	Curvas de vida da ferramenta, utilizando o fluido de corte novo de base vegetal (FCN-B) e fluido de corte contaminado de base vegetal (FCC-B) a) $vc=125$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $ap=1$ mm; b) $vc=250$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $ap=1$ mm	101
Figura 4.10 -	Comparação entre os tempos de vida dos teste utilizando fluido de corte novo de base mineral (FCN-A) e fluido de corte novo de vegetal (FCN-B) a) $vc=125$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $ap=1$ mm; b) $vc=250$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $ap=1$ mm	103
Figura 4.11 -	Comparação entre os tempos de vida dos teste utilizando fluido de corte contaminado de base mineral (FCC-A) e fluido de corte contaminado de base vegetal (FCC-B) a) $vc=125$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $ap=1$ mm; b) $vc=250$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $ap=1$ mm	105
Figura 4.12 -	Evolução do desgaste de flanco no teste de vida com $vc=250$ m/min, $ap=1,0$ mm, $f=0,20$ mm/volta, utilizando o FCC-A. Desgaste após: a) 2,6 min; b) 5,1 min; c) 7,6 min; d) 10,0 min; e) 12,3 min; f) 14,6 min; g) 16,2 min; h) 17,0 min	106
Figura 4.13 -	Imagens do material aderido na aresta de corte ($vc=250$ m/min, $ap=1,0$ mm, $f=0,20$ mm/volta, utilizando o FCC-A) a) aumento de 50x; b) aumento de 120x; c) aumento de 250x, as flechas indicam as regiões onde foram realizado EDS	107
Figura 4.14 -	Imagens do desgaste da ferramenta no fim de vida ($vc=250$ m/min, $ap=1,0$ mm, $f=0,22$ mm/volta, utilizando o FCC-A após o ataque químico com ácido clorídrico. a) aumento de 50x; b) aumento de 120x; c) aumento de 500x da (região destacada em “b”)	109
Figura 4.15 -	Resultado do teste de espectrofotometria. a) comparação do FCN-A e FCC-A; b) comparação do FCN-B e FCC-B	110
Figura 4.16 -	Aspectos físicos do FC-B antes e após a contaminação chegando ao nível de 105 UFC/mL. a) FCN-B; b) FCC-B; c) FCC-B no reservatório da máquina	112
Figura 4.17 -	Filtro da bomba de sucção. a) filtro limpo; b) filtro entupido pelo FCC-B ..	113
Figura 4.18 -	Cavaco contínuo na forma de arco	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Óleos vegetais e suas aplicações (SHASHIDHARA e JAYARAM, 2010 adaptado).....	37
Tabela 2.2 - Vantagens e desvantagens dos óleos vegetais (SHASHIDHARA e JAYARAM, 2010 adaptado)	39
Tabela 2.3 - Tipos e características dos óleos de corte emulsionável (EL BARADIE,1996 adaptado)	40
Tabela 2.4 - Tipos e características dos fluidos de corte sintéticos (EL BARADIE, 1997; LUCHESI, 2011 adaptado).....	41
Tabela 2.5 - Classificação quanto à dureza da água, dada em cátions [partes por milhão].....	61
Tabela 3.1 - Composição química (% em massa) do Aço Inoxidável Austenítico V304UF.....	68
Tabela 3.2 - Ensaio de dureza do Aço inoxidável Austenítico V304UF.....	69
Tabela 3.3 - Fluidos de corte e cargas microbiológicas.....	75
Tabela 3.4 - Dimensões do suporte de ferramenta conforme Fig. 3.10 (SANDVIK, 2012).....	79
Tabela 3.5 - Parâmetros de usinagem nos ensaios de forças.....	83
Tabela 4.1 - Média, Desvio Padrão (D.P.) e incerteza expandida de medição associada a Rugosidade (R_a) para usinagem utilizando FCN-A e FCC-A	95
Tabela 4.2 - Média, Desvio Padrão (D.P.) e incerteza expandida de medição associada a Rugosidade (R_a) para usinagem utilizando FCN-B e FCC-B.	96
Tabela 4.3 - Teste de hipótese para os ensaios de vida utilizando o FCN-A e FCC-A	100
Tabela 4.4 - Teste de hipótese para os ensaios de vida utilizando o FCN-B e FCC-B	101
Tabela 4.5 - Valores dos elementos químicos em % apontado pelo EDS.....	108
Tabela 4.6 - Média e Desvio Padrão (D.P.) do pH dos fluidos de corte.....	110
Tabela 4.7 - Comparação quantitativa e qualitativa dos ensaios utilizando o fluido de corte novo (FCN-A) e contaminado (FCC-A) de base mineral.....	114
Tabela 4.8 - Comparação quantitativa e qualitativa dos ensaios utilizando o fluido de corte novo (FCN-B) e contaminado (FCC-B) de base vegetal.....	115

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APC	Aresta Postiça de Corte
BHI	<i>Brain Heart Infusion</i>
cfc	Estrutura Cubica de Face Centrada
CNC	Comando Numérico Computadorizado
DP	Desvio Padrão
EDS	<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>
EP	Extrema Pressão
FC	Fluido de Corte
FC-A	Fluido de Corte de Base mineral
FC-B	Fluido de Corte de Base vegetal
FCN	Fluido de Corte Novo
FCC	Fluido de Corte Contaminado
HB	Dureza Brinell
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LEPU	Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MQF	Mínima Quantidade de Fluido
P.A.	<i>Pro Analyse</i>
pH	Potencial hidrogeniônico
UFC	Unidade Formadora de Colônia

LISTA DE SÍMBOLOS

a_p	Profundidade de corte	[mm]
f	Avanço	[mm/volta]
F_c	Força de corte	[N]
F_f	Força de avanço	[N]
F_p	Força passiva	[N]
F_u	Força de usinagem	[N]
H_0	Hipótese nulidade	
H_1	Hipótese alternativa	
k	Fator de abrangência	
KT	Profundidade de cratera	[mm]
l_r	Comprimento de usinagem	[mm]
l_n	Comprimento de avaliação	[mm]
R_a	Rugosidade média	[μ m]
r_ϵ	Raio de ponta da ferramenta	[mm]
t	Tempo de vida de uma aresta de corte	[min]
v_f	Velocidade de avanço	[m/min]
v_e	Velocidade efetiva de corte	[m/min]
$v.v^{-1}$	Volume por volume (%)	
v_c	Velocidade de corte	[m/min]
VB_b	Desgaste de flanco médio	[mm]
$VB_{m\acute{a}x}$	Desgaste de flanco máximo	[mm]
VB_N	Desgaste de entalhe	[mm]
z	Vazão	[L/min]
γ	Ângulo de saída	[°]
λ	Ângulo de inclinação	[°]
κ	Ângulo de posição	[°]
α	Nível de significância	[°]

SUMÁRIO

RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS	XVI
 CAPÍTULO I	 20
INTRODUÇÃO	20
 CAPÍTULO II	 23
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. Usinagem dos Metais	23
2.1.1. <i>Forças de Usinagem.....</i>	23
2.1.2. <i>Desgaste da Ferramenta de Corte.....</i>	24
2.1.3. <i>Vida da Ferramenta</i>	26
2.2. Origem, Importância e Funções dos Fluidos de Corte	26
2.2.1. <i>Origem e Evolução dos Fluidos de Corte.....</i>	26
2.2.2. <i>Importância e Ação dos Fluidos de Corte</i>	28
2.2.3. <i>Funções Primárias dos Fluidos de Corte</i>	29
2.2.4. <i>Funções Secundárias dos Fluidos de Corte</i>	32
2.3. Classificação dos Fluidos de Corte.....	34
2.3.1. <i>Óleo de Corte Integral</i>	35
2.3.2. <i>Óleos de Origem Mineral.....</i>	36
2.3.3. <i>Óleos de Origem Vegetal</i>	37
2.3.4. <i>Óleos Miscíveis em Água</i>	39
2.3.4.1. <i>Fluidos de Corte Emulsionáveis.....</i>	39
2.3.4.2. <i>Fluidos de Corte Sintéticos</i>	41
2.3.4.3. <i>Fluidos de corte Semissintético.....</i>	42
2.3.5. <i>Fluidos de Corte Gasosos</i>	42
2.4. Aditivos, Características e Propriedades dos Fluidos de Corte	43
2.4.1. <i>Principais Aditivos</i>	43
2.4.2. <i>Propriedades e Características dos Fluidos de Corte Proporcionadas pelos Aditivos</i>	44
2.5. Direções e Métodos de aplicação dos fluidos de corte	46
2.5.1. <i>Direções de Aplicação</i>	46

2.5.2.	<i>Outros Métodos de Aplicação.....</i>	48
2.6.	Aplicação de Fluido de Corte na Usinagem do Aço Inoxidável.....	50
2.6.1.	<i>Importância, Características Físicas e Usinagem dos Aços Inoxidáveis</i>	50
2.6.2.	<i>Fluidos de Corte Indicados para Usinagem de Aços Inoxidáveis.....</i>	52
2.7.	Contaminação dos Fluidos de Corte Emulsionáveis	52
2.7.1.	<i>Tipos e Formas de Contaminação.....</i>	53
2.7.2.	<i>Efeitos da Contaminação Microbiológica</i>	54
2.7.3.	<i>Alteração do pH.....</i>	55
2.7.4.	<i>Formação de Biofilmes.....</i>	56
2.7.5.	<i>Principais Bactérias Presentes nos FCs e Controle Microbiológico</i>	58
2.7.6.	<i>Alternativas para o Controle do Crescimento Bacteriano nos Fluidos de Corte</i>	59
2.7.7.	<i>Outros Fatores que Podem Influenciar na Qualidade dos Fluidos de Corte</i>	60
2.8.	Impactos Negativos dos Fluidos de Corte no Meio Ambiente e Saúde do Operador.....	61
2.8.1.	<i>Impactos dos Fluidos de Corte em Relação ao Meio Ambiente</i>	62
2.8.2.	<i>Impactos dos Fluidos de Corte em Relação à Saúde do Operador.....</i>	62
2.8.3.	<i>Legislação Ambiental Relacionadas aos Fluidos de Corte.....</i>	63
2.8.4.	<i>Descartes e Tratamentos dos Fluidos de Corte</i>	64
CAPÍTULO III		66
METODOLOGIA.....		66
3.1.	Procedimento Experimental	66
3.2.	Caracterização dos Corpos de Prova.....	67
3.2.1.	<i>Ensaio de Dureza</i>	68
3.2.2.	<i>Ensaio Metalográfico</i>	69
3.3.	Preparo dos Fluidos de Corte.....	71
3.3.1.	<i>Descrição dos Fluidos de Corte Avaliados.....</i>	71
3.3.2.	<i>Esterilização da Água, Diluição dos Fluidos de Corte e Limpeza da Máquina</i>	71
3.3.3.	<i>Preparo do Inoculo e Contaminação Induzida dos Fluidos de Corte.....</i>	72
3.3.4.	<i>Monitoramento Microbiológico dos Fluidos de Corte Avaliados</i>	75
3.4.	Caracterização dos Fluidos de Corte.....	76
3.4.1.	<i>Espectrofotometria dos Fluidos de Corte.....</i>	76
3.4.2.	<i>Análise do pH dos Fluidos de Corte.....</i>	77
3.5.	Especificações dos Equipamentos Utilizados nos Ensaios de Usinagem.....	78
3.5.1.	<i>Torneamento</i>	78
3.5.2.	<i>Ferramentas e suporte</i>	78
3.5.3.	<i>Aparelhagem para os Ensaios de Forças de Usinagem e Acabamento Superficial</i>	80

3.5.4. Especificações dos Microscópios Utilizados	81
3.6. Metodologia Utilizada nos Ensaios de Torneamento.....	82
3.6.1. Ensaios de Forças de Usinagem e Acabamento Superficial	82
3.6.2. Ensaios de Vida da Ferramenta	85
CAPÍTULO IV	88
RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
4.1. Considerações Iniciais	88
4.2. Ensaios de Forças de Usinagem	88
4.3. Acabamento Superficial	94
4.4. Vida da Ferramenta de Corte	98
4.5. Mecanismo de Desgaste da Ferramenta de Corte.....	106
4.6. Teste de Espectrofotometria.....	109
4.7. Avaliação do pH.....	110
4.8. Análise dos Aspectos Físicos dos Fluidos de Corte Contaminados	111
4.9. Análise do Cavaco	113
4.10. Resumo dos Resultados	114
CAPÍTULO V	116
CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	116
5.1. Conclusões	116
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A utilização dos fluidos de corte (FC's) nos processos de usinagem de certos materiais melhora as características tribológicas do sistema peça-ferramenta-cavaco. Durante o processo de corte dos metais é gerado uma grande quantidade de calor, devido à energia necessária para deformação do material e à energia decorrente do atrito ferramenta-peça e cavaco-ferramenta (DINIZ et al., 2010). Os FC's atuam refrigerando e lubrificando a interface peça-ferramenta-cavaco, diminuindo as altas temperaturas geradas no sistema. Assim, se eles forem escolhidos e aplicados apropriadamente, seu uso é de extrema importância e podem trazer benefícios, reduzindo os custos de fabricação ou aumentando a taxa de produção (MACHADO et al., 2011).

Segundo Ferraresi (1977), o primeiro pesquisador que constatou os efeitos dos fluidos de corte no processo de usinagem foi F. W. Taylor em 1883. Sua verificação se fez, jorrando grande quantidade de água na região peça-ferramenta-cavaco, com o que conseguiu aumentar a velocidade de corte em 33%, sem prejuízo para a vida da ferramenta de corte. De acordo com Diniz et al. (2010) depois de Taylor, diversas pesquisas desenvolveram novos tipos de fluidos além da água, já que esta, apesar de ter alto poder refrigerante, promove oxidação da peça, da ferramenta e da máquina, além de ter baixo poder lubrificante. Silliman (1992) destaca que a industrialização e o aumento da demanda de fabricação de peças estimularam o aumento da velocidade de corte, o que exigiu o desenvolvimento de materiais para ferramentas de corte mais resistentes e, conseqüentemente, trouxe a necessidade de aperfeiçoamento também dos fluidos de corte. As pesquisas levaram à utilização das mais variadas combinações de óleos minerais, óleos graxos e aditivos (enxofre, cloro, fósforo, etc.). Cada combinação com seu emprego específico. Surgiram então os fluidos de corte emulsionáveis, que aproveitam as boas características lubrificantes dos óleos, com a alta propriedade refrigerante da água (FERRARESI, 1977).

Atualmente, os fluidos de corte emulsionáveis ainda são os mais utilizados nas indústrias metal-mecânica durante os processos de usinagem de peças metálicas. Esses FC's, dependendo da sua concentração, apresentam alto poder refrigerante, fundamental para usinagem com alta velocidade de corte. Segundo Tânio (2012) o uso de fluidos de corte nos processos de usinagem ainda é regra dominante no mercado brasileiro, apesar das pressões ambientais que encarecem o uso dos óleos de corte, pois além do preço dos insumos é preciso contabilizar aqueles relacionados à manutenção e ao descarte correto. Estima-se que os custos relacionados com os fluidos de corte podem chegar aos 16-17% do custo total do processo.

A classe dos aços inoxidáveis é um exemplo de materiais de difícil usinagem que exigem a utilização de fluidos de corte. A baixa usinabilidade desses aços é devido às características tais como: alta tendência de encruamento, baixa condutividade térmica, alta ductibilidade e resistência ao cisalhamento (KORKUT et al., 2003). O calor gerado durante a usinagem desses materiais é concentrado na região de corte, resultando em elevadas temperaturas nessa região, que aumentam os desgastes da ferramenta de corte por processos termicamente induzido, como a difusão e a reação química entre a ferramenta e o material da peça (SHOKRANI et al., 2012). A usinagem desses materiais sem fluido de corte (a seco) apresentam altos índices de rugosidades, elevada forças de corte na qual aceleram o desgaste na ferramenta, conseqüentemente, esses parâmetros irão refletir na baixa qualidade e alto custo de fabricação da peça (CHIAVERINI, 1977, KORKUT et al. 2003). A utilização de FC, embora questionada sob diversos pontos de vista, é imprescindível na usinagem de aços, de um modo geral, e particularmente na usinagem de aços inoxidáveis (AKASAWA et al., 2003).

Os FC's emulsionáveis, são compostos bifásicos de óleo mineral (ou vegetal) em água. Por possuir uma grande gama de nutrientes (compostos químicos), esses fluidos são facilmente contaminados por microrganismos (bactérias) que utilizam esses compostos como matéria prima em suas atividades fisiológicas. Vários autores tais como: Rossmore, (1995); Hodgson et al., (2001); Capelletti, (2006); Thomé et al., (2007); Rabenstein et al., (2009) citam que o crescimento destes microrganismos e a liberação de seus restos metabólicos nos fluidos, causam alterações em suas propriedades originais (aumento da viscosidade, desestabilização da emulsão, queda do pH da emulsão, perda da capacidade de lubrificação e refrigeração), descoloração da emulsão, maus odores, perda de qualidade das peças de trabalho e até mesmo da ferramenta.

A literatura especializada apresenta vários estudos que descrevem os impactos negativos que os fluidos de corte contaminado podem causar ao meio ambiente e na saúde do operador. Entretanto, até onde foi pesquisado por este proponente, não há relatos se

esses fluidos de corte contaminados afetam significativamente as variáveis de saída do processo de usinagem, ou se este pode ser considerado um parâmetro de usinabilidade do sistema. Assim, o principal objetivo desse trabalho foi investigar a influência da contaminação microbiológica nos fluidos de corte no processo de torneamento do aço inoxidável austenítico V304UF, quantificando os parâmetros de usinabilidade: forças de corte, vida da ferramenta e acabamento superficial da peça. Com os valores desses parâmetros é possível avaliar o desempenho dos fluidos de corte no processo. Para isso dois fluidos de corte (um de base vegetal e outro de base mineral) foram contaminados de maneira induzida (através de inoculações seriada) até chegarem ao nível de contaminação média de 10^5 UFC/mL (unidades formadoras de colônias por mililitro). Esses foram comparados com os fluidos novos da mesma espécie e avaliados no processo de torneamento. O presente trabalho ajuda a disseminar o tema e responder algumas dúvidas pertinentes em relação a contaminação dos fluidos de corte. Será que a biodegradação dos FCs causados pelas atividades bacterianas afetam significativamente o processo de usinagem? Essa questão é estudada ao longo deste trabalho, considerando as forças de usinagem, a vida da ferramenta e o acabamento da superfície da peça foram avaliados em quando se utilizou fluidos de corte novos e contaminados.

Para a abordagem desse tema essa dissertação foi dividida em cinco capítulos subseqüentes a este. O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica considerada necessária para o embasamento teórico do trabalho. O capítulo três apresenta a metodologia, onde é descrito as especificações dos materiais utilizados e os procedimentos experimentais empregados nos ensaios. No capítulo quatro são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios. No quinto capítulo são descritas as conclusões mais importantes dessa pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo tem como finalidade apresentar a revisão da literatura sobre os fluidos de corte (FC's) aplicados no processo de usinagem e as formas de degradações. Buscou-se a maior quantidade de informações necessárias para o embasamento teórico do trabalho, focando nos seguintes pontos: usinagem dos metais; origem, importância e funções dos fluidos de corte; classificações dos FC's; aditivos, características e propriedades dos fluidos de corte; aplicação de fluido de corte na usinagem de aços inoxidáveis; contaminação dos FC's emulsionáveis; impactos dos FC's no meio ambiente e na saúde humana.

2.1. Usinagem dos Metais

Entre os diversos tipos de produtos obtidos por processos de fabricação, destacam-se aqueles produzidos por usinagem, que segundo Ferraresi (1977) é o processo de fabricação onde ocorre remoção de cavaco. Esse é sem dúvida um dos processos de fabricação mais utilizados no mundo, transformando em cavado cerca 10% de toda produção de metais e empregando dezenas de milhões de pessoas (TRENT, 1985).

O processo de torneamento está entre os diversos processos de usinagem. Ferraresi (1977) define torneamento como um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. O corte ao longo da peça é efetuado com uma combinação entre a velocidade de rotação da peça, a profundidade de corte e velocidade de avanço da ferramenta (MACHADO et al. 2011; DINIZ et al., 2010).

2.1.1. Forças de Usinagem

Durante o processo de usinagem a ferramenta fica submetida a um conjunto de forças. O conhecimento da força de usinagem que age sobre a cunha cortante e o estudo de

suas componentes é de grande importância, porque possibilitam estimar a potência necessária para o corte, bem como as forças atuantes nos elementos da máquina-ferramenta. A força de usinagem é uma das grandezas responsáveis pelo desgaste das ferramentas de corte, causam o colapso da aresta de corte por deformação plástica, além de influenciar no desenvolvimento de outros mecanismos e processos de desgaste (MACHADO et al., 2011; SANTOS e SALES, 2007).

De acordo com Trent e Whight (2000), Santos e Sales (2007), Diniz et al. (2010) e Machado et al. (2011), a força de usinagem depende das áreas das zona de cisalhamento primária e secundária, da resistência ao cisalhamento do material da peça nesses planos, material da ferramenta, velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, geometria da ferramenta, estado de afiação da ferramenta, uso de fluido de corte, entre outros.

2.1.2. Desgaste da Ferramenta de Corte

A definição de desgaste em ferramentas de corte, segundo a Norma ISO 3685 (1993) é a mudança de sua forma original durante o corte, resultante da perda gradual de material. Childs et al. (2000) citam que os desgastes são progressivos no flanco (incidência) e na face (saída) da ferramenta. A Fig. 2.1 esquematiza os tipos de desgaste aparentes na ferramenta de corte.

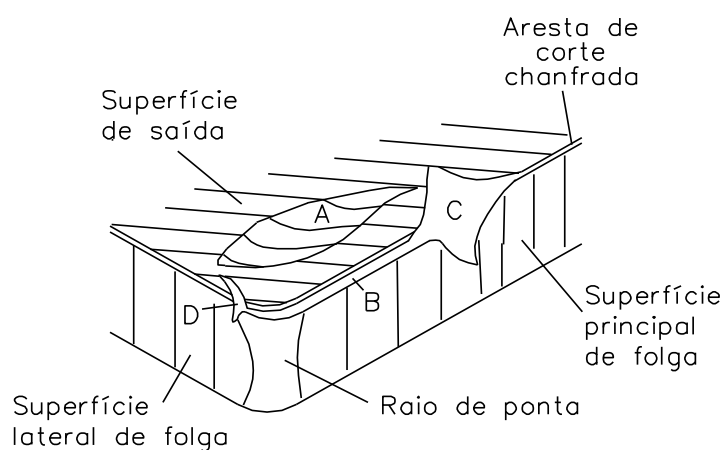


Figura 2.1 - Esquema dos tipos de Desgaste da ferramenta de corte: (A) desgaste de cratera; (B) desgaste de flanco; (C) e (D) entalhe (MACHADO et al., 2011 adaptado)

Pelo menos, três formas de desgaste podem ser identificadas na fig 2.1 (MACHADO et al., 2011):

- Desgaste de cratera (área A)
- Desgaste de flanco (área B)
- Desgaste de entalhe (*notch wear*, áreas C e D).

A Figura 2.2 mostra a padronização dada pela Norma ISO 3685 (1993) para quantificar as formas de desgaste das ferramentas de aço rápido (*high steel speed*) e metal duro. Os principais são: o desgaste médio de flanco (VB_B), o desgaste máximo de flanco (VB_{Bmax}), o desgaste de entalhe no flanco secundário ou desgaste de ponta (VB_C), o desgaste de entalhe no flanco principal (VB_N). Na superfície de saída da ferramenta mede-se a profundidade de cratera (KT), e a distância do centro desta à aresta de corte (KM).

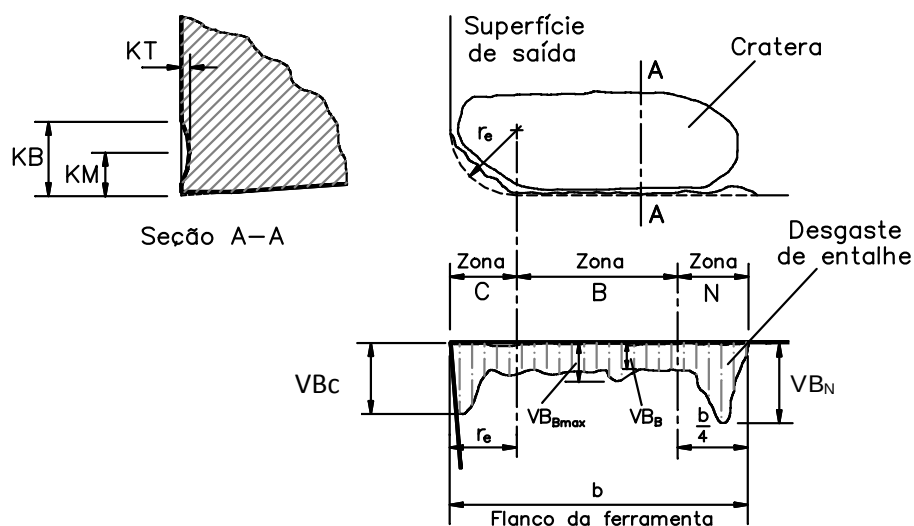


Figura 2.2 – Desgaste padrão para uma ferramenta de metal-duro (ISO 3685, 1993)

Devido a mecanismos de desgaste das ferramentas de corte resultante do processo de usinagem, dada uma determinada condição de corte, as formas de desgaste podem evoluir, resultando em maiores forças de usinagem, acabamentos superficiais não satisfatórios, entre outras alterações. Para não ter perdas econômicas significativas na produção de peças, deve haver um critério de parada para troca da ferramenta.

2.1.3. Vida da Ferramenta

A vida da ferramenta é o tempo em que a mesma trabalha efetivamente, sem perder o corte ou até que atinja um critério de fim de vida previamente estabelecido (FERRARESI, 1977). A vida da ferramenta pode ser expressa de diversas maneiras, tais como: padrões da Norma ISO 3685 (1993), número de peças produzidas, percursos de avanço (mm), percurso efetivo de corte (m), velocidade de corte para determinado tempo de vida, volume de material removido, tempo de usinagem entre outros (SANTOS e SALES, 2007).

A Norma ISO 3685 (1993) sugere como critério de fim de vida para ferramentas de aço rápido, metal duro e cerâmica em operações de desbaste, os seguintes valores:

- Desgaste de flanco médio ($VB_B = 0,3mm$);
- Desgaste de flanco máximo ($VB_{m\acute{a}x} = 0,6mm$);
- Profundidade de cratera ($KT = 0,06 + 0,3f_c$), onde f_c é o avanço de corte;
- Desgaste de entalhe (VB_N e $VB_C = 1,0mm$);
- Falha catastrófica.

2.2. Origem, Importância e Funções dos Fluidos de Corte

2.2.1. Origem e Evolução dos Fluidos de Corte

Silliman (1992) relatou que em 1868, W. H. Northcott publicou que a produtividade do torno mecânico poderia ser aumentada por meio da utilização de um fluido de corte. De acordo com Ferraresi (1977), F. W. Taylor em 1883 foi o primeiro pesquisador que constatou e mediu a influência de um fluido de corte durante o processo de usinagem. Sua verificação se fez, jorrando grande quantidade de água na região peça-ferramenta-cavaco, com o que conseguiu aumentar a velocidade de corte em 33%, sem prejuízo para a vida da ferramenta de corte. Naturalmente, a idéia da água surgiu na busca de minorar o indesejável efeito das altas temperaturas sobre a ferramenta, o jorro da água levaria consigo parte do calor gerado durante o corte do material.

No final do século XIX, nos processos de usinagem, a água era aplicada em jorro na ferramenta de corte (EDWARDS e JONES, 1977). Segundo Diniz et al. (2010) depois de Taylor, diversas pesquisas promoveram o desenvolvimento de novos tipos de fluidos além da água, já que esta, apesar de ter alto poder refrigerante, promove oxidação da peça, da

ferramenta e da máquina, além de ter baixo poder lubrificante. Queiroz (2001) ainda cita que a adição de água ao processo de corte, com o tempo de uso, favorece a proliferação de microorganismos, aumentando a lista de fatores que inviabilizam o uso de água pura como fluido de corte. Esses problemas incentivaram a pesquisa e o desenvolvimento de novas composições e aditivos, visando o aprimoramento de fluidos de corte que evitassem a corrosão e o crescimento de microorganismos, além de buscar incrementar outras características que permitissem obter melhor desempenho (QUEIROZ, 2001).

De acordo com Silliman (1992), após as primeiras tentativas do uso de água, houve grande desenvolvimento e utilização de óleos graxos para os cortes de metais. Ferraresi (1977) relatou que esses óleos, de origem animal ou vegetal, foram os primeiros óleos integrais utilizados nos processos de usinagem. Os testes com esses óleos foram realizados com baixas velocidades de corte e pequenas seções de corte, no intuito de verificar a redução do atrito do cavaco sobre a ferramenta. Entretanto, sua utilização se tornou inviável devido ao alto custo e à rápida deterioração, porém, hoje são empregados como aditivos, nos fluidos minerais, com o objetivo de melhorar suas propriedades lubrificantes (SANTOS e SALES, 2007; MACHADO et al., 2011).

As pesquisas levaram à utilização das mais variadas combinações de óleos minerais, óleos graxos e aditivos (a base de enxofre, cloro, fósforo, etc.). Cada combinação com seu emprego específico. Surgiram então os fluidos emulsionáveis, que aproveitam as boas características lubrificantes dos óleos, com a alta propriedade refrigerante da água (FERRARESI, 1977).

Durante a Segunda Grande Guerra, o verdadeiro fluido emulsionável, como o que se conhece hoje, começou a ser usado na indústria (EDWARDS e JONES, 1977). Os fluidos emulsionáveis (erroneamente chamados algumas vezes de “óleos solúveis”) são compostos bifásicos de óleos minerais adicionados à água, mais agentes emulsificantes, que garantem uniformidade da mistura (MACHADO et al., 2011). Um dos fatores negativos desses fluidos é a potencialidade de desenvolvimento de bactérias e fungos, principais contaminantes da emulsão (BERNSTEIN et al., 1995; PASSMAN e ROSSMOORE, 2002; AWOSIKA et al., 2003; BECKET et al., 2005).

Após os fluidos emulsionáveis convencionais surgiram os fluidos semi-sintéticos, que também são missíveis em água e formadores de emulsões. A presença de grande quantidade de emulsificadores propicia a esses fluidos uma coloração menos leitosa e mais transparente. A menor quantidade de óleo mineral e a presença de biocidas elevam a vida do fluido e reduzem os riscos à saúde (SANTOS e SALES, 2007).

Mais recentemente surgiram os fluidos químicos de corte, também chamados de fluidos de corte sintéticos. Esses fluidos caracterizam-se por serem isentos de óleo mineral.

Consistem de sais orgânicos e inorgânicos, aditivos de lubricidade, biocidas, inibidores de corrosão entre outros, quando adicionados à água. Sua aplicação atualmente é bastante grande, tendo em vista que sua composição é estudada e preparada de acordo com o fim a que se destina (FERRARESI, 1977; EL BARADIE, 1996; MACHADO et al., 2011).

Em termos de consumo industrial, os óleos emulsionáveis (com boas propriedades refrigerantes) estão bem à frente dos demais; porém, os novos produtos, principalmente os sintéticos, estão cada vez mais conquistando o mercado consumidor (MACHADO et al., 2011).

Atualmente, o uso de fluidos de corte nos processos de usinagem ainda é regra dominante no mercado brasileiro, apesar das pressões ambientais que encarecem o uso dos óleos de corte, pois além do preço dos insumos é preciso contabilizar aqueles relacionados à manutenção e ao descarte correto. Estima-se que os custos relacionados com os fluidos de corte podem chegar aos 16-17% do custo total do processo (TÂNIO, 2012).

2.2.2. Importância e Ação dos Fluidos de Corte

Fluidos de corte são amplamente utilizados na indústria metal-mecânica durante os processos de usinagem de peças metálicas (torneamento, mandrilamento, furação, rosqueamento, entre outros) e em alguns casos é indispensável para o sucesso do processo. Durante o corte se desenvolve uma grande quantidade de calor, devido à energia necessária para deformação do cavaco e à energia decorrente do atrito ferramenta-peça e cavaco-ferramenta (DINIZ et al., 2010). Assim, Os fluidos de corte possuem os objetivos de proporcionar refrigeração e lubrificação na interface peça-ferramenta-cavaco, aumentar a vida útil da ferramenta, banhar a peça e remover o cavaco gerado, proteger a ferramenta, a peça e a máquina-ferramenta de corrosão, reduzir o atrito e melhorar o acabamento geral da peça (FERRARESI, 1977).

Os fluidos de corte têm importante papel na manufatura de peças. Em se tratando de sistemas de manufatura, qualquer tentativa de aumentar a produtividade e/ou reduzir custos deve ser considerada. Na usinagem, o uso de fluidos de corte é uma opção, e quando é escolhido e aplicado apropriadamente, traz benefícios (MACHADO e Da SILVA, 2004).

As explicações de como os fluidos de corte agem e/ou tem acesso à interface cavaco-ferramenta parece não estar bem esclarecida. Pesquisadores, tais como Rebinder e Shreiner (1949) citado por Smith et al. (1988), defendem a teoria que há uma ação físico-química entre o sistema fluido-ferramenta-peça. Já Merchant (1950 e 1957) defende a idéia que o contato com a interface não é completo, ou seja, há falhas de contato, assim o

lubrificante penetra contra o fluxo de metal, chegando à ponta da ferramenta por ação capilar (SANTOS e SALES, 2007). Isto caracteriza a ocorrência das condições de escorregamento e que há a formação de um filme lubrificante de baixa tensão de cisalhamento, na interface cavaco-ferramenta.

A fim de verificar a ação dos fluidos de corte na interface cavaco-ferramenta, Trent (1991) mostrou evidências, por meio de técnicas de interrupção repentina do corte (*quick-stop*), seguida de análises metalográficas da raiz do cavaco, que existe uma região de aderência na qual o lubrificante não tem acesso. Trent (1991) ainda afirma que os fluidos de corte atuam com mais eficiência na zona de escorregamento onde as tensões mecânicas são menores.

Em usinagem com altas velocidades de corte, Williams e Tabor (1977) citado por Santos e Sales (2007) afirmam que o fluido não consegue alcançar a ponta da ferramenta por ação capilar, segundo o autor o fluido é direcionado para fora da interface por uma ação hidrodinâmica induzida, efeito ocasionado pelo aumento da velocidade de saída do cavaco. Assim o fluido utilizado em altas velocidades de corte teria apenas características refrigerantes.

2.2.3. Funções Primárias dos Fluidos de Corte

Santos e Sales (2007) separa os fluidos de corte em duas principais funções: lubrificar a baixas velocidades de corte e refrigerar a altas velocidades de corte. Percebe-se que as velocidades de corte estão diretamente ligadas à atuação do fluido de corte no processo de usinagem. Sob baixas velocidades de corte, caso em que as temperaturas são mais baixas, a refrigeração é relativamente sem importância, enquanto a lubrificação é fundamental. Trent (1991) afirma que com a predominância da lubrificação (em processos com baixa velocidade de corte) há redução do atrito na interface cavaco-ferramenta, reduzindo a região de aderência, e conseqüentemente, prevalecendo a de escorregamento. Com isso evita-se a formação da aresta postiça de corte - APC, que é prejudicial ao acabamento da superfície da peça. A Fig. 2.3 mostra esquematicamente a influência do fluido atuando como lubrificante, na formação da APC.

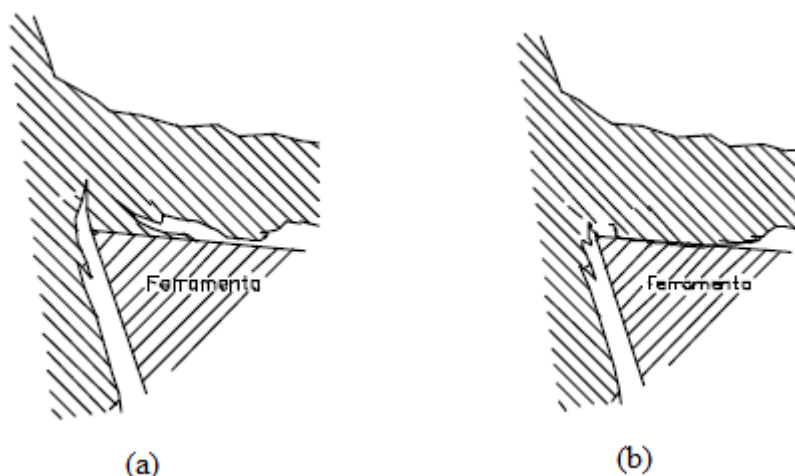


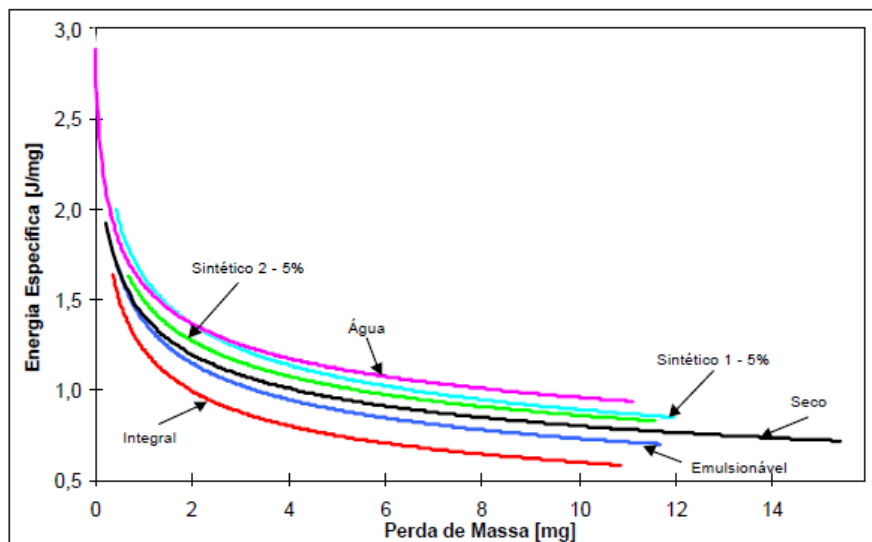
Figura 2.3 - Interface cavaco-ferramenta, na presença de APC (a) – APC, usinando a seco; (b) – APC, usinando com óleo lubrificante emulsionável (SALES, 1999)

Segundo Machado et al. (2011), o fluido de corte agindo como lubrificante contribui para reduzir o atrito e a área de contato ferramenta/cavaco, e sua eficiência vai depender da habilidade de penetrar na interface ferramenta/cavaco no curto período de tempo disponível e de formar um filme (seja por ataque químico, seja por adsorção física) com resistência ao cisalhamento menor que a resistência do material da peça.

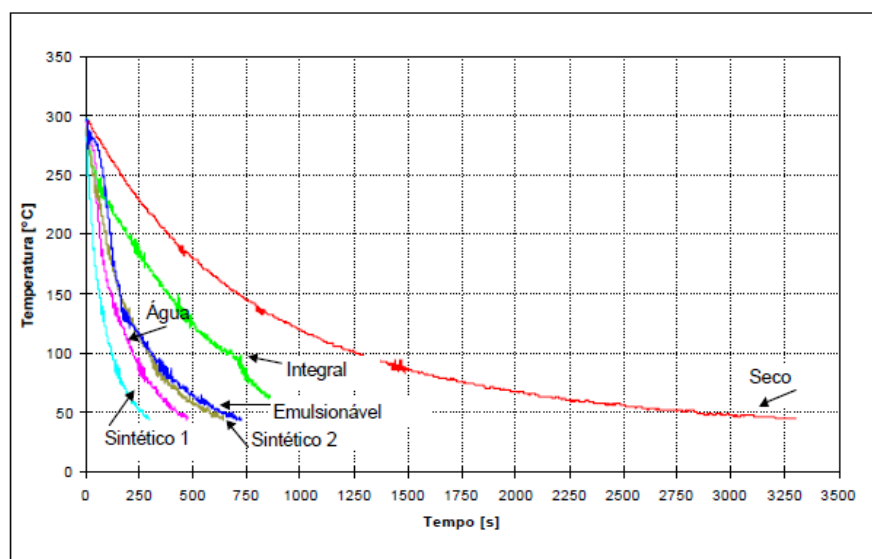
Em geral, de acordo com Diniz et al. (2010), os requisitos básicos para que um fluido seja um bom lubrificante são: resistência a pressões e temperaturas elevadas sem vaporizar; boas propriedades antifricção e antisoldantes; viscosidade adequada (esta deve ser suficientemente baixa para permitir uma fácil circulação do fluido e suficientemente alta para uma boa aderência do fluido às superfícies da ferramenta).

O poder de lubrificação dos fluidos de corte podem ser estimados e avaliados através de testes que não envolvem usinagem. Sales (1999) em seu trabalho utilizou a técnica de esclerometria pendular para avaliar o desempenho de diversos fluidos de corte. Essa técnica consiste em um pêndulo, com uma ferramenta de metal duro na extremidade, liberado por uma altura conhecida. O corpo de prova é fixado na parte inferior do instrumento submerso com o fluido a ser analisado. Quando o pêndulo é liberado, o metal duro risca o corpo de prova e atinge uma determinada altura na outra extremidade. Essa altura é utilizada pra determinar a energia consumida no risco. Considerando essa energia e a perda da massa do corpo de prova após o risco, pode-se determinar um importante parâmetro, denominado de energia específica. Quanto menor a energia específica resultante, menor o atrito observado e, portanto, maior lubricidade do fluido. A Fig. 2.4 apresenta um gráfico com os resultados obtidos por Sales (1999), que compara seis

diferentes meios lubrificantes. O óleo integral apresentou menores energias nos testes de riscamento, concordando com as melhores propriedades lubrificantes desse fluido.



(a)



(b)

Figura 2.4 – a) Classificação de diversos meios lubrificantes obtidos por esclerometria pendular b) curvas de resfriamento do corpo de prova em função do tempo (SALES, 1999)

Sob altas velocidades de corte, a temperatura de usinagem é mais elevada, além disso, segundo Willians (1977) as condições não são favoráveis para a penetração do fluido de corte na interface para que ele exerça suas funções lubrificantes (MACHADO et al., 2011). Deste modo, à alta velocidade de corte a característica refrigerante dos fluidos de corte tende a ser predominante.

Como função refrigerante os fluidos de corte, de acordo com Diniz et al. (2010), devem possuir requisitos tais como: baixa viscosidade a fim de que flua facilmente; capacidade de “molhar” bem o metal para estabelecer um bom contato térmico; alto calor específico e alta condutividade térmica. Tais propriedades são esperadas de um fluido de corte típico de ação refrigerante, pois tal ação ocorre pela retirada do calor do conjunto peça/ferramenta após este ser gerado durante a usinagem (deformação do cavaco e atritos entre as superfícies de saída e de folga com o cavaco e superfície usinada da peça, respectivamente).

De acordo com Ferraresi (1977), ao aumentar a velocidade de corte e/ou avanço no processo de usinagem, a temperatura na interface ferramenta-cavaco também tende a aumentar. O aumento da temperatura pode levar a diferentes mecanismos de desgastes, ou até mesmo ao colapso da ferramenta de corte, assim, a vida da ferramenta está diretamente relacionada com a velocidade de corte. Diniz et al. (2010) apontam que, em boa parte das operações, o fluido de corte com ação refrigerante trabalha realmente no sentido de aumentar a vida da ferramenta. Um exemplo deste caso é o corte contínuo (torneamento, mandrilamento, etc.) de qualquer material metálico (e vários não metálicos) realizado com ferramentas de metal duro (com ou sem revestimento), que normalmente é realizado com a aplicação do fluido de corte. Neste caso, o fluido pode garantir uma economia considerável no processo, por permitir efetivamente o aumento da vida da ferramenta.

A capacidade refrigerante de alguns fluidos de corte foi avaliada por Sales (1999) através de um ensaio no qual um corpo de prova padronizado é previamente aquecido e fixado à placa do torno e depois colocado para girar a uma velocidade de 150 rpm, enquanto o fluido de corte é aplicado. Quando a temperatura (monitorada por meio de um sensor infravermelho) atinge 300°C, inicia-se a aquisição dos dados através de um sistema computacional até que seja atingida a temperatura ambiente. Utilizando este procedimento, Sales (1999) conseguiu mostrar as curvas de resfriamento do material em gráficos da temperatura em função do tempo (Fig 2.4b).

2.2.4. Funções Secundárias dos Fluidos de Corte

Como funções secundárias dos fluidos de corte Santos e Sales (2007) destacam:

- Melhoria no acabamento superficial da peça usinada;
- Ajuda na retirada do cavaco da zona de corte;
- Proteção da máquina-ferramenta e da peça contra a corrosão atmosférica;
- Evita o aquecimento excessivo da peça;

- Contribui na quebra do cavaco (quando aplicado à alta pressão);
- Refrigera a máquina-ferramenta.

A qualidade do acabamento superficial da peça usinada depende principalmente da geometria da ferramenta, das condições de corte e do comportamento dinâmico da máquina (FERRARESI, 1977). Porém, Diniz et al. (2010) citam que a utilização de fluido de corte com características refrigerantes pode beneficiar a peça usinada, como é o caso de operações em que o acabamento superficial e/ou tolerâncias dimensionais são críticos. É necessário então que a ação refrigerante do fluido evite a dilatação da peça, proporcionando a obtenção de tolerâncias dimensionais apertadas. Em contrapartida, Santos e Sales (2007) dizem que em elevadas velocidade de corte, o fluido atua mais como refrigerante, diminuindo a temperatura média nas zonas de cisalhamento. Com isso o efeito de amolecimento do material, devido ao aumento da temperatura, se reduz, fazendo que as forças de corte se elevem. Fato que pode promover piora na rugosidade da superfície da peça.

A adoção de um fluido de corte lubrificante influencia o comportamento dinâmico da máquina, reduzindo o coeficiente de atrito na interface ferramenta-cavaco, que causam uma diminuição na intensidade das forças de corte, assim a vibração resultante da máquina tende a diminuir e, conseqüentemente, a rugosidade da superfície da peça melhora.

O aço inoxidável, devido a características, tais como baixa condutividade térmica e alta capacidade de endurecimento por deformação, ao ser usinado com baixas velocidades de corte, está sujeito a altas taxas de encruamento e aderência do material na ponta da ferramenta, formando Arestas Postiças de Corte - APC. Santos e Sales (2007) relatam que as APCs pioram o acabamento superficial da peça devido o desprendimento de pequenas partículas. O uso de lubrificantes torna-se benéfico a baixas velocidades de corte, diminuindo ou eliminando a APC, o que resulta em melhoria no acabamento superficial (TRENT, 1991).

De acordo com Machado et al. (2011), há situações em que a remoção de cavacos se torna crítica, como na furação profunda e no serramento, processos nos quais a aplicação deficiente de fluido de corte pode resultar no engripamento dos cavacos, o que pode causar a quebra prematura da ferramenta de corte. Diniz et al. (2010) sugerem que para a remoção dos cavacos da região de corte na furação, deve-se utilizar um fluxo de fluido de corte com baixa viscosidade em alta pressão por meio de canais internos na broca.

Os fluidos de corte também podem agir como quebra-cavado hidráulico, obtendo-se bons resultados. Machado (1990) mostrou uma melhora no rompimento do cavaco, usinando ligas de titânio e de níquel. Os fluidos tendem a diminuir a área de contato cavaco-

ferramenta, isso provoca um maior raio de curvatura natural do cavaco, o que pode levar o material a valores de deformações críticas de ruptura, facilitando a quebra, e atuando como um parâmetro ativo de controle do cavaco.

Devido ao calor gerado pelo processo de usinagem, há um aumento na temperatura da peça. Este aquecimento, segundo Ferraresi (1977), pode conduzir a quatro fatos indesejáveis na operação de usinagem:

- Deformação da peça em usinagem devido às tensões oriundas de grandes aquecimentos locais ou mesmo total;
- Cores de revenido na superfície usinada. É o caso da usinagem por abrasão, em especial nas operações de retificação. Na operação de acabamento da peça.
- Falseamento das medidas da peça. Em operações onde as medidas são tomadas automaticamente pelas trajetórias das ferramentas, ocorre uma discordância entre as medidas feitas durante a ação da ferramenta e após essa ação; acontece que a peça apresenta medidas diferentes quando aquecida em relação ao estado de temperatura ambiente. A refrigeração neste caso poderá manter a peça sempre em temperatura bem próxima da ambiente.
- Dificuldade para o operador manusear a peça usinada: retirá-la da máquina, transportá-la, etc.

Tendo em vista estes fatores, o autor aconselha utilizar fluidos de corte refrigerantes aplicados em abundância para o resfriamento do sistema e evitar esses problemas pós-usinagem.

2.3. Classificação dos Fluidos de Corte

Segundo Machado et al. (2011) existem diversas formas de classificar os fluidos de corte; entretanto, não há uma padronização. Embora a utilização de fluidos de corte gasosos e sólidos seja eventualmente descrita na literatura técnica, os fluidos de corte líquidos representam a grande maioria nas aplicações em operações de usinagem. Em geral, Yildiz e Nalbant (2008) classificam os fluidos de corte em três principais grupos conforme mostra a Fig 2.5.

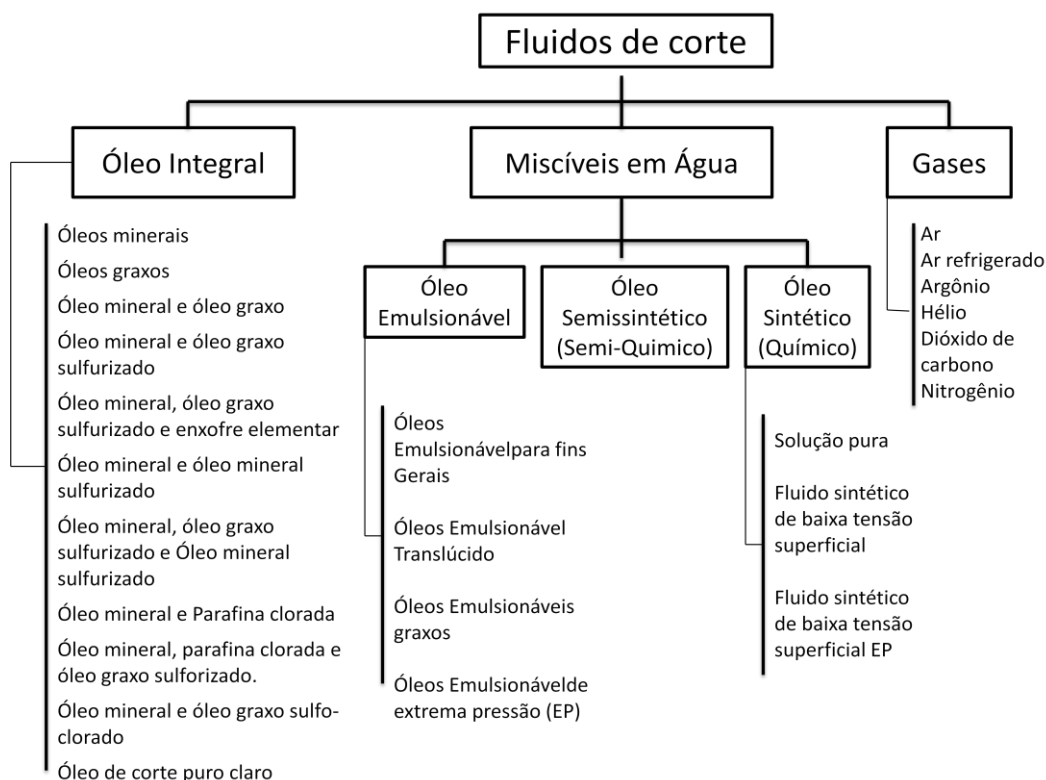


Figura 2.5 - Classificação dos fluidos de corte (YILDIZ e NALBANT, 2008 - adaptado)

Além dos fluidos citados na Fig. 2.5, o ar algumas vezes é utilizado como fluido de corte, com a função de expulsar o cavaco da região próxima ao corte, principalmente nas operações de fresamento (DINIZ et al., 2010). Santos e Sales (2007) também citam a utilização de lubrificantes sólidos na usinagem. Eles são aplicados (na forma de pó) diretamente na superfície de saída da ferramenta, antes da usinagem. Geralmente é usado como veículo uma graxa ou um óleo viscoso. Recentemente, Rahmati et al. (2013) mostraram os benefícios do uso de disulfeto de molibdenio (MoS_2) como nanolubrificante no processo de fresamento e furação de uma liga de alumínio.

A seguir serão apresentados os principais fluidos de corte normalmente utilizados nos processos de usinagem.

2.3.1. Óleo de Corte Integral

O termo óleo de corte integral, ou óleo de corte puro, refere-se à qualidade de serem predominantemente óleos minerais e usados como soluções puras, ou seja, soluções que não contém água em sua composição. Podem ser usado totalmente puro ou combinado

(misturado com aditivo) (EL BARADIE, 1996; LUCHESI, 2011). Silliman (1992) ainda cita que esses podem ser à base de óleo mineral de petróleo, de óleo animal, de óleo vegetal ou, ainda, de combinações entre esses óleos.

Óleos integrais são normalmente utilizados em operações de usinagem severa (operações de desbaste pesado) onde as forças de atrito são grandes. Esses óleos não têm boas características refrigerantes quando comparada aos fluidos aquosos, entretanto de acordo com Diniz et al. (2010), sua capacidade de lubrificação é bem melhor, o que resulta em menor quantidade de calor gerado pelo atrito ferramenta/peça.

Claudin et al. (2010) investigaram a influência do óleo integral no coeficiente de atrito na interface ferramenta-cavaco no torneamento do aço AISI 4140 com ferramenta de metal duro revestido com TiN. Os resultados mostraram que, em baixa velocidade (<150 m/min), o óleo integral diminuiu significativamente o coeficiente de atrito, quando comparado com a usinagem a seco.

O emprego dos óleos integrais como fluido de corte nos últimos anos tem perdido espaço para os emulsionáveis em água, devido ao alto custo em relação aos demais, aos riscos de fogo, à ineficiência a altas velocidades de corte, ao baixo poder refrigerante e formação de fumos, além de oferecerem riscos à saúde do operador (ALMEIDA, 2010).

2.3.2. *Óleos de Origem Mineral*

Os óleos minerais básicos empregados na fabricação de fluidos de corte podem ser (SHELL, 1991 citado por SANTOS e SALES, 2007):

- Base parafínica: Derivam do refinamento do petróleo cru parafínico de alto teor de parafinas (ceras), que resultam em excelentes fluidos lubrificantes. Estes óleos são encontrados em maior abundância e, portanto, apresentam um custo menor, possui alto índice de viscosidade, maior resistência à oxidação, são menos prejudiciais à pele e ainda menos agressivos à borracha e ao plástico.
- Base naftênica: Derivam do refinamento do petróleo cru naftênico. O uso destes óleos como básicos para fluido de corte tem diminuído em função de problemas causados à saúde humana. Os fluidos lubrificantes são de baixa qualidade e são escassos.
- Óleos minerais de base aromática: Não são empregados na fabricação de fluidos de corte. São excessivamente oxidantes, porém podem melhorar a resistência ao desgaste e apresentar boas propriedades EP – Extrema Pressão (capacidade de suportar elevadas temperaturas e pressões de corte), quando presentes em grandes quantidades, em óleos parafínicos.

Loredana et al. (2008) citam que aproximadamente 85% dos lubrificantes usados mundialmente são de origem mineral, que podem causar um enorme efeito negativo ao meio ambiente, como será apresentado em subitens posteriormente.

2.3.3. Óleos de Origem Vegetal

Existem vários tipos de óleo de base vegetal, e esses são utilizados em diferentes setores da indústria metal-mecânica. A Tab. 2.1 apresenta os principais óleos vegetais com suas respectivas aplicabilidade.

Tabela 2.1 - Óleos vegetais e suas aplicações (SHASHIDHARA e JAYARAM, 2010 adaptado)

Tipo de Óleo	Aplicações
Óleo de Canola	Óleo hidráulico, fluidos para transmissão de tratores, fluidos de usinagem, óleos penetrantes.
Óleo de Mamona	Lubrificação de engrenagens, graxas
Óleo de Coco	Motores de óleo diesel
Óleo de Oliva	Lubrificante automotivo
Óleo de Palmito	Indústria siderúrgica, graxa
Óleo de Cártamo	Tintas de cores claras, combustível diesel, resinas, esmaltes.
Óleo de Soja	Lubrificantes, biodiesel, tintas de impressão, revestimentos, sabões, shampoos, detergentes, desinfetantes, óleo hidráulico
Óleo de Crame	Graxa, produto químico intermediário, agente tensoactivos
Óleo de Girassol	Graxa, substitutos dos combustíveis a diesel

Os óleos vegetais apresentam maior lubricidade capaz de aumentar a performace do processo de corte, prolongar a vida da ferramenta e melhorar o acabamento superficial da peça. Além disso, destaca-se a importância do mesmo por ser biodegradável e causar menos danos ao meio ambiente (OLIVEIRA e ALVES, 2006; OLIVEIRA e ALVES, 2007).

Woods (2005) apresenta três razões para utilizar fluidos de corte de base vegetal.

1) Apresenta ótima capacidade lubrificante, pois carregam cargas polares que atraem as moléculas para a superfície metálica. Assim, forma-se um filme lubrificante capaz de suportar grandes tensões superficiais, facilitando a usinagem e diminuindo o desgaste nas ferramentas de corte. Os óleos minerais não apresentam cargas polares, impossibilitando a adesão das moléculas na superfície metálica, e, por esse motivo, a sua capacidade lubrificante é inferior a dos óleos vegetais (Fig. 2.6).

2) Esses óleos têm uma tendência reduzida à formação de vapor, névoa e fumaça, além de ter um ponto de fulgor maior, reduzindo o risco de incêndio nas máquinas.

3) Com o aumento da temperatura de usinagem, a viscosidade dos óleos vegetais, em comparação aos óleos minerais, diminui mais lentamente. O alto índice de viscosidade dos óleos vegetais garante maior estabilidade de lubrificação nas variações de temperatura de usinagem.

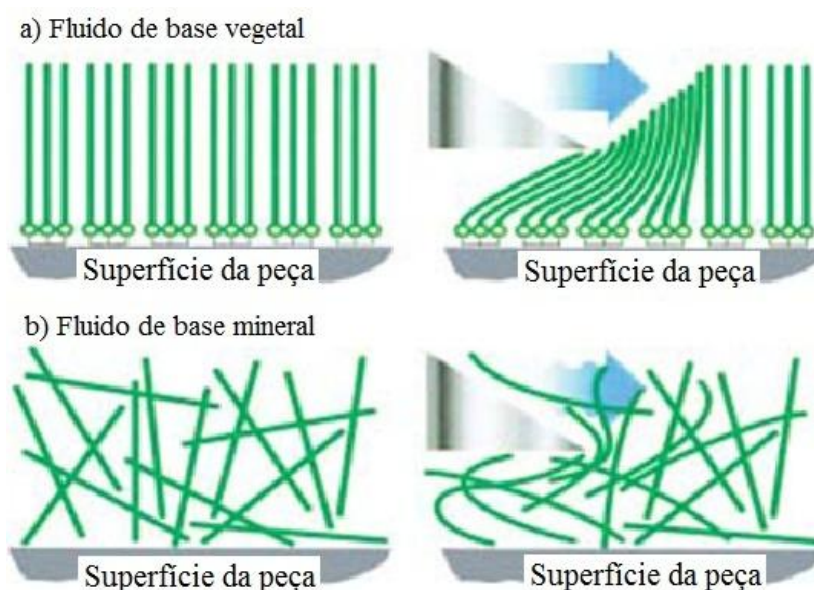


Figura 2.6 - Representação da afinidade do óleo com a superfície metálica a) óleos vegetais; b) Os óleos minerais (WOODS, 2005 - adaptado)

Vários trabalhos são encontrados na literatura especializada, que mostram a eficiência dos fluidos de corte de base vegetal no processo de usinagem. Chiffre (2002), analisou a vida de ferramentas de metal duro no torneamento de um aço inoxidável austenítico, para diferentes velocidades de corte e tipos de fluidos de corte. Comparando os fluidos de corte emulsionáveis de base mineral e vegetal, utilizando os mesmos parâmetros de corte, notou-se um maior tempo de vida para o fluido de base vegetal, principalmente em baixas velocidades de corte. Almeida et al. (2011) também mostraram vantagens nos fluidos de corte de base vegetal. Ao analisarem diferentes tipos e concentrações de fluido de corte, os autores concluíram que os fluidos de base vegetal apresentaram os menores índices de força de corte em baixas velocidades de corte.

Xavior e Adithan (2008) investigaram a influência dos fluidos de corte de base vegetal (óleo de coco) e mineral no torneamento do aço inoxidável austenítico AISI 304, analisando o desgaste da ferramenta e o acabamento superficial após a usinagem. Os autores concluíram que, quando comparados com os óleos de base mineral, o óleo de coco

apresentou baixos valores de desgaste para varias velocidade de corte, e baixos índices de rugosidade para diferentes valores de avanço.

Os óleos vegetais são preferidos sobre os óleos à base de petróleo pelos requisitos ambientais mais rígidos e devido à sua biodegradabilidade. Porém, Apesar dos muitos benefícios ambientais, os óleos vegetais são mais suscetíveis à degradação por reações de oxidação ou hidrólise. Portanto, a seleção correta da substância de origem vegetal, o pH da solução resultante e seu controle são questões importantes (OLIVEIRA e ALVES, 2006).

Shashidhara e Jayaram (2010) listaram as vantagens e desvantagens dos óleos vegetais (Tab. 2.2).

Tabela 2.2 – Vantagens e desvantagens dos óleos vegetais (SHASHIDHARA e JAYARAM, 2010 adaptado)

Vantagens	Desvantagens
Alta Biodegradabilidade	Baixa estabilidade térmica
Baixa poluição do meio ambiente	Estabilidade Oxidativa
Compatibilidade com aditivos	Altos pontos de congelamentos
Baixo custo de produção	Pobre proteção à corrosão
Vasta possibilidade de produção	
Baixa toxicidade	
Alto ponto de fulgor	
Baixa volaticidade	
Altos índices de viscosidade	

2.3.4. Óleos Miscíveis em Água

Os fluidos miscíveis em água podem ser classificados em óleos emulsificadores (fluidos emulsionáveis), soluções químicas, chamados de fluidos sintéticos (ou fluidos químicos) e fluidos semi-sintético (ou fluidos semi-químicos). O esquema da Fig. 2.5 representa a classificação desses fluidos. A seguir serão abordados mais detalhadamente esses três tipos de óleos micíveis em água, para os processos de usinagem.

2.3.4.1. Fluidos de Corte Emulsionáveis

Os fluidos emulsionáveis (às vezes chamados erroneamente de “óleos solúveis”) são compostos bifásicos de óleos minerais adicionados à água na proporção de 1:10 a 1:100,

mais agentes emulsificantes ou surfactantes que garantem a uniformidade da mistura (MACHADO et al., 2011). Diniz et al. (2010) ainda citam que as emulsões (de óleo em água) compõem-se de pequenas porcentagens de um concentrado de óleo emulsionável, usualmente composto por óleo mineral ou vegetal, emulsificadores e outros ingredientes, dispersos em pequenas gotículas na água. Os emulsificadores são substâncias que reduzem a tensão superficial da água e, com isso, facilitam a dispersão do óleo na água, mantendo-o finamente disperso como uma emulsão estável. Portanto, não são soluções de óleo em água (óleo e água não se misturam), mas sim água com partículas de óleo dispersas em seu interior.

El Baradie (1996) citado por Luchesi (2011) classifica os fluidos de corte emulsionáveis em quatro diferentes tipos e características, a Tab. 2.3 é uma adaptação da classificação oferecida por esse autor.

Tabela 2.3 - Tipos e características dos óleos de corte emulsionável (ELBARADIE,1996 adaptado)

Tipos	Características Gerais
Óleos emulsionável para fins gerais	São fluidos leitosos, com gotas de óleo mineral de 0,005 a 0,2 mm de diâmetro. Usados na diluição de 1:10 a 1:40 para usinagem geral.
Óleos emulsionável translúcido	Contém menos óleo e mais emulsificadores que a emulsão leitosa. Consiste de uma dispersão de óleo com menor tamanho de gota, as quais são amplamente distribuídas. A concentração varia de 1:20 a 1:60. Usado em operações de abrasão ou usinagem de baixa performance.
Óleos emulsionáveis graxos	São óleos minerais com adições de gorduras animais ou vegetais, produzindo uma ampla variedade de fluidos com propriedades lubrificantes realçadas. A diluição varia de 1:10 a 1:40
Óleos emulsionável de extrema pressão (EP)	Óleos solúveis EP contêm aditivos a base de enxofre, cloro e fósforo para suportarem maiores pressões. Usados em proporções de 1:10 a 1:20.

As vantagens dos óleos emulsificadores sobre alguns óleos de cortes incluem uma maior redução do calor, condições de trabalho mais limpo, economia resultante da diluição com água, menores riscos em relação à segurança e à saúde. Podem ser usadas para

praticamente todas as operações de corte leves, moderadas e na maioria das operações mais pesadas, exceto envolvendo extrema dificuldade de usinar o material (LUCHESEI, 2011).

2.3.4.2. Fluidos de Corte Sintéticos

Os fluidos sintéticos são soluções químicas constituídas de sais orgânicos e inorgânicos, aditivos de lubricidade, biocidas, inibidores de corrosão entre outros, dissolvidos em água, não contendo óleos (mineral e/ou vegetal) em sua composição. Ao contrário dos fluidos emulsionáveis, não há necessidade de adição de agentes emulsificantes, pois os compostos reagem quimicamente, formando fases únicas (composto monofásico). Além de apresentarem uma vida maior, uma vez que são menos atacáveis por bactérias, reduzindo assim o número de trocas de fluido da máquina, eles também proporcionam rápida dissipação de calor, excelente poder detergente e visibilidade da região de corte, facilidade no preparo da solução, elevada resistência à oxidação e a corrosão do fluido. As boas propriedades refrigerantes desses fluidos ocorrem por possuírem agentes umectantes em sua composição que são estáveis, mesmo em água dura (DINIZ et al., 2010; LUCHESEI, 2011; MACHADO et al., 2011).

O baixo poder lubrificante, a formação de compostos insolúveis e de espuma para determinadas operações de usinagem podem ser algumas desvantagens na utilização deste tipo de fluido (EL BARADIE, 1996; LUCHESEI, 2011).

El Baradie (1997) citado por Luchesi (2011) classifica os fluidos de corte sintéticos em três tipos e características diferentes mostrado na Tab 2.4.

Tabela 2.4 - Tipos e características dos fluidos de corte sintéticos (EL BARADIE, 1997; LUCHESEI, 2011 - adaptado)

Tipos	Características
Solução pura	São essencialmente soluções de produtos químicos inibidores da oxidação na água. Usados diluídos nas proporções 1:50 a 1:100 no processo de retificação do ferro e do aço.
Fluido sintético de baixa tensão superficial	Contém principalmente produtos químicos inibidores de oxidação na água e aditivos. Estes fluidos têm razoável lubricidade, baixa tensão superficial, boas propriedades inibidoras de corrosão, usualmente deixa resíduos que podem ser removidos facilmente. São utilizados diluídos

na proporção 1:10 a 1:40 em operações de corte e maior proporção de diluição para retificação. A maioria é adequada para os metais ferrosos e não ferrosos.

Fluido sintético de baixa tensão superficial EP	Possui características similares aos fluidos sintéticos de baixa tensão superficial, mas contém aditivos EP para oferecer maior performance no processo de usinagem. Usados diluídos na proporção 1:5 a 1:30.
---	---

2.3.4.3. Fluidos de corte Semissintético

Os fluidos semissintéticos ou fluidos semi-químicos são essencialmente uma combinação de fluidos químicos e óleos emulsificadores. Estes fluidos são compostos de fluidos sintéticos que contém somente uma pequena porcentagem de óleo (mineral ou vegetal) emulsionável, variando de 5 a 50% do total do fluido concentrado, o qual é adicionado a fim de propiciar uma emulsão estável, translúcida e composta de minúculas gotículas de óleo. Os óleos semissintéticos combinam algumas das propriedades dos fluidos sintéticos e dos óleos emulsionáveis. As principais desvantagens são a lubrificação insuficiente em determinadas operações bem como a formação de compostos insolúveis, porém possuem um melhor controle de oxidação que as emulsões convencionais (LUCHESE, 2011).

2.3.5. Fluidos de Corte Gasosos

A usinagem de certas ligas metálicas, onde o desgaste da ferramenta é muito intenso, a aplicação dos fluidos tradicionais (citados anteriormente), não é muito eficaz para minimizar os efeitos de desgaste da ferramenta. Visando reduzir esses efeitos utiliza-se a chamada usinagem criogênica. Neste tipo de usinagem, fluidos de corte tais como argônio, hélio, nitrogênio e outros apresentados na Fig.2.3, são usados para prevenir a oxidação da peça e o desgaste da ferramenta. Esses fluidos, em geral, apresentam temperatura muito baixa (abaixo de -150°C) nos processos de corte. De acordo com Ezugwu (2005), essas baixas temperaturas é uma forma eficaz de manter a temperatura na interface de corte bem abaixo da temperatura de amolecimento do material da ferramenta de corte. Sharma et al. (2009) ressalta que esses fluidos podem causar resfriamento da peça e aumentar as forças de usinagem, por isso é importante o fluido ser aplicado próximo da ferramenta de corte, para diminuir a temperatura da mesma e retardar o desgaste de flanco e cratera. Yildiz e

Nalbant (2008) citam que quando comparado com corte a seco e resfriamento convencional, os fluidos criogênicos em operações de usinagem permitem uma melhoria substancial na vida da ferramenta e no acabamento superficial.

As vantagens dos gases inertes incluem boa capacidade de refrigeração, aumento da vida da ferramenta, clara visão da operação, eliminação da névoa e nenhuma contaminação da peça, cavaco ou lubrificante da máquina e, em relação aos fluídos líquidos, são mais nocivos ao meio ambiente (SHARMA et al., 2009; LUCHESI, 2011). Atualmente, os gases criogênicos têm uma grande variedade de aplicações na indústria, tais como eletrônica, de manufatura, automotiva e aeroespacial, em particular para fins de refrigeração (YILDIZ e NALBANT, 2008).

Em se tratando de fluidos de corte que não agredem o meio ambiente, a utilização de vapor de água e ar comprimido na usinagem pode ser uma econômica e boa alternativa. Em 1990, Podgorkv apresentou uma nova tecnologia de corte livre de poluição, utilizando o vapor de água como refrigerante e lubrificante durante o processo de usinagem (GODLEVSKI, 1998).

Durante o torneamento do aço AISI 1045 com ferramentas de metal duro utilizando vapor de água, gás de dióxido de carbono, oxigênio e mistura de vapor e gás, notou-se que quando comparado com o corte a seco e com fluido de corte líquido aplicado em jorro, à força de corte reduziu cerca de 20-40% e 10-15%, respectivamente, com aplicação de vapor de água e mistura de vapor e gás como lubrificante. Quando o vapor de água é usado como refrigerante e lubrificante, a temperatura de corte diminuiu mais que as outras condições de lubrificação (SHARMA et al., 2009).

2.4. Aditivos, Características e Propriedades dos Fluidos de Corte

2.4.1. Principais Aditivos

Os fluidos de corte, além de refrigerar e lubrificar devem ter outras propriedades que produzirão, em níveis operacionais, melhores resultados (SANTOS e SALES, 2007). Segundo Diniz et al. (2010), Machado et al. (2011) e Petrobrás citado por Muniz (2008), os fluidos devem possuir as seguintes aditivos:

➤ Emulsificantes: são responsáveis pela formação de emulsão de óleo na água e vice-versa. Reduzem a tensão superficial e formam uma película monomolecular semiestável na

interface óleo/água. Os principais tipos são sabões de ácidos graxos, gorduras sulfatadas, sulfonatos de petróleo e emulsificantes não iônicos.

➤ Anticorrosivos: são substâncias químicas adicionadas aos lubrificantes que evitam o ataque dos contaminantes corrosivos às superfícies metálicas. Os agentes corrosivos podem ser produtos resultantes da própria oxidação do óleo, como também agentes externos contidos no ar atmosférico.

➤ Biocidas: reduzem a população de microrganismos (bactérias, fungos e leveduras) em emulsões lubrificantes, evitando a rápida degradação do fluido, a quebra da emulsão, a formação de subprodutos, a ocorrência de efeitos maléficos devido ao contato do homem com as emulsões contaminadas (dermatite e pneumonia, por exemplo).

➤ Antiespumantes: evitam a formação de espumas que poderiam impedir a visibilidade da região de corte e comprometer o efeito de refrigeração do fluido. Esses aditivos reduzem a tensão interfacial do óleo de tal maneira que bolhas menores passam a se agrupar formando bolhas maiores e instáveis. No controle das espumas, geralmente, usam-se ceras especiais ou óleos à base de silicone.

➤ Aditivos de extrema pressão (EP): Em operações mais severas, em que uma lubricidade adicional é necessária, pode-se utilizar aditivos de extrema pressão, que conferem aos fluidos de corte a capacidade de suportar as elevadas temperaturas e pressões do corte, reduzindo o contato ferramenta/cavaco. São compostos que variam na estrutura e composição. São suficientemente reativos com a superfície usinada, formando compostos relativamente fracos na interface, geralmente sais (fosfato de ferro, cloreto de ferro, sulfeto de ferro etc.) que se fundem a altas temperaturas e são facilmente cisalháveis. Os principais aditivos EP são compostos de enxofre, fósforo ou cloro. Apesar de sua importância, esses aditivos podem atacar o cobalto, presente em ferramentas de metal duro.

2.4.2. Propriedades e Características dos Fluidos de Corte Proporcionadas pelos Aditivos

Para um bom desempenho no processo de usinagem os fluidos de corte devem ter as seguintes propriedades e características (MUNIZ, 2008):

➤ Propriedades anticorrosivas: para proteção contra corrosão de peças, ferramentas e componentes da máquina operatriz. Tal propriedade é adquirida através de aditivos como citado no tópico anterior.

➤ Propriedades antiespumantes: evita a formação de espuma persistente que possa vir a dificultar a visualização do operador ou influir de forma negativa sobre a propriedade de

refrigeração por meio de bolhas de ar na área do corte, pouca transferência de calor no reservatório, entre outros.

➤ Propriedades antioxidantes: evita que o fluido se oxide prematuramente sob as ações de altas temperaturas nas operações e da forte aeração a que a peça, a máquina e a ferramenta são expostas.

➤ Compatibilidade com o meio ambiente: a compatibilidade do fluido de corte com o meio ambiente deve ser analisada em relação à saúde humana, pois os operadores das máquinas são expostos ao contato direto e por longos períodos de tempo à aspiração de névoa e/ou vapores formados durante a operação dos componentes da máquina. Além disso, a máquina operatriz é composta de uma grande variedade de materiais, que devem ser compatíveis com o fluido e não podem agredir o meio ambiente.

➤ Absorção de calor: uma alta capacidade de absorção de calor é influenciada diretamente pela viscosidade do fluido, pelo calor específico, pela condutividade térmica e, em casos de fluidos aquosos, pelo calor latente de vaporização, o que influencia na propriedade de refrigeração do fluido.

➤ Propriedade de lavagem e decantação de cavacos e impurezas: os cavacos devem ser removidos, o mais rápido e eficientemente possível da área de corte, para evitar a quebra de ferramentas e danos às peças. A viscosidade, a tensão superficial e a facilidade de decantação dos cavacos influenciam diretamente a ação de lavagem do fluido.

➤ Umectação: é o poder que um líquido tem de molhar um sólido, podendo fluir sobre o mesmo, e deixando uma película. Uma capacidade de umectação alta faz com que a superfície da peça, o cavaco e as ferramentas sejam molhados rapidamente pelo fluido e influi diretamente sobre a capacidade de refrigeração do mesmo

➤ Estabilidade do fluido: propriedade necessária durante a estocagem e o uso para assegurar que o produto seja homogêneo ao chegar à área de corte. Os óleos solúveis são bastante sensíveis quanto a estabilidade, devido a variedades de componentes de que são formados. Entretanto, os óleos integrais e os fluidos sintéticos também apresentam a possibilidade de separação durante sua estocagem, caso os componentes que entrem em sua formulação não sejam selecionados de maneira correta.

➤ Odores: é muito importante para fluidos de corte que haja ausência de odores fortes, pois nas operações de usinagem, grandes superfícies são expostas ao ambiente e o aquecimento durante a operação contribui ainda mais para o desprendimento de odores.

➤ Precipitados: não é bom para o fluido de corte a formação de precipitados sólidos ou de qualquer outra natureza, pois o fluido deve garantir uma livre circulação no sistema. Os fluidos de corte solúveis em água são muito sensíveis a esse tipo de problema em presença

de água dura. Já os sintéticos podem formar resíduos às vezes muito difíceis ou até mesmo impossíveis de serem removidos.

➤ Viscosidade: é a propriedade dos fluidos que determina o valor de sua resistência ao cisalhamento. Em fluidos de corte, a viscosidade deve ser suficientemente baixa para assegurar a circulação do mesmo na máquina, para manter um jato de fluxo abundante na área de corte e permitir uma rápida decantação dos cavacos e outros resíduos. Em alguns casos, porém, a viscosidade do fluido de corte deve ser relativamente alta para que o mesmo possa exercer a sua função de lubrificante.

➤ Detergentes: reduzem a deposição de lodo, lamas e borras. São compostos organometálicos contendo magnésio, bário, cálcio, entre outros, ou ainda alcoóis.

➤ Transparência: o fluido deve ser transparente para que operador observe a região de formação de cavaco, a peça e a ferramenta durante o corte.

➤ Surfactantes: de forma análoga aos emulsificantes, têm a função de garantir a uniformidade das emulsões, porém, agem de forma diferente: quando um surfactante é acrescentado a dois fluidos imiscíveis, ele será absorvido na interface entre os dois líquidos. Assim, a parte hidrófila da molécula (solúvel em água) se orienta para se tornar parte da fase água, enquanto a parte lipofílica (miscível em óleo) se orienta para se tornar parte da fase óleo. Normalmente ésteres fosfatos, sulfonatos e alcoóis etoxilados são empregados como agentes surfactantes.

2.5. Direções e Métodos de Aplicação dos Fluidos de Corte

2.5.1. Direções de Aplicação

O fluido de corte pode ser aplicado sob diversas direções e/ou vazões, posicionado na interface cavaco-ferramenta ou na peça. Enfim, são inúmeras as combinações possíveis para a sua aplicação (SALES, 1999). Da Silva (2006) em seu trabalho mostra várias direções de aplicação do fluido de corte no processo de torneamento (Fig. 2.7).

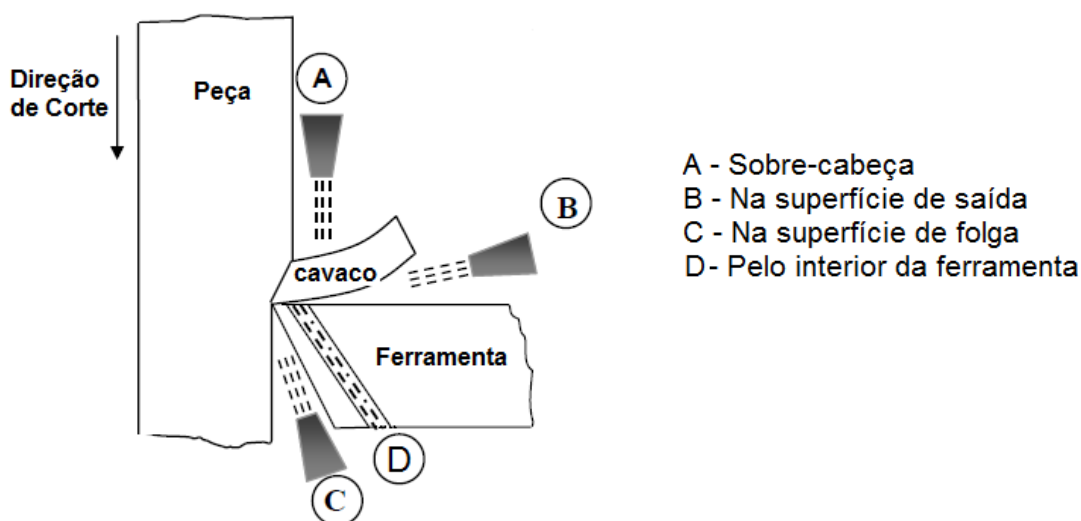


Figura 2.7 - Direções de aplicação do fluido de corte (DA SILVA, 2006 - adaptado)

Não há um consenso em relação à melhor direção de aplicação do fluido de corte. A direção A (sobre-cabeça) é a mais tradicional, provavelmente pelo fato de os primeiros sistemas de aplicação serem rígidos e possuírem poucos graus de liberdade, dificultando assim a aplicação em outras direções. Entretanto, a direção "A" mostra-se inadequada quando cavacos emaranhados são produzidos, pois estes impedem o acesso do fluido à interface ferramenta-cavaco. A direção "B" apresenta desvantagem de aplicação do fluido no sentido contrário ao do movimento do cavaco, sendo recomendada quando o fluido é aplicado sob elevada pressão (MACHADO et al., 2011).

Almeida et al. (2007) investigaram a influência da direção de aplicação do fluido de corte na temperatura da interface cavaco-ferramenta. O fluido foi aplicado individualmente na superfície de saída e na superfície de folga (direção "C") da ferramenta e depois nas duas simultaneamente, durante o processo de torneamento de um aço de corte-fácil. Variando a taxa de avanço, as velocidades de corte, a concentração do fluido de corte e, com auxílio do método termopar ferramenta-peça para medir a temperatura de usinagem, obtiveram várias conclusões. Verificou-se que o melhor método de aplicação de um fluido seria aquele onde a refrigeração acontecesse apenas na superfície da ferramenta, para garantir a redução da temperatura da ferramenta, aumentando assim a vida da mesma, e para não impedir o efeito do amolecimento do material nas zonas de cisalhamento.

2.5.2. Outros Métodos de Aplicação

Existem vários tipos de materiais que possuem alta resistência ao cisalhamento e a usinagem a seco, para esses materiais, se torna inviável na linha de produção, devido ao rápido desgaste da ferramenta. Uma alternativa ao corte a seco é a utilização da Mínima Quantidade de Fluido – MQF. Este nome é dado ao procedimento de se pulverizar uma quantidade mínima de óleo (normalmente, entre 10 a 150mL/h) em um fluxo de ar comprimido. Esta mistura ar-óleo, apesar de não possuir alta capacidade de refrigeração do processo, muitas vezes tem alta capacidade de lubrificação da região de corte (DINIZ et al., 2010). A Fig. 2.8 mostra esquematicamente um sistema MQF no processo de torneamento, que mistura o fluido com o ar comprimido (SHOKRANI et al., 2012). Este dispositivo foi instalado com aplicação na posição "B" da Fig. 2.7, entre o cavaco e a superfície de saída da ferramenta.

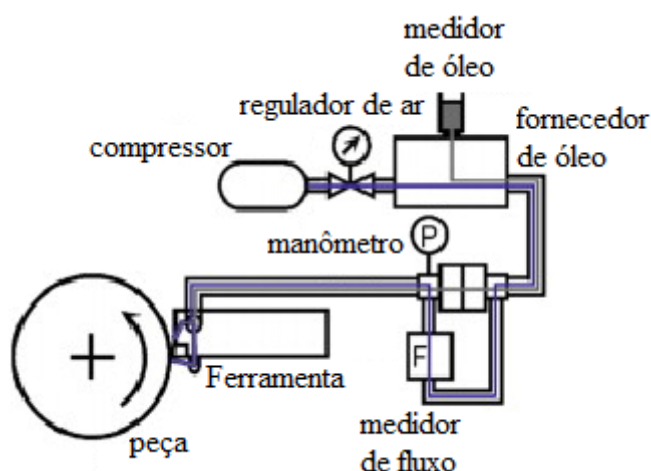


Figura 2.8 - Esquema de um instrumento de MQF e seus componentes (SHOKRANI et al., 2012 - adaptado)

Khan et al. (2009) investigaram o efeito do MQF no torneamento de um aço AISI 9310, utilizando óleo de base vegetal. Esse método foi comparado com a usinagem a seco e em abundância. Os autores consideraram a temperatura na interface cavaco-ferramenta, a formação de cavacos, o desgaste da ferramenta e a rugosidade da peça como variáveis de resposta. A técnica de MQF apresentou o melhor desempenho entre os métodos (seco e abundância), obtendo redução na temperatura de corte permitindo a favorável formação de cavaco e interação cavaco-ferramenta, redução no desgaste, aumentando da vida da ferramenta e melhoria no acabamento superficial.

Diniz et al. (2010) destacam alguns fatores negativos na utilização de MQF no processo de usinagem como: poluição ambiental (vapor do óleo), consumo (névoa é considerada sem retorno), ruído (pulverização realizada com ar comprimido).

Também pode-se citar o método de aplicação por gotejamento onde pequenas gotas de emulsão são lançadas na zona de interface ferramenta - cavaco. Neste método, predomina a simplicidade do dispositivo, que pode ser o mesmo utilizado na aplicação por jorro.

Outro método eficaz na usinagem dos materiais, principalmente aqueles de baixa usinabilidade, é a aplicação do fluido de corte em alta pressão, na qual tem o objetivo principal melhorar a quebra do cavaco. Machado (1990) e Ezugwu (2005), utilizando este método no processo de torneamento aumentou a usinabilidade de ligas aero-espaciais (titânio e níquel) que possuem difícil controle do cavaco pelos métodos convencionais. Naves et al. (2013) também mostraram que a usinagem do aço inoxidável austenítico AISI316 com alta pressão aumentou a vida da ferramenta. A Fig 2.9 ilustra o método e sua eficiência em quebrar os cavacos.

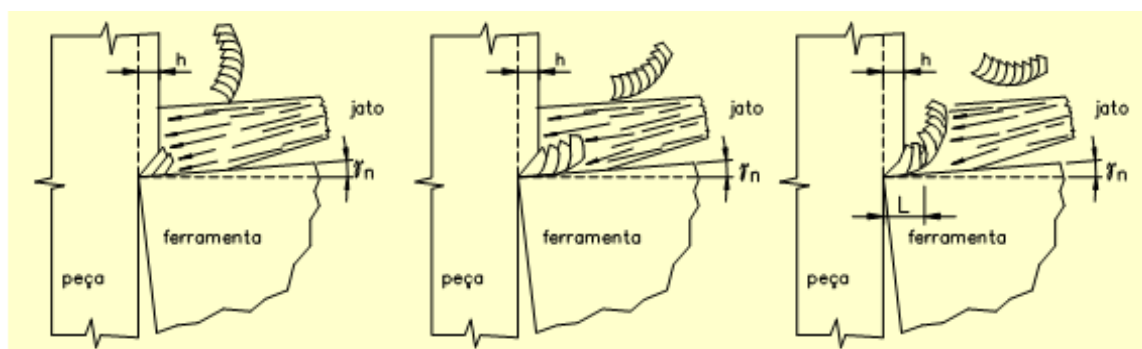


Figura 2.9 – Ilustração do método de aplicação do fluido de corte sob alta pressão (MACHADO, 1990)

Quando aplicado em alta pressão, o fluido cria uma cunha hidráulica entre a ferramenta e o cavaco, penetrando na interface com uma velocidade elevada, normalmente superior às altas velocidades de corte e altera as condições de saída do cavaco (MAZURKIEWICZ et al., 1989). A penetração do jato de alta energia na interface cavaco-ferramenta reduz o gradiente de temperatura e elimina seus efeitos. Também oferece uma lubrificação adequada na interface cavaco-ferramenta com uma significativa redução no atrito (EZUGWU, 2005).

Como pontos negativos do método, citam-se: i) necessidade de usinagem enclausurada (máquinas com guardas de proteção), uma vez que com a alta pressão cria-se uma névoa muito forte, espalhando fluido em todas as direções; ii) consumo elevado de

energia para bombear o fluido; iii) na usinagem de ligas de níquel, por exemplo, apesar de se mostrar efetivamente positiva com relação aos parâmetros de controle do cavaco, forças e temperaturas e acabamentos superficiais, com relação a vida das ferramentas, o método foi prejudicial. Isto porque o jato de fluido a alta pressão acelera o processo de desgaste de entalhe encontrado neste tipo de usinagem (MACHADO, 1990).

2.6. Aplicação de Fluido de Corte na Usinagem do Aço Inoxidável

2.6.1. Importância, Características Físicas e Usinagem dos Aços Inoxidáveis

De acordo com Metals Handbook (1972), aço inoxidável é a denominação dada a ligas de ferro resistentes à corrosão, à oxidação e ao calor. Esse material contém, no mínimo, 10,5% de cromo, outros elementos também integram essas ligas, porém o cromo é o elemento de liga mais importante, responsável por criar uma camada passivadora de óxido e hidróxido de cromo, que é resistente e uniforme, tem excelente aderência e plasticidade, baixa porosidade e volatilidade além de solubilidade praticamente nula.

Os aços inoxidáveis são de suma importância para diversos ramos industriais. As suas excelentes propriedades físicas, oferecem vasta aplicabilidade nas indústrias químicas, aeroespaciais e automotivas por possuírem elevada resistência mecânica, alta resistência a fratura, a fadiga térmica e mecânica e principalmente a corrosão, quando comparada ao aço carbono (SHOKRANI et al., 2012). Entre os inoxidáveis, o aço austenítico 304 é menos suscetível a corrosão intercrystalina, pelo teor mais baixo de carbono. São utilizados em equipamentos para processamento de alimentos e recipientes criogênicos (CHIAVERINI, 1986). ArcelorMittal (2008) ainda cita que esses materiais tem aplicações em temperatura ambiente, em altas temperaturas (até 1150°C) e em baixíssimas temperaturas (condições criogênicas), uma série de alternativas que dificilmente são conseguidas com outros materiais

Por outro lado, os aços inoxidáveis austeníticos estão na classe dos mais difíceis de usar. A baixa usinabilidade desses aços é devido às características tais como: alta tendência de encruamento, baixa condutividade térmica (Fig 2.10), alta ductilidade e resistência ao cisalhamento (KORKUT et al., 2003). Devido à alta resistência mecânica desse material, o mesmo requer uma elevada energia de corte. Similares às ligas de titânio e níquel, na usinagem dos aços inoxidáveis a geração de calor não é eficientemente transferida para a peça e o cavaco, devido sua baixa condutividade térmica. Assim, o calor gerado durante a usinagem é concentrado na região de corte, resultando em elevadas temperaturas nessa região, que aumentam os desgastes da ferramenta por processos

termicamente induzido, como a difusão e a reação química entre a ferramenta e o material da peça (SHOKRANI et al., 2012).

As condições de corte, quando possível, são escolhidas a fim de se evitar ou minimizar a formação de cavacos de características indesejáveis e, portanto, prejudiciais. Os aços inoxidáveis austeníticos apresentam, em geral, cavacos longos que levam a um desgaste acelerado da ferramenta, são caracterizados pela baixa condutividade térmica e pela alta capacidade de endurecimento por deformação, além de serem materiais que aderem à aresta de corte, formando APC (MACHADO et al., 2011).

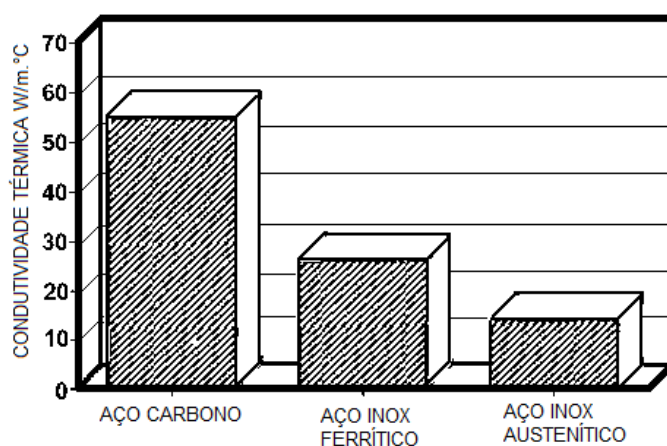


Figura 2.10 - Condutividade térmica de aços inoxidáveis e aço-carbono (MARTIN e QCQUIDANT, 1992)

Para usinagem de aço inoxidável recomenda-se (MACHADO et al., 2011):

- i) As principais características encontradas na usinagem de aços inoxidáveis são alta tendência para endurecimento por deformação, altas forças de corte (comparados a aços-carbono com equivalente porcentagem de carbono) e formação de cavacos de difícil controle, devido a isso há necessidade de ferramentas com quebra-cavacos.
- ii) Para melhor desempenho, selecionam-se menores valores de raio de ponta, arestas afiadas, classes com maior dureza e coberturas PVD, as quais, em geral, produzem, arestas mais afiadas.
- iii) Para operações de desbaste, é preferível usar altos valores de avanços e profundidades de usinagem combinados com baixas velocidades.

2.6.2. Fluidos de Corte Indicados para Usinagem de Aços Inoxidáveis

A seleção de fluido de corte ideal para um processo de usinagem é uma difícil tarefa, por haver vasta variedade de produtos disponíveis no mercado. Para Ferraresi (1977) e Diniz et al. (2010) os principais fatores de escolha do fluido adequado são o material da peça, a severidade da operação (condições de usinagem), o material da ferramenta e a operação de usinagem. Em operações mais severas recomenda-se o uso de óleo graxo-mineral sulfurado-clorado. Em alguns casos são usados os óleos emulsionáveis (quer o tipo comum quer o tipo aditivado – EP). Já os catálogos dos fabricantes de fluido de corte indicam diversos tipos de fluidos para a usinagem desses materiais, desde fluidos de corte solúveis minerais, semi-sintéticos e sintético aos fluidos de corte integral.

Ozcelik et al. (2011) investigaram as influências dos fluidos de corte de base vegetal (óleo de girassol refinado e óleo de canola) com diferentes porcentagem de aditivos de extrema pressão (EP) e dois fluido de corte comercial (semi-sintético e emulsão), no processo de torneamento do aço AISI 304L, utilizando ferramentas de metal duro revestida com TiN. Considerando o desempenho desses fluidos de corte em função da rugosidade, forças de avanço e de corte e desgaste da ferramenta, os resultados mostraram que o óleo de canola, com 8% de aditivo EP em sua composição, produziram os melhores resultados.

Ávila et al. (2004) estudaram a influência da composição de fluidos de corte sobre a usinabilidade do aço inoxidável austenítico ABNT 304. Testes de torneamento contínuo foram conduzidos utilizando ferramentas de corte de metal duro revestido. Os testes foram realizados a seco e com fluidos de corte sintéticos com uma concentração de 5%. Estes fluidos apresentaram variações em sua composição quanto ao aditivo EP e à base lubrificante empregados (aditivação de cloro com bases de cadeias curta e longa e de enxofre com base de cadeia curta). Foram coletados os dados de forças de usinagem (força de corte e força de avanço) e de rugosidade média (R_a) das superfícies usinadas. Os resultados de força de usinagem indicaram que o desempenho dos fluidos de corte variou de acordo com as condições de corte empregadas. Já para o acabamento da peça usinada, os fluidos com aditivação de cloro e base lubrificante de cadeia longa apresentaram os melhores resultados.

2.7. Contaminação dos Fluidos de Corte Emulsionáveis

Geralmente, as propriedades físicas e químicas dos fluidos são modificadas durante o seu uso, devido a longos períodos de armazenamento, ou sob ações de microrganismos.

Eles ainda podem causar riscos nos ambientes de trabalho e naturais (quando são descartados), sendo assim, é de grande importância o estudo da dinâmica desses fluidos nestes ambientes (BHATTACHARYYA, 2003; OLIVEIRA e ALVES, 2007).

Estudos comparando fluidos sintéticos, semissintéticos, emulsionáveis e integrais concluem que aqueles preparados como emulsão são mais favoráveis que os demais para propagação de microrganismos (FALKINGHAM et al., 2003; CHANG et al., 2004; PARK et al., 2005). Já o fluido concentrado (integral) é tóxico as bactérias e fungos, devido à sua alta pressão osmótica natural pois os microrganismos retiram da água, a maioria dos seus nutrientes solúveis (KENNEDY et al., 1999; SILVA et al., 2000; MOORE et al., 2000; VEILLETE et al., 2004).

. De acordo com a literatura a contaminação dos FCs por microrganismos, bactérias e fungos causam a biodegradação dos fluidos devido o rompimentos de cadeias carbônicas desses materiais, gerando moléculas menores que influenciam na lubricidade dos FCs (MORTON, 1987 citado por CAPELLETTI, 2006; LIMA 2012; TAKAHASHI, 2012). Santos e Sales (2007) ainda citam que os FCs possuem os nutrientes básicos (carbono, nitrogênio, enxofre e outros) para o crescimento de microrganismos.

2.7.1. Tipos e Formas de Contaminação

Runge e Duarte (1990) citam que as emulsões podem sofrer contaminações do tipo:

- Bacteriano, que podem resultar na redução do pH, causando irritação na pele, corrosão, mau cheiro, quebra da emulsão, etc.
- Por fungos, resultando no aparecimento de camadas sobrenadantes de óleo, provocando entupimento de filtros e tubulações.
- Por líquidos estranhos, os quais podem causar as mesmas consequências descritas acima para os microrganismos, além de acarretar maiores desgastes das ferramentas, entupimento dos filtros e névoa de óleo.

Para os fluidos de corte emulsionáveis adquirir um perfeito balanço entre as propriedades lubrificantes e refrigerantes, eles são normalmente diluídos em água de torneiras das fábricas, até a concentração de 3-15%, dependendo da aplicação (EL BARARIE, 1996). Esse processo de diluição torna o fluido propício ao desenvolvimento de bactérias e fungos, principais contaminantes da emulsão (BERNSTEIN et al., 1995; PASSMAN e ROSSMOORE, 2002; AWOSIKA et al., 2003; BECKET et al., 2005). Na realidade, a contaminação microbiana já ocorre quando a água potável é utilizada na diluição do fluido concentrado (concentração bacteriana permitida na água potável igual a 100 UFC/mL) (TRINKWV, 2001 citado RABENSTEIN et al., 2009). A contaminação ocorre

também a partir de microrganismos aderidos à poeira, partículas de aerossóis e com o próprio manuseio dos operadores através de bactérias presentes em sua pele e mucosas, bem como a contaminação das peças e superfícies de trabalho (PASSMAN e ROSSMOORE, 2002). Os FCs contaminados podem apresentar elevados índices de carga microbiana, variando de 10^4 a 10^{10} UFC/mL (MATTSBY-BLATZER et al. 1989; SLOYER et al. 2002; VAN DER GAST et al. 2003 citado por SAHA e DONOFRIO, 2012).

2.7.2. Efeitos da Contaminação Microbiológica

Enquanto os microrganismos se multiplicam em escala logarítmica nos fluidos, restos metabólicos são liberados desses microrganismos, o que resultam em problemas significativos como, alterações nas propriedades originais do fluido (aumento da viscosidade, desestabilização da emulsão, perda da capacidade de lubrificação e refrigeração), descoloração da emulsão, odores desagradáveis, perda de qualidade das peças de trabalho e até mesmo da ferramenta (MONICI, 1999; HODGSON et al., 2001; CAPELLETTI, 2006; THOMÉ et al., 2007; RABENSTEIN et al., 2009). Dessa forma, os fluidos contaminados sofrem uma importante redução em sua vida útil em consequência da degradação acelerada dos fluidos.

Santos e Sales (2007), Lima (2012) e Takahashi (2012) destacam o efeito do ataque bacteriano na corrosão indireta das peças e nos componentes metálicos da máquina operatriz, devido ao consumo dos inibidores de corrosão, particularmente o nitrito de sódio (NaNO_3) e/ou pela presença de subprodutos e suas reações tais como a produção de ácidos orgânicos como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), entre outros, ocasionando a perda das propriedades do fluido de usinagem.

Em geral, Genner e Hill (1981), citado por Takahashi (2012), dividem o processo de deterioração dos fluidos de corte em seis etapas:

- Degradação de emulsificante acompanhada pela instabilidade e separação de óleo;
- Aumento da corrosão;
- Mau cheiro;
- Queda no valor de pH;
- Queda nos níveis de componentes específicos;
- Presença de biofilme.

Em grandes empresas, a contaminação do fluido de corte pode levar a perda de produtividade, gastos extras com a troca do fluido, problemas com qualidade do produto

acabado e reclamações dos trabalhadores por problemas de saúde, sem contar com problemas ambientais relacionados com o seu descarte (RUNGE; DUARTE, 1990).

Recentemente Marcelino (2013) monitorou o uso do fluido de corte mineral emulsionável no processo de retificação, avaliando a concentração do óleo na emulsão, densidade, viscosidade e pH, alterações físico-químicas e microbiológica do fluido ao longo de ciclos de retificação. Esse trabalho mostrou que os fluidos são degradados durante sua utilização, ocasionando alterações nos valores de pH, índices de acidez, condutividade e elevação da população microbiana. Na literatura especializada praticamente não há relatos quantitativos como esses fluidos contaminados podem afetar os parâmetros de usinagem, tais como forças de usinagem, acabamento superficial e vida da ferramenta.

2.7.3. Alteração do pH

Como citado anteriormente a proliferação de microrganismos nos fluidos de corte emulsionáveis alteram o pH do meio. O decréscimo do pH está intimamente ligado ao crescimento de microrganismos, pois ácidos e gás carbônico são gerados pelo seu metabolismo que acidificam o meio (TAKAHASHI, 2012). Assim, o valor do pH pode ser considerado como um indicador quantitativo do ataque por microrganismos na emulsão e da queda de suas propriedades anticorrosivas.

Tortora et al. (2003) cita que a maioria das bactérias cresce dentro de variações de pH próximos da neutralidade (entre 6,5 e 7,5). Quando os fluidos de corte são diluídos em água o pH fica entre 9 a 10,5 dificultando a contaminação bacteriana (MUNIZ, 2008; TAKAHASHI, 2012).

Runge e Duarte (1990) estipulam três parâmetros para a qualidade da emulsão em função do valor do pH. Os autores citam que:

- pH acima de 8,7: emulsão satisfatória para continuar em uso, adicionar pequenas quantidades de biocidas para manutenção preventiva.
- pH entre 7,8 e 8,7: adicionar biocida em quantidade suficientes para controle das bactérias e outros materiais para corrigir a emulsão.
- pH abaixo de 7,8: trocar a emulsão.

Para o bom desempenho dos fluidos de corte segundo Runge e Duarte (1990), o valor do pH e a concentração das emulsões devem ser controlados frequentemente. Marcelino (2013) ainda cita que o monitoramento diário do pH e contagem microbiana semanal da emulsão é necessário quando se deseja recuperação do fluido, ajudando no mínimo descarte possível, com o aumento do tempo de vida, assegurando que o fluido opere dentro dos parâmetros de qualidade.

2.7.4. Formação de Biofilmes

De acordo com Capelletti (2006) o circuito do fluido de corte no processo de usinagem de metais é composto por várias etapas que envolvem a recirculação do mesmo por um determinado período de utilização e de exposição a condições adversas, próprias do processo, tais como tubulações e canaletas de passagem, reservatórios e a própria máquina-ferramenta e, em alguns tipos de plantas, ocorrem também às paradas prolongadas de produção. Este conjunto de condições favorece a instalação e proliferação microbiana em pontos críticos do sistema e a formação de biofilmes. A Fig 2.11, apresenta o acúmulo do biofilme em locais de difícil acesso para limpeza do maquinário .

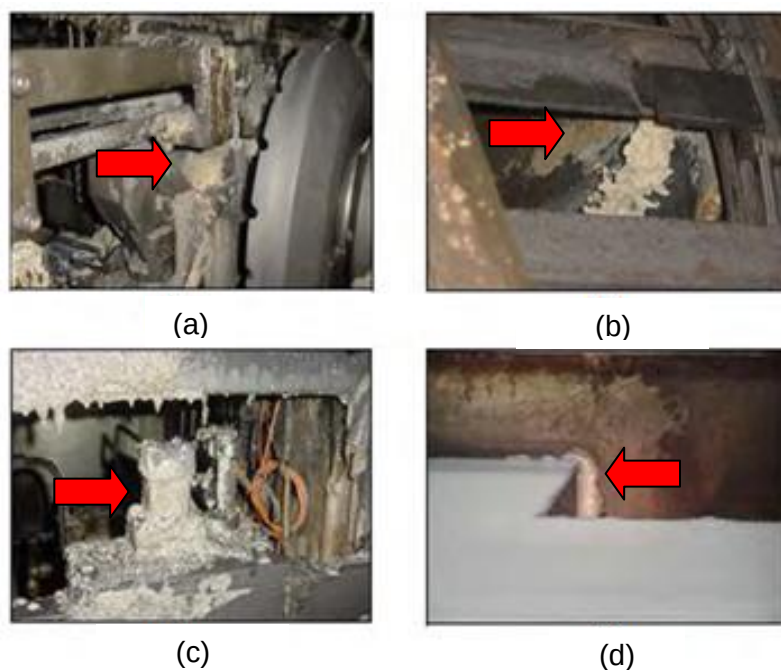


Figura 2.11 - Formação de biofilmes no maquinário. (a) sistema de engrenagens; (b) canaleta com emulsão em fluxo; (c) sensor para corte de peças; (d) tanque central da emulsão (CAPELLETTI, 2006)

Os biofilmes geralmente começam a se formar quando a concentração de um dado grupo de microrganismo no fluido de corte é superior a 10^4 UFC/mL, concentrações inferiores são consideradas satisfatórias uma vez que não influenciam significativamente as propriedades dos fluidos. (RUNGE e DUARTE, 1990; CAPELLETTI, 2006).

Os microrganismos presentes no biofilme podem aderir a diversos materiais, como o aço inoxidável, o alumínio, o vidro, a borracha, o náilon, a fórmica e o ferro, entre outros, com destaque para indústrias que utilizam fluidos de corte. Isto é justificado pela dificuldade

à limpeza e inspeção apenas visual, o que trás como consequência um acréscimo significativo de despesas com limpeza, manutenção, substituição precoce do fluido e do próprio equipamento, além do controle de qualidade dos produtos (PAGLIERO, 1995; SANDIN et al., 1991; CAPELLETTI et al., 2006). A proliferação desses microrganismos reduz a vida útil dos fluidos e torna o uso de biocidas um produto fundamental com propósito de evitar ou retardar o processo de descarte (CAPELLETTI, 2006).

A formação de biofilme é um processo multifatorial e complexo que pode ser subdividido em duas fases distintas, uma fase de aderência do microrganismo na superfície e uma fase mais prolongada de acumulo de células, que envolve a prorriferação, adesão entre células e a produção de uma matriz levando a formação de um biofilme maduro (WALKER et al., 1998). A aderência inicial em superfícies depende não apenas da natureza do material (hidrofobicidade, textura e composição) mas também das características da superfície celular. Outra propriedade ligada ao biofilme é sua capacidade de inativar biocidas pela produção de enzimas e metabólico (DILGER et al., 2005). Resumidamente, a formação de biofilmes constitui-se por microrganismos, Matriz de Polímeros Orgânicos ou SPE (Substância Polimérica Extracelular), polissacarídeos, proteínas e lipídeos e resíduos do ambiente. Esses biofilmes frequentemente são relacionados a diversos problemas que incluem o processo de corrosão microbiologicamente induzida em tubulações, equipamentos e peças metálicas, entre outros (WALKER et al., 1998).

A Figura 2.12 mostra esquematicamente as etapas de formação dos biofimes. Após a instalação do biofilme dentro de dias ou meses, a adesão de outros microrganismos é facilitada, bem como a liberação de novos colonizadores aptos a formar novos biofilmes, que se desprendem do biofilme maduro, iniciando novo ciclo.

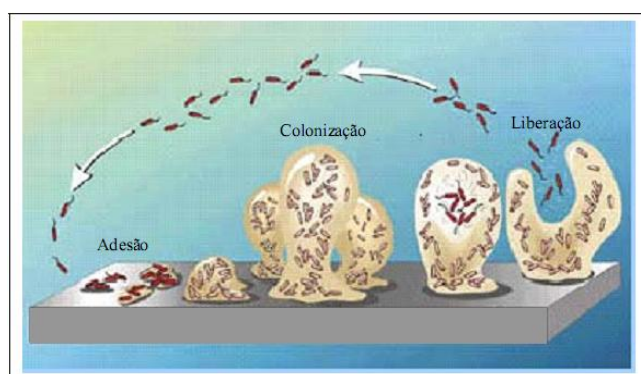


Figura 2.12 - Formação de biofilmes (DIRCKX e DAVIES, 2005 adaptado)

A análise microbiológica, com destaque para os biofilmes nesse seguimento industrial, justifica-se pelo fato do comum reaproveitamento do fluido durante vários meses.

2.7.5. Principais Bactérias Presentes nos FCs e Controle Microbiológico

As bactérias presentes nos fluidos de corte são classificadas em dois grandes grupos: gram-positivas (coloração púrpura ou aroxiada) e gram-negativas (coloração rosa). Essas bactérias são identificadas após procedimento de coloração de Gram, onde são aplicadas corantes diferenciais que reagem de modo distinto com tipos diferentes de bactérias. (TORTORA et al., 2003).

A contaminação e o tipo de contaminante dependem da condição a que o fluido de corte está exposto (LIMA, 2012). Entre as bactérias gram-negativas observa-se uma maior frequência daquelas do gênero *Pseudomonas* consideradas colonizantes iniciais dos FCs (ROSSMOORE, 1986; ROSSMOORE e ROSSMOORE, 1994). Outro grupo de bactérias importante incluem os cocos gram-positivos, com destaque para *Staphylococcus aureus* (KANAFANI e FOWLER Jr., 2006). Esse microrganismo sobrevive por meses em qualquer tipo de superfície inanimada do ambiente, mas tem sido encontrado colonizando narinas anteriores de cerca de 30% desses portadores, porém o papel das mãos como principal via de transmissão de uma superfície/sítio para outro não é descartado (CROSSLEY e ARCHER, 1997). Apesar da recuperação de bactérias gram-negativas e gram-positivas no fluido o isolamento de um outro grupo, micobactérias tem sido recentemente descritos na literatura, mesmo com evidências de que esses microrganismos sempre tiveram presentes nos fluidos. Isso se justifica devido ao longo tempo necessário para sua incubação (cerca de 120hs para aquelas de crescimento rápido) (MOORE et al., 2000).

Ocasionalmente, são encontradas as seguintes bactérias patogênicas nos fluidos de corte (RUNGE e DUARTE, 1987 e TOROK et al., 1991 citado por SANTOS e SALES, 2007; TANT e BENNETT, 1956; BENNETT, 1972; ROSSMOORE et al., 1976; MATTSBY-BALTZER et al., 1989; ROSSMOORE e ROSSMOORE, 1994):

- *Staphylococcus aureus* (ocasiona infecções na pele);
- *Streptococcus pyogenes* (causa irritação na garganta);
- *Pseudomonas pyanocea* (provoca toxicção alimentar);
- *Shigella* (ocasiona disenteria);
- *Klebsiella pneumoniae*;
- *Desulfovibrio* sp;
- *Flavobacterium* sp, entre outras.

NMWR (2002) cita que um surto de doenças respiratórias em operários que trabalham com fluidos de corte semi-sintéticos pode estar ligado do gênero *Mycobacterium* sp.

Segundo Tortora et al. (2003) existem diferentes métodos para quantificar o crescimento de uma população microbiana. A quantificação de uma população geralmente é realizada considerando o número de células em mililitro do meio líquido ou por grama do material sólido. Para isso foram desenvolvidos métodos quantitativos utilizando diluições seriadas das culturas ou amostras. Com esses métodos é possível estimar após 24 horas a quantidade de bactérias ou unidades formadoras de colônia (UFC) por mililitros de determinada amostra (Fig. 2.13). Bactérias gram-negativas e gram-positivas precisam de no mínimo 24 horas para que possam ser vistas colônias numa placa de cultura (WALLACE et al., 2002).

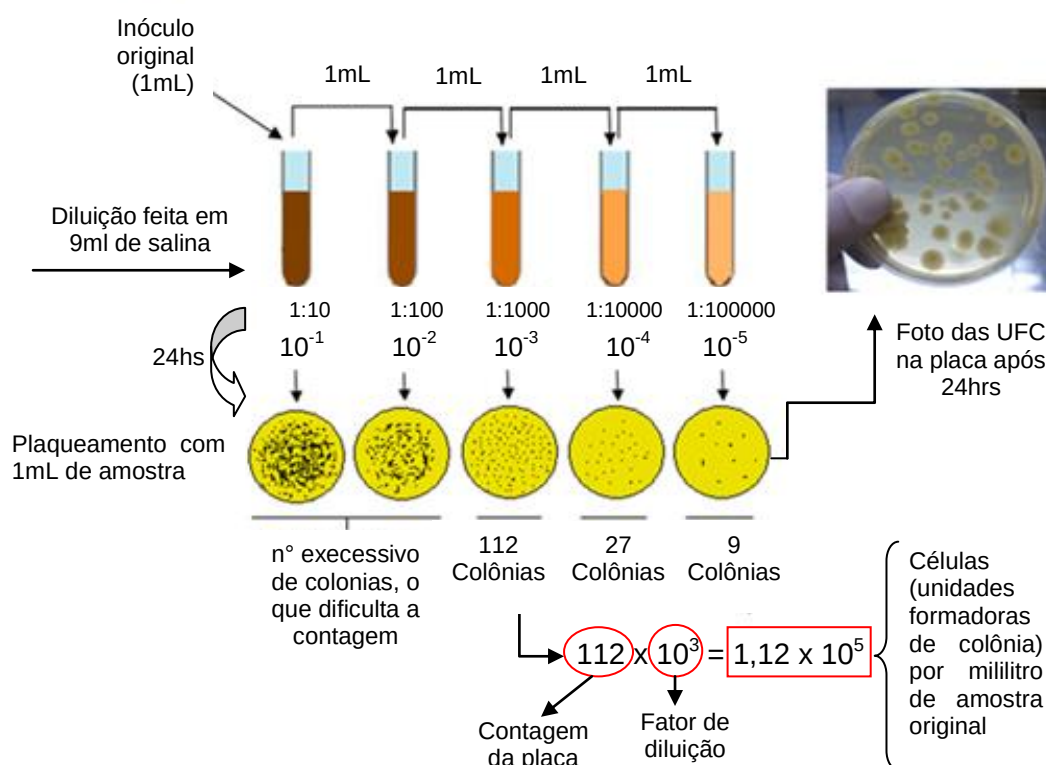


Figura 2.13 – Esquema explicativo da contagem em placa e diluição seriada (TORTORA et al., 2003 - adaptado)

2.7.6. Alternativas para o Controle do Crescimento Bacteriano nos Fluidos de Corte

O controle da contaminação microbiana dos fluidos de corte é importante principalmente pela tendência mundial de gerar produtos menos tóxicos à saúde humana e ao meio ambiente. A disseminação cada vez maior de produtos biodegradáveis contribuiu para o aumento da contaminação por microrganismo e, conseqüentemente, agrava, em parte, o problema de controle microbiano dos fluidos de corte (TAKAHASHI, 2012).

Em caso de contaminação por bactérias, procedimentos padrão de limpeza devem ser tomados antes, durante e depois da colocação de nova carga de fluido de corte. O processo de controle segue os seguintes protocolos (BIANCHI et al., 2004):

- Limpeza dos sistemas de refrigeração a cada nova carga de fluido;
- Remoção da camada sobrenadante no fluido (formada enquanto armazenado na máquina), o que contém a proliferação de bactérias anaeróbias causadoras do mau cheiro característico de emulsões contaminadas;
- Remoção de cavacos formados (impedir a formação de pontos de estagnação no reservatório);
- Controle de pH (rigoroso);
- Acréscimo de aditivos (biocidas, antiespumantes e anticorrosivos) indicados pelo fabricante.

Segundo os autores, essas são medidas/substâncias que causam uma pequena perda na quantidade de óleo e criam uma falsa sensação de segurança, já que alguns pesquisadores constataram o desenvolvimento de micobactérias mesmo após o uso de biocidas.

Em uma indústria existem constantes fontes de contaminação, tornando-se impossível eliminar totalmente os microrganismos dos fluidos. Mas segundo Santos e Sales (2007) pode-se mantê-los em níveis toleráveis, através de meio de controle, com: biocidas, raios ultravioletas (pouco efetivos, por sua pequena penetração no líquido), campos magnéticos (também com pouca eficiência), calor (pasteurização – aquecimento até temperatura específica e resfriamento rápido, usualmente muito dispendioso), ultrassom e microondas (bastante efetivas).

Todos esses processos de controle adotados causam aumento de custos operacionais. O meio ambiente e a saúde humana fazem com que as responsabilidades das empresas cresçam e investimentos em controle e manutenção destes produtos em uso e o tratamento de seus resíduos, sobretudo os mais perigosos, se fazem necessário. Estes custos podem ser ainda maiores, caso ocorra o aumento do volume de resíduos descartados (IGNÁCIO, 1998; OLIVEIRA e ALVES, 2007).

2.7.7. Outros Fatores que Podem Influenciar na Qualidade dos Fluidos de Corte

Silliman (1992) e El Baradie (1996) comentam que a qualidade da água é de extrema importância para a composição dos fluidos emulsionáveis, pois ela pode afetar a vida útil do fluido, a eficiência da filtração e até mesmo a vida da ferramenta e o acabamento final da peça. Para os fluidos de corte emulsionáveis adquirir um perfeito balanço entre as

propriedades lubrificantes e refrigerantes, eles normalmente são diluídos em água de torneiras das fábricas (EL BARADIE, 1996). Entretanto, se essa água tiver dureza elevada, isto é, excesso de cátions de cálcio, magnésio e ferro, pode causar problemas às emulsões. Segundo Runge e Duarte (1990), estes cátions podem reagir com sabões, agentes umectantes e emulgadores formando compostos insolúveis; reduzindo a reserva de inibidores de corrosão e biocidas; obstruindo tubulações e formando depósitos pegajosos na máquina operatriz. Um elevado teor de cátions (acima de 200ppm) na água certamente será prejudicial às emulsões. Quando a água é classificada como muito dura, haverá necessidade de um pré-tratamento da água, abrandando-a por deionização ou por osmose reversa. Por outro lado a ausência total de íons ou a presença em baixas concentrações pode ocasionar em problemas de formação de espuma (RUNGE; DUARTE, 1990).

Entretanto, Marcelino (2013) recentemente, mostrou que a água da rede de abastecimento do local do seu trabalho, tem qualidade suficiente em termos de dureza para ser usada no preparo das emulsões, sendo classificada de acordo com a Tab 2.5 dada por Runge e Duarte (1990) como moderadamente branda.

Tabela 2.5 - Classificação quanto à dureza da água dada em cátions [partes por milhão]

Branda	0-50
Moderadamente branda	50-100
Ligeiramente dura	100-150
Moderadamente dura	150-200
Dura	200-300
Muito dura	Acima de 300

Fonte: Runge e Duarte (1990)

2.8. Impactos Negativos dos Fluidos de Corte no Meio Ambiente e Saúde do Operador

A utilização de fluidos de corte no processo de usinagem faz da indústria metal mecânica uma agressora do meio ambiente (OLIVEIRA e ALVES, 2007). Como já citado anteriormente, os fluidos de corte podem trazer benefícios às indústrias metalúrgicas, diminuindo, por exemplo, os desgastes das ferramentas de corte e por consequência o custo de produção. Entretanto, eles oferecem grandes riscos à saúde dos operadores e impactos negativos ao meio ambiente.

2.8.1. Impactos dos Fluidos de Corte em Relação ao Meio Ambiente

Os processos de usinagem que utilizam fluido de corte, praticamente sempre geram resíduos poluentes ao meio ambiente. Tan et al. (2002) e Ignácio (1998) relataram que durante o processo de usinagem, o fluido de corte é uma das principais causas de poluição ambiental, uma vez que provocam impactos ambientais tais como emissão de gases tóxicos, resíduos sólidos e efluentes líquidos oleosos perigosos, os quais podem poluir os recursos hídricos, o solo e o ar. De acordo com Howes et al. (1991), os impactos ambientais causados pelos fluidos de corte podem ser observados no ambiente externo à fábrica, isto é, impacto sobre a ecologia local, e no ambiente interno, no chão de fábrica.

A Figura 2.14 representa a geração e emissão de resíduos em uma típica indústria metal-mecânica, tais como emissões de poluentes na atmosfera, resíduos sólidos impregnados de óleo de corte e efluentes líquidos, decorrentes do processamento de matérias-primas, além do alto consumo de energia.

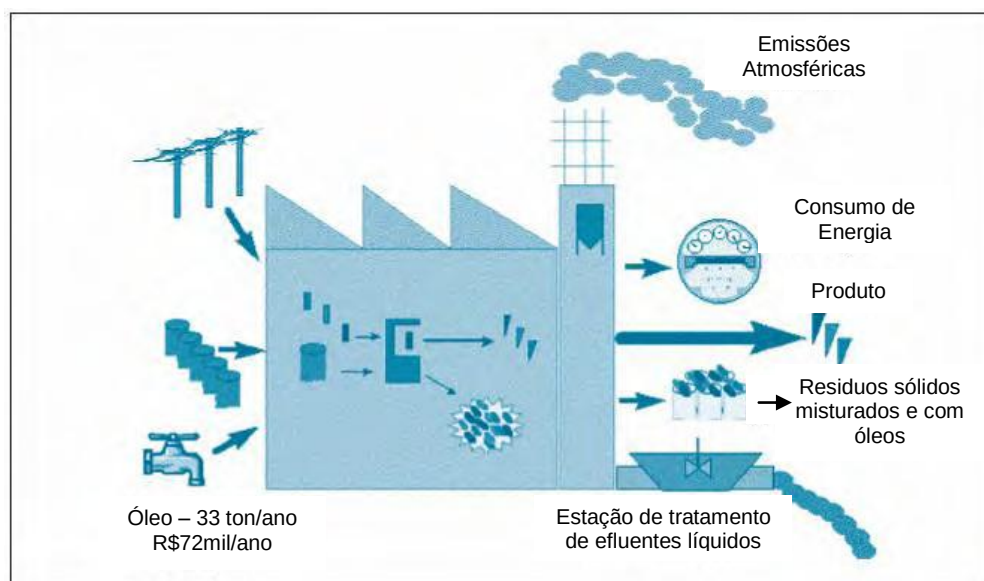


Figura 2.14 - Geração e emissão de resíduos em uma indústria metal-mecânica (OLIVEIRA e ALVES, 2007)

2.8.2. Impactos dos Fluidos de Corte em Relação à Saúde do Operador

De acordo com Fusse (2005), os fluidos de corte usados em ambientes de fabricação podem trazer efeitos adversos à saúde dos operadores de máquinas. Segundo Tan et al. (2002), durante o processo de usinagem a aplicação do fluido de corte produz três principais tipos de danos: o primeiro é que a toxicidade dos aditivos causa danos à saúde das pessoas;

a segunda é que a ação de degradação do óleo mineral e dos biocidas causa danos à pele e a terceira é aquela em que as misturas de óleo mineral e alcalescência causam danos ao aparelho respiratório. Os danos mais comumente relatados são problemas dermatológicos (BENNETT, 1983; GADIAN, 1983 citado por HOWES et al., 1991), mas efeitos respiratórios e pulmonares também são detectados, devido à exposição prolongada aos fluidos de corte (BADEN, 1990 citado por HOWES et al., 1991).

No processo de usinagem com fluido de corte é comum à formação de uma névoa no ambiente de trabalho, que é proveniente do processo de usinagem, principalmente quando é utilizado o método de MQF. A inspiração dessas partículas pode causar vários sintomas respiratórios, tais como: tosse, muco e rjeza torácica (JARVHOLM et al., 1982; ROBERTSON et al., 1988; KENNEDY et al., 1989; SPRINGE et al., 1997 citado por LINNAINMAA et al., 2003). A exposição às névoas dos fluidos de corte tem sido associada com o aumento de ocorrências de asma, hipersensibilidade e diminuição da função pulmonar (HENDY et al., 1985; ROBINS et al., 1997; HODGSON, 2001 citado por LINNAINMAA et al., 2003), assim como, vários estudos epidemiológicos demonstraram estatisticamente um significativo aumento em casos de câncer de esôfago, estômago, pâncreas, laringe, colo e reto devido à prolongada exposição às névoas dos fluidos de corte (GUNTER e SUTHERLAND, 1999).

2.8.3. Legislação Ambiental Relacionadas aos Fluidos de Corte

Nos últimos anos, o consumo de energia, a poluição do ar e os resíduos industriais têm despertado especial atenção por parte das autoridades públicas responsável pelo meio ambiente (SILVA et al., 2013).

De acordo com Teixeira (2007), devido aos aspectos toxicológicos, às condições de manuseio e uso, os fluidos de corte possuem elevado potencial de impacto ambiental, podendo poluir com vazamentos durante armazenagem e transporte, contaminação atmosférica etc. e, além disso, representam uma ameaça à saúde do trabalhador, uma vez que podem causar males tais como: doenças pulmonares e irritações na pele.

As leis ambientais estão cada vez mais rígidas, tais como a Lei nº 9.605 de 1998, Lei de Crimes Ambientais, exigem providências no sentido de reduzir o impacto ambiental dos processos produtivos e apontam o potencial de vantagens, a curto e longo prazo, que podem ser atingidos com a redução do uso dos fluidos de corte. Já a Lei Federal nº 2.312/54, regulamentada pelo Decreto nº 49.974/61: dispõe sobre o dever do Estado quanto à defesa e proteção da saúde do indivíduo, daí o interesse aos cuidados do manejo e contato com fluidos de corte.

Segundo Howes et al. (1991), há registros históricos que evidenciam incidentes envolvendo substâncias perigosas e, por isso, leis e regulamentações têm sido publicadas globalmente, visando controlar os tipos e níveis de substâncias perigosas lançadas no meio ambiente. No Brasil, as leis do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e portarias da ANP (Agência Nacional do Petróleo) determinam que todo óleo lubrificante usado seja rerrefinado, considerando qualquer outra forma de descarte um crime ambiental (BARROS, 2013).

Teixeira et al. (1997) mostram que o sistema produtivo da indústria metal-mecânica, está ligado a aspectos tecnológicos, econômicos e ecológicos. Os aspectos ecológicos somam-se aos aspectos econômicos e tecnológicos por pressão de rigorosas leis ambientais, assim como, para atendimento de exigências da sociedade, que a cada dia torna-se mais consciente da necessidade de proteção do meio ambiente. Outro motivo é por conta de um mercado consumidor cada vez mais exigente e interessado em empresas que ofereçam o melhor preço e atendam às normas internacionais de gestão da qualidade, ambiental e de segurança e saúde no trabalho.

2.8.4. Descartes e Tratamentos dos Fluidos de Corte

Um dos principais problemas dos fluidos de corte é a contaminação com o uso, perdendo suas propriedades e efetividade, sendo necessário realizar reposição por fluidos novos e conseqüentemente descartar o resíduo gerado (KOBAYASHI et al., 2007). De acordo com Chen et al. (2007), mesmo quando as opções de reciclagem são utilizadas, os fluidos de corte têm uma vida útil finita. Assim, em algum momento esse fluido tende a ser descartado.

O tratamento para o descarte dos fluidos de corte emulsionáveis envolve uma operação para separar a fase oleosa da fase aquosa. São divididas em processos químicos e físicos. A combinação dos dois também pode ser utilizada. A seleção destes depende do estado de contaminação das emulsões, da sua composição, das condições locais, da legislação do meio ambiente na região e do custo. De qualquer maneira, os estágios mais comuns segundo Santos e Sales (2007) e Howes et al. (1991) são:

- 1) Quebra das emulsões;
- 2) Separação do óleo;
- 3) Tratamento da água separada;
- 4) Tratamento da fase oleosa, seus precipitados e da borra saturada.

Nos processos químicos, são adicionados ácidos nos fluidos de corte para degradar os agentes emulgores e desestabilizar a emulsão. Nos físico-químicos, a reação é

reforçada pelo aquecimento da emulsão. No físico, a separação ocorre por processos mecânico com membranas de ultrafiltração. A emulsão com diferentes tamanhos moleculares do óleo e da água é forçada a passar através de permeadores, com poros de diversos diâmetros. A cada passagem da emulsão, somente a água prossegue o fluxo, os demais resíduos são retidos e a água é descartada. Outro processo físico é a quebra térmica através de evaporação, a fase aquosa é retirada da emulsão. O óleo permanece presente por apresentar ponto de ebulição elevado. O óleo separado na quebra térmica contém resíduos que permitem a sua utilização em processos de rerrefino (BELKACEM et al., 1995; SANTOS e SALES, 2007).

O tratamento de fluidos de corte sintéticos através dos sistemas convencionais envolve a compreensão da química coloidal e tensoativa de cada um a ser descartado. Os óleos não se diluem nos fluidos sintéticos. Portanto, a separação do óleo, no caso das emulsões, é dispensada. Através da escolha do tipo e da dosagem de coagulante polimérico e tendo como base as faixas dos pH encontrados, a taxa desejada das reações de precipitação é controlada e a água efluente posteriormente, com o seu pH controlado para descarte (RUNGE e DUARTE, 1987 citado por SANTOS e SALES, 2007). Devido aos elevados custos, tem-se observado recentemente a incineração controlada como alternativa.

Conforme Runge e Duarte (1989), Bienkowski (1993) e Rios (2002), durante o processo de usinagem, medidas de prevenção à poluição por fluidos de corte podem ser adotadas mediante a implementação de um bom programa de manutenção, que englobe o acompanhamento, controle e adoção de procedimentos periódicos e/ou diários de manutenção, tais como: limpeza da máquina e das linhas de alimentação do fluido e dos reservatórios; evitar a utilização de madeiras e outros materiais orgânicos no sistema; realizar a esterilização do sistema mediante a utilização de biocidas e se for preciso, utilizar detergentes para a remoção de depósitos gordurosos; remover os cavacos, sistematicamente, a fim de evitar focos de microorganismos; manter a higiene do local de trabalho, etc. Visita recente do orientador deste trabalho a uma grande empresa automobilística indicou que o eficiente sistema de manutenção do fluido de corte mantém um grande reservatório (mais de 3.500 litros) sem troca do produto por mais de 16 anos.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

Esse capítulo descreve a metodologia empregada no processo experimental do trabalho, especificações dos equipamentos utilizados, caracterização dos corpos de prova e preparo dos fluidos de corte (FCs). Todos os ensaios envolvendo usinagem foram realizados no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia (LEPU–FEMEC–UFU). A caracterização dos corpos de prova foi feita no Laboratório de Tribologia e Materias (LTM) da FEMEC-UFU e para o preparo, contaminação e monitoramento dos FCs quanto a presença e manutenção microbiológica no mesmo, foi realizado com apoio do Laboratório de Microbiologia Molecular do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade Federal de Uberlândia (MICROMOL–ICBIM–UFU). A análise química dos fluidos de corte e ataque químico para remoções de material aderido nas ferramentas foram feitos no Instituto de Química, também da Universidade Federal de Uberlândia (IQ-UFU). O cálculo da incerteza expandida de medição dos valores da rugosidade foi feito com uma planilha eletrônica desenvolvida pelo Laboratório de Metrologia Dimensional (LMD–FEMEC-UFU).

3.1. Procedimento Experimental

A Figura 3.1 mostra o fluxograma das etapas do procedimento experimental realizado neste trabalho, que se divide basicamente em processos com e sem usinagem.

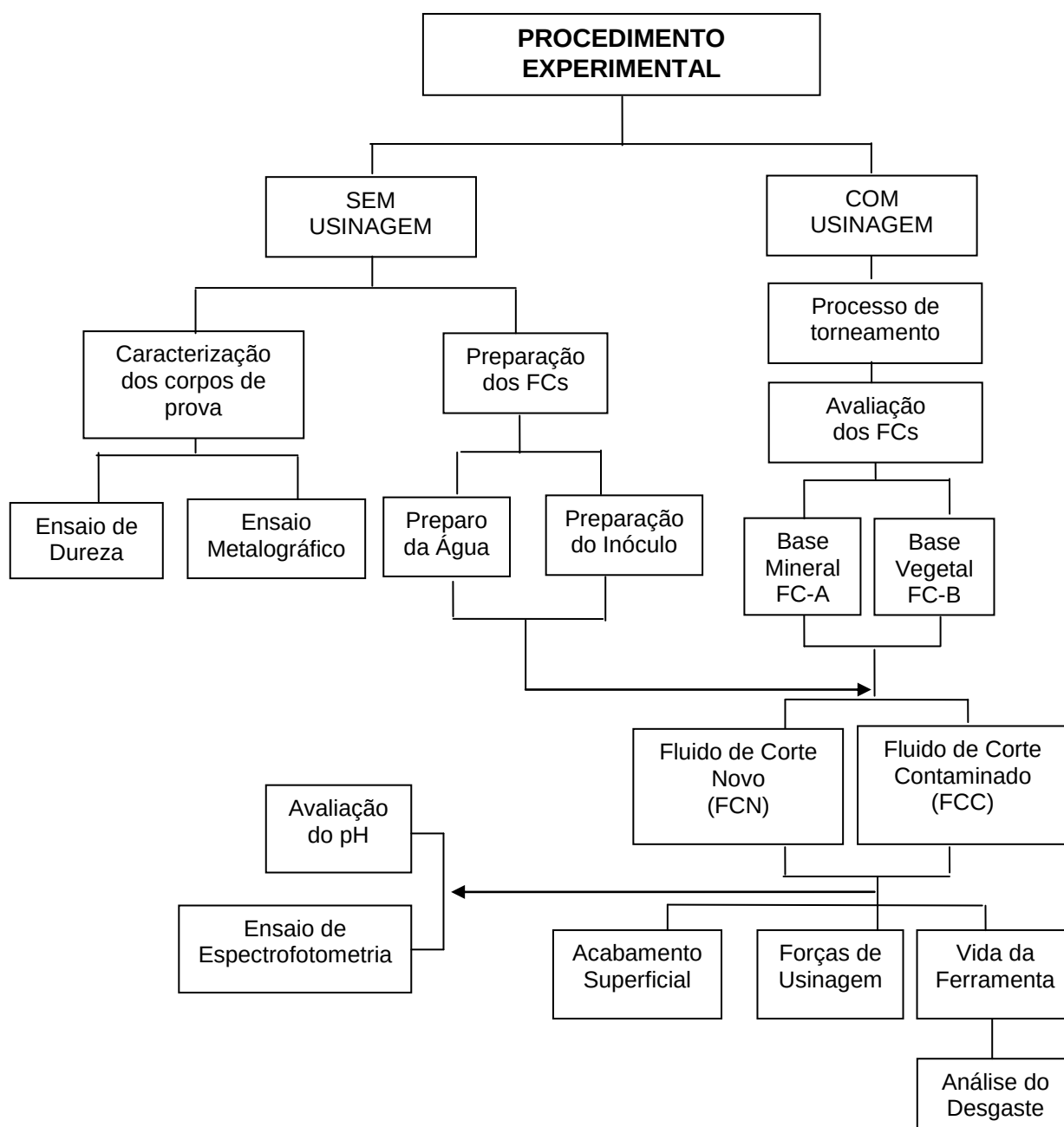


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas experimentais realizadas

3.2. Caracterização dos Corpos de Prova

Para os testes de torneamento foram utilizados como corpos de prova, barras cilíndricas de aço inoxidável austenítico V304UF (não solubilizado) fabricado pela Villares Metals S.A. Essas barras, após usinagem de preparação, tinham diâmetros e comprimentos

médios, respectivamente iguais a 98 mm e 480 mm. A dureza média do lote informada pelo fabricante foi igual a 149 HB e a resistência à tração mínima de 515 MPa. A composição do material dada pela norma ASTM, pode ser visualizada na Tab.3.1, onde mostra a porcentagem dos elementos que podem ser encontrados na sua matriz.

Tabela 3.1 - Composição química (% em massa) do Aço Inoxidável Austenítico V304UF

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%N	%Fe
0,080	1,00	2,00	0,045	0,030	18,0 - 20,0	-	8,0 – 12,0	-	BL

Fonte: Villares Metals

A caracterização do material foi feita a partir de uma amostra escolhida aleatoriamente do lote de barras fornecido pelo fabricante. Os ensaios de dureza e análise microestrutural das amostras foram realizados no LTM-FEMEC-UFU.

3.2.1. Ensaio de Dureza

A dureza do corpo de prova foi medida em três regiões (central, intermediária e periférica) na seção transversal da amostra (Fig. 3.2). A Tab. 3.2 apresenta os resultados de Dureza Brinell de cada ensaio, bem como a média aritmética e desvio padrão. Para estes testes foi utilizado um durômetro universal da marca Otto-Wolpert-Werke com esfera de 2,5 mm e carga de 187,5Kg. Notou-se que não houve grande diferença de dureza da região central para a intermediária, mas a região periférica se apresentou mais dura (~10%). Esta diferença foi considerada durante os ensaios de usinabilidade de modo a eliminar a sua influência. Para os ensaios de componentes de força de usinagem e de rugosidade os testes foram feitos no mesmo diâmetro da barra (região intermediária). Para os ensaios de vida da ferramenta, foi utilizado um corpo de prova para o fluido novo e outro oriundo da mesma barra, com o mesmo diâmetro, para o fluido contaminado, onde a sequência de testes foi mantida, incluindo as réplicas. O valor médio apresentado (entre as três regiões mostradas na Fig. 3.2) foi igual a 149,2 HB, mesmo valor apontado pelo fabricante.

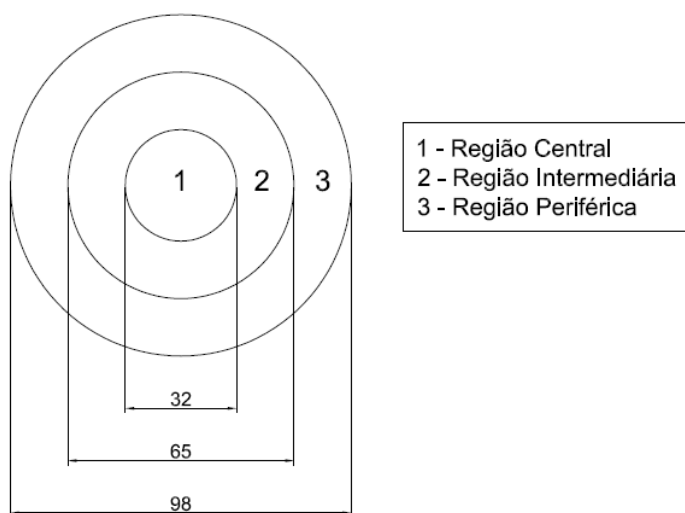


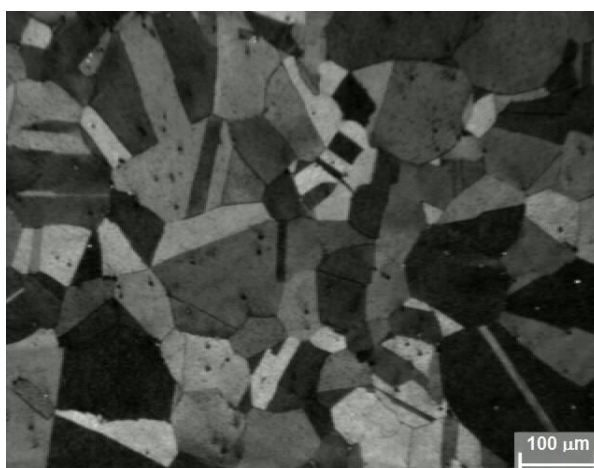
Figura 3.2 - Representação das regiões onde foram feitos os ensaios de dureza

Tabela 3.2 – Ensaio de dureza Brineel (HB) do Aço inoxidável Austenítico V304UF

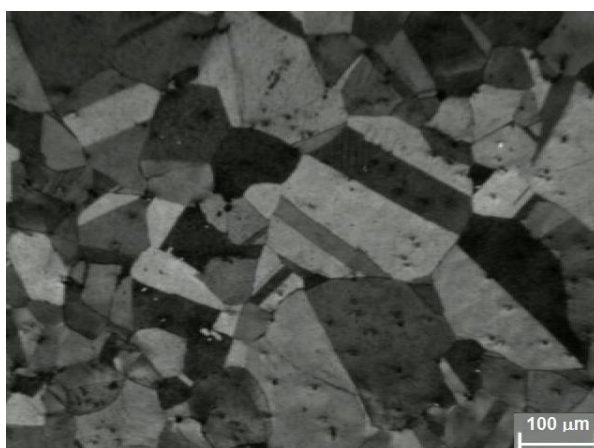
Ensaio de Dureza Brinell (HB) 187,5kg			
	Regiões		
	Periférica	Intermediária	Central
Teste 1	161,0	143,0	143,0
Teste 2	161,0	143,0	145,0
Teste 3	161,0	145,0	145,0
Teste 4	156,0	145,0	145,0
Teste 5	158,0	148,0	140,0
MÉDIA	159,4	144,8	143,6
Desvio Padrão	2,1	1,8	2,0

3.2.2. Ensaio Metalográfico

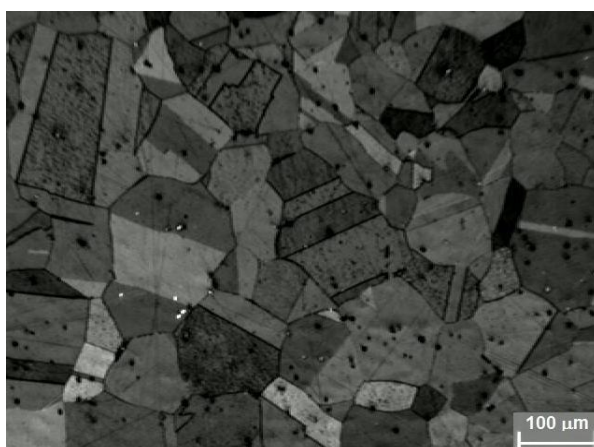
Para identificação da estrutura metalográfica do material, preparou-se uma amostra de cada região representada na Fig.3.2. Essas passaram por um lixamento, com lixas d'água de 320, 400, 600 e 1200 grana; polimento com óxido de cromo, pasta adiamantada de 6µm, 3µm, 1µm e sílica coloidal (0,06 µm); ataque eletrolítico com ácido oxálico a 10% e tempo de reação de um minuto. As imagens da microestrutura (Fig. 3.3) foram feitas na seção transversal da amostra. Para tanto, utilizou-se um microscópio óptico Amplivial, da marca *Carlzeiss-Jena*, com luz polarizada e aumento de 12,5x.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.3 - Imagens da microestrutura do Aço Inoxidável Austenítico V304UF com aumento de 12,5x. a) região central; b) região intermediária; c) região periférica.

Observa-se que não há variação significativa da microestrutura da seção transversal do material nas diferentes regiões analisadas. Trata-se de uma microestrutura típica da

austenita (fase γ), onde os diferentes níveis de coloração dos grãos são relativas às diferentes posições da rede cristalina cfc.

3.3. Preparo dos Fluidos de Corte

3.3.1. Descrição dos Fluidos de Corte Avaliados

Foi avaliado o desempenho de dois fluidos de corte miscíveis em água: Fluido de base mineral – semissintético (FC-A) e outro de base vegetal – emulsionável (FC-B). Estes fluidos foram fornecidos por dois fabricantes diferentes, a Iorga e a Blaser Swissslube do Brasil Ltda. Os dados fornecidos pelos fabricantes são apresentados a seguir:

➤ **FC-A:** Fluido miscível em água semissintético composto por aproximadamente 15% de óleo mineral em sua composição, apresentando densidade média de 1,065 g/ml (a 20°C) e pH da emulsão igual a 9,0. O produto tem excelente propriedade lubrificante, refrigerante e anticorrosiva, excepcional estabilidade das emulsões, facilidade no preparo de emulsões, pode ser aplicado na maioria das operações de usinagem, apresenta-se como líquido translúcido âmbar. Para usinagem em geral aconselha-se concentrações entre 5% a 10% v.v⁻¹.

➤ **FC-B:** Fluido miscível em água emulsionável com 45% de óleo vegetal em sua composição, apresenta uma densidade média de 0,95 g/cm³ (a 20°C), viscosidade igual a 56 mm²/s (a 40°C), ponto de fulgor de 180°C e pH entre 8,5 e 9,2. O fluido é recomendado para operações de usinagem severa em ferro fundido, aços, ligas de alumínio, metais não-ferrosos, bem como em materiais de usinagem severa. Também possui excelente desempenho de corte devido às propriedades dos óleos vegetais, eficiente proteção contra corrosão e boa lavabilidade. Para usinagem em geral aconselha-se concentrações entre 5% a 8% v.v⁻¹.

3.3.2. Esterilização da Água, Diluição dos Fluidos de Corte e Limpeza da Máquina

Segundo Muniz (2008), a estabilidade das emulsões de um fluido de corte pode ser afetada pela qualidade da água, ela deve estar isenta de impurezas, microrganismos e excesso de cloro. A dureza da água é uma propriedade de grande importância no preparo das emulsões. Assim, toda a água utilizada para diluição dos FCs foi devidamente destilada

e esterilizada (água ultra pura) no MICROMOL/ICBIM/UFU e armazenada em tambores (desinfetados com solução de hipoclorito 4-6% P.A. e álcool 70%) com capacidade de 60L cada (foram utilizados entre 6 e 7 tambores), totalizando ao final do experimento aproximadamente 400 L (incluindo a água necessária para a reposição no reservatório, devido as perdas por arraste e evaporação durante os testes). Ressalta-se que todos os FCs foram preparados com essa água.

Os FCs foram diluídos com a água esterilizada até chegar a concentração de 8% vv⁻¹ (concentração indicada pelo fabricante e utilizada na indústria parceira deste trabalho, a Villares Metals S.A.). Para aferir a concentração desses fluidos utilizou-se um refratômetro portátil da marca Atago, modelo N1. Vale ressaltar que antes de abastecer o reservatório da máquina com os fluidos de corte novo (FCN), tanto a parte interna do torno quanto o seu reservatório foi adicionada uma camada de fluido integral na tentativa de impedir a proliferação inicial por microrganismos considerando que o fluido integral apresenta alta concentração de bactericidas. A ausência de microrganismos após esse procedimento foi comprovada após a coleta de “swabs” estéreis das superfícies e o não crescimento de microrganismos após 24, 48, 72 hs de cultivo. Os FCs também foram monitorados durante os testes quanto ao crescimento microbiológico (ambos fluido de corte novo apresentaram crescimento zero nos meios de cultura utilizados: Miller Hinton, TSA, Sabourade Pseudomonas F).

3.3.3. *Preparo do Inoculo e Contaminação Induzida dos Fluidos de Corte*

O processo de contaminação microbiológica dos FCs por bactérias foi feito em parceria com o MICROMOL/ICBIM/UFU (equipe parceira a este trabalho), utilizando o protocolo ASTM E2275 modificado (LIMA, 2012). Os FCs foram contaminados com bactérias do grupo dos bacilos gram-negativos da classe *pseudomonas* sp (não-fermentadoras) e enterobactérias (fermentadoras) de maneira induzida até alcançar a contaminação média de 10⁵ UFC/mL, tal contaminação é considerada crítica por Capelletti (2006), onde cita que o nível de contaminação considerado satisfatório é aquela com contagens inferiores a 10⁴ UFC/mL.

De acordo com tal protocolo, as cepas (espécies) bacterianas selecionadas (obtidas de amostras de FCs coletados em uma determinada indústria) foram recuperadas, isoladas e estocadas a -20°C. Foram utilizadas para contaminação dos FC apenas as cepas mais representativas (presentes em maior número nas amostras de FC da indústria). Foi utilizado o Agar BHI (HIMÉDIA[®]) para a reativação das amostras (35°C / 24hs) e posteriormente sua inoculação foi feita em caldo BHI (HIMÉDIA[®]) (35°C / 72hs) até atingirem a concentração

desejada de 10^{20} UFC/mL. Essa concentração foi comprovada através de contagens de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) após diluições seriadas (técnica mostrada na Fig 2.13).

Finalizada a incubação o meio de cultura líquido foi centrifugado (Fanem Excelsa Baby II, modelo 206-R– 4000 rpm por 10 min), em tubos Falcon (de 50 mL e 15 mL) restando somente o “*pellet*” concentrado no fundo dos tubos (“massa bacteriana”), que foi então ressuspensão em solução isotônica (salina a 0,9%) com auxílio do vortex (IKA) e refrigerado para transporte até o LEPU onde foi inoculado nos FCs (A e B). A Fig. 3.4 mostra um esquema ilustrativo para melhor entendimento desse processo.

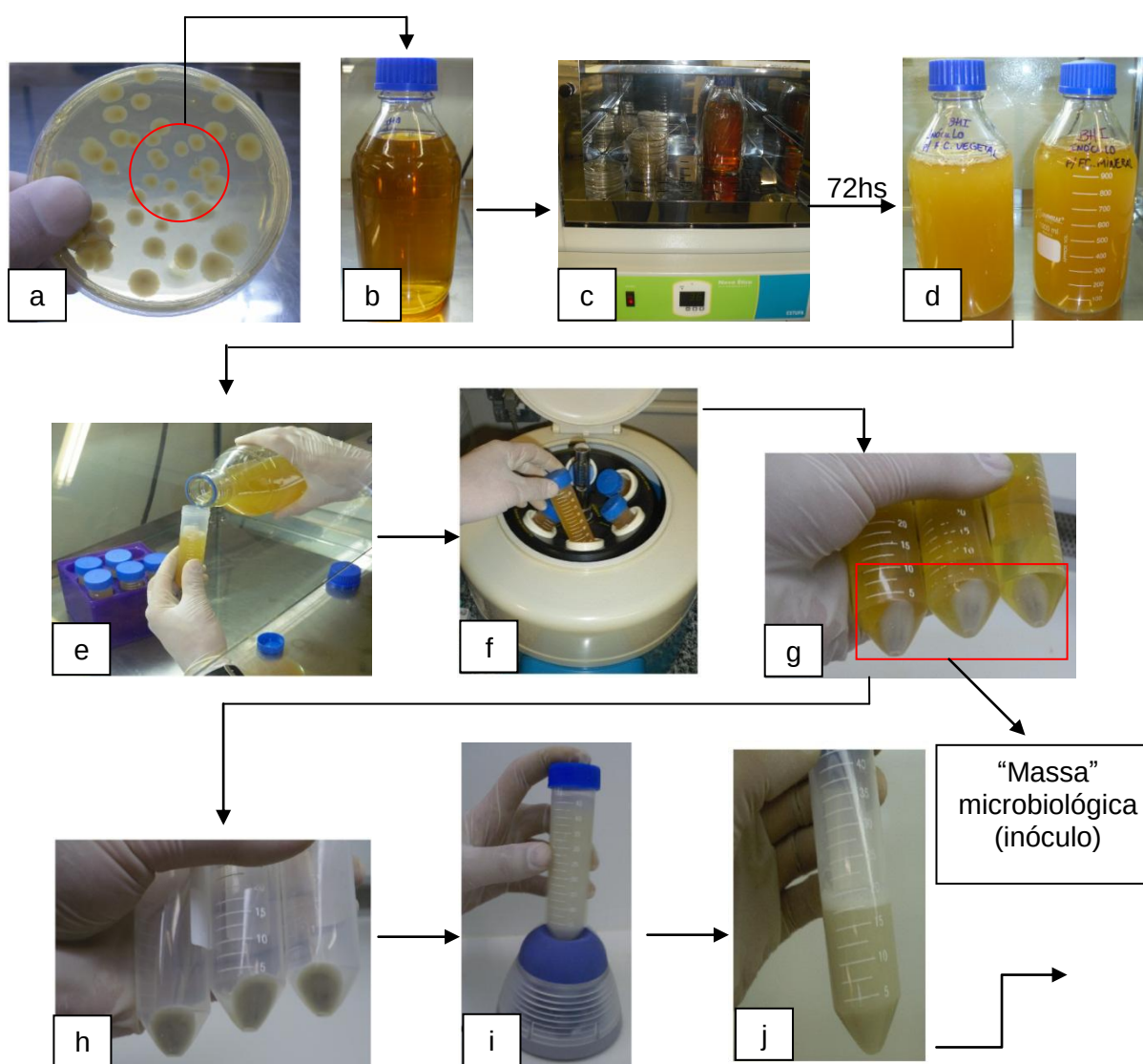




Figura 3.4 - Esquema ilustrativo do processo de contaminação dos fluidos de corte. a) placa com meio de cultura sólido inoculado com bactérias; b) meio de cultura líquido (BHI Caldo); c) estufa com temperatura de 35°C; d) meio de cultura líquido contendo bactérias recuperadas do FC-A e FC-B; e) transferência do meio de cultura líquido para os tubos falcon (50 mL); f) Centrifugação em centrífuga Excelsa 206-R; g) “massa” bacteriana (inóculo) após centrifugação; h) “massa” bacteriana concentrada no fundo do tubo; i) inóculo ressuspensionado em solução isotônica salina (0,9%) por agitação (vortex IKA); j) inóculo em solução salina (10^{16} UFC/mL); l) contaminação do fluido de corte (na imagem FC-A)

Para acelerar o crescimento bacteriano nos FCs (A e B), utilizou-se uma lâmpada incandescente no interior do tambor, onde os fluidos foram armazenados e contaminados (Fig. 3.5). Esse processo foi utilizado até que o fluido atingisse o nível de contaminação bacteriana média na ordem de 10^5 UFC/mL. Notou-se que a concentração dos FCs, quando armazenada em tambores, aumentava devido à evaporação da água. Para controlar esse efeito, a concentração do fluido era aferida e ajustada (adição água destilada estéril) periodicamente com o auxílio do refratômetro, mantendo sempre a concentração dos FC sem 8% v.v⁻¹. Ressalta-se que na etapa de contaminação dos FCs, os mesmos eram agitados (circulados na máquina) diariamente.

Os fluidos de corte novos e contaminados foram denominados com as seguintes siglas: FCN-A (fluido de corte novo de base mineral), FCN-B (fluido de corte novo de base vegetal), FCC-A (fluido de corte contaminado de base mineral), FCC-B (fluido de corte contaminado de base vegetal). A Tab. 3.3 mostra o valor médio da carga microbiológica média presente nesses fluidos quando foram testados nos ensaios de usinagem.



Figura 3.5 - Esquema utilizado para manter o fluido com temperatura favorável para o crescimento bacteriano (na imagem FCC-B)

Tabela 3.3 - Fluidos de corte e cargas microbiológicas

Tipo de Fluido de Corte	Carga Microbiológica Média
FCN-A	---
FCN-B	
FCC-A	10^5 UFC/mL
FCC-B	

3.3.4. Monitoramento Microbiológico dos Fluidos de Corte Avaliados

Os FCs utilizados neste estudo foram monitorados diariamente para detecção da presença de microrganismos. Para tanto, utilizou-se a metodologia de contagem de colônias em placas após diluições seriadas (Fig. 2.13). Ressalta-se que as diluições e contagem das placas foram feitos em triplicata.

➤ **FLUIDOS DE CORTE NOVOS (A e B):** foram retiradas alíquotas (totalizando 10 mL) de FC em diferentes pontos do reservatório e da máquina para detecção da presença microbiológica. A amostra foi transportada de forma refrigerada até o Laboratório de Microbiologia (MICROMOL) e processada imediatamente. Após ser agitada em vortex por 1 minuto, foram retiradas alíquotas das amostras destes FCs obedecendo as concentrações necessárias para contagem. Assim, primeiramente coletou-se 0,1mL (10^{-1} mL) de FC que foram diluídas em solução isotônica com as proporções: a) 0,1 mL de FC em 0,9 mL de solução isotônica (1:10 ou 10^{-1}); b) 0,1 mL de FC da diluição anterior (1:10) em 0,9 mL de solução isotônica (1:100 ou 10^{-2}); c) 0,1 mL de FC da diluição anterior (1:100) em 0,9 mL de solução isotônica (1:1.000 ou 10^{-3}); d) 0,1 mL de FC da diluição anterior

(1:1.000) em 0,9 mL de solução isotônica (1:10.000 ou 10^{-4}); e) 0,1 mL de FC da diluição anterior (1:10.000) em 0,9 mL de solução isotônica (1:100.000 ou 10^{-5}) e f) 0,1 mL da diluição anterior (1:100.000) em 0,9 mL de solução isotônica (1:1.000.000 ou 10^{-6}). Essas seis diluições do FC foram inoculadas em meios de cultura sólidos e incubadas por até 24hs para contagem das unidades formadoras de colônia (UFC) presentes.

➤ **FLUIDOS DE CORTE CONTAMINADOS (A e B):** da mesma forma como descrito anteriormente, foram retiradas alíquotas diárias dos FCs e transportadas nas mesmas condições de refrigeração até o Laboratório de Microbiologia onde foram submetidas ao mesmo processo de contagem após diluição seriada, porém nestas amostras de FCs a diluição chegou a 10^{-10} , considerando a possibilidade de crescimento microbiano superior ao esperado.

3.4. Caracterização dos Fluidos de Corte

3.4.1. Espectrofotometria dos Fluidos de Corte

Os testes de espectrofotometria foram realizados afim de verificar uma possível alteração nas propriedades químicas dos fluidos. Nesse teste ondas eletromagnéticas (luz monocromática com comprimento de onda que variam entre 200 a 800 nm) são incididas sob as amostras. A razão entre a intensidade da luz que incide e a intensidade da luz que sai da solução fornece o chamado índice de absorbância da solução. Dependendo da composição química de uma solução, a mesma pode apresentar diferentes índices de absorbância. Assim, realizou-se esse teste a fim de indentificar uma possível alteração química nos FCC. Para tanto utilizou-se um Espectrofotômetro UV-visible *Recording Spectrophotometer*, Modelo UV-2501PC, fabricado pela *Shimadzu Corporation*, locado no IQ-UFU. Esse aparelho é conectado a um computador com o *software* UV-PC, adequado para controle, tratamento e saída de dados.

As amostras dos fluidos de corte novos (FCN - A e B) e fluido de corte contaminados (FCC A e B) com concentração de 8% v.v⁻¹, foram diluídos em água deionizada (solvente puro, isento de íons) na proporção de 1:500, e colocadas em cubetas específicas do espectrofotômetro (Fig. 3.6). A partir desse ensaio foi possível comparar a absorbância dos FCN e FCC.

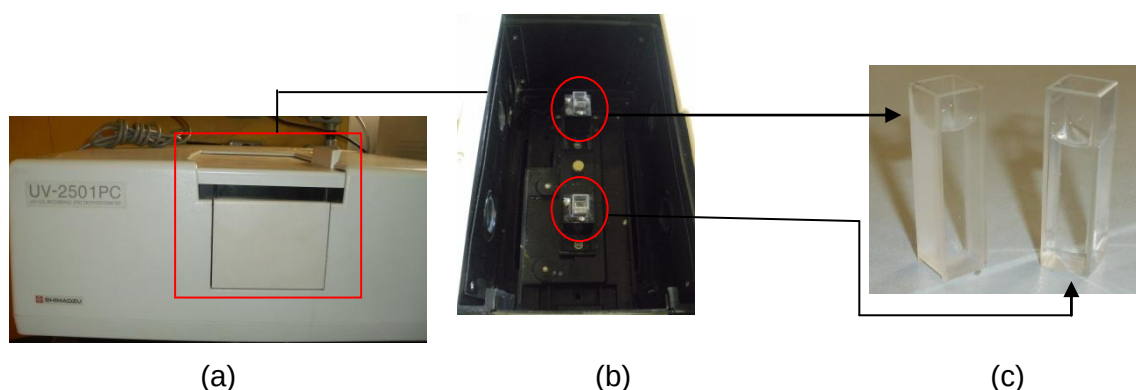


Figura 3.6 - a) Espectrofotometro UV-2501PC. Em destaque o local de compartimento da amostra; b) interior do equipamento; c) cubetas: I. referência, II. Amostra

3.4.2. Análise do pH dos Fluidos de Corte

O pH (potencial Hidrogeniônico) dos FCN-A, FCN-B, FCC-A e FCC-B foram medidos com o pHmetro portátil digital da marca ION modelo PH-500. Esse aparelho é utilizado para medição de acidez e alcalinidade em líquidos, com faixa de leituras de 2,00 até 16,00 pH e precisão de $\pm 0,01$ pH. Os testes foram realizados no LMD-FEMEC-UFU, antes das medições o aparelho e os FCs foram colocados em uma sala climatizada com temperatura ambiente média de 20,8 °C. Após a calibração do instrumento de acordo com o manual do fabricante, foram realizadas três medidas do pH de cada fluido de corte. As anotações dos valores eram feitas quando o valor do pH se estabilizava, após aproximadamente dois minutos. No intervalo de cada medição, o eletrodo foi limpo delicadamente com água destilada para remover o excesso do FC avaliado. A Fig. 3.7 mostra o aparelho utilizado.

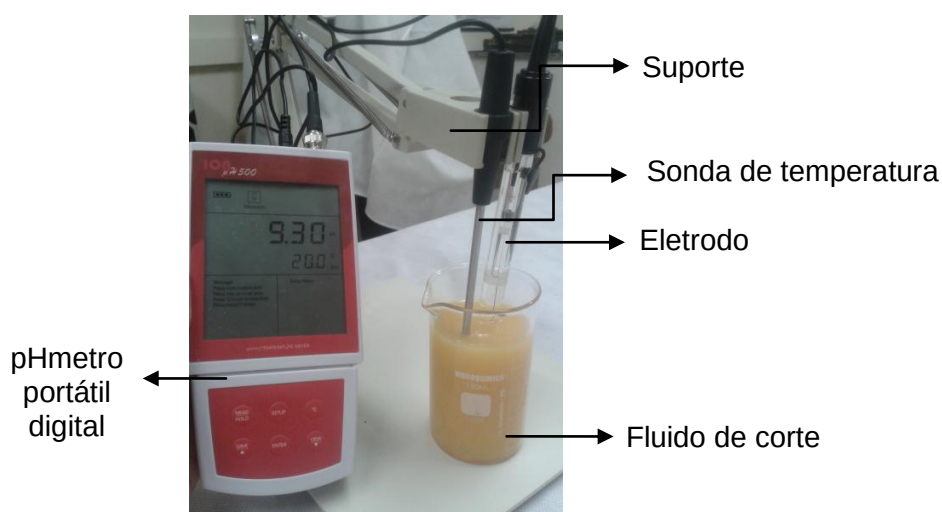


Figura 3.7 - Esquema para avaliação dos pH dos fluidos de corte

A seguir serão descritos as metodologias, instrumentos e materiais utilizados para o processo de usinagem desse trabalho.

3.5. Especificações dos Equipamentos Utilizados nos Ensaios de Usinagem

3.5.1. Torneamento

Para os ensaios de torneamento utilizou-se um torno CNC modelo Multiplic 35D, fabricado pela indústria Romi S.A, com 11 Kw de potência, com rotação variável de eixo árvore de 3 a 3000 rpm, equipado com comando numérico GE FANUC Series 21i – TB. A Fig. 3.8 mostra a imagem do torno utilizado no LEPU.



Figura 3.8 - Torno CNC Romi Multiplic 35D utilizado nos teste de torneamento (PEREIRA, 2009)

3.5.2. Ferramentas e Suporte

As ferramentas utilizadas foram insertos quadrados de metal duro da classe M fabricadas pela Sandvik do Brasil S.A. com o código ISO SNMG120408-MF. Os insertos eram inteiramente revestidos com TiN, ângulo de folga igual a 0° e quebra-cavacos integrado. A foto e a representação dos insertos são mostrado na Fig 3.9. A faixa do valor da velocidade de corte (v_c) indicado pelo fabricante para o aço inoxidável AISI 304 é de 90 a 115 m/min.

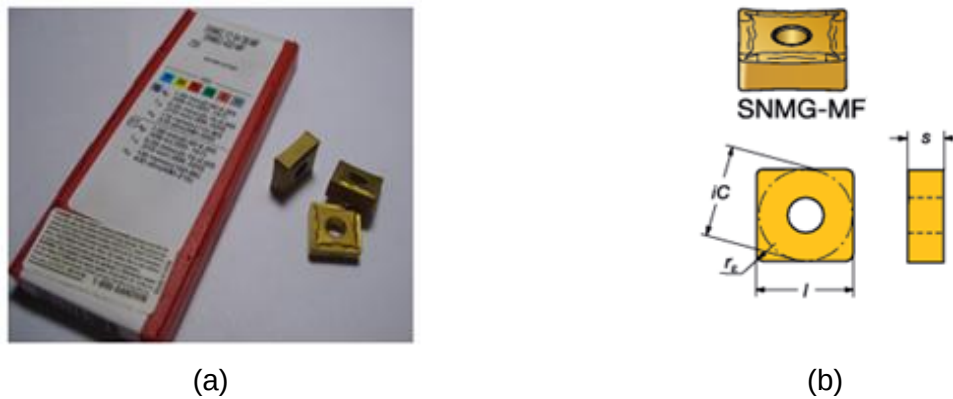


Figura 3.9 - Insertos utilizados nos teste de torneamento. a) foto dos insertos da marca Sandvik, b) representação da geometria do inserto com $IC = l = 15,7$ mm, $s = 4,76$, $r_e = 0,8$ mm (SANDVIK, 2012)

O suporte utilizado para as ferramentas apresentava designação ISO DSBNR/L 2525 M12, também fabricado pela Sandvik do Brasil S.A.. A foto e a representação do suporte podem ser observadas na Fig 3.10. Logo abaixo a Tabela 3.4 mostra a geometria do suporte.

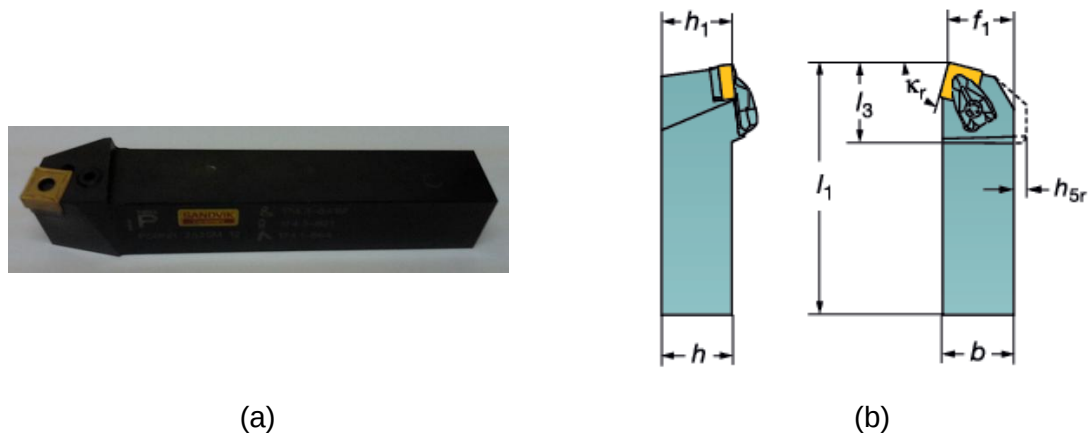


Figura 3.10 - a) Suporte de ferramentas Sandvik; b) Representação da geometria da ferramenta (SANDVIK, 2012)

Tabela 3.4 – Dimensões do suporte de ferramenta conforme Fig. 3.10 (SANDVIK, 2012)

Dimensões (mm)									
B	f_1	h	h_1	h_{5r}	l_1	l_3	γ^1	λ^2	κ
25	22	25	25	2,5	150	37,3	-6°	-6°	75°

3.5.3. Aparelhagem para os Ensaio de Forças de Usinagem e Acabamento Superficial

As forças de corte (F_c) e de avanço (F_f) do processo foram medidas com os seguintes equipamentos e software:

- **Dinamômetro piezoelétrico:** Equipamento fabricado pela Kistler Instrument, modelo 9265-B. Este instrumento mede os esforços aplicados sobre a ferramenta usando um circuito composto por anéis piezo-elétricos ligado a um amplificador da marca Kistler, modelo 5019A. Os valores dos ganhos utilizados no amplificador foram de 250 N/V para o canal da força de corte e 100 N/V para os canais das forças de avanço. O dinamômetro foi fixado na mesa principal do torno CNC e o suporte da ferramenta acoplado com um comprimento em balanço de 50 mm, de acordo com o manual do equipamento.

- **Placa de aquisição de sinais:** Os sinais amplificados eram enviados a uma placa de conversão análogo-digital da PowerDAQ, modelo *National Instruments* USB DAQPad-6251 Pinout 1.25 MS/s. Os sinais foram adquiridos usando uma taxa de aquisição de 6kHz.

- **Software Labview™ 7.6:** Fornecido pela *National Instrument* e programado para gerenciar os sinais adquiridos

Esses equipamentos são esquematicamente mostrados na Fig. 3.11.

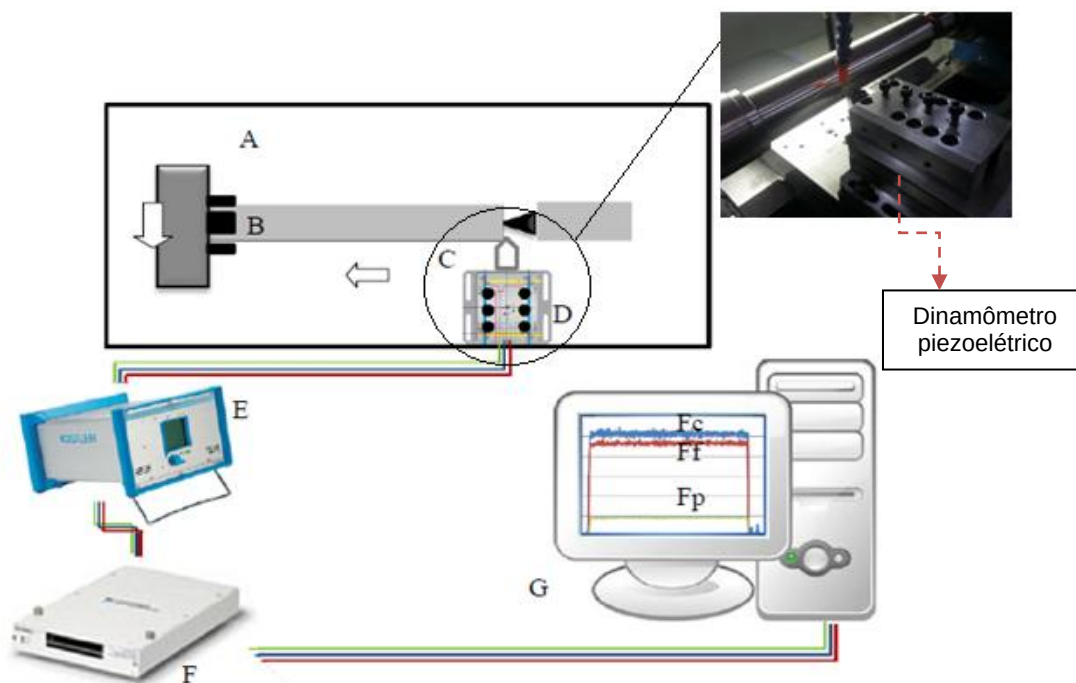


Figura 3.11 - Desenho esquemático do sistema de aquisição de força. A – torno, B - Peça, C-Ferramenta, D - Dinamômetro, E - Amplificador, F - placa A/D, G – Computador (SUAREZ, 2012 adaptado)

As rugosidades nos ensaios de usinabilidade foram medidas com um rugosímetro portátil da marca MITUTOYO modelo Surftest SJ-201, *cut-off* 0,8 mm. O parâmetro escolhido para quantificação da rugosidade foi o desvio aritmético médio (R_a), por ser o parâmetro mais utilizada no meio industrial.

3.5.4. Especificações dos Microscópios Utilizados

Para a análise das imagens e monitoramento do desgaste da ferramenta, utilizou-se um Estéreo Microscópio SZ6145TR – OLYMPUS com aumento de 45x, devidamente calibrado. A medição do desgaste foi feita com o *software* analisador de imagens *Image Pro-express*, sistema de captura e análise de imagens. A Fig. 3.12 traz a foto do equipamento montado e conectado ao computador, pronto para o monitoramento do desgaste.



Figura 3.12 - Microscópio SZ6145TR – OLYMPUS e software Image Pro-express (PEREIRA, 2009)

Para identificação dos mecanismos de desgaste da ferramenta e elementos aderidos na aresta corte utilizou-se o Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV, Hitachi modelo TM 3000, com ampliação de 25 – 30.000x, Acoplado com o EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) da marca SwiftED3000, ambos ligados em um computador com programas específicos (Fig. 3.13).

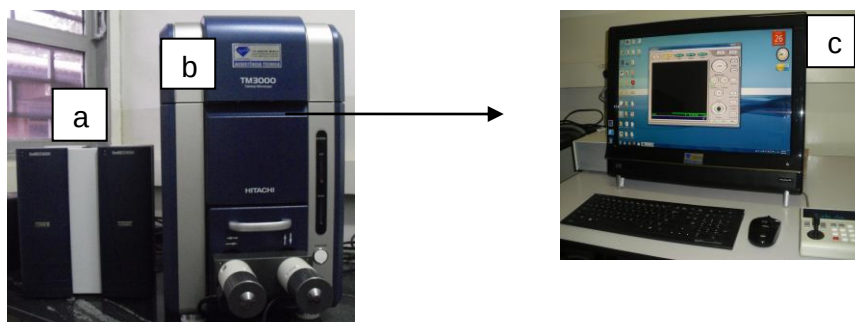


Figura 3.13 - a) EDS; b) MEV; c) computador com programas específicos

3.6. Metodologia Utilizada nos Ensaio de Torneamento

Os ensaios de torneamento envolveram três variáveis de entrada em dois níveis cada, que resultaram em três variáveis de saída. As variáveis de entrada foram: duas velocidades de corte, dois tipos de FC (A e B) em dois estados dos fluidos de corte (novo e contaminado (10^5 UFC/mL)). Assim, quantificaram-se as seguintes variáveis de saída: forças de usinagem (F_c e F_f), acabamento superficial (R_a) e vida útil da ferramenta. A Fig. 3.14 esquematiza esse processo.



Figura 3.14 - O processo de torneamento pode ser representado por uma função ligando as variáveis de entrada (esquerda) às variáveis de saída (direita)

A seguir será descrito a metodologia utilizada em cada experimento envolvendo usinagem.

3.6.1. Ensaio de Forças de Usinagem e Acabamento Superficial

Os corpos de prova utilizados para os ensaios de força foram fixadas na placa do torno por meio de castanhas em uma extremidade e do contra-ponto na outra, de forma que as vibrações resultantes do sistema ferramenta-peça não fossem significantes nos resultados. Para isso foram realizados pré-testes até que condições de rigidez (centragem, batimento e pressão dos elementos de fixação) satisfatórias fossem atingidas.

Após montar o dinamômetro piezoelétrico (Kistler) no torno Romi CNC, o software Labview foi programado com uma frequência de aquisição de dados igual a 6 kHz durante 6 segundos de usinagem. Assim, foi possível coletar em cada teste, 36000 sinais de força das duas principais componentes de forças de usinagem (Força de corte - F_c e força de avanço - F_f).

Com o objetivo de avaliar a capacidade de lubrificação e refrigeração dos FCs novos e contaminados (10^5 UFC/mL), os ensaios foram realizados com duas velocidades de corte,

iguais a 125 m/min (baixa) e 250 m/min (alta), que se dividiam em dois trechos na barra, como ilustrado na Fig. 3.15. Utilizou-se essas velocidades por, teoricamente, estar fora da faixa de formação de APC. Mantendo a velocidade de corte constante em cada trecho, foram coletados os sinais de forças de usinagem variando seis avanços entre 0,10 a 0,40 mm/volta. Para todos os testes a profundidade de corte e a concentração dos FCs foram mantida constante igual a 1 mm e 8% v.v⁻¹, respectivamente. Os fluidos de corte foram aplicados na forma tradicional (abundância) na região de corte sob a ferramenta (direção “A” da Fig. 2.7) com vazão média (z) de 13,6 L/min. A Tab. 3.5 mostra os parâmetros de usinagem estabelecidos nesses ensaios.

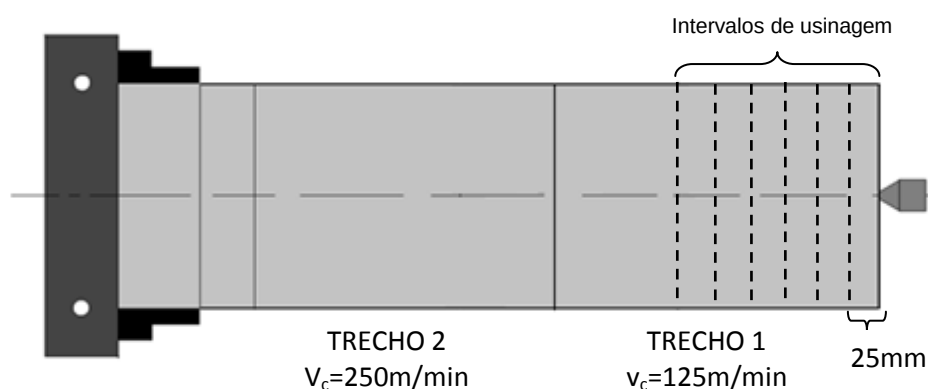


Figura 3.15 – Representação da fixação do corpo de prova dividido em dois trechos de usinagem e os intervalos de usinagem

Tabela 3.5 – Parâmetros de usinagem nos ensaios de forças

		Parâmetros de Usinagem				
		v_c (m/min)	a_p (mm)	Concentração (%)	L (mm)	f (mm/volta)
FC-A FC-B	Ensaio 1	125	1	8	25	0,10; 0,16; 0,22; 0,28; 0,34; 0,40;
	Ensaio 2	250	1	8	25	0,10; 0,16; 0,22; 0,28; 0,34; 0,40;

As aquisições das forças de usinagem foram feitas na região intermediária das barras (Fig. 3.2), isto para minimizar a influência da variação de dureza do núcleo para a periferia do material (Tab. 3.2). Para garantir que o desgaste da ferramenta não influenciasse nos resultados das forças de usinagem, o processo foi monitorado com paradas programadas, para medir o desgaste de flanco a cada 25 mm de usinagem. Quando o desgaste de flanco (VB_B) chegava próximo a 0,1 mm trocava-se a aresta de corte

por outra nova. Assim, foi garantido que não houve influência da variação de dureza do material e do desgaste da ferramenta nos sinais de forças coletados.

Após a limpeza do reservatório da máquina os FCN (A e B) foram os primeiros a serem testados, seguido pelos fluidos de corte contaminados (FCC) com os mesmo parâmetros de corte (Tab. 3.5). Ressalta-se que para usinagem utilizando os FCCs o uso de equipamentos de segurança tais como luvas e máscaras foram de extrema importância, devido o alto potencial de contaminação e toxicação do operador (BENNETT, 1983; GADIAN, 1983 citado por HOWES et al., 1991).

Após cada teste de força, avaliou-se o acabamento medindo os valores das rugosidades (R_a) em três pontos distintos nos percursos usinados com avanço de 0,10 mm/volta e 0,16 mm/volta em alta e baixa velocidade de corte (125 e 250 m/min). Utilizou-se apenas esses dois valores de avanço por apresentarem os melhores acabamentos nos pré-testes. Esse procedimento foi realizado com o rugosímetro MITUTOYO modelo Surftest SJ-201 (Fig. 3.16), utilizando o comprimento de amostragem (l_r) (*cut-off*) igual a 0,8 mm e comprimento de avaliação (l_n) igual a 4 mm (ISO 4288, 1996). Nesses testes, também foram utilizados ferramentas novas com desgastes de flanco menores de 0,1 mm.

Após o cálculo das médias e desvios padrões, foram calculados os valores das incertezas de medições, através da planilha digital desenvolvida por Moraes (2011). Essas planilhas fornecem a incerteza de medição expandida para um fator de abrangência (k) igual 2,447 e 95,45% de probabilidade de abrangência. A incerteza de medição é um indicador do desempenho do instrumento e da qualidade da medição.

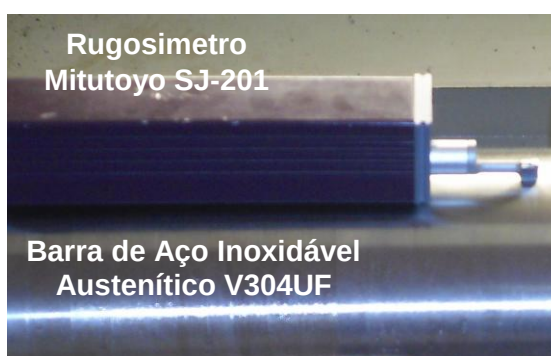


Figura 3.16 - Rugosímetro Mitutoyo SJ-201 pronto para a medição do parâmetro R_a no aço inoxidável austenítico V304UF após usinagem

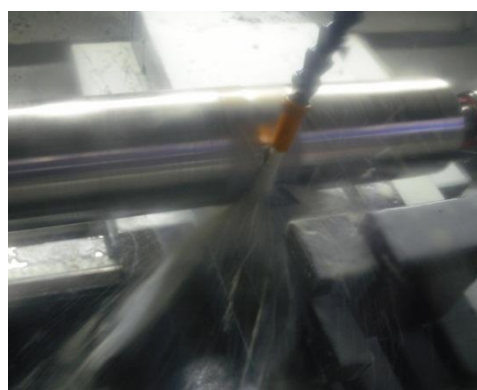
É importante salientar que, antes das medidas, foi verificado se o dinamômetro e o rugosímetro estavam devidamente calibrados, seguindo recomendações dos respectivos fabricantes.

3.6.2. Ensaios de Vida da Ferramenta

Os ensaios de vida da ferramenta foram feitos com duas velocidades de corte (125 m/min e 250 m/min), utilizando os fluidos de corte em abundância (jorro), os FCs (A e B) em dois estados (novo e contaminado (10^5 UFC/mL)). A Fig. 3.17 apresenta detalhes da aplicação de um dos fluidos durante os testes. Os parâmetros de corte tais como avanço (f), profundidade de corte (a_p), vazão média (z) e a concentração dos fluidos de corte, foram mantidos constantes ao longo dos testes, com valores respectivamente iguais a 0,2 mm/volta; 1,0 mm; 13,6 L/min e 8% v.v⁻¹. Os FC's foram aplicados a uma distância de 50 mm da região de corte, aproximadamente.



(a)



(b)

Figura 3.17 - Processo de torneamento nos ensaios de vida utilizando em jorro o FCN-B

Os pré-testes dessa etapa mostraram que o desgaste predominante na ferramenta foi o desgaste de flanco. Assim, a evolução deste desgaste foi monitorado para baixas e altas velocidades de corte com o Estéreo Microscópio SZ6145TR – OLYMPUS devidamente calibrado e o software analisador de imagens *Image Pro-express*, utilizando aumento máximo de 45x.

Nos testes com alta velocidade de corte (250 m/min) a vida da ferramenta foi dada em função do tempo de usinagem. Para adotar o critério de fim de vida para esses testes procurou-se utilizar a Norma ISO 3685 (1993), onde é sugerido o fim de vida da ferramenta de metal duro quando o desgaste de flanco médio (VB_B) atinge o valor de 0,3 mm. Entretanto, para maior confiabilidade estatística, considerou-se o fim de vida quando o VB_B atingisse um valor um pouco maior, de 0,4 mm. O controle e medição do desgaste de flanco eram feitos com paradas programadas a cada 1,5 minutos de usinagem aproximadamente. Esse processo foi repetido consecutivamente até o desgaste atingir 0,4 mm.

Já nos testes com baixa velocidade de corte (125 m/min), devido ao número de testes e a escassa quantidade de corpos de prova disponível, foi adotada outra estratégia como critério de fim de vida. A evolução do desgaste de flanco da ferramenta foi monitorada com os mesmos equipamentos do teste de alta velocidade de corte. Porém, para medir o desgaste, o corte era interrompido a cada 5,0 minutos de usinagem aproximadamente, e o critério de parada era quando a ferramenta atingisse um tempo de usinagem fixo, igual a 34,5 min. O desgaste de flanco médio (VB_B) medido após este tempo de corte foi o parâmetro comparativo da usinabilidade.

Como as barras apresentavam uma certa variação de dureza do seu centro para a periferia (Tab.3.2), a sequência de testes para o fluido novo e para o fluido contaminado foi a mesma, utilizando dois corpos de prova com mesmo diâmetro, oriundos da mesma barra.

A análise do desgaste da ferramenta foi feito no LEPU com auxílio do MEV. Para facilitar a identificação do mecanismo de desgaste a ferramenta foi atacada com uma solução de ácido clorídrico durante 10 segundos no IQ-UFU.

3.7. Análise Estatística

A análise estatística dos resultados dos ensaios de vida da ferramenta foram feitos através do teste de hipótese utilizando o software *Statistic 7*. Para a realização desse teste, deve-se assumir uma hipótese de nulidade (H_0) e uma hipótese alternativa (H_1) (BARROZO, 2006). Assim, para esses testes consideraram-se as seguintes hipóteses:

H_0 : O desgaste médio das ferramentas no processo de usinagem utilizando FCN é igual ao desgaste utilizando o FCC.

H_1 : O desgaste médio das ferramentas no processo de usinagem utilizando FCN é menor que o desgaste utilizando o FCC.

Ressalta-se que devido o pequeno número de amostras ($n < 30$) utilizou-se uma distribuição normal *t-Student*.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Considerações Iniciais

Nesse capítulo são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios do processo de torneamento descrito na metodologia deste trabalho. As abordagens destes resultados serão feitas a partir dos seguintes itens: forças de usinagem, acabamento superficial da peça usinada, vida e desgaste da ferramenta de corte, análise do pH e espectrofotometria dos fluidos de corte (FC's). Todos esses parâmetros foram avaliados em função dos FCN-A, FCC-A, FCN-B, FCC-B e apresentados na forma de gráficos e tabelas. Além disso, também foi descrito detalhes do desgaste da ferramenta, mudanças do estado físico do FC-B, tipo de cavaco gerado e uma tabela comparando (em porcentagem) o desempenho dos fluidos de corte novos com contaminados. Ressalta-se que todos os dados apresentados neste capítulo são ensaios constituídos por um teste e duas repetições e a contaminação média dos FCs é da ordem de 10^5 UFC/mL.

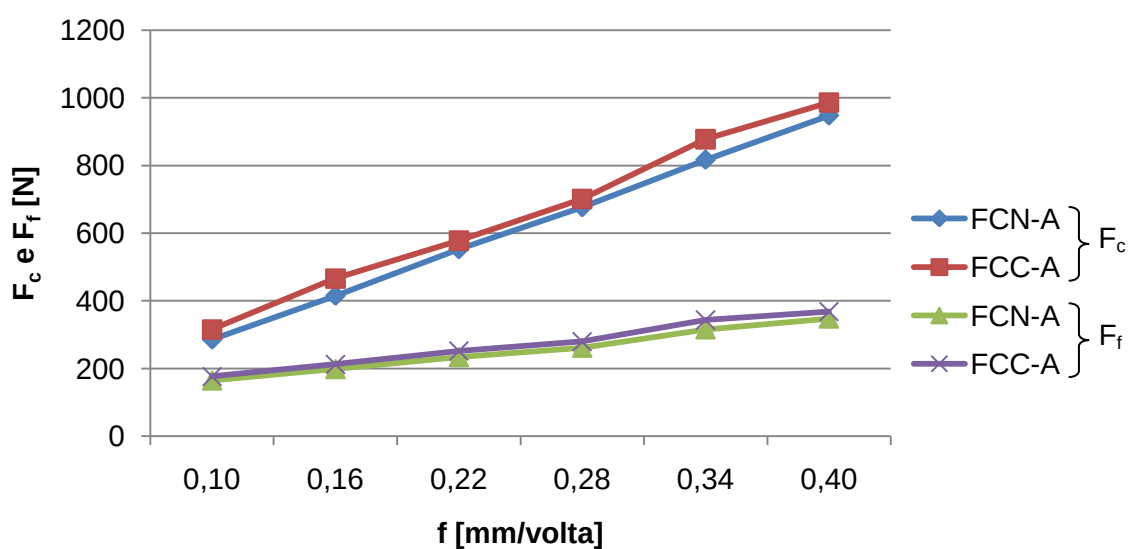
Durante o processo de torneamento notou-se um aumento da concentração dos FCs, devido o efeito de evaporação da água do FC emulsionável, que ocorre por causa das altas temperaturas de usinagem e condições atmosféricas do ambiente de trabalho. Esse efeito foi controlado com medições periódicas da concentração, utilizando o refratômetro Atago, e a concentração dos FCs corrigida com a adição de água esterilizada, para permanecer com valor sempre constante, igual a 8% v.v⁻¹.

4.2. Ensaio de Forças de Usinagem

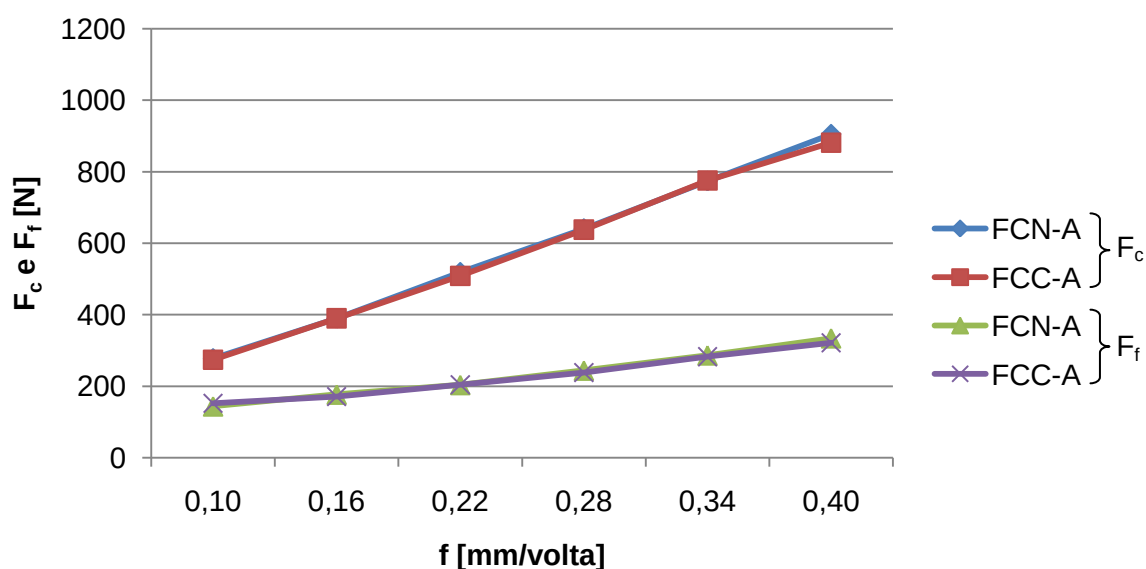
Os sinais de forças de usinagem foram adquiridas com auxílio do dinamômetro piezoelétrico Kistler descrito no capítulo anterior. Com ele avaliou-se as Forças de Corte (F_c)

e Avanço (F_f) na usinagem utilizando o FCN-A, FCC-A, FCN-B e FCC-B. Os parâmetros de corte utilizados nos ensaios são apresentados na Tab. 3.5.

Os resultados dos ensaios de forças (F_c e F_f) em função do avanço (f) da ferramenta, para duas velocidades de corte estabelecidas utilizando em abundância (jorro) o fluido de corte novo de base mineral (FCN-A) e fluido de corte contaminado de base mineral (FCC-A), são apresentados na Fig. 4.1.



(a)

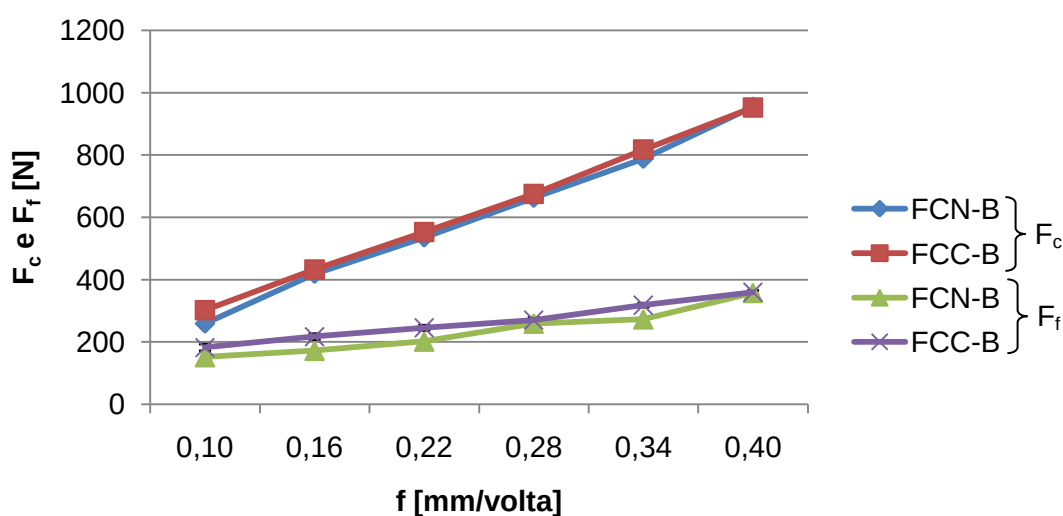


(b)

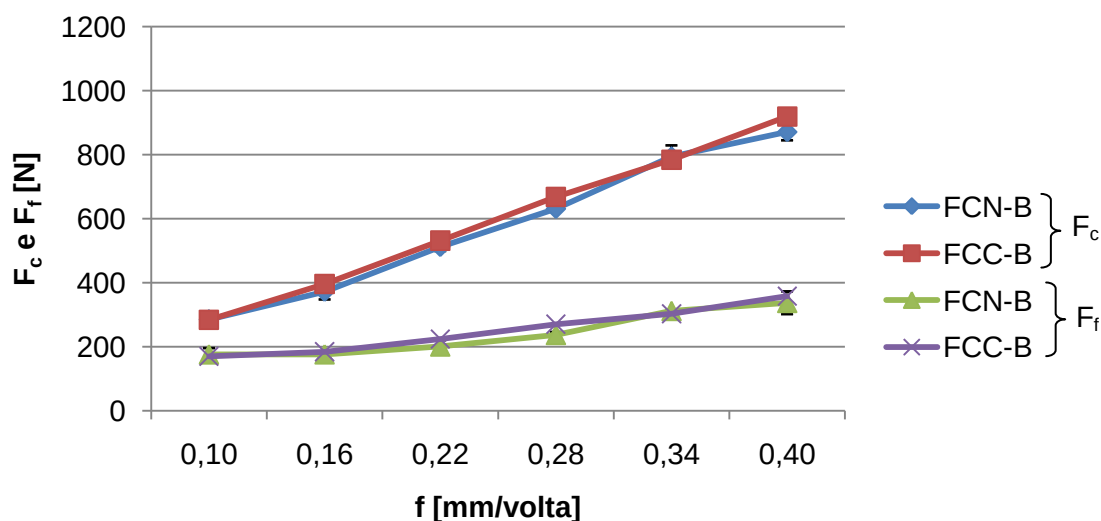
Figura 4.1 - Gráficos das forças de corte e avanço (F_c e F_f) em função do avanço (f) utilizando o FCN-A e FCC-A. a) ensaios com $v_c=125$ m/min; b) ensaios com $v_c=250$ m/min

A Figura 4.1a mostra que, em baixa velocidade de corte (125m/min), a utilização do FCC-A causou um pequeno aumento nas forças de corte, quando comparado ao FCN-A. Já no gráfico da fig.4.1b, não indicaram evidências significativas na qual comprovem alterações nas forças de usinagem investigadas, ou seja, para as condições de usinagem estabelecidas, as forças de corte e avanço utilizando o FCN-A e FCC-A foram praticamente as mesmas.

A seguir será apresentado na Fig. 4.2 (com os mesmos parâmetros de corte) os resultados dos ensaios de força (F_c e F_f) em função do avanço (f) comparando os fluidos de corte novo de base vegetal (FCN-B) e fluido de corte contaminado de base vegetal (FCC-B).



(a)



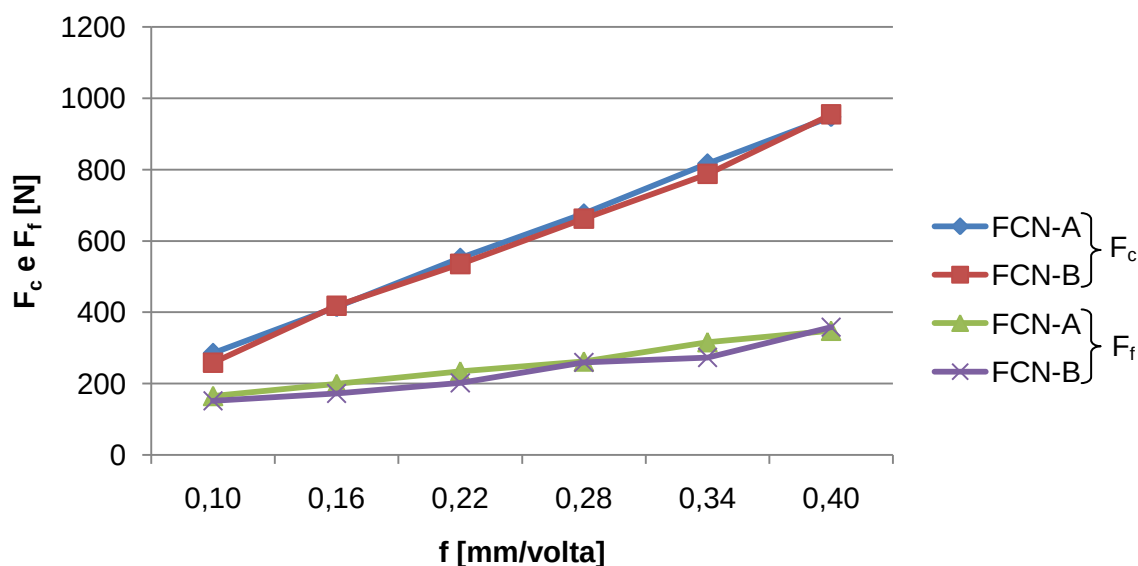
(b)

Figura 4.2 - Gráficos das forças de corte e avanço (F_c e F_f) em função do avanço (f) utilizando o FCN-B e FCC-B. a) Ensaios com $v_c=125$ m/min; b) ensaios com $v_c=250$ m/min

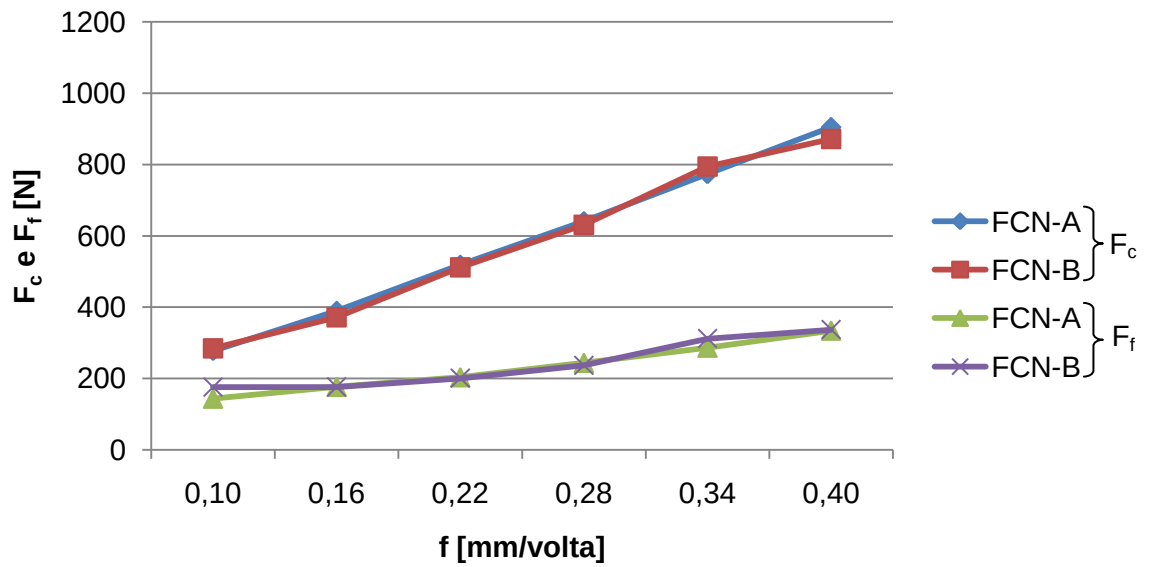
É evidente nestas figuras que o aumento do avanço promove um aumento linear nas componentes de força de usinagem investigadas. Isto era esperado, pois o avanço aumenta a área da seção de corte, afetando diretamente a força de usinagem (MACHADO et al., 2011).

Os valores médios das forças (F_c e F_f) no processo utilizando o FCC-B apresentaram ligeiro aumento quando comparado com o FCN-B. Isso é evidente na Fig. 4.2a onde houve maior diferença entre as forças de avanço no intervalo de avanço de 0,10 a 0,22 mm/volta.

A Figura 4.3 mostra os resultados dos ensaios de forças (F_c e F_f) comparando o desempenho do FCN-A com o FCN-B. Nota-se que não houve diferenças significativas nos valores das forças para as condições de corte investigadas. Estes resultados são conflitantes com a literatura, onde Chiffre (2002), Woods (2005), Xavier e Adithan (2008) entre outros autores, citam que os fluidos de corte de base vegetal é superior aos de base mineral, considerando o poder lubrificante. A Fig. 4.4 apresenta os ensaios de forças comparando o desempenho do FCC-A e FCC-B. Em baixa velocidade de corte ($v_c=125$ m/min), o FCC-A apresentou maiores índices de forças de corte em comparação ao FCC-B. Já em alta velocidade de corte ($v_c=250$ m/min) o FCC-B apresentou ligeiro aumento nas forças médias.

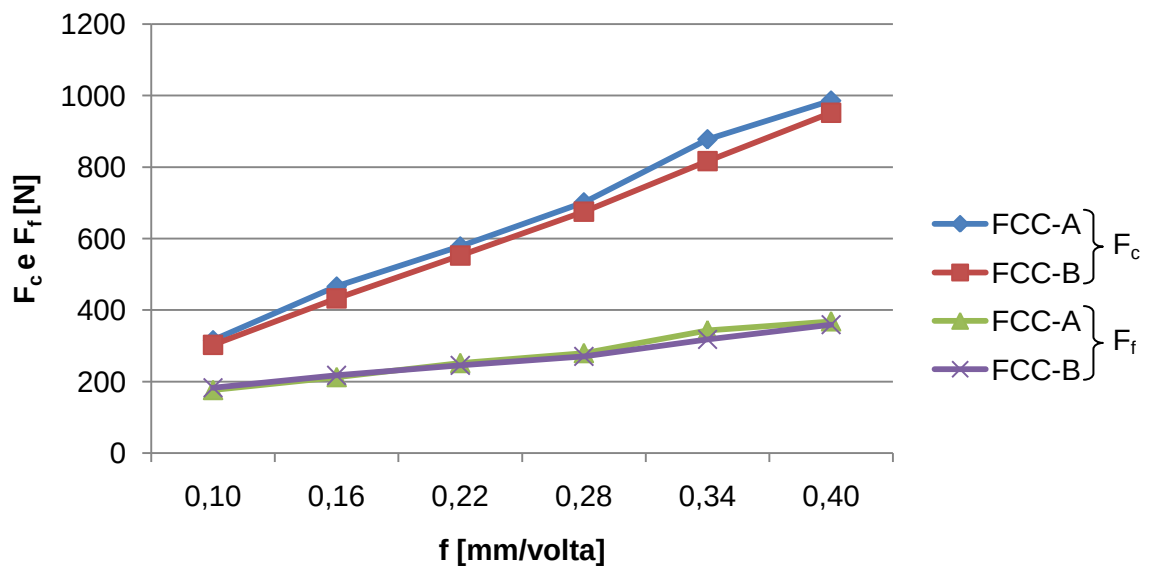


(a)

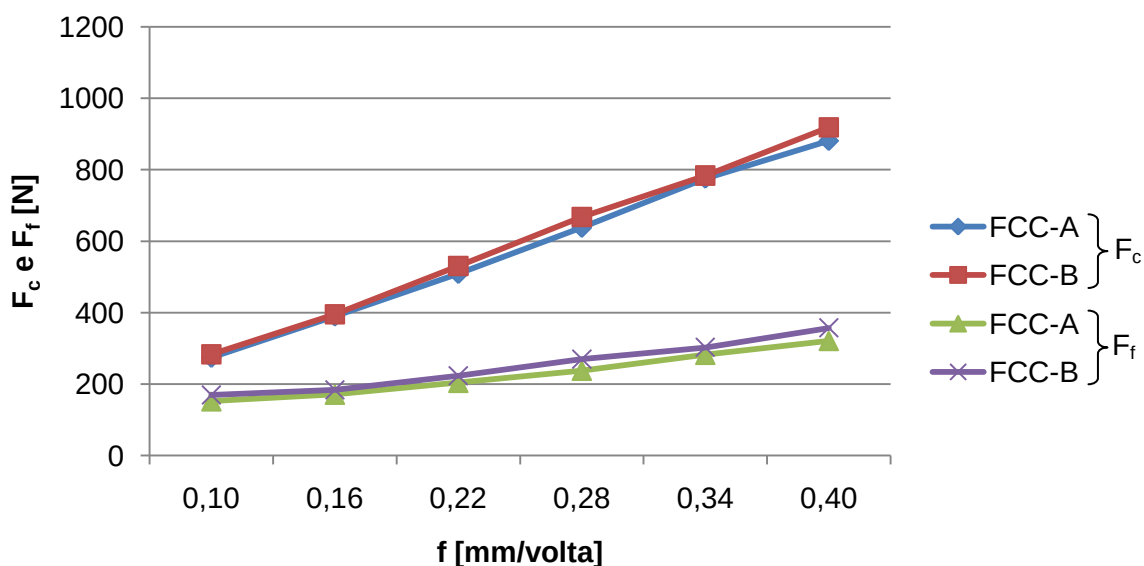


(b)

Figura 4.3 - Gráficos das forças de corte e avanço (F_c e F_f) em função do avanço (f) utilizando FCN-A e FCN-B. a) Ensaios com $v_c = 125$ m/min; b) ensaios com $v_c = 250$ m/min



(a)



(b)

Figura 4.4 - Gráficos das forças de corte e avanço (F_c e F_f) em função do avanço (f) utilizando FCC-A e FCC-B. a) Ensaios com $v_c = 125$ m/min; b) ensaios com $v_c = 250$ m/min

Ferraresi (1977), Diniz et al. (2010) e Machado et al. (2011) citam que em baixas velocidades de corte, os FCs são capazes de atuar na região de escorregamento do cavaco e exercer a sua função lubrificante, diminuindo o coeficiente de atrito na interface cavaco-ferramenta. Sendo assim, se as propriedades lubrificantes dos FCs forem alteradas (pela degradação microbiológica), acredita-se que as forças de usinagem (em relação ao FCN) podem o aumentar, pois o mesmo não desempenhará as suas funções com eficiência.

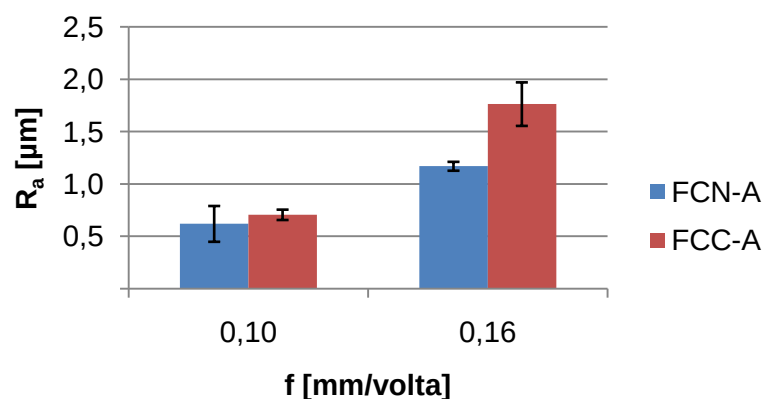
Segundo Rossmore (1995), Burge (1996) e Thomé et al. (2007) o aumento da população bacteriana, causa a biodegradação dos fluidos de corte, que provocam mudanças na estabilidade da emulsão, afetando o desempenho das funções de lubrificação e refrigeração. Entretanto, os autores não citam índices de usinabilidade, na qual comprovem quantitativamente esse efeito no processo de usinagem. Analisando os gráficos das Figs. 4.1a e 4.2a, pode-se afirmar que a baixa velocidade de corte ($v_c = 125$ m/min), houve um pequeno aumento nos valores médio das forças (F_c e F_f) quando os FCC-A e FCC-B foram utilizados, respectivamente. Em processos com baixa velocidade de corte o fluido tende apresentar boas características lubrificantes a fim de diminuir o atrito do sistema cavaco-ferramenta-peça e as forças de usinagem. Assim, essas pequenas variações dos índices de força podem ter ocorrido devido à perda da lubricidade dos fluidos de corte devido o ataque bacteriano.

Já nos ensaios com alta velocidade de corte ($v_c=250$ m/min), onde se acredita que os fluidos de corte têm maior dificuldade de penetração na região de escorregamento da interface cavaco-ferramenta, devido à ação hidrodinâmica induzida relacionada com a velocidade de saída do cavaco (WILLIAMS, 1977 citado por SANTOS e SALES, 2007), a função refrigerante dos FCs é de extrema importância. Para essa velocidade a temperatura na região de corte é elevada, assim a característica refrigerante dos FCs tende a ser dominante. Como nos ensaios da Fig. 4.1b não houve praticamente nenhuma alteração nas forças, sugere-se que os FCN-A e FCC-B refrigeraram o sistema igualmente, mantendo as forças de usinagem constantes, ou seja, não houve influência nas características refrigerante do fluido. Entretanto não se pode afirmar esse fato nos ensaios da Fig 4.2b, na qual existem pontos onde as forças no processo utilizando FCC-B aumentaram.

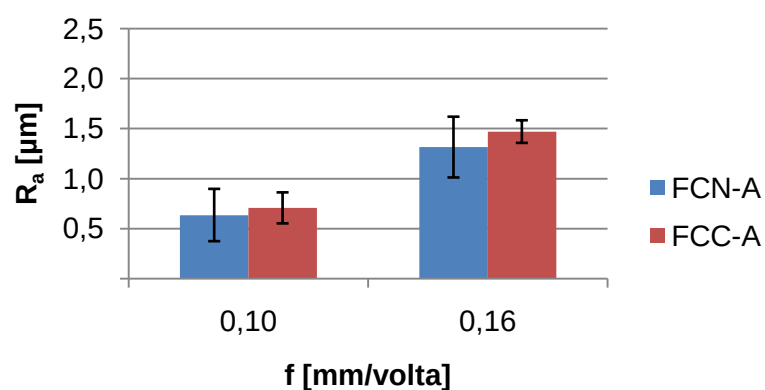
Como citado no capítulo anterior, os FC's (A e B) foram contaminados de maneira induzida (Fig. 3.4), até atingirem o nível de contaminação bacteriana média igual a 10^5 UFC/mL. Este valor está entre o intervalo de 10^4 a 10^{10} UFC/mL, onde Mattsby-Blatzer et al. (1989), Sloyer et al. (2002) e Van Der Gast et al. (2003) consideram os FC's com alto nível de contaminação. Esse nível de contaminação pode ter degradado os FC's ao ponto de terem suas propriedades lubrificantes afetadas, e alterar alguns sinais de forças nas condições com baixa velocidade de corte.

4.3. Acabamento Superficial

O acabamento da peça foi quantificado com o rugosímetro MITUTOYO SJ-201P com as especificações descritas no capítulo anterior. O parâmetro de medição utilizado foi o desvio aritmético médio (R_a), esse valor representa a média dos valores absolutos das ordenadas em relação à linha média, no comprimento de amostragem (NBR ISO 4287, 2002). As Figs. 4.5 e 4.6 apresentam os valores das médias das rugosidades (R_a) dos processos utilizando os FCN-A, FCC-A, FCN-B e FCC-B em abundância para as duas velocidades de corte (125 e 250 m/min) e os dois avanços (0,10 e 0,16 mm/volta), a profundidade de corte permaneceu constante igual a 1,0 mm. Em seguida também são apresentadas as Tabs. 4.1 e 4.2 que mostram as médias, desvios padrões e os valores das incertezas expandidas associadas a medições da rugosidade, com 95% de probabilidade de abrangência e fator de abrangência (k) igual a 2,447.



(a)

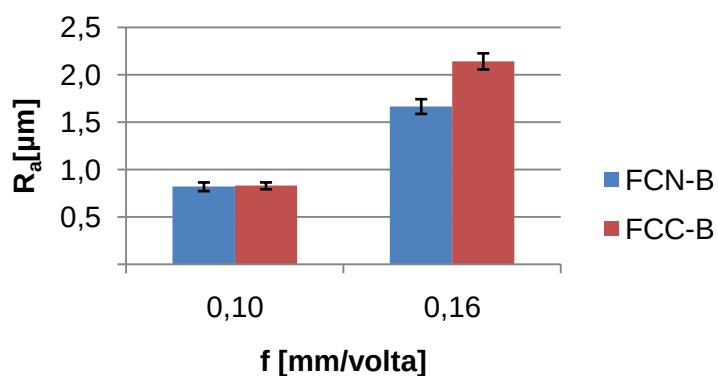


(b)

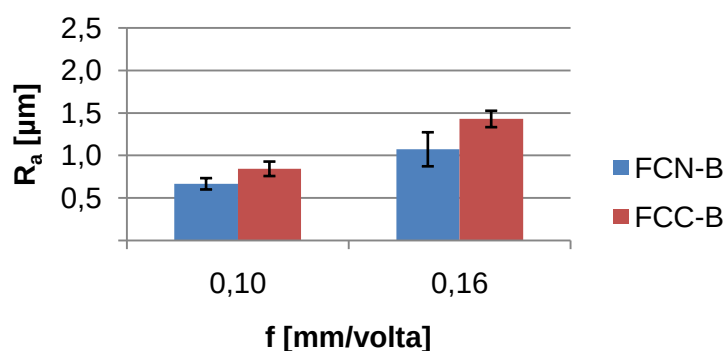
Figura 4.5 – Valores da Rugosidade (R_a) em função do avanço (f) utilizando o Fluido de Corte Novo de base mineral (FCN-A) e Fluido de Corte Contaminado de base mineral (FCC-A). a) ensaio com $v_c = 125$ m/min; b) ensaio com $v_c = 250$ m/min

Tabela 4.1 – Média, Desvio Padrão (D.P.) e incerteza expandida de medição associada a Rugosidade (R_a) para usinagem utilizando FCN-A e FCC-A

Tipo do Fluido	Estado do Fluido	v_c (mm/min)	f (mm/volta)	Média (μ m)	D.P. (μ m)	Incerteza expandida (μ m)
A	FCN	125	0,10	0,62	0,17	0,43
A	FCN	125	0,16	1,17	0,04	0,08
A	FCC	125	0,10	0,71	0,05	0,12
A	FCC	125	0,16	1,76	0,21	0,52
A	FCN	250	0,10	0,64	0,26	0,46
A	FCN	250	0,16	1,32	0,26	0,54
A	FCC	250	0,10	0,71	0,16	0,39
A	FCC	250	0,16	1,47	0,11	0,21



(a)



(b)

Figura 4.6 – Valores da Rugosidade (R_a) em função do avanço (f) utilizando fluido de corte novo de base vegetal (FCN-B) e fluido de corte contaminado de base vegetal (FCC-B) a) ensaio com $v_c=125$ m/min; b) ensaio com $v_c=250$ m/min

Tabela 4.2 – Média, Desvio Padrão (D.P.) e incerteza expandida de medição associada a Rugosidade (R_a) para usinagem utilizando FCN-B e FCC-B.

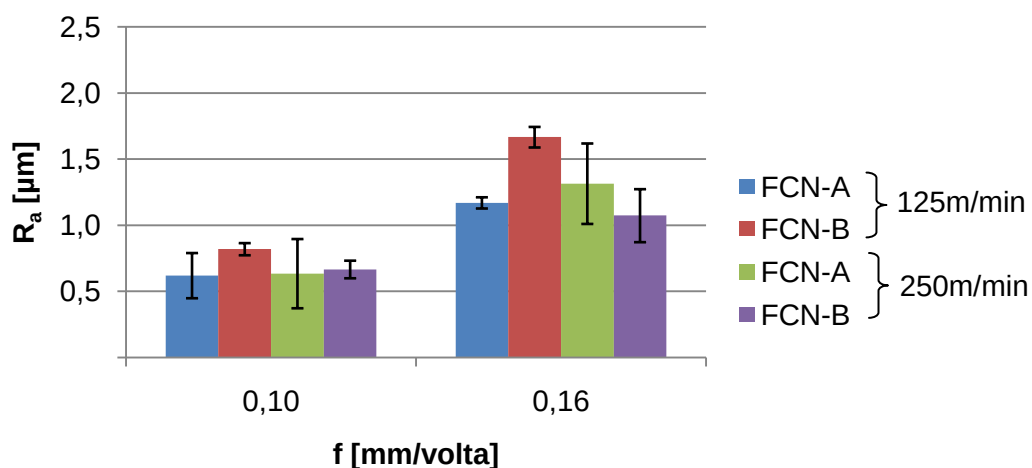
Tipo do Fluido	Estado do Fluido	v_c (mm/min)	f (mm/volta)	Média (μ m)	D.P. (μ m)	Incerteza expandida (μ m)
B	FCN	125	0,10	0,82	0,05	0,12
B	FCN	125	0,16	1,67	0,08	0,19
B	FCC	125	0,10	0,83	0,04	0,09
B	FCC	125	0,16	2,14	0,09	0,21
B	FCN	250	0,10	0,67	0,07	0,17
B	FCN	250	0,16	1,07	0,2	0,50
B	FCC	250	0,10	0,84	0,09	0,21
B	FCC	250	0,16	1,43	0,10	0,24

A rugosidade de uma peça usinada é bom índice de usinabilidade, seu valor depende de uma série de fatores, os principais são: a geometria da ferramenta, as condições de corte e o comportamento dinâmico da máquina. A influência dos fluidos de corte (FC's) durante a operação de usinagem se faz sentir no acabamento da peça através dos três fatores acima citados (FERRARESI, 1977). Dessa maneira, se os FCs não desempenhar com eficiência as suas funções (lubrificação e refrigeração), podem causar de maneira indireta a piora do acabamento das peças fabricadas.

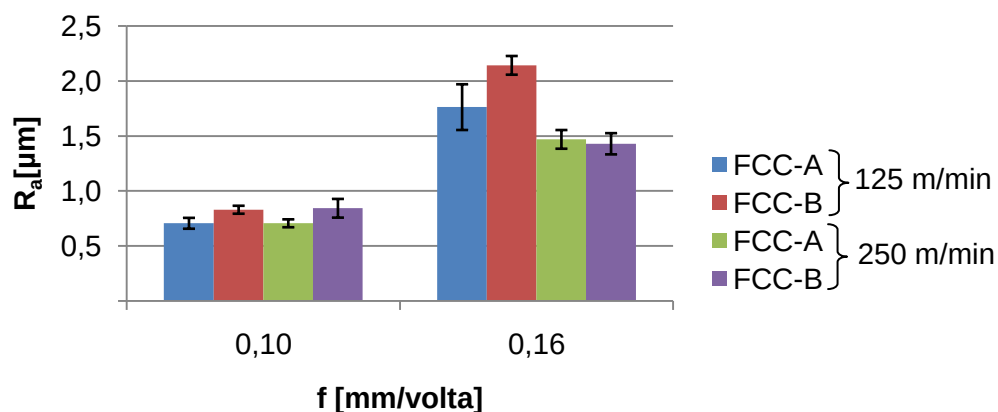
Segundo Santos e Sales (2007) a velocidade de corte está diretamente ligada à atuação do fluido no processo de usinagem. De acordo com Machado et al. (2011) a baixa velocidade de corte os fluidos tendem agir como lubrificantes, reduzindo o atrito e a área de contato ferramenta/cavaco. Deste modo, dependendo das condições de corte, espera-se que a lubrificação da interface ferramenta-cavaco facilite a remoção de cavaco, diminuindo as forças de usinagem, que por sua vez tendem diminuir as vibrações resultantes do processo no momento do corte, melhorando assim, o acabamento superficial da peça.

Os valores de rugosidade das Figs. 4.5a e 4.6a apontam que os FCC-A e FCC-B quando aplicados no processo com $v_c=125$ m/min e $f = 0,16$ mm/volta, apresentaram piores acabamentos, isto é, maiores valores de R_a em relação aos processos utilizando FCN-A e FCN-B. Isso pode ter acontecido devido o aumento da força de corte (Fig.4.1a) e de avanço (Fig.4.2a). É provável que, com perda da lubricidade (devido o ataque bacteriano nos FCs), as forças (F_c e F_f) aumentaram, causando maior vibração do sistema que afetou a qualidade do acabamento da peça, aumentando o parâmetro de rugosidade avaliado (R_a). As Tabs 4.1 e 4.2 mostram que mesmo com o desvio padrão alto, que ocasionou alta incerteza de medição, a rugosidade média dos valores do processo utilizando FCC-A e FCC-B foi maior que a rugosidade utilizando os FCN-A e FCN-B. Para alta velocidade de corte (250 m/min) e baixa taxa avanço (0,10 mm/volta) não foi observada diferenças significativas entre os processos utilizando os fluidos novos e contaminados.

A Figura 4.7 compara as rugosidades (R_a) obtidas nos testes utilizando FCN-A, FCN-B, FCC-A e FCC-B. O aumento da rugosidade com o avanço já era previsto teóricamente pela relação $R_a = f^2 / 31.2r_\epsilon$ (MACHADO et al., 2011) além disso para alguns casos o acabamento médio melhorou com o aumento da velocidade de corte, fato esperado pois o aumento desse parâmetro facilita o corte do material (DINIZ et al., 2010). Nota-se também que o FCN-B e FCC-B no processo com $v_c = 125$ m/min e $f=0,16$ mm/volta apresentou os piores acabamentos.



(a)



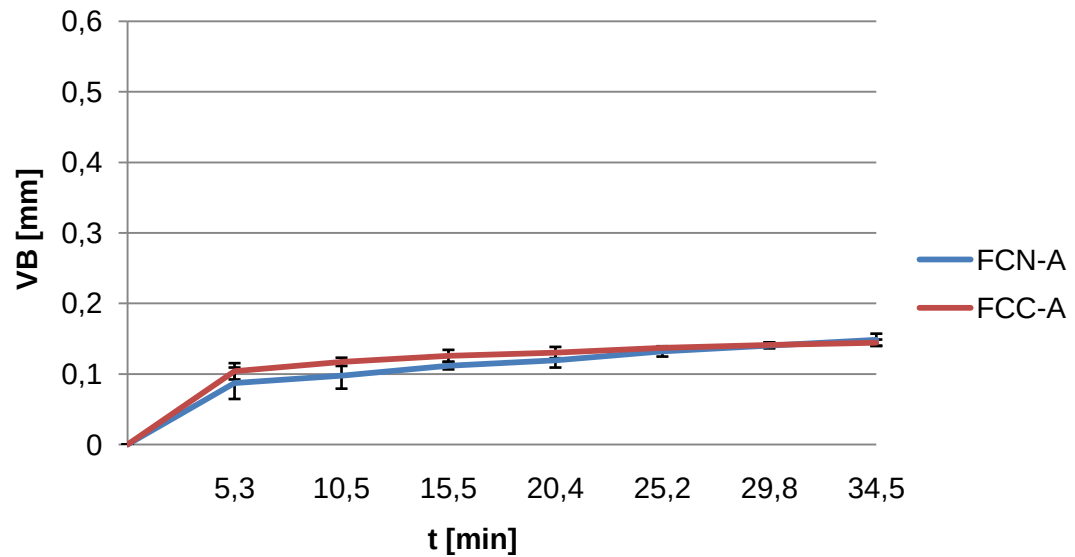
(b)

Figura 4.7 – Valores da Rugosidade (R_a) em função do avanço (f). a) utilizando fluido de corte novo de base mineral (FCN-A) e vegetal (FCN-B); b) utilizando fluido de corte contaminado de base mineral (FCC-A) e vegetal (FCC-B)

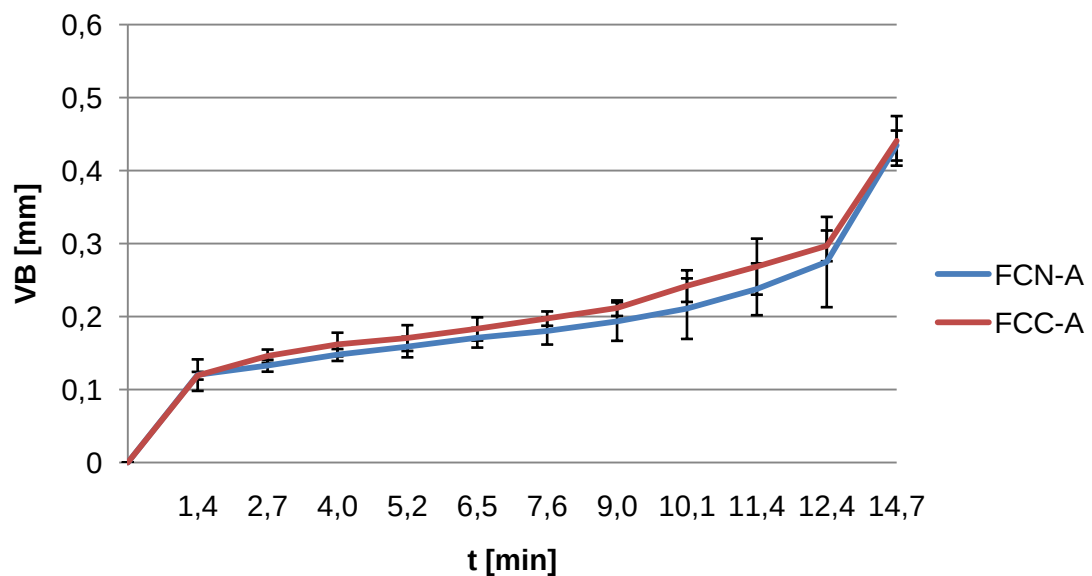
4.4. Vida da Ferramenta de Corte

As Figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 mostram as curvas de evolução do desgaste da ferramenta para $v_c=125$ m/min e $v_c=250$ m/min, utilizando os FCN-A, FCC-A, FCN-B e FCC-B em abundância (jorro). O critério de fim de vida adotado para os ensaios com alta velocidade de corte (250 m/min), foi quando o desgaste de flanco da ferramenta (VB) atingisse a 0,4 mm. Já para baixas velocidades de corte (125 m/min), o critério de parada foi quando a ferramenta atingisse o tempo médio de usinagem igual a 34,5 min.

As Tabelas 4.3 e 4.4 mostram os testes de hipótese realizados no software *Statistic7*. Esses testes apresentaram a diferença entre as médias para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).



(a)



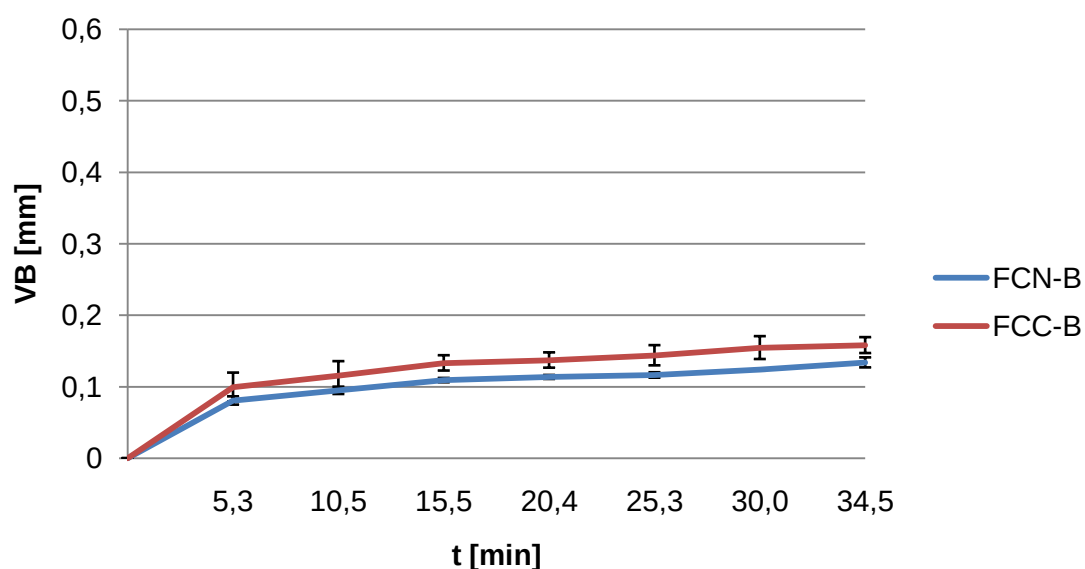
(b)

Figura 4.8 – Curvas de vida da ferramenta utilizando o fluido de corte novo de base mineral (FCN-A) e fluido de corte contaminado de base mineral (FCC-A) a) $v_c=125$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $a_p=1$ mm; b) $v_c=250$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $a_p=1$ mm

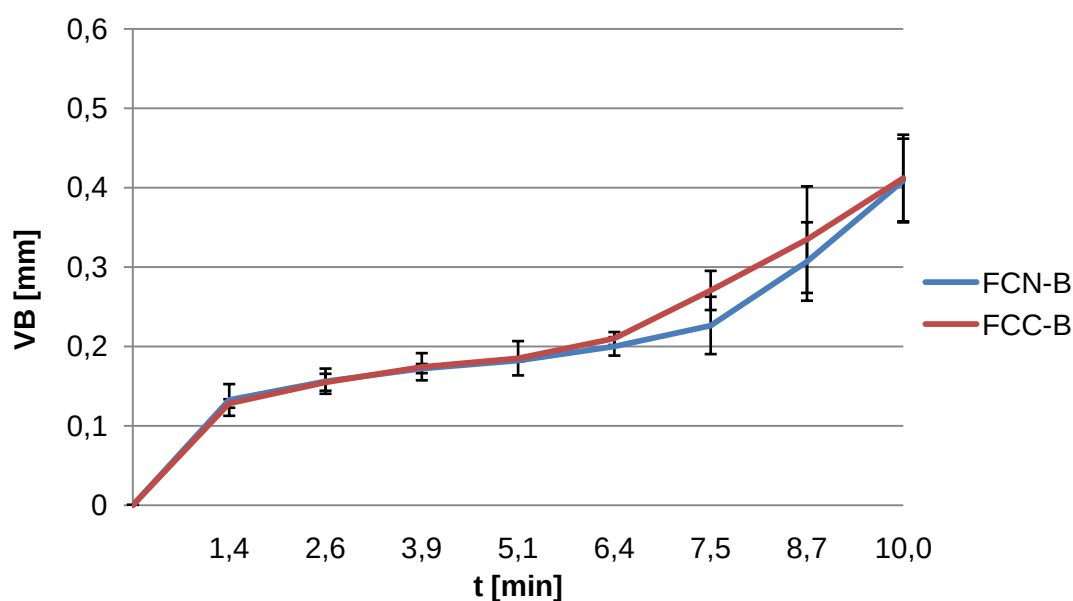
Tabela 4.3 – Teste de hipótese para os ensaios de vida utilizando o FCN-A e FCC-A

v_c (m/min)	FC comparado	VB (mm)	D.P. (mm)	Nº de amostra	p-value
125	FCN-A	0,1484	0,008	3	0,2461
	FCC-A	0,1445	0,004	3	
250	FCN-A	0,4408	0,0205	3	0,3941
	FCC-A	0,4344	0,0339	3	

De acordo com os *p-values* resultantes, pode-se dizer, com 95% de confiabilidade estatística, que não foi encontrado diferença entre a vida média das ferramentas no processo utilizando FCN-A e FCC-A, pois todos os *p-values* ficaram acima do valor 0,05, isto é, ficaram dentro da região de aceitação de H_0 (Tab. 4.3). Para os ensaios com $v_c=250$ m/min isso equivale a dizer que não se pode afirmar, estatisticamente, que o desgaste da ferramenta utilizando FCC-A, atingiu o critério de fim de vida em menor tempo de usinagem, ou que este, diminui a vida da ferramenta quando comparado ao FCN-A. os ensaios com $v_c=125$ m/min também não apresentaram diferença estatística. Após 34,5 min de usinagem, o desgaste da ferramenta utilizando FCC-A não foi maior que o FCN-A.



(a)



(b)

Figura 4.9 – Curvas de vida da ferramenta, utilizando o fluido de corte novo de base vegetal (FCN-B) e fluido de corte contaminado de base vegetal (FCC-B) a) $v_c=125$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $a_p=1$ mm; b) $v_c=250$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $a_p=1$ mm

Tabela 4.4 – Teste de hipótese para os ensaios de vida utilizando o FCN-B e FCC-B

v_c (m/min)	FC comparado	VB (mm)	DP (mm)	Nº de amostra	<i>p-value</i>
125	FCN-B	0,1314	0,0070	3	0,0162
	FCC-B	0,1583	0,0110	3	
250	FCN-B	0,4088	0,0527	3	0,4736
	FCC-B	0,4103	0,0545	3	

Através dos testes de hipótese dos ensaios de vida utilizando o FCN-B e FCC-B, é possível afirmar, com 95% de confiabilidade estatística, que para o processo com $v_c=125$ m/min houve diferença entre a vida média das ferramentas, pois o *p-value* ficou abaixo do valor 0,05, isto é, ficou dentro da região de rejeição de H_0 (Tab. 4.4). Deste modo, pode-se dizer, que em baixa velocidade de corte o FCC-B quando comparado ao FCN-B, diminuiu a vida da ferramenta, pois apresentou ligeiro aumento no desgaste em 34,5 min de usinagem. Já para $v_c=250$ m/min o *p-value* ficou acima do valor 0,05, ou seja, ficou dentro da região de aceitação de H_0 , assim não é possível afirmar estatisticamente, que houve diferença entre os desgastes.

A evolução do desgaste de flanco nos ensaios de vida utilizando os FCN-A e FCC-A, nas duas velocidades de corte investigadas, tiveram comportamento semelhante ao longo do tempo de usinagem. Nota-se que, para os ensaios de vida com baixa velocidade de corte ($v_c=125$ m/min), praticamente não houve diferença do desgaste de flanco em todo tempo de usinagem fixado. O mesmo ocorreu com o ensaio de vida com alta velocidade de corte ($v_c=250$ m/min), as ferramentas chegaram ao critério de fim de vida ($VB_B=0,4$ mm) com mesmo tempo médio de usinagem (14,7 min).

Na usinagem dos metais, principalmente em altas velocidades de corte, a ferramenta está sujeita a vários tipos de desgastes. Alguns deles são causados por efeitos térmicos proveniente da interação cavaco-ferramenta (MACHADO et al., 2011; DINIZ et al., 2010). Para desacelerar esse desgaste e, conseqüentemente, aumentar a vida da ferramenta, utiliza-se o FC, que em altas velocidades de corte atua como refrigerante. De acordo com Diniz et al. (2010), o fluido refrigerante deve ter: baixa viscosidade, alto calor específico e alta condutividade térmica. Nos dados fornecidos pelo fabricante do FC-A, observa-se que o fluido tem boas características refrigerantes, logo, acredita-se que o mesmo tem tais características citadas por Diniz et al. (2010).

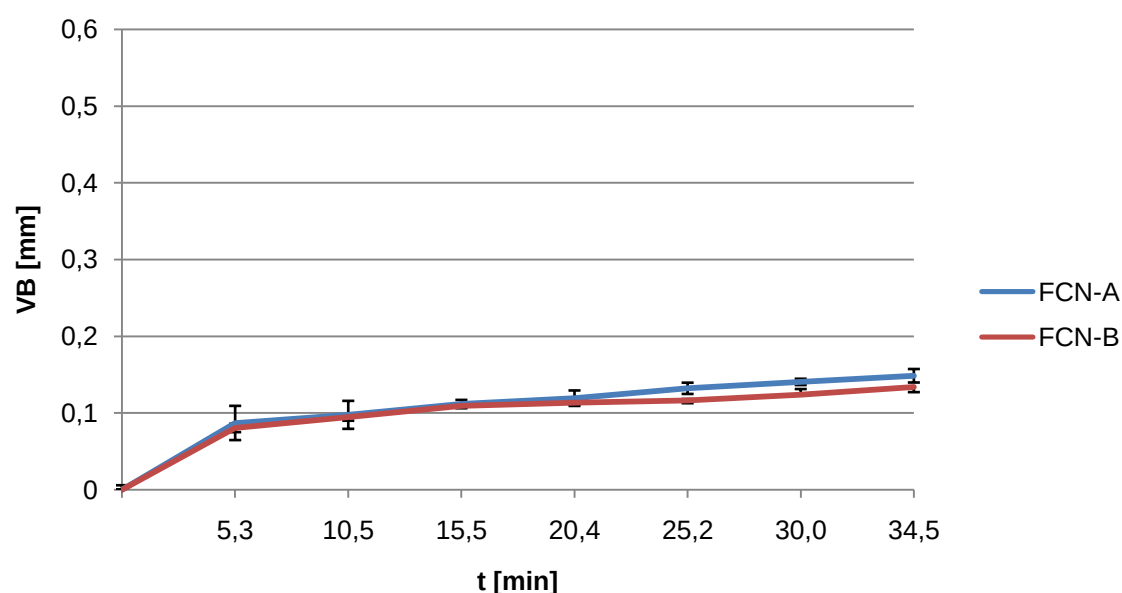
Como o desgaste da ferramenta para as operações com alta velocidade de corte utilizando o FCC (A e B) foi estatisticamente igual à operação utilizando o FCN-A, conclui-se que a contaminação do FC-A, não alterou as propriedades refrigerantes deste fluido. Assim, os dois FCs conseguiram teoricamente refrigerar por igual a ferramenta, retardando o fim de vida. Já para a baixa velocidade de corte, onde os efeitos térmicos não são acentuados, o FCN-A e FCC-A lubrificaram sistema por igual, reduzindo o atrito entre o cavaco e a ferramenta no momento do corte.

Os FCN-B e FCC-B apresentaram diferença estatística no ensaio com baixa velocidade de corte (Fig 4.9a). Nota-se que para um mesmo tempo de usinagem o desgaste médio da ferramenta foi maior nas operações utilizando FCC-B (provado estatisticamente de acordo com a Tab. 4.4). Já para $v_c=250$ m/min, não houve diferença entre os fluidos com novo e contaminado.

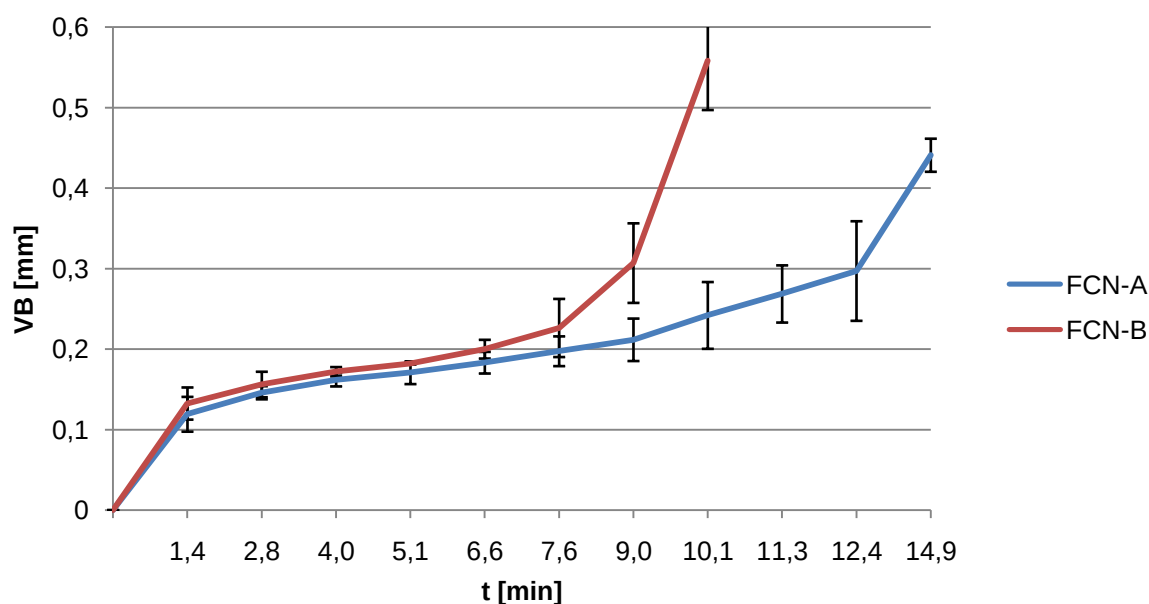
Em baixas velocidades de corte, o FCC-B apresentou um aumento nas forças de avanço no intervalo de avanço de 0,10 a 0,22 mm/volta (Fig. 4.2a). O aumento dessa força, como comentado anteriormente, deve ter sido ocasionado pela alteração das propriedades lubrificantes do fluido, decorrente da biodegradação do FC. Segundo Machado et al. (2011) e Santos e Sales (2007), geralmente, a baixas velocidade de corte, o fluxo de material sobre a superfície de saída da ferramenta se torna irregular, podendo desgastar a ferramenta pelo mecanismo de aderência e arrastamento (*attrition*). O aumento na força de avanço devido à

baixa lubrificação do sistema pode ter favorecido e acelerado o desgaste da ferramenta por esse mecanismo.

A Figura 4.10 apresenta as comparações entre os FCN-A (base mineral) e FCN-B (base vegetal) nos ensaios de vida.



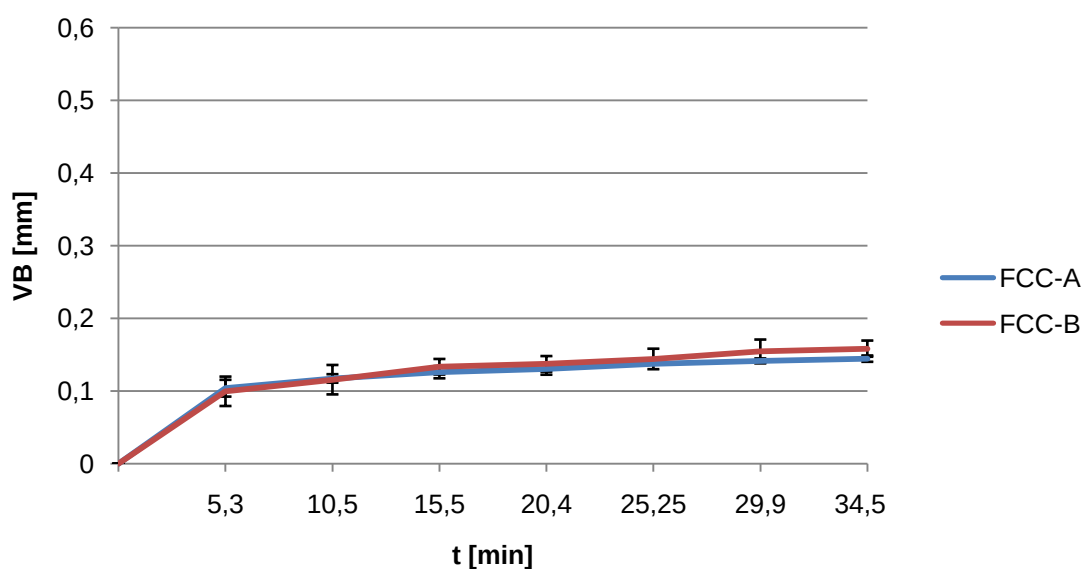
(a)



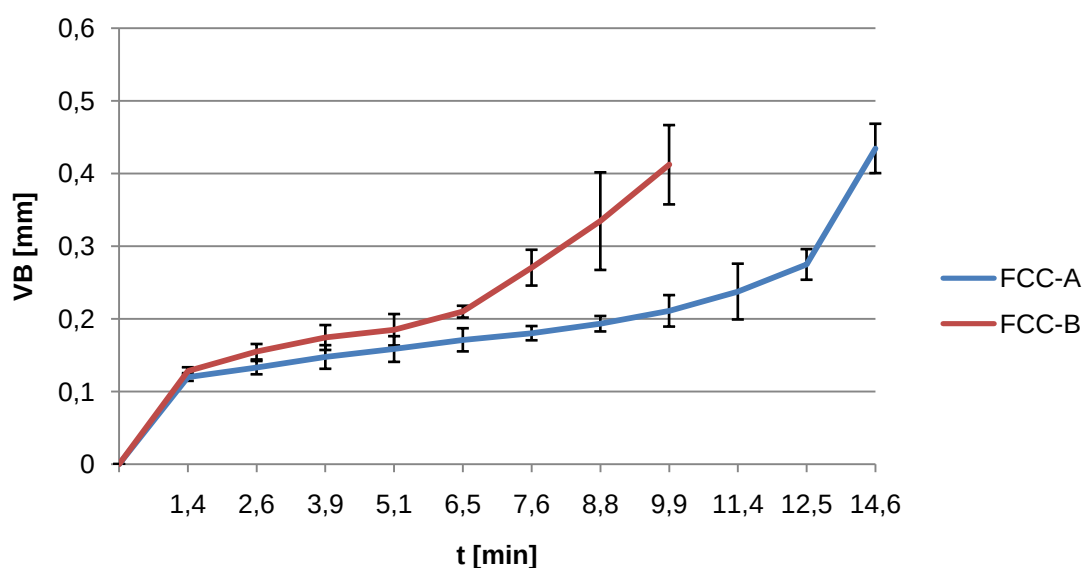
(b)

Figura 4.10 - Comparação entre os tempos de vida dos teste utilizando fluido de corte novo de base mineral (FCN-A) e fluido de corte novo de vegetal (FCN-B) a) $v_c=125$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $a_p=1$ mm; b) $v_c=250$ m/min, $f=0,20$ mm/volta, $a_p=1$ mm

Para testes em baixa velocidade de corte, com tempo de usinagem fixo em 34,5 min, praticamente não houve diferença de comportamento entre os dois fluidos. Entretanto, para alta velocidade de corte, nota-se que o FCN-A apresentou melhor desempenho, atingindo o critério de fim de vida ($VB_B = 0,4 \text{ mm}$) com aproximadamente 15 min (média) de usinagem, enquanto o FCN-B atingiu o fim de vida com aproximadamente 9 min de usinagem. As curvas de vida apresentadas na Fig. 4.11 (testes utilizando FCC-A e FCC-B) apresentaram comportamento semelhante da Fig 4.10. Os testes com baixa velocidade de corte não apresentaram diferenças significativas no desgaste após 34,5 min e os testes com alta velocidade de corte o FCC-A apresentou melhor desempenho em relação ao FCC-B. Nota-se que houve diferenças significativas no desgaste para as condições com alta velocidade de corte. Em princípio, estes resultados são conflitantes com a literatura, onde Chiffre (2002), Woods (2005), Xavier e Adithan (2008) entre outros autores, citam que os fluidos de corte de base vegetal são superior aos de base mineral. Condições de altas velocidades, como é o caso dos testes a 250 m/min, o fator mais importante é a refrigeração (MACHADO et al. 2011) e neste caso, os fluidos semissintéticos são superiores, como confirmam os resultados.



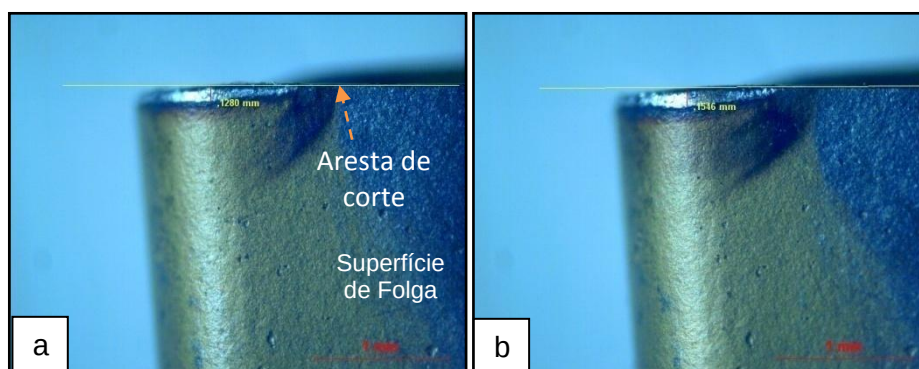
(a)



(b)

Figura 4.11 - Comparação entre os tempos de vida dos teste utilizando fluido de corte contaminado de base mineral (FCC-A) e fluido de corte contaminado de base vegetal (FCC-B) a) $v_c=125\text{m/min}$, $f=0,20\text{ mm/volta}$, $a_p=1\text{ mm}$; b) $v_c=250\text{ m/min}$, $f=0,20\text{mm/volta}$, $a_p=1\text{mm}$

A Figura 4.12 apresenta a evolução do desgaste de flanco da ferramenta de um teste com alta velocidade de corte, até chegar ao critério de fim de vida adotado ($VB_B = 0,4\text{ mm}$). Ressalta-se que o desgaste de todos os testes apresentaram o mesmo comportamento. As imagens foram adquiridas com o estéreo microscópio SZ6145TR – OLYMPUS com a ampliação de 45x.



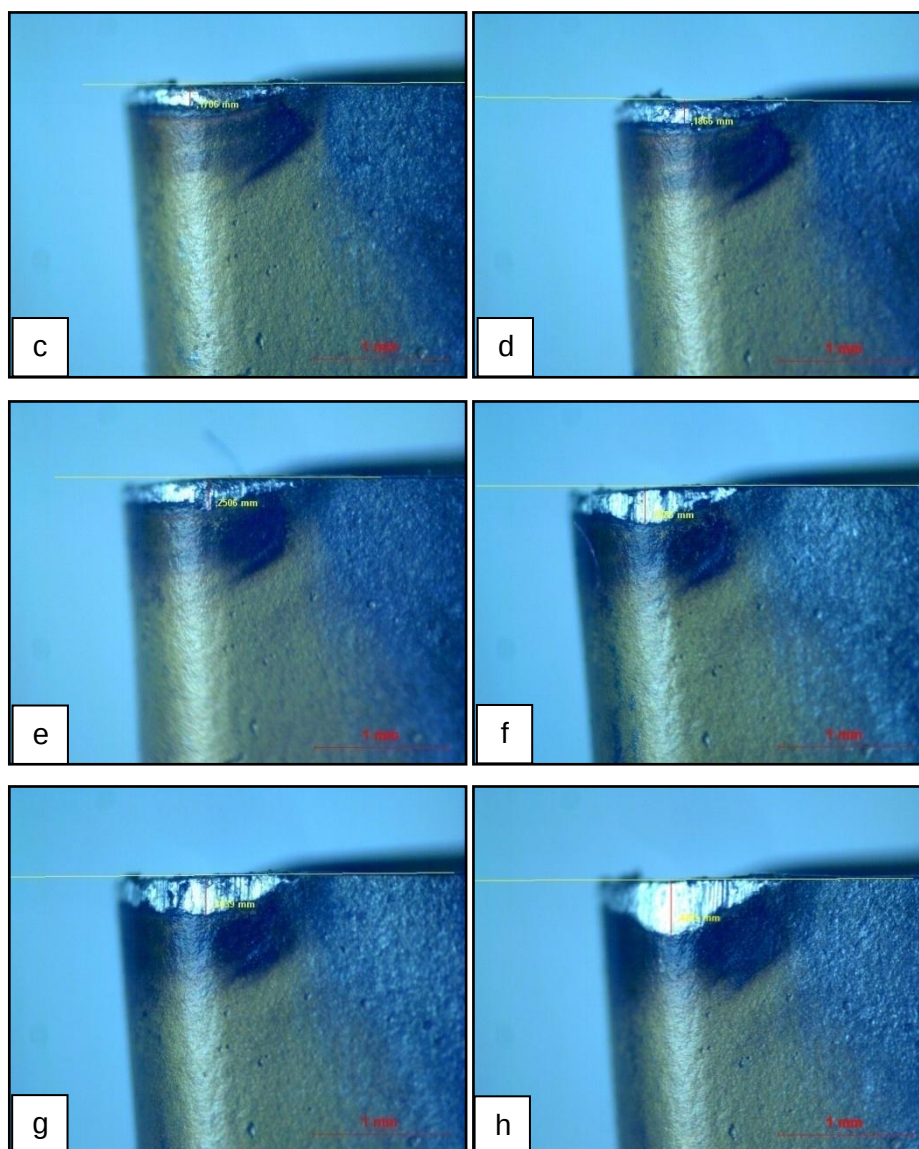


Figura 4.12 - Evolução do desgaste de flanco no teste de vida com $v_c = 250$ m/min, $a_p = 1,0$ mm, $f = 0,20$ mm/volta, utilizando o FCC-A. Desgaste após: a) 2,6 min; b) 5,1 min; c) 7,6 min; d) 10,0 min; e) 12,3 min; f) 14,6 min; g) 16,2 min; h) 17,0 min

4.5. Mecanismo de Desgaste da Ferramenta de Corte

O mecanismo de desgaste da ferramenta de corte foi identificado com auxílio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) especificado no capítulo anterior. O desgaste da ferramenta mostrado nas Figs. 4.13 e 4.14 é o mesmo da Fig. 4.12h, porém com maiores ampliações. Analisando essas imagens, percebe-se uma grande quantidade de material aderido na aresta de corte da ferramenta. Através do EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) acoplado ao MEV, foi possível identificar os elementos químicos do material aderido na aresta principal de corte (Fig. 4.13c). A Tab. 4.5 mostra as porcentagens dos

elementos químicos das três regiões apontada na Fig. 4.13c. Nota-se que os valores apontados pelo EDS são os mesmos elementos encontrados na matriz do corpo de prova fornecida pelo fabricante (Tab 3.1), com exceção do EDS 3, na qual foi constatado a presença de titânio, que é um elemento do revestimento da ferramenta (TiN).

O aço inoxidável austenítico é considerado um material de baixa usinabilidade, por ter alta tendência de encruamento, baixa condutividade térmica, alta ductilidade e resistência ao cisalhamento, além de serem materiais que aderem à aresta de corte (KORKUT et al., 2003; MACHADO et al., 2011). Essas características, especialmente a adesão do material na aresta principal de corte, podem ser facilmente visualizadas nas imagens da Fig. 4.13.

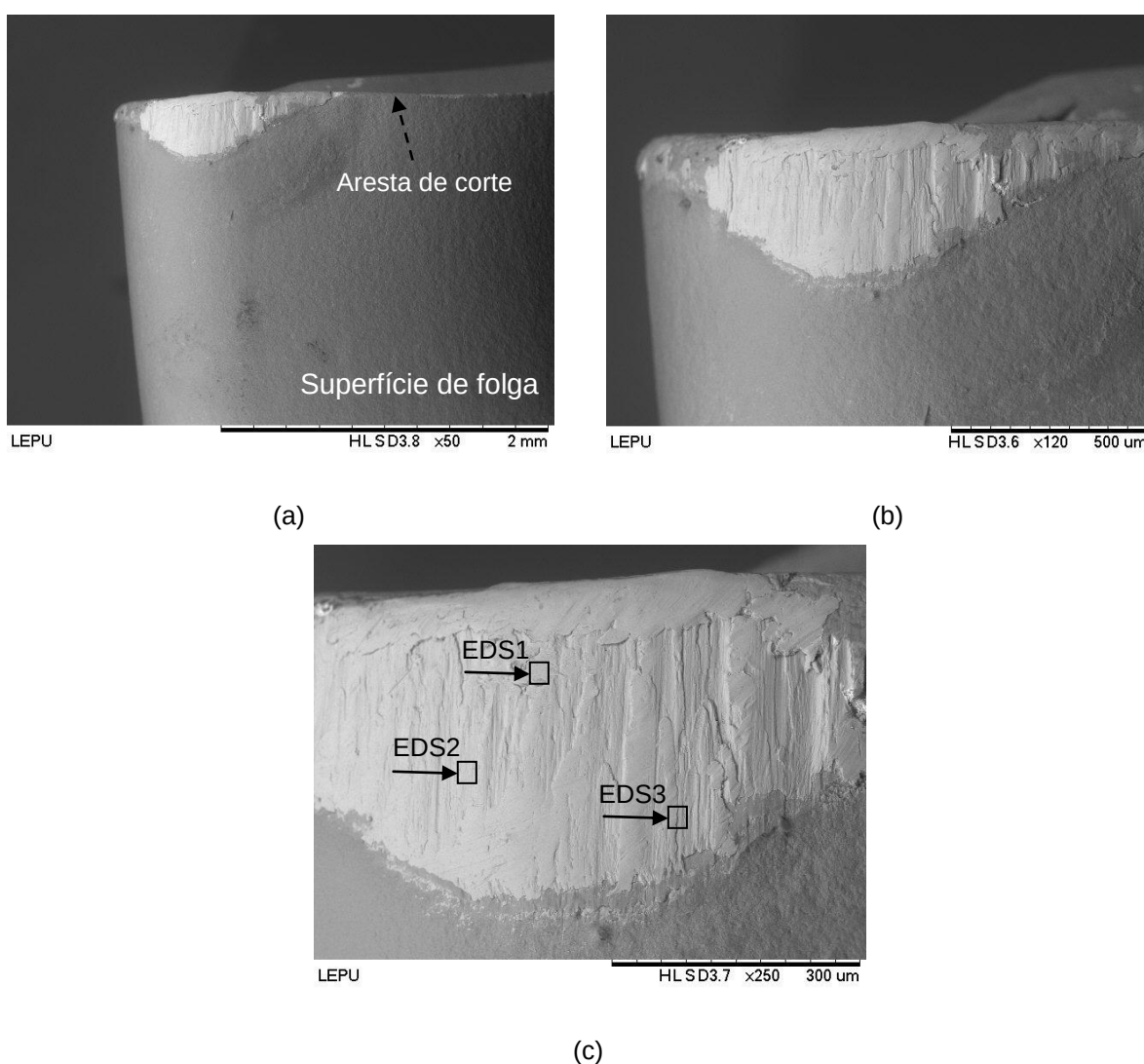
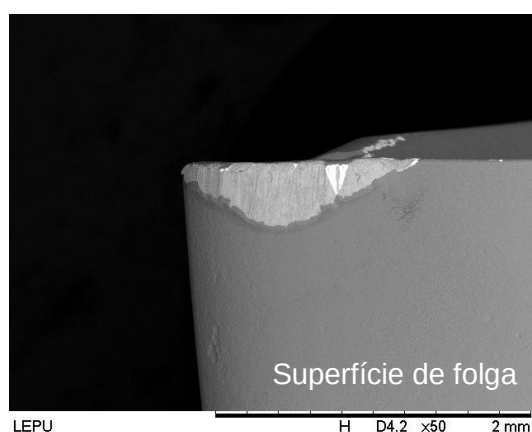


Figura 4.13 - Imagens do material aderido na aresta de corte ($v_c=250$ m/min, $a_p=1,0$ mm, $f = 0,20$ mm/volta, utilizando o FCC-A) a) aumento de 50x; b) aumento de 120x; c) aumento de 250x, as flechas indicam as regiões onde foram realizado EDS

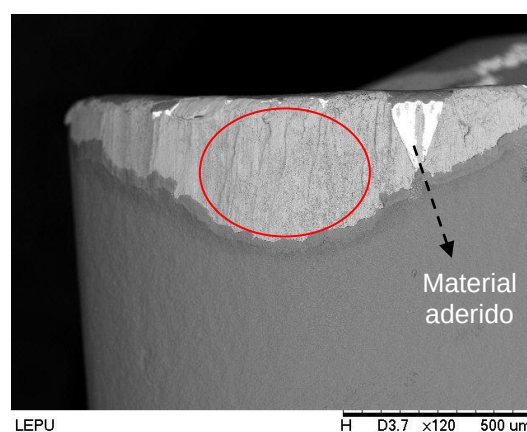
Tabela 4.5 - Valores dos elementos químicos em % apontado pelo EDS

	C	Ti	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	O
EDS 1	11,656	-	0,299	8,664	0,682	29,807	3,743	45,149
EDS 2	9,767	-	-	9,383	1,148	33,950	4,197	41,555
EDS 3	8,563	0,288	-	10,137	0,926	36,300	4,268	39,517

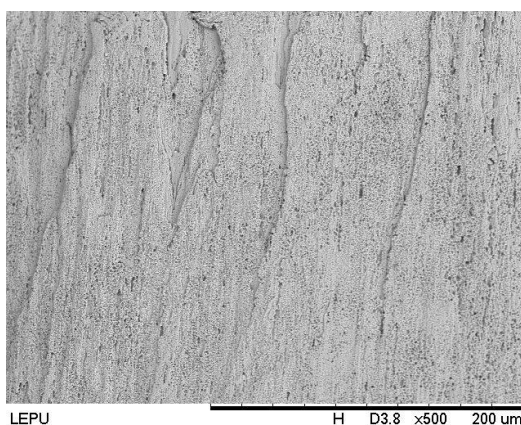
A grande quantidade de material aderido na região do desgaste de flanco da ferramenta impossibilitou a identificação do mecanismo desgaste predominante da ferramenta. Para remoção desse material aderido, utilizou-se uma solução de ácido clorídrico (HCl). A Fig. 4.14 mostra a ferramenta após esse ataque químico de 10 segundos. Aparentemente as Figs. 4.14 mostram que o mecanismo de desgaste predominante neste processo foi por aderência e arrastamento (*attrition*). Machado et al. (2011) citam que esse mecanismo de desgaste ocorre quando o fluxo de material sobre a ferramenta se torna irregular. Fragmentos microscópicos são arrancados da superfície da ferramenta e arrastados junto ao fluxo de material adjacente à interface promovendo o desgaste da ferramenta. Normalmente, quando o mecanismo de desgaste por *attrition* está presente, sempre há o municiamento de partículas abarativas (grãos de carbonetos, no caso das ferramentas de metal duro), que geram também o mecanismo de desgaste abrasivo. Na ampliação da área desgastada, indicada na Fig. 4.14b e mostrada na Fig. 4.14c, observa-se, além de sulcos paralelos ao fluxo de material, regiões bastante lisas, característica de presença do mecanismo de difusão. Esses mecanismos de desgaste foram evidenciados em todos os parâmetros de usinagem utilizando os FCN-A, FCC-A, FCN-B e FCC-B.



(a)



(b)

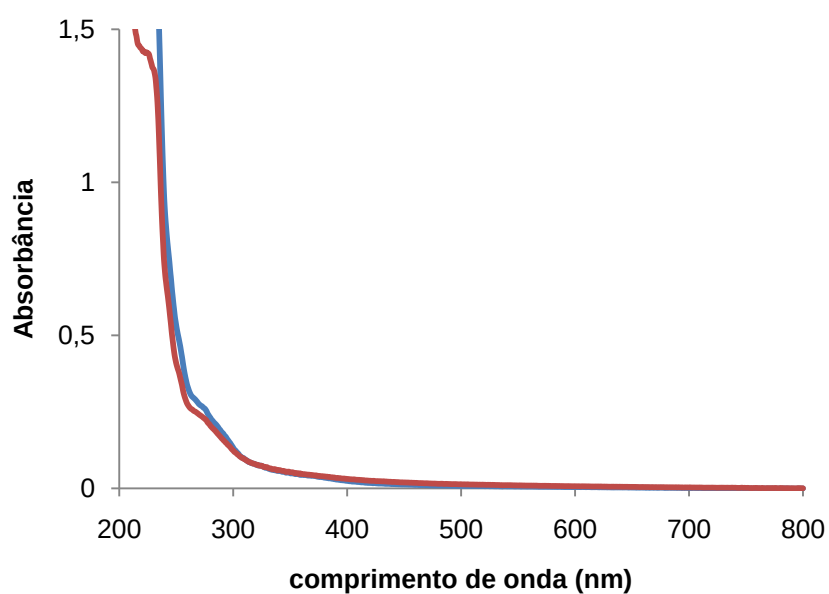


(c)

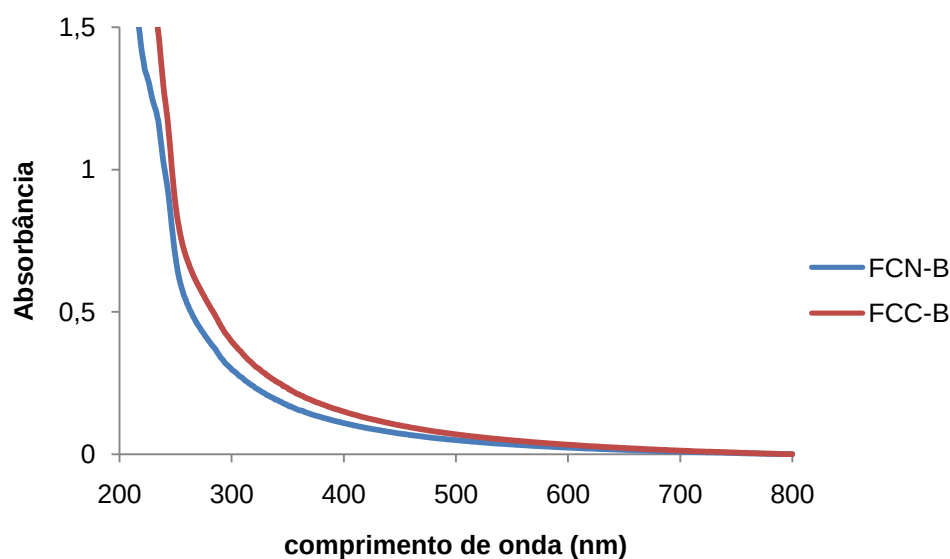
Figura 4.14 – Imagens do desgaste da ferramenta no fim de vida ($v_c=250$ m/min, $a_p=1,0$ mm, $f=0,22$ mm/volta, utilizando o FCC-A após o ataque químico com ácido clorídrico. a) aumento de 50x; b) aumento de 120x; c) aumento de 500x da (região destacada em “b”)

4.6. Teste de Espectrofotometria

A fim de verificar algum indício de alteração na estrutura química dos fluidos de corte, foi realizado no IQ-UFU o teste de espectrofotometria com o Espectrofotômetro UV-visible especificado no capítulo anterior. Os resultados desses testes são mostrados na Fig. 4.15 (a) e (b).



(a)



(b)

Figura 4.15 - Resultado do teste de espectrofotometria. a) comparação do FCN-A e FCC-A; b) comparação do FCN-B e FCC-B

A análise química dos FC's por essa técnica, não mostraram evidências no espectro avaliado, na qual provem alterações químicas entre os FC's novos e contaminados. A diferença entre as curvas pode ter sido ocasionada por erros sistemáticos relativos à diluição das amostras. Se houvesse diferença entre os FCN e FCC, certamente o aparelho iria indicar índices de absorção em diferentes intervalos de comprimento de onda.

4.7. Avaliação do pH

Os valores médios do pH (potencial hidrogeniônico) dos FCN-A, FCN-B, FCC-A e FCC-B foram medidos com o pHmetro portátil digital especificado no capítulo anterior. A temperatura média dos FCs indicada pela sonda de temperatura no momento da medição foi 21,6 °C. A Tab. 4.6 mostra a média e o desvio padrão dos valores do pH dos fluidos de corte avaliados.

Tabela 4.6 - Média e Desvio Padrão (D.P.) do pH dos fluidos de corte (FC)

Fluido de Corte Avaliado	Base do FC	Média (pH)	D.P. (pH)
FCN – A	Semissintético Mineral	9,27	0,01
FCC – A		8,88	0,02
FCN – B	Emulsão Vegetal	9,19	0,02
FCC – B		7,87	0,03

Os resultados desses testes (Tab 4.6) mostraram que após 1 mês de inoculação seriada a cada 72hrs, os dois fluidos de corte (A e B) apresentaram alterações nos valores médios do pH após a contaminação.

A queda do pH está diretamente relacionada ao crescimento e proliferação dos microrganismos nos FCs. Segundo Muniz (2008) a alteração do pH é um forte indicativo do nível de ataque de bactérias presentes nos FC's emulsionáveis. De acordo com Santos e Sales (2007), Lima (2012) e Takahashi (2012), no decorrer de seu metabolismo esses microrganismos produzem subprodutos como, por exemplo, ácidos orgânicos que diminuem o pH e degradam o fluido. Rossmore e Rossmore (1994) citam que a mudança química dos FCs, causada pela contaminação bacteriana, esta correlacionada com sua perda de função, particularmente nos casos dos fluidos emulsionáveis, nos quais os hidrocarbonetos são degradados. Assim, essa atividade microbiana pode causar a perda da lubricidade do FC.

O pH é o principal indicador para avaliação do fluido (MARCELINO, 2013). Para Runge e Duarte (1990) o valor satisfatório do pH de uma emulsão para uso é acima de 8,7. Os autores ainda citam que com valor entre 7,8 e 8,7, exige a adição de biocidas para controlar o grau de contaminação, e correção de pH com agentes alcalinizantes.

O FCC-B apresentou a maior queda do pH em relação ao FCN-B. Seu valor médio está entre o intervalo crítico citado por Runge e Duarte (1990), isto é, entre 7,8 e 8,7, na realidade mais próximo do limite inferior deste intervalo. Curiosamente, o desempenho dos FCC-B nos ensaios de usinabilidade com baixa velocidade de corte (125 m/min), onde o fluido tende exercer suas funções lubrificantes, apresentaram diferenças entre os parâmetros avaliados quando comparado ao FCN-B, tais como: aumento da força de avanço (Fig. 4.2a); piora na rugosidade nas operações com $f=016$ mm/volta (Fig. 4.6a); maior desgaste da ferramenta (Fig. 4.9a). Já o FCC-A apresentou o pH médio igual a 8,88, segundo Runge e Duarte (1990), esse valor está em nível satisfatório de uso. Porém, os ensaios de usinabilidade (com alta e baixa velocidade de corte), mostraram que houve pequena diferença entre as força de usinagem e rugosidade. Resumindo, os FCC-B apresentaram piores índices nesses ensaios em relação ao FCN-B, principalmente a baixas velocidades de corte, onde é exigida um bom poder lubrificante dos FCs.

4.8. Análise dos Aspectos Físicos dos Fluidos de Corte Contaminados

Após aproximadamente 72 hs da aplicação do inóculo nos FCs (A e B) começaram a surgir algumas alterações físicas nos FCs, principalmente no fluido de corte de base vegetal

(FC-B). Além da mudança do aspecto físico, houve também alterações no odor do fluido. Isso pode ter sido ocasionado pelas atividades metabólicas das bactérias, na qual são liberadas no fluido. Bianchi et al. (2004) comentam que o mal cheiro das emulsões contaminadas é resultado da proliferação de bactérias anaeróbicas no FC. Contrariando a afirmação desses autores, acredita-se que essa característica seja causada por bactérias aeróbicas, já que os FCs no momento do corte está em constante contato com o ar. Entretanto, para esse trabalho, seria necessário um estudo bioquímico para melhor explicação desse fato.

A biodeterioração dos FCs devido à contaminação microbiana geram vários efeitos prejudiciais ao FC, um deles é a quebra e desestabilização da emulsão (afeta os agentes emulsificantes), podendo alterar a viscosidade do fluido (BURGE,1996; ROSSMOORE,1995; RUNGE e DUARTE, 1999), esse efeito foi claramente visualizado no FCC-B (Figs. 4.16(b) e c)). O FCC-A teve maior resistência a essas alterações físicas, não apresentando mudanças físicas visuais nem alterações no odor.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.16 - Aspectos físicos do FC-B antes e após a contaminação chegando ao nível de 10^5 UFC/mL. a) FCN-B; b) FCC-B; c) FCC-B no reservatório da máquina

Devido à mudança física do FCC-B, durante a usinagem houve entupimento do filtro da bomba de sucção da máquina, que ocasionou em alguns momentos, diminuição da vazão do fluido no processo de corte. Notou-se o entupimento do filtro após 72hs que o FCC-B alcançou a contaminação na ordem de 10^5 UFC/mL. Segundo Runge e Duarte (1990) esse efeito é devido a contaminação dos fluidos por fungos, resultando no aparecimento de camadas sobrenadantes de óleo, causando entupimento de filtros e tubulações das máquinas. É nítido na fig. 4.17, que o fluido contaminado, devido ao aparente aumento da viscosidade, formou um bloqueio no filtro da bomba de sucção da máquina.

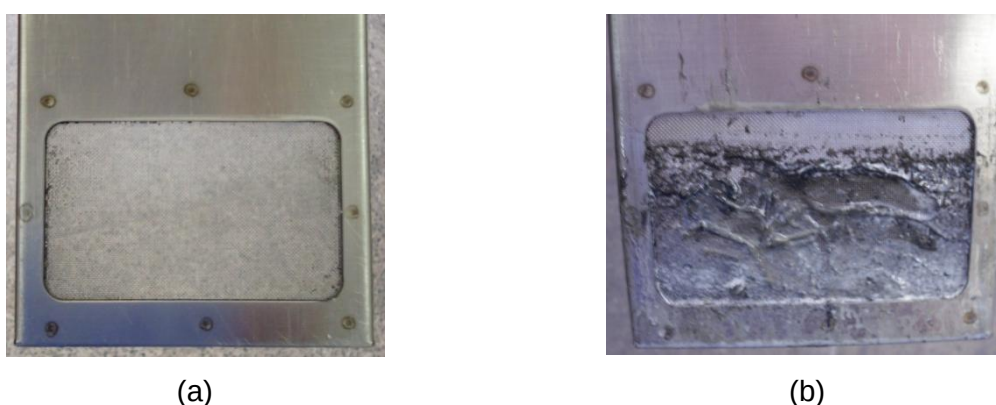


Figura 4.17 - Filtro da bomba de sucção. a) filtro limpo; b) filtro entupido pelo FCC-B

4.9. Análise do Cavaco

Em todos os testes, com diferentes condições e fluidos de corte, não se notou diferença quanto o tipo e forma do cavaco. Os cavacos gerados foram do tipo contínuo na forma de arcos soltos ou conectados (Fig. 4.18). A forma dos cavacos foram modificadas pelo quebra-cavaco integrado nas pastilhas de corte (Fig. 3.9), que segundo Machado et al. (2011) modificam a superfície de saída das ferramentas, causando uma curvatura mais acentuada nos cavacos, levando-os à quebra por flexão.



Figura 4.18 - Cavaco contínuo na forma de arco

4.10. Resumo dos Resultados

As Tabelas 4.7 e 4.8 mostram de forma compacta as principais médias dos resultados dos parâmetros de saída investigados em função dos fluidos de corte novos e contaminados. A relação entre o desempenho dos fluidos é apresentada em porcentagem (%), valores estes que indica o módulo da diferença entre o fluido de corte novo (FCN) e fluido de corte contaminado (FCC).

Tabela 4.7 - Comparação quantitativa e qualitativa dos ensaios utilizando o fluido de corte novo (FCN-A) e contaminado (FCC-A) de base mineral

					Forças de Corte (N) (média)		Forças de Avanço (N) (média)		Acabamento Superficial (Ra) (µm)		Desgaste de Flanco (mm) f = 0,2 mm/volta		pH	Mudança do estado físico do FC
Fluido de Corte	UFC/mL	Concentração (v.v ⁻¹)	ap (mm)	f (mm/volta)	vc = 125m/min	vc = 250m/min	vc = 125m/min	vc = 250m/min	vc = 125m/min	vc = 250m/min	vc = 125m/min (após 34,5min)	vc = 250m/min (após 14,7min)		
FCN-A	-	8	1	0,10	285,9	277,8	165,1	144,0	0,62	0,64	0,148	0,441	9,27	Não
				0,16	415,2	389,6	198,8	177,1	1,17	1,32				
				0,22	552,6	518,9	234,2	203,8	-	-				
				0,28	676,9	640,9	261,9	244,2	-	-				
				0,34	817,3	773,8	316,1	286,8	-	-				
				0,40	948,1	905,1	348,1	334,4	-	-				
FCC-A	10 ⁵	8	1	0,10	316,1	274,3	176,9	152,3	0,71	0,71	0,145	0,434	8,88	Não
				0,16	466,3	390,1	213,0	170,9	1,76	1,47				
				0,22	578,4	509,0	252,3	204,1	-	-				
				0,28	701,8	638,1	280,1	238,0	-	-				
				0,34	878,4	775,7	343,8	282,5	-	-				
				0,40	986,6	881,2	368,8	321,4	-	-				
Desempenho FCN-A x FCC-A (%)	-	8	1	0,10	+10,5	-1,3	+7,2	5,72	+14,52	+10,94	-2,63	-1,45	-4,21	-
				0,16	+12,3	+0,1	+7,2	-3,49	+50,43	+11,36				
				0,22	+4,7	-1,9	+7,8	0,11	-	-				
				0,28	+3,7	+0,4	+6,9	-2,57	-	-				
				0,34	+7,5	+0,2	+8,8	-1,47	-	-				
				0,40	+4,1	-2,6	+5,9	-3,91	-	-				

Tabela 4.8 - Comparação quantitativa e qualitativa dos ensaios utilizando o fluido de corte novo (FCN-B) e contaminado (FCC-B) de base vegetal

					Força de Corte (N) (média)		Força de Avanço (N) (média)		Acabamento Superficial (Ra) (µm)		Desgaste de Flanco (mm) f = 0,2 mm/volta		pH	Mudança do estado físico do FC
Fluido de Corte	UFC/mL	Concentração (v.v ⁻¹)	ap(mm)	f (mm/volta)	vc = 125m/min	vc = 250m/min	vc = 125m/min	vc = 250m/min	vc = 125m/min	vc = 250m/min	vc = 125m/min (após 34,5 min)	vc = 250m/min (após 10,0min)		
FCN-B	-	8	1	0,10	259,0	284,7	152,0	176,0	0,82	0,67	0,134	0,409	9,19	Não
				0,16	418,6	371,7	172,3	176,1	1,67	1,07				
				0,22	535,5	511,9	202,0	200,7	-	-				
				0,28	662,7	631,0	259,5	236,9	-	-				
				0,34	788,1	794,3	273,2	312,0	-	-				
				0,40	954,7	871,5	357,9	337,1	-	-				
FCC-B	10 ⁵	8	1	0,10	302,8	283,7	182,8	170,2	0,83	0,84	0,158	0,412	7,87	Sim
				0,16	432,6	395,7	217,4	184,3	2,14	1,43				
				0,22	552,9	531,3	245,9	223,7	-	-				
				0,28	675,5	668,1	270,7	270,3	-	-				
				0,34	817,5	784,2	318,5	302,9	-	-				
				0,40	952,4	919,1	359,7	357,4	-	-				
Desempenho FCN-B x FCC-B (%)	-	8	1	0,10	+16,9	-0,3	+20,3	-3,31	+1,2	+25,4	+18,05	+0,77	+14,36	-
				0,16	+3,4	+6,5	+26,1	+4,66	+28,1	+33,6				
				0,22	+3,3	+3,8	+21,7	+11,48	-	-				
				0,28	+1,9	+5,9	+4,3	+14,09	-	-				
				0,34	+3,7	-1,3	+16,6	-2,92	-	-				
				0,40	-0,2	+5,5	+0,5	+6,02	-	-				

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões obtidas nesse trabalho. Tais conclusões serão citadas de forma sintética, já que as observações, discussões e comentários dos resultados obtidos foram feitas no capítulo anterior. Após as conclusões serão sugeridos temas para trabalhos futuros a fim de dar continuidade à pesquisa.

5.1. Conclusões

- Para baixa velocidade de corte (125m/min), o uso dos fluidos de corte contaminados (biodegradados), quando comparado aos fluidos de corte novos, causou um pequeno aumento na média das forças de corte e de avanço e diminuiu a qualidade do acabamento superficial dos corpos de provas.
- A vida da ferramenta nos ensaios com baixa velocidade de corte (125m/min) utilizando o fluido de corte de base vegetal contaminado (FCC-B) apresentou, estatisticamente, pequeno aumento no desgaste (18,05%), quando comparado ao processo utilizando fluido de corte novo.
- A comparação dos fluidos de corte novos e contaminados nos ensaios de forças de usinagem, acabamento da peça e vida da ferramenta, em condições com alta velocidade de corte (250m/min), não apresentaram diferenças significativas, isto é, resultaram nos mesmos valores médios.
- Como os índices de usinabilidade (forças, acabamento, vida da ferramenta) apresentaram diferença apenas nos ensaios com baixa velocidade de corte, conclui-se que a biodegradação dos fluidos de corte pode ter alterado suas propriedades

lubrificantes. Esse efeito foi mais acentuado no fluido de corte de base vegetal (FC-B).

- Para baixa velocidade de corte (125m/min) a contaminação do fluido pode ser considerado um parâmetro influente na usinabilidade. Deste modo, se o fluido estiver contaminado (10^5 UFC/mL), ele irá afetar as variáveis de saída do sistema nas condições investigadas neste trabalho.
- Pela análise dos índices de usinabilidade nos processos com velocidade de corte de 250m/min, concluiu-se que os fluidos de corte novos e contaminados refrigeraram o sistema por igual. Dessa maneira, conclui-se que a contaminação não alterou as propriedades refrigerantes dos fluidos de corte.
- A utilização do fluidos de corte FC-A (semi-sintético de base mineral) quando comparado ao FC-B (emulsionável de base vegetal), apresentaram melhores resultados, principalmente nos ensaios de vida com alta velocidade de corte (250m/min). Já nos ensaios de vida com baixa velocidade de corte e os parâmetros força e acabamento, não evidenciaram diferenças significativas entre os fluidos.
- Para todas as condições investigadas houve grande tendência de encruamento do aço inoxidável autêntico V304UF na aresta de corte e os mecanismos de desgaste das ferramentas observados foram *attrition*, abrasão e difusão.
- O teste de espectrofotometria não mostrou evidências na qual comprovem alterações químicas entre os fluidos de corte novos e contaminados.
- O pH dos dois fluidos investigados tiveram um decréscimo em seu valor após a contaminação, devido aos produtos metabólicos resultantes do crescimento e proliferação bacteriana. O fluido de corte FC-B, de base vegetal, foi o que apresentou maior alteração desta propriedade (queda 14,36%).
- A contaminação do fluido desestabiliza as emulsões (principalmente o FC-B), causando mau cheiro e entupimento dos filtros da bomba.

5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

- Avaliar a influência de FCC's com maiores cargas microbiológicas no processo de usinagem, chegando próximo à ordem de 10^9 UFC/mL, onde o fluido de corte é considerado completamente degradado. Isso poderá ser feito com inoculações induzidas como mostrado na metodologia desse trabalho.
- Verificar a influência dos FCC's em outros processos de fabricação por usinagem (furação, fresamento, retificação, etc.), tipos de materiais, outras formas de aplicação (alta pressão, MQF, etc).
- Avaliar o poder de lubrificação e refrigeração de FCNs e FCCs, através das técnicas de esclerometria retilínea e de caracterização da capacidade refrigerante dos fluidos de corte proposta por Sales (1999), na qual leva em consideração o aspecto dinâmico do fluido envolvido na usinagem.
- Utilizar outros tipos de fluidos de corte, como por exemplo uma emulsão de base mineral, variando-se também a concentração.
- Através de um termopar peça-ferramenta, medir a temperatura da ferramenta proveniente da interação cavaco-ferramenta-peça. Esse ensaio tende ajudar explicar os desgastes das ferramentas, já que esses acontecem por efeitos termicamente induzidos.
- Realizar testes de viscosidade, corrosão, concentração, condutividade e estabilidade do fluido de corte emulsionável ao longo de sua biodegradação.
- Realizar ensaios de Cromatografia Gasosa Acoplada ao Espectrômetro de Massa para avaliar se com a contaminação bacteriana altera as cadeias moleculares dos fluidos de corte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKASAWA, T.; SAKURAI, H.; NAKAMURA, M.; TANAKA, T.; TAKANO, K. Effects of free-cutting additives on the machinability of austenitic stainless steels. **Journal of Materials Processing Technology**. v. 143 – 144, p. 66 – 71, 2003.

ALMEIDA, D. O.; MACHADO, Á. M.; SUARES M. P.; BRITO, D. V. D.; VIEIRA D. S.; SEGATTO, F. Z. **Influência da Utilização de Fluido de Corte de Base Vegetal nas Forças de Usinagem no Torneamento do Aço ABNT 1050 e Estudo do Crescimento de Microorganismos**. In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 5, 2011, Caxias do Sul / RS.

ALMEIDA, D.O.; NAVES, V.T.G.; MACHADO, Á. R.; Da SILVA, M. B. **Influência da Direção de Aplicação do Fluido de Corte na Temperatura da Interface Cavaco-Ferramenta**. In: 4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 4, 2007, São Pedro / SP.

ARCELORMITTAL INOX BRAIL. **Aços Inoxidáveis: aplicações e especificações**, 2008, 29p.

ASTME2275. Standard Practice For Evaluating Water-Miscible Metalworking Fluidbioresistance And Antimicrobial Pesticide Performance

ÁVILA, R. F.; BAPTISTA, B. S.; BARBOSA, C. A.; ABRÃO, A. M. **Influência do Fluido de Corte Sobre a Força de Usinagem e o Acabamento do Aço Inoxidável Austenítico ABNT 304**. In: VII Seminário Brasileiro do Aço Inoxidável, 7, 2004, São Paulo / SP.

AWOSIKA, A. I.; TRANGLE, K. L.; FALLON JR, L. F. Microorganism-induced skin disease in workers exposed to metalworking fluids. **Occup Med (Lond)**. USA, v. 53, nº1, p. 35 – 40, 2003.

BARROS, E. O óleo na rota certa. **Lubgrax**: lubrificantes, fluidos, óleos e graxas. Graxas industriais. Editora Sell&Comm. Ano 3, nº23 p.16, 2013.

BARROZO, M.A.S. **Planejamento de Experimentos**. Programa de Pós-Graduação Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia – PPG-EQ/UFU, jul, 2006.

BECKET, W.; KALLAY, M.; SOOD, A.; ZUO, Z.; MILTON, D. Hypersensitivity pneumonitis associated with environmental mycobacteria. **Environ Health Perspect.** USA, v. 113, nº 6, p. 767-770, Fev. 2005.

BENNETT, E.O. The biology of metalworking fluids. **Lubrication Engineering**, 237–247.1972.

BERNSTEIN, D. I.; LUMMUS, Z. L.; SANTILLI, G.; SISKOSKY, J.; MACHINE OPERATOR'S LUNG. A hypersensitivity pneumonitis disorder associated with exposure to metalworking fluids aerosols - Michigan. **Chest.** USA, v. 108, nº3, p. 636-641, set. 1995.

BHATTACHARYYA, P. L.; KLERKS, J. A. NYMAN, J.A. Toxicity to freshwater organisms from oils and oil spill chemical treatments in laboratory microcosms. **Environmental Pollution.** USA, v. 122, p. 205-215, 2003.

BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R.; PIUBELI, B. A. **Aplicação e Utilização dos Fluidos de Corte nos Processos de Retificação**. 1.ed.São Paulo: Editora Artliber. 2004. 110p.

BIENKOWSKI, K. **Coolants & Lubricants - Staying Pure**, Manufacturing Engineering, 55-61. Apr, 1993.

BURGE H.A. Microbiology of metalworking fluids: pilot studies for a large scale exposure assessment experience. In: **The industrial metalworking environment: assessment and control**. American Automobile Manufacturers Association, Dearborn, MI, pp. 234–240,1996.

CAPELLETTI, R. V. **Avaliação da Atividade de Biocidas em Biofilmes Formados a Partir de Fluido de Corte Utilizado na Usinagem de Metais**. 2006. 81f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP.

CHANG, S. C.; RIHAM, A.; BALVIMAN, S.; GRUDEN, C. L.; KHIJNIAK, A. I.; SKERLOS, S. J.; ADRIENS,P. Flow Cytometric Detection and Quantification of Mycobacteria in METALWORKING FLUIDS. **International Biodeterioration & Biodegradation.** v. 54, nº 2, p. 105 – 112, out. 2004.

CHEN L., et al. Characteristics and treatability of oil-bearing wastes from aluminum alloy machining operations. **Journal of Hazardous Materials**. 2007.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica Vol. I – Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas**. 2ed. Makron Books. São Paulo: 1986. 280p.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 4 e.d. São Paulo: Associação Brasileira dos metais, 1977. 576p.

CHIFFRE, L. Investigations of cutting fluid performance using different machining operations. **Lubr Eng** 22–8, 2002.

CLAUDIN, C.; MONDELIN, A.; RECH, J.; FROMENTIN, G. Effects of a Straight Oil on Friction at the Tool-Workmaterial Interface in Machining. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. Université de Lyon, France, v. 50 p. 681- 688, ago. 2010.

CROSSLEY, K. B.; ARCHER, G. L. **The staphylococci in human disease**, 1st ed. New York: Churchill Livingstone Inc, 1997.

DA SILVA, B. **High Pressure Coolant Supply Technology in Finishing Turning of Ti-6Al-4V with various cutting tools**. 2006. 299f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia - MG

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais** 7.ed. São Paulo: Artliber Editora, 2010. 262p.

DILGER, S.; FLURI, A.; SONNTAG, H. G. JEFFERSON K. K. Bacterial contamination of preserved and non-preserved metal working fluids. **Int J Hyg Environ Health**. Germany, v. 208, n°6, p. 467-476, Set. 2005.

DIRCKX, P.; DAVIES, D.; 2005. Disponível em http://www.genomenewsnetwork.org/articles/06_02/biofilms_image1.shtml>. Acesso em 10 de janeiro de 2013.

EDWARDS, J.; JONES, E.; 1977 Synthetic cutting a brief history and state of the art. **Tribology international** pag. 29- 31 Fev. 1977.

EL BARADIE, M. A. Cutting fluids: Part I - Characterization. **Journal of Material Processing Technology**. Dublin, v.56, p. 786-797, 1996.

EZUGWU, E. O. Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**. London, v. 45, p. 1353 – 1367, Mar. 2005.

EZUGWU, E.O.; MACHADO, A.R.; PASHBY, I.R.; WALLBANK, J. The effect of high-pressure coolant supply when machining a heat-resistant nickel-based superalloy. **Lubrication Engineering**. v. 47, p. 751–757, 1991.

FALKINHAM III, J. O. Nontuberculous Mycobacteria in the Environment. **Clin Chest Med**. USA, v. 23, nº3, p. 529–551, set. 2002.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo – SP: Editora Edgard Blücher Ltda, 1977. 751p

FUSSE, R.Y.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R. **Estudo comparativo entre a lubrificação convencional e a MQL no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho**, UNESP-BAURU-2005.

GENNER, C.; HILL, C. Fuel and oils in microbial biodeterioration. p. 516, 1981.

GODLEVSKI, V.A. Water steam lubrication during machining. **Tribologia**. v. 162(6) 11 p. 890–901. 1998.

GUNTER, K., SUTHERLAND, J. W. An experimental investigation into the effect of process conditions on the mass concentration of cutting fluid mist in turning. **Journal of Cleaner Production** 7, 341–350. USA. 1999.

HODGSON, M. J.; BRACKER, A.; YANG, C.; et al. Hypersensitivity pneumonitis in a metal-working environment. **Am J Ind Med**, v. 39, nº 6, p. 616 – 628 Jun. 2001.

HOWES, T.D.; TÖNSHOFF, H.K.; HEUER, W.; **Environmental aspects of grinding fluids**. Annals of CIRP Vol. 40/2/1991.

IGNÁCIO, E. A. **Caracterização da Legislação Ambiental Brasileira Voltada para a Utilização de Fluidos de Corte na Indústria Metal-Mecânica**. 1998, 134f, Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1993. **ISO 3685**: Tool-life Testing with Single-Point turning tools. 2ª ed. Genève, 48p.

KANAFANI, Z. A.; FOWLER JR., V. G. Staphylococcus aureus Infections: New Challenges from an Old Pathogen. **EnfermInfecMicrobiolClin**. USA, v.24, nº3, p. 182-193, mar. 2006

KENNEDY, S. M.; CHAN-YEUNG, M.; TESCHKE, K.; KARLEN B. Change in Airway Responsiveness among Apprentices Exposed to Metalworking Fluids. **Am J Crit Care Med**. Canadá, v. 159, nº 1, p. 87-93, jan. 1999.

KHAN, M.M.A.; MITHU, M.A.H.; DHAR, N.R.Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oilbased cutting fluid. **Journal of Materials Processing Technology**. Bangladesh, v. 209, p. 5573 – 5583, mai. 2009.

KORKUT, I.; KASAP, M.; CIFTCI, I.; SEKER, U. Determination of Optimum Cutting Parameters Suring Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel. **Materials and Design**. Turkey, v. 25, p. 303-305, out. 2003

LEI Nº9605 DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998 disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm> Acesso em 13 nov 2013.

LIMA, E. A Vida pode Aumentar, Dependendo da Formulação. **Revista Máquinas e Metais: A vida do fluido de corte pode aumentarm dependendo da formulação**. Editora aranda, ano 48, nº 560, p. 154, Set. 2012. Disponível em: http://www.arandanet.com.br/midiaonline/maquinas_metais/2012/setembro/index.html> Acesso em: 08 jan 2013.

LINNAINMAA M. Control of Workers Exposure to Airborne Endotoxins and Formaldehyde During the Use of Metalworking Fluids. **AIHA Journal** 64, 4; ABI/INFORMGlobal pg. 496. Jul/Aug. 2003

LOREDANA. P, COSMINA. P, GEZA. B, GABRIELA. V, REMUS N. Basestock oils for lubricants from mixtures of corn oil and synthetic diesters. **Journal of America Oil Chemical Society**. v. 85 p.71–76, jan. 2008.

LUCHESI V.L **Estudo Teórico da Condução de Calor e Desenvolvimento de um Sistema para a Avaliação de Fluidos de Corte em Usinagem**. 2011. 250 f. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Carlos/SP.

MACHADO, Á. R. **Machining of Ti6Al4V and Inconel 901 with a High Pressure Coolant System**. 1990. 288f. Tese de doutorado - University of Warwick, Coventry, England, UK.

MACHADO, Á.R.; ABRÃO, A.M.; COELHO, R.T.; Da SILVA, M.B. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2.ed. São Paulo - SP: Editora Edgard Blucher, 2011. 397p

MACHADO, Á. R., Da SILVA, M. B., 2004, “**Usinagem dos Metais**”, Apostila da disciplina Usinagem dos Metais do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, 8ª versão.

MARTIN, G.; QCQUIDANT, G., VALIMA Stainless Steel Hollow Bars with Improved Machinability. **Applications of Stainless Steel**. Stockholm, v. 1, p. 176-186, Jun. 1992.

MARCELINO, L. I. O; **Fluido de corte mineral emulsionável: monitoramento, análise da degradabilidade, reformulação e estratégias de aumento de tempo de vida no processo de retificação**, 2013, 128 f. Dissertação de Mestrado – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG.

MATTSBY-BALTZER, I., SANDIN, M., AHLSTROM, B., ALLENMARK, S., EDEBO, M., FALSEN, E., PEDERSEN, K., RODIN, N., THOMPSON, R.A., EDEBO, L. Microbial growth and accumulation in Industrial metal-working fluids. **Applied and Environmental Microbiology** 55,p. 2681–2689.1989

MAZURKIEWICZ, M.; KUBALA, Z.; CHOW, J. Metal machining with high pressure water-jet cooling assistance - a new possibility. **Journal of Engineering for Industry**. v.111, p.7–12, Fev. 1989.

MERCHANT, M. E. Fundamentals of Cutting Fluid Action, **Lubric. Engng**, 6, 163.1950.

MERCHANT, M. E., Cutting-Fluid Action and the Wear of Cutting Tools, Proc. Conf. Lubric. **Wear Institution of Mechanical Engineers**, London 1957.

METALS HANDBOOK. **Atlas of Microstructures of Industrial Alloy**. Ohio American Society for Metals, 8th ed., vol. 7, 1972.

MUNIZ, C. A. S. **Novas formulações de fluidos de corte: otimização, propriedades e recuperação do óleo usado**. 2008. 175f. Tese (doutorado) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.

MONICI, R. D. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Relatório de Estágio Supervisionado**. 33p. Bauru-SP, 1999.

MORAES, M. A. F. **Desenvolvimento de Planilhas Eletrônicas para Calcular Incerteza de Medição**. 2011. 101 f. Monografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG.

MOORE, J. S.; CHRISTENSEN, M.; WILSON, R. W.; WALLACE JR., R. J.; ZHANG, Y.; NASH, D. R.; SHELTON, B. Mycobacterium Contamination of Metalworking Fluids: Involvement of a Possible New Taxon of Rapidly Growing Mycobacteria, **AIHAJ**. USA, v. 61, n°2, p. 205-13, abr. 2000.

NAVES, V.T.G.; Da SILVA, M.B.; Da SILVA F.J. Evaluation of the effect of application of cutting fluid at high pressure on tool wear during turning operation of AISI 316 austenitic stainless steel. **Wear**. Brasil, v302, p 1201-1208. Mai 2013.

NMWR, **Respiratory illness in workers exposed to metalworking fluid contaminated with nontuberculous mycobacteria**—Ohio, 2002. NMWR 51, 349–352.

OLIVEIRA, J. F. G.; ALVES, S. M. Novos fluidos de corte adequados ao desempenho mecânico da retificadora e ao meio ambiente. **Revista Máquinas e Metais**, p28-43jan.

2006. Disponível em: <http://www.notox.com.br/pdf/artigo_salete.pdf> Acesso em: 30 set 2013.

OLIVEIRA, J. F. G.; ALVES, S. M. Adequação ambiental dos processos usinagemutilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. **Associação Brasileira de Engenharia de Produção** Produção, v. 17,n. 1, p. 129-138, Jan./Abr. 2007. Disponível em:<http://en.scientificcommons.org/salete_martins_alves> Acesso em: 15 jul 2013.

OZCELIK, B.; KURAM, E.; CENTIN, H. M.; DEMIRBAS, E. Experimental investigations of vegetable based cutting fluids with extreme pressure during turning of AISI 304L. **Tribology International**. Gebze-Kocaeli, Turkey, v. 44, p. 1864 – 1871, ago. 2011.

PAGLIERO, C. Pollution of modem metalworking fluids containing biocides by pathogenic bacteria in France. Reexamination of chemical treatmens accuracy. **Eur. J. Epidemiol.** France, v. 11, p. 1-7, Fev. 1995.

PARK, D.; CHOI, B.; KIM, S.; KWAG, H.; JOO, K.; JEONG, J. Exposure Assessment to suggest the cause of sinusitis developed in grinding operation utilizing soluble metalworking fluids. **Journal of Occupational Health**. Korea, v. 47, p. 319-326, mai. 2005.

PASSMAN, F. J.; ROSSMOORE, H. W. Reassessing the health risks associated with employee exposure to MWF microbes. **Lubricat Engineering**. USA, v. 58, nº 7, p. 30-38, mai. 2002.

PEREIRA, J. A. **Análise do Efeito da Sequencia de Arestas e do Número de Interrupções para Medir Desgaste na Vida da Ferramenta no Torneamento**. 2009. 124f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG

QUEIROZ, J. L. L. **Desenvolvimento de um protótipo de software para controle da variável ambiental na utilização do fluido de corte**. 2001. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção, Florianópolis/SC, 2001.Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/1940.pdf>> Acesso em: 08 jan 2013.

RABENSTEIN, A.; KOCH, T.; REMESCH, M.; BRINKSMEIER, E.; KUEVER, JAN. Microbial degradation of water miscible metal working fluids. **International Biodeterioration and Biodegradation**. Germany, v. 63, nº 8, p. 1023 – 1029, dez. 2009.

RAHMATI B.; SARHAN, A.A.D.; SAYUTI, M. Morphology of surface generated by end milling AL6061-T6 using molybdenum disulfide (MoS_2) nanolubrication in end milling machining **Journal of Cleaner Production**. 1 - 7 Oct. 2013.

RIOS, M., NOVASKI, O., Fluidos de corte: Introdução Teórica e Vantagens da Aplicação de Fluidos Sintéticos na Usinagem de Aços Ligas". Disponível em: <http://www.mmmis.com/construtordepaginas/htm/1_21_1813.htm> Acesso em 29 mai 2011.

ROSSMOORE H. W. Microbiology of metalworking fluids: deterioration, disease and disposal. **J Soc Tribology Lub Engng**. 51:112–118. 1995

ROSSMOORE, H. W. Microbial degradation of water-based metalworking fluids. In: Moo-Young, M., Cooney, C.L., Humphres, A.E. (Eds.). **Comprehensive Biotechnology**. Pergamon Press. New York, NY, p. 249–269. 1986

ROSSMOORE, H.W., HOLTZMAN, G.H., KONDEK, L. **Microbial ecology with a cutting edge**. In: Miles, J., Kaplan, A.M. (Eds.), Proceedings of the Third International Biodegradation Symposium. Applied Science, London, UK. p. 221–232. 1976

ROSSMOORE, L. A.; ROSSMOORE, H. W. **Metalworking fluid microbiology**. In: Byers, editor. Metalworking fluids. New York, Marcel Decker Inc.; p. 247–271. 1994

RUNGE, P. R. F.; DUARTE, G. N. **Lubrificantes nas indústrias. Fluidos de corte**. Cotia: Triboncept, 1990. cap.4, p.71-172

SAHA, R.; DONOFRIO, R. S.; the microbiology of metalworking fluids. **Appl Microbiol Biotechnol** 20, Mar 2012.

SALES, W. F. **Influência das características refrigerantes e lubrificantes de fluidos de corte**. 1999. 166 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG.

SANDIN, M.; MATTSBYBALTZER, I.; EDEBO, L. Control of microbial-growth in water-based metal-working fluids. **International Biodeterioration**. Sweden, v.27, n°1, 1991 p.61 – 74,

SANTOS, S.C; SALES, W.F. **Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais**. 1.ed. São Paulo: Artliber Editora, 2007. 246p.

SANDVIK, Catalogo de ferramentas 2012. Disponível em <http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/downloads/pages/default.aspx> acessado em 06/10/13

SHASHIDHARA Y. M.; JAYARAM S.R. Vegetal oils as a potential cutting fluid - an evolution. **Tribology International**. Department of Mechanical Engineering. Karnataka state, India v. 43, p. 1073 – 1081. jan. 2010.

SHARMA, V. S.; DOGRA, M.; SURI, N.M. Cooling Techniques for Improved Productivity in Turning. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**. India, v. 49, p. 435 – 453, Jan. 2009.

SHELL, **Curso de Lubrificação Industrial – Fluidos de corte**, Centro de treinamento shell do Brasil, Divisão Petróleo, Imp. Metodista, 1991. 40p.

SHOKRANI, A.; DHOKIA, V.; NEWMAN, S.T. Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**. United Kingdom, v. 57, p. 83 – 101, Fev. 2012.

SILLIMAN, J. D. Cutting and Grinding Fluids: Selection and Application. **Society of Manufacturing Engineers**. 2ª edição, p. 1-47, 129-135, 187-191, 1992.

SILVA, E. J. **Análise da Influência dos Tipos de Fluido de Corte e Rebolo na Retificação do aço SAE HVN-3**. 2000, Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de São Paulo, Bauru/ SP.

SILVA L.R.; CORRÊA E.C.S.; BRANDÃO J.R.; DE ÁVILA R.F.; Environmentally friendly manufacturing: Behavior analysis of minimum quantity of lubricant - MQL in grinding process, **Journal of Cleaner Production** doi: 10.1016/j.jclepro.2013.01.033. fev. 2013

SLOYER JL, NOVITSKY TJ, NUGENTS Rapid bacterial counts in metal working fluids. **J Ind Microbiol Biotechnol** 29:323–324. 2002

SMITH, T., NAERHEIM, Y., LAN, M.S. Theoretical Analysis of Cutting Fluid Interaction in Machining, **Tribology International**, vol.21, n0 5, pp. 239-247.1988.

SUAREZ, M. P., **Influência da texturização a laser em ferramentas de metal duro revestidas na usinagem do aço ABNT 1050**, 2012, 168 f., Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia MG.

TAKAHASHI, D. F. Nova metodologia para otimizar biocidas em fluido de corte. **Revista Máquinas e Metais**, n.557, p.98-115, jun. 2012.

TAN X. C. et al.; **A decision-making framework model of cutting fluid selection for green manufacturing and a case study**. Journal of Materials Processing Technology 129, 467-470. China. 2002.

TÂNIO, F. Usinagem Sem Refrigeração. **Revista Usinagem Tech**, São Paulo, n.7, jan/fev/mar. 2012. Disponível em: <<http://www.calameo.com/read/0006322558f51dbf613c8>>. Acesso em: 02 out 2013

TANT, C.O., BENNETT, E.O. The isolation of pathogenic bacteria from used emulsion oils. **Applied and Environmental Microbiology** 4,332–338. 1956

TEIXEIRA, C. R., 2007 Entrevista **“Usinagem Ecológica”**. Disponível em: <<http://www.cimm.com.br>> Acesso em: 13/10/2013

THOMÉ, R.; BIANCHI, E.C.; ARRUDA, O.S.; AGUIAR, P.R. **Estudo Microbiológico das Micobactérias e Fungos Contaminantes dos Fluidos de Corte**. In: 6º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA. 6, out. 2007, Perú/Cusco.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 6.ed. Porto Alegre, ed. Artmed 2003. 827p.

TRENT, E.M., , **Metal Cutting**, 3rd Edition, Butterworths-Heinemann Ltd, 1991 273p.

VAN DER GAST C.J.; WHITELEY A.S.; LILLEY A.K.; KNOWLES C.J.; THOMPSON I.P.; Bacterial community structure and function in a metalworking fluid. **Environ Microbiol** 5:453–461. 2003.

VEILLETE, M.; THORNE, P. S.; GORDON, T.; DUCHAINE, C. Six Month Tracking of Microbial Growth in a Metalworking Fluid After System Cleaning and Recharging. **Ann occup Hyg**. Canada, v. 48, n°6, p. 541-546, ago. 2004.

XAVIOR, M. A.; ADITHAN, M. Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of aisi 304 austenitic stainless steel. **Journal of Materials Processing Technology**. Tamil Nadu - India, n. 209, p. 900 – 909, fev. 2008.

YILDIZ, Y.; NALBANT, M. A Review of Cryogenic Cooling in Machining Processes. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. Department of mechanical education, Faculty of Technical Education, Gazi University, Ankara, Turkey v. 48 p. 947–964, fev. 2008.

WALLACE Jr R. J.; ZHANG Y.; WILSON R.W.; MANN L.; ROSSMOORE H. Presence of single genotype of the newly described species *Mycobacterium immunogenum* in industrial metalworking fluids associated with hypersensitivity pneumonitis. **Appl Environ Microbiol** 2002;68:5580-4.

WOODS, S. Vegetable oil-based metalworking fluids can provide better performance and environmental results than mineral oil-based fluids, **Cutting Tool Engineering Magazine**. U.S, v. 57, n°2, p. 47-53, fev. 2005.