



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**



**Dissertação de Mestrado**

**LUCIANA ISABEL DE OLIVEIRA MARCELINO**

**FLUIDO DE CORTE MINERAL EMULSIONÁVEL: MONITORAMENTO, ANÁLISE DA DEGRADABILIDADE, REFORMULAÇÃO E ESTRATÉGIAS DE AUMENTO DE TEMPO DE VIDA NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO.**

Belo Horizonte/MG

2013

**LUCIANA ISABEL DE OLIVEIRA MARCELINO**

**FLUIDO DE CORTE MINERAL EMULSIONÁVEL: MONITORAMENTO, ANÁLISE DA DEGRADABILIDADE, REFORMULAÇÃO E ESTRATÉGIAS DE AUMENTO DE TEMPO DE VIDA NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do CEFET-MG, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Ciência e Desenvolvimento de Materiais.

Linha de pesquisa: Reciclagem

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Roberto da Silva – CEFET-MG

Co-orientador: Prof. Dr. Claudinei Rezende Calado – CEFET-MG

Belo Horizonte/MG

2013

Marcelino, Luciana Isabel de Oliveira.

Fluido de corte mineral emulsionável : monitoramento, análise da da degradabilidade, reformulação e estratégias de aumento de tempo de vida no processo de retificação / Luciana Isabel de Oliveira Marcelino. - 2013.

128 f. : il., tabs., grafs., fotos. -

Orientador: Leonardo Roberto da Silva.

Co-orientador: Claudinei Rezende Calado.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2013.

Bibliografia.

1. Fluidos de corte. 2. Fluidos de corte - desgaste. 3. Óleos lubrificantes. 4. Usinagem. 5. Polímeros – aditivos. 6. Contaminação microbiana. I. Silva, Leonardo Roberto da. II. Título.

CDD: 620.11



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

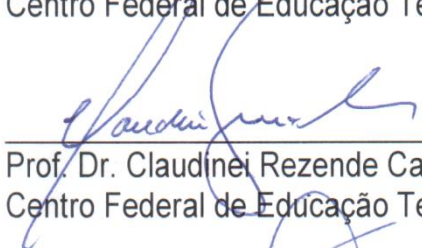
*DISSERTAÇÃO DE MESTRADO*

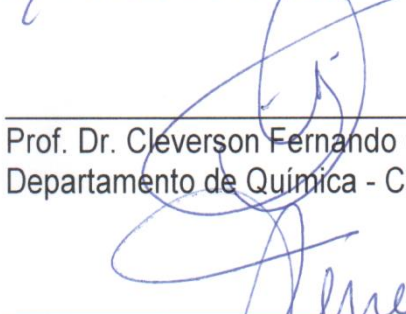
***“Fluido de Corte Mineral Emulsionável: Monitoramento,  
Análise da Degrabilidade, Reformulação e Estratégias de  
Aumento de Tempo de Vida no Processo de Retificação”***

Autor: Luciana Isabel de Oliveira Marcelino  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Roberto da Silva

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leonardo Roberto da Silva ( ORIENTADOR )  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Claudinei Rezende Calado ( COORIENTADOR )  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Cleverson Fernando Garcia  
Departamento de Química - CEFET/MG

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Drª. Ângela de Mello Ferreira  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Belo Horizonte, 25 Julho de 2013.

*Aos meus queridos pais:*

***Avides José Marcelino e***

***Zilá Rodrigues de Oliveira Marcelino,***

*pelo amor, carinho e esforço  
dispensado para proporcionar-me uma  
boa formação. Dedico este trabalho  
com todo meu afeto.*

## **AGRADECIMENTOS**

À FAPEMIG pela bolsa de estudos.

Ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica.

À Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais pela autorização concedida para frequência no curso.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do CEFET-MG.

Ao Departamento de Engenharia de Materiais DEMAT e ao Departamento de Química do CEFET-MG pela disponibilização dos laboratórios.

Ao meu orientador, Leonardo Roberto da Silva, todo meu reconhecimento pela orientação, dedicação, compromisso, confiança e constante auxílio, que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao Claudinei Rezende Calado, pela valiosa colaboração, entusiasmo, amizade e pelo aceite do convite da co-orientação.

Às alunas de iniciação científica: Marina Rabelo Moreira e Júnia Bicalho Duarte Rosa, sempre prontas a ajudar e a somar, contribuindo para o desenvolvimento da pesquisa.

À Petronas Lubrificantes Brasil S.A pelo fornecimento do óleo utilizado por meio do Sr. Geraldo da Mata e do Sr. Adilson Capanema.

Ao Alaor Junio Nazar, da assistência técnica da Petronas Lubrificantes Brasil S.A, pelas informações de uso e manutenção.

À MIRACEMA - Nuodex Indústria Química Ltda pelo fornecimentos dos aditivos para realização deste trabalho.

À Dow Chemical Company pelo fornecimento do biocida por meio da Sra. Débora Takahashi.

Ao corpo docente do Curso de Mestrado em Engenharia de Materiais pelas excelentes aulas e oportunidade de aprendizado.

Ao Prof. Caio Júlio Motta de Lima pela sugestão do tema.

Ao Prof. Dr. Sidney Nicodemos da Silva pelo incentivo e apoio.

Aos funcionários e estagiários do CEFET-MG, principalmente Filipe Passine, Ivete, Sara e Thiago, pelo suporte administrativo e ao técnico de laboratório Alisson Luís Diniz Silva pela atenção e presteza.

Aos professores Wágner José Pedersoli e Moisés Perillo pelo incentivo.

À Cláudia Muniz pelo apoio.

Ao meu amigo, Hugo Vilaça de Lima, pelo grande apoio dado a esta pesquisa.

A todos meus amigos do curso pela amizade e trocas de experiências especialmente Maílson, João, Talita, Claudilene, Carine, Joaquim, Helane, Luiz Felipe e Valmir.

Aos meus colegas da E.E. “D. Judith Gonçalves” e E.E. “Prof. Gilka Drummond de Faria” pelo incentivo, principalmente Guaraciaba de Castro Drummond e Luiz Mascarenhas.

À minha família pelos pensamentos positivos, apoio, incentivo, palavras amigas, ensinamentos de vida, amor e carinho, especialmente minhas queridas avós Luciana e Isabel (*in memoriam*).

Ao Deny Gomes de Freitas pelo carinho.

À Deus, por ter me concedido força, saúde, disposição e capacidade para vencer todos os obstáculos surgidos.

## RESUMO

Os fluidos de corte são utilizados em processos de usinagem por apresentarem vários benefícios no decorrer de suas operações. Entretanto, os aspectos ambientais têm-se tornado cada vez mais importantes dentro dos processos produtivos, somando-se aos aspectos econômicos e tecnológicos. Levando-se em conta a grande demanda do fluido de corte mineral emulsionável, verifica-se a necessidade de melhor aproveitá-los de modo a evitar o descarte prematuro assim como estratégias de reformulação visando melhorias no processo de usinagem. Neste trabalho foi realizado inicialmente o monitoramento do fluido de corte mineral emulsionável com uso contínuo no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho empregando-se os parâmetros de concentração de óleo mineral na emulsão, densidade, viscosidade e pH (potencial hidrogeniônico) ao longo de 9 ciclos de retificação, além de analisar as modificações físico-químicas e microbiológicas sofridas pelo fluido de corte por meio da sua degradabilidade ao final de 6 meses de uso. Os resultados de monitoramento mostraram variações significativas para os valores de concentração e pH. Os resultados da degradabilidade mostraram alterações nos valores de pH, índice de acidez, sólidos totais, Demanda Química de Oxigênio (DQO), condutividade e elevação de contaminação microbiana. Posteriormente, foi utilizada uma nova emulsão na retificadora visando realizar os ajustes dos parâmetros quando afetados pela degradação com o intuito de aumentar o tempo de vida, por meio das recomendações do fabricante do fluido de corte com o uso de biocida a base de triazina e alcalinizante durante um período de quatro meses. Como resultado do monitoramento observa-se que os valores de concentração e pH sofreram variações significativas, porém os valores de pH permaneceram dentro das especificações do fabricante, a contagem microbiológica manteve-se dentro dos parâmetros e o grau de corrosão diminuiu com a adição do biocida. Em seguida, propõe-se a reformulação de fluido de corte com a adição dos aditivos: Agente de Oleosidade ( $A_1$ ), Componente Lubrificante ( $A_2$ ) e Extrema Pressão (E.P.) ( $A_3$ ), objetivando uma melhoria na eficiência do processo. Os resultados mostraram um melhor desempenho da emulsão aditivada com o aditivo de Extrema Pressão (E.P.) ( $A_3$ ). Então, a emulsão foi reformulada, emulsionada e acondicionada no reservatório da retificadora. Fez-se o monitoramento da concentração, pH, grau de corrosão e



contagem microbiológica visando o ajuste das propriedades afetadas durante o processo de retificação. Esta reformulação tem como objetivo o aumento do tempo de vida da emulsão aditivada. Como resultado do monitoramento observa-se que os valores de concentração sofreram variações significativas e os valores de pH não sofreram variações significativas. Os valores de pH permaneceram dentro das especificações ótimas de trabalho, a contagem microbiológica manteve-se dentro dos parâmetros estabelecidos e o grau de corrosão diminuiu com a adição do biocida. Finalmente, foi avaliado o desempenho de um outro biocida industrial a base de 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida, no aumento do tempo de vida do fluido de corte. Este biocida apresenta um mecanismo de controle de proliferação microbiana diferente do biocida a base de triazina, pois não libera formaldeído. Fez-se o monitoramento da concentração, pH, grau de corrosão e contagem microbiológica. Os resultados de monitoramento mostraram uma redução da contaminação microbiana e uma posterior queda de valor de pH, exigindo assim o uso de alcalinizantes e uma tendência do aumento do grau de corrosão da emulsão. Os resultados viabilizaram a reutilização do fluido de corte por meio de ajustes de biocida a base de triazina, pois o mesmo proporcionou manutenção na eficiência do processo com a manutenção dos parâmetros operacionais de uso quando comparado ao fluido comercial com a vantagem de uma produção mais limpa e com o aumento de tempo de vida do fluido. A reformulação do fluido proporcionou um melhor desempenho do processo e aumento do tempo de vida. Os resultados da recuperabilidade do fluido de corte por meio de ajustes de biocida a base de 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida apresentaram a manutenção dos parâmetros operacionais, porém o grau de corrosão é crítico.

Palavras-chave: Fluidos de corte. Emulsões O/A. Degradação de fluidos de corte. Usinagem. Aditivos. Reformulação de fluidos de corte. Biocidas.

## ABSTRACT

Cutting fluids are used in machining processes by presenting several benefits throughout their operations. However, environmental issues have become increasingly important within the productive processes, adding to the economic and technological aspects. Taking into account the high demand of mineral emulsifiable cutting fluid, there is a need to better leverage them in order to avoid premature disposal as well as reformulation strategies for improvements in the machining process. This work was initially performed monitoring of mineral emulsifiable cutting fluid with continuous use in the process of cylindrical grinding diving employing the parameters concentration of mineral oil in emulsion, density, viscosity and pH (hydrogen potential) over 9 cycles rectification, addition analyzing the changes of chemical, physical and microbiological suffered by cutting fluid through its degradability after 6 months of use. The monitoring results showed significant variations in the values of concentration and pH. The results of degradability showed changes in pH, acid value, total solids, chemical oxygen demand (COD), conductivity and increase of microbial contamination. Subsequently, a new emulsion was used in order to achieve the rectifier set parameters when affected by the degradation in order to increase the life time through the recommendations of the manufacturer of cutting fluid with the use of triazine-based biocide and alkalizing over a period of four months. As a result of monitoring is observed that the values of concentration and pH significant variation, but the pH values remained within the manufacturer's specifications, microbiological counts remained within the parameters and the degree of corrosion decreases with the addition of biocide. Then, we propose a reformulation of cutting fluid with the addition of additives: Oily Agent ( $A_1$ ) Lubricant Component ( $A_2$ ) and Extreme Pressure (EP) ( $A_3$ ), aiming at improving the efficiency of the process. The results showed a better performance of the emulsion admixed with the additive Extreme Pressure (EP) ( $A_3$ ). Then, the emulsion was reformulated, emulsified and wrapped in the shell of the rectifier. There was monitoring the concentration, pH, degree of corrosion and microbiological count in order to adjust the properties affected during the grinding process. This redesign aims to increase the lifetime of the emulsion additive. As a result of tracking observe that the concentration values show significant variation and the pH did not undergo significant variations. The pH remained within the optimal job specifications, the microbiological

count remained within the established parameters and the corrosion rate decreases with the addition of biocide. Finally, we evaluated the performance of another industrial biocide based on the 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamide, increasing the lifetime of cutting fluid. This provides a mechanism for biocide control microbial proliferation different from the basis of triazine biocide because it does not release formaldehyde. There was monitoring the concentration, pH, degree of corrosion and microbiological count. The monitoring results showed a reduction of microbial contamination and a subsequent drop in pH, thus requiring the use of alkalizing and a tendency of increased corrosion rate of the emulsion. The results enabled the reuse of the cutting fluid by adjusting the basis of biocide triazine, because it resulted in the maintenance efficiency of the process with maintaining the operational parameters of fluid usage when compared with the commercial advantage of a cleaner production and the increased life time of the fluid. The reformulation of the fluid gave a better performance of the process and increase the life time. The results of the recoverability of cutting fluid through adjustments of biocide based on 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamide presented maintaining operating parameters, but the corrosion rate is critical.

Key words: Cutting fluids. O / A emulsion. Degradation of cutting fluids. Machining. Additives. Redesign of cutting fluids. Biocides.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Poluição dos processos de produção no meio ambiente. ....	20
Figura 2 - Operações de retificação segundo norma DIN 8589. ....	27
Figura 3 - Representação do ciclo de retificação cilíndrica de mergulho.....	28
Figura 4 - Aplicação de fluido de corte. ....	30
Figura 5 - Tipos de fluidos de corte. ....	31
Figura 6 - Compostos da série parafínica (A) e naftênica (B).....	35
Figura 7- Tipos de emulsões: (A) emulsão O/A e (B) emulsão A/O. ....	40
Figura 8 - Visão geral das técnicas de minimização dos efluentes. ....	46
Figura 9 - Medidas corretivas para reduzir a contagem de bactérias tomadas somente após forte deterioração da emulsão. ....	52
Figura 10 - Medidas corretivas para manutenção da emulsão tomadas somente após forte redução do valor de pH. ....	52
Figura 11 - Medidas corretivas para reduzir a contagem de bactérias controlada por meio de adições periódicas de biocidas. ....	53
Figura 12 - Medidas corretivas para manutenção da emulsão com valores do pH da emulsão oscilando entre limites pequenos em função da adição regular de materiais conservantes da emulsão.....	53
Figura 13 - Retificadora Tos Hostivar. ....	62
Figura 14 - Reservatório da retificadora com seus três compartimentos e bomba....	63
Figura 15 - Corpo de prova montado na retificadora. ....	64
Figura 16 - Dressagem do rebolo. ....	65
Figura 17 - Equipamento para monitoramento da concentração do fluido de corte: refratômetro. ....	76
Figura 18 - Calibração do zero no refratômetro manual. ....	76
Figura 19 - Representação viscosímetro de Ostwald. ....	79
Figura 20 - Sistema montado para manter a temperatura a 40°C.....	79
Figura 21 - Ilustração do uso de lâminas de imersão para contagem de micro-organismos. ....	81
Figura 22 - Gabarito empregado na contagem do número de colônias. ....	82
Figura 23 - Aparência do papel filtro após teste de corrosão. ....	84
Figura 24 - Medição dos parâmetros de rugosidade. ....	87

Figura 25 - Valores de concentrações antes do ajuste para cada ciclo de retificação. .....	93
Figura 26 - Valores de concentrações ajustados para cada ciclo de retificação. ....	93
Figura 27 - Variação da densidade em relação ao número de ensaios de retificação. .....	94
Figura 28 - Variação da viscosidade em relação ao número de ensaios de retificação.....	95
Figura 29 - Variação do pH em relação ao número de ensaios de retificação. ....	95
Figura 30 - Resultado da avaliação microbiológica pelo método “ <i>dip slide</i> ” antes do processo de retificação e após 6 meses de uso. A- Face 1. B- Face 2.....	99
Figura 31 - Valores de concentrações antes do ajuste para cada ciclo de retificação. .....	101
Figura 32 - Valores de concentrações ajustados para cada ciclo de retificação. ....	101
Figura 33 - Valores de pH para cada ciclo de retificação. ....	102
Figura 34 - Análise de corrosão em ferro fundido. ....	103
Figura 35 - Monitoramento diário dos valores de pH.....	104
Figura 36 - Resultado da análise microbiológica da 3 <sup>a</sup> semana.....	106
Figura 37 - Resultado da análise microbiológica da amostra 15.....	106
Figura 38 - Resultado da análise microbiológica das amostras 16; 17; 18 e 19.....	106
Figura 39 - Análise de corrosão em ferro fundido. ....	107
Figura 40 - Resultado da análise de corrosão da amostra da 3 <sup>a</sup> semana e depois da adição de biocida da amostra da 4 <sup>a</sup> semana.....	107
Figura 41 - Medidas de rugosidade dos pré-testes para avaliação dos aditivos. ....	109
Figura 42 - Medidas de rugosidade dos pré-testes para avaliação do aditivo (A <sub>3</sub> ) nas seguintes concentrações: 4%, 8% e 10%. ....	109
Figura 43 - Valores de concentrações antes do ajuste para cada ciclo de retificação. .....	110
Figura 44 - Valores de concentrações depois do ajuste para cada ciclo de retificação .....	111
Figura 45 - Valores de pH para cada ciclo de retificação. ....	112
Figura 46 - Valores de análise de corrosão em ferro fundido para cada ciclo de retificação.....	113
Figura 47 - Monitoramento dos valores diários de pH.....	113
Figura 48 - Análise de corrosão em ferro fundido. ....	115

Figura 49 - Medidas semanais de concentração antes do ajuste.....	116
Figura 50 - Medidas semanais de concentração depois do ajuste.....	117
Figura 51 - Monitoramento dos valores diários de pH.....	117
Figura 52 - Análises semanais de corrosão em ferro fundido. ....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos fluidos de corte .....	34
Tabela 2 - Características dos óleos parafínicos e naftênicos. ....	35
Tabela 3 - Composição de aditivos nos tipos de óleos solúveis.....	37
Tabela 4 - Biocidas não-oxidantes frequentemente usados no controle de contaminações em sistemas de fluido de corte .....	50
Tabela 5 - Efetividade microbiológica conhecida dos biocidas mais utilizados no segmento industrial de usinagem de metais. ....	51
Tabela 6 - Classificação quanto à dureza da água .....	56
Tabela 7 - Composição química do aço ABNT 4340 em % em massa. ....	63
Tabela 8 - Condições de usinagens utilizadas. ....	65
Tabela 9 - Matriz de experimentos para realização dos ensaios de retificação. ....	66
Tabela 10 - Ensaios típicos. ....	68
Tabela 11 - Técnicas de caracterização e procedimentos experimentais da 1ª Fase da pesquisa. ....	72
Tabela 12 - Técnicas de caracterizações e procedimentos experimentais da 2ª Fase da pesquisa. ....	73
Tabela 13 - Técnicas de caracterizações e procedimentos experimentais da 3ª fase da pesquisa. ....	73
Tabela 14 - Técnicas de caracterizações e procedimentos experimentais da 4ª fase da pesquisa. ....	74
Tabela 15 - Fator de correção para medidas de concentração da emulsão obtida empregando o refratômetro. ....	77
Tabela 16 - Como reportar a corrosão .....	84
Tabela 17 - Caracterização físico-química do fluido de corte emulsionável antes e após-processo de retífica em um período de seis meses. ....	97
Tabela 18 - Valores das contagens microbiológicas. ....	102
Tabela 19 - Valores das contagens microbiológicas .....	104
Tabela 20 - Valores das contagens microbiológicas. ....	112
Tabela 21 - Valores das contagens microbiológicas .....	114
Tabela 22 - Valores das contagens microbiológicas .....	118

## LISTA DE SIGLAS

A/O	Água em óleo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CDP	Corpo de Prova
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DIN	Deutsches Institut für Normung = Instituto Alemão para Normatização
E.P.	Extrema Pressão
EDTA	Ethylenediamine tetraacetic acid
F.E.	Formação de Espuma
I.A.T.	Índice de Acidez Total
ISO	International Organization for Standardization = Organização Internacional para Normalização.
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
pH	Potencial Hidrogeniônico
O/A	Óleo em água
UFC	Unidade Formadora de Colônias
HRc	Dureza Rockwell - escala "c"
TTC	2,3,5-Triphenyl-tetrazolium chloride



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a	Profundidade de usinagem (mm)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de alumínio
a <sub>d</sub>	Profundidade de dressagem (mm)
CSt	Centistokes
f <sub>c</sub>	Fator de correção
g	Gramas
L	Litros
mL	Mililitros
μS	Microsiemens
ρ	Densidade
V <sub>f</sub>	Velocidade de mergulho (mm/min)
V <sub>j</sub>	Vazão do fluido de corte (L/min)
V <sub>s</sub>	Velocidade de corte do rebolo (m/s)
V <sub>w</sub>	Rotação da peça (rpm)
R <sub>a</sub>	Rugosidade média (μm)
t <sub>s</sub>	Tempo de centelhamento
v v <sup>-1</sup>	Volume por volume

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>23</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 PROCESSO DE RETIFICAÇÃO</b> .....	<b>25</b>
3.1.1 Características do processo de retificação .....	26
3.1.1.1 Dressagem.....	26
3.1.1.2 O ciclo de retificação cilíndrica de mergulho.....	27
3.1.2 Danos nas peças na retificação .....	28
<b>3.2 FLUIDOS DE CORTE</b> .....	<b>29</b>
3.2.1 Fluido de corte integral ou óleo de corte puro.....	31
3.2.2 Fluido de corte solúveis em água .....	31
3.2.2.1 Fluidos emulsionáveis convencionais .....	32
3.2.2.2 Semissintéticos (Microemulsões).....	33
3.2.2.3 Sintéticos (Soluções) .....	33
<b>3.3 COMPARAÇÕES ENTRE OS QUATRO PRINCIPAIS FLUIDOS DE CORTE</b> .....	<b>34</b>
<b>3.4 COMPOSIÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE</b> .....	<b>34</b>
<b>3.5 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS DE CORTE</b> .....	<b>37</b>
<b>3.6 EMULSÕES</b> .....	<b>40</b>
3.6.1 Tipos de emulsões.....	40
3.6.2 Preparo, estocagem e estabilidade das emulsões.....	40
3.6.3 Contaminação das emulsões.....	42
3.6.4 Controle das emulsões .....	44
<b>3.7 PRODUÇÃO LIMPA</b> .....	<b>45</b>
3.7.1 Biocidas e estratégias de controle microbiológico industrial .....	48
3.7.2 Classificação dos biocidas .....	49
3.7.3 Poluição ambiental causada pelo descarte ilegal de fluidos de corte .....	54

<b>3.8 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO EMPREGADAS PARA AVALIAÇÃO DO FLUIDO DE CORTE MINERAL EMULSIONÁVEL.....</b>	<b>56</b>
3.8.1 Dureza da água .....	56
3.8.2 Concentração.....	57
3.8.3 Densidade ( $\rho$ ) .....	57
3.8.4 Viscosidade .....	57
3.8.5 pH .....	58
3.8.6 Índice de acidez total (I.A.T.) .....	58
3.8.7 Contagem microbiológica .....	58
3.8.8 Percentual de espuma formado .....	58
3.8.9 Teste de estabilidade.....	59
3.8.10 Teste de corrosão .....	59
3.8.11 Determinação da DQO .....	59
3.8.12 Determinação de sólidos totais .....	59
3.8.13 Determinação da condutividade.....	59
3.8.14 Teste de solubilidade .....	60
3.8.15 Rugosidade.....	60
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1 EQUIPAMENTO E ACESSÓRIOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2 CORPOS DE PROVA .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3 REBOLO, DRESSADOR E PARÂMETROS DE DRESSAGEM .....</b>	<b>64</b>
<b>4.4 CONDIÇÕES UTILIZADAS NOS ENSAIOS .....</b>	<b>64</b>
<b>4.5 SISTEMA DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>4.6 PREPARO DA EMULSÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>4.7 MÉTODOS EXPERIMENTAIS DAS FASES DA PESQUISA.....</b>	<b>69</b>
4.7.1 Medida da dureza da água .....	71
4.7.2 Concentração.....	76
4.7.3 Densidade.....	78
4.7.4 Viscosidade .....	78

4.7.5 pH .....	79
4.7.6 Índice de Acidez Total (I.A.T.).....	80
4.7.7 Contagem microbiológica .....	81
4.7.8 Percentual de espuma formado .....	82
4.7.9 Teste de estabilidade.....	83
4.7.10 Teste de corrosão .....	83
4.7.11 Determinação da DQO .....	83
4.7.12 Determinação de sólidos totais .....	85
4.7.13 Determinação da condutividade.....	86
4.7.14 Teste de solubilidade .....	86
4.7.15 Rugosidade.....	86
<b>4.8 AJUSTES DOS PARÂMETROS AFETADOS DA 2ª FASE.....</b>	<b>87</b>
<b>4.9 ADITIVOS UTILIZADOS PARA PRÉ-TESTES NA 3ª FASE .....</b>	<b>88</b>
<b>4.10 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS EMULSÕES ADITIVADAS.....</b>	<b>89</b>
<b>4.11 AJUSTES DOS PARÂMETROS AFETADOS DA 3ª FASE.....</b>	<b>90</b>
<b>4.12 AJUSTES DOS PARÂMETROS AFETADOS DA 4ª FASE.....</b>	<b>90</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>92</b>
<b>5.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 1ª FASE.....</b>	<b>92</b>
5.1.1 Medida da dureza da água utilizada na formação da emulsão .....	92
5.1.2 Monitoramento do comportamento da emulsão no processo de retificação .....	92
5.1.3 Caracterizações físico-químicas da degradabilidade da emulsão .....	96
<b>5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 2ª FASE.....</b>	<b>100</b>
5.2.1 Monitoramento do comportamento da emulsão no processo de retificação e realização de ajustes dos parâmetros afetados.....	100
<b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 3ª FASE.....</b>	<b>108</b>
5.3.1 Solubilidade .....	108
5.3.2 Estabilidade .....	108

5.3.3 Pré-testes para avaliação do desempenho dos aditivos.....	108
5.3.4 Monitoramento da emulsão de fluido de corte aditivada no processo de retificação e realização de ajustes dos parâmetros afetados. ....	110
<b>5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 4ª FASE .....</b>	<b>116</b>
5.4.1 Monitoramento do comportamento da emulsão e realização de ajustes dos parâmetros afetados.....	116
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>120</b>
<b>7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>123</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>124</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o início do século passado, os processos de fabricação vêm sendo sistemática e cientificamente desenvolvidos e analisados. Em muitos casos sempre se tentou alcançar a máxima eficiência associando as questões econômicas às condições e recursos utilizados para a manufatura. A tarefa de fabricar um produto e, por meio do uso de energia, manufaturá-lo, inevitavelmente gera questionamentos a respeito de seus resíduos e desperdícios. Em busca de soluções e formas de melhorar os processos de fabricação é essencial que os processos convencionais sejam substituídos por novos métodos que permitam o alcance da mínima contaminação ambiental em conjunto com tecnologias que provém alta confiabilidade e condições economicamente aceitáveis. Frente aos aspectos éticos e econômicos, deve-se considerar a ecologia no mesmo nível de atenção com outros fatores de planejamento, avaliação de produtos e métodos de produção (PFEIFER, T. et al. apud SOKOVIC´; MIJANOVIC´, 2001).

A consciência ambiental que cresce consideravelmente a cada ano, e os problemas com o descarte, pressionado por uma legislação mais severa, obriga as indústrias a se aprofundarem nas questões de compatibilidade ambiental das suas produções (TESSARO, 2008). Em muitos casos, os processos de manufatura atuais não são adequadamente limpos e produzem substâncias que poluem o ar, água e solo (SOKOVIC´; MIJANOVIC´, 2001), conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Poluição dos processos de produção no meio ambiente.



Fonte: SOKOVIC´; MIJANOVIC´, 2001, p.182.

Como parte integrante dos processos de manufatura industrial, encontram-se os processos de usinagem, que consistem em dar forma às peças e acessórios

por meio da remoção de cavacos, sendo necessário, na maioria dos processos, de um agente, o fluido de corte, que desempenha diversas funções com o propósito de se obter benefícios tecnológicos no processo (DRODZDA; WICK apud DIAS et al., 2006).

Os fluidos de corte têm sido usados na indústria desde os tempos dos antigos egípcios, mas sua formulação e o estudo de seu mecanismo de uso somente foram investigados durante os dois últimos séculos (CHENG; PHIPPS; ALKHADDAR, 2005).

Fluidos de corte são amplamente utilizados como refrigerante e lubrificante durante o processo de usinagem. A demanda mundial anual é estimada em mais de  $2 \times 10^9$  litros e os resíduos gerados podem chegar a um volume 10 vezes maior, pois são diluídos antes do uso. Para as indústrias no Reino Unido, o custo de disposição é estimado em até 16 milhões de euros por ano (CHENG; PHIPPS; ALKHADDAR, 2005).

No Brasil, este impacto ambiental é assistido pela Legislação Federal lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe de sanções penais e administrativas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. Essa lei descreve que se o crime tornar uma área urbana ou rural imprópria para a ocupação humana devido ao lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em lei ou regulamento, a pena é a reclusão de 5 anos. Nas mesmas penas incorre quem abandona seus produtos ou substâncias referido no caput ou os utiliza em desacordo com as normas ambientais ou de segurança, quem manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa em lei ou regulamento incluído pela lei Nº 12.305 de 2010 com detenção, de seis meses a um ano, e multa.

A necessidade cada vez maior de uma técnica de produção não agressiva ao meio ambiente e o rápido crescimento dos custos de disposição dos fluidos de corte tem justificado a demanda por uma alternativa ao processo de usinagem com fluidos (SAHM; SCHNEIDER, 1996; DUNLAP, 1997; KLOCKE et al. 1998; MACHADO; DINIZ, 2000; SILVA et al., 2007).

A tendência mundial atual é produzir peças cada vez mais sofisticadas, com elevado grau de tolerância geométrica, dimensional e acabamento superficial,

com baixo custo e sem geração de resíduos. Assim, os fluidos de corte que normalmente são utilizados para as operações de usinagem, são descartados no meio ambiente, o que nos dias atuais não é mais viável pelo rigor das leis, da fiscalização e de um novo conceito de produzir com a adoção do “selo verde” (MONICI, BIANCHI, AGUIAR, 2004).

Sendo assim e a fim de satisfazer as exigências ambientais, tornam-se necessárias pesquisas que tenham como objetivos a redução do descarte de tais fluidos no meio ambiente por meio do prolongamento do tempo de vida, sem sacrifício do seu desempenho técnico, assim como a reformulação dos fluidos de corte, a fim de atender melhorias no processo e a sua posterior análise nos processos de usinagens, contribuindo dessa forma para uma manufatura ecologicamente correta.



## 2 OBJETIVOS

A realização deste trabalho tem como objetivo principal monitorar e avaliar a degradabilidade do fluido de corte mineral emulsionável, realizar ajustes nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos afetados visando um aumento de tempo de vida e propor uma reformulação do fluido de corte por meio da incorporação de aditivos no processo de retificação com avaliação do desempenho técnico pelas variáveis de saída. Para isso, o presente trabalho foi dividido em 4 fases que tem como objetivos específicos:

### 1ª Fase:

- ❖ Analisar a dureza da água utilizada para formação da emulsão;
- ❖ Monitorar o fluido de corte mineral emulsionável a cada ciclo de 9 usinagens por meio dos parâmetros de concentração, densidade e viscosidade a cada ciclo de produção regular de 105 peças no processo de retificação;
- ❖ Caracterizar a degradação do fluido mineral emulsionável para avaliar as mudanças nas propriedades ocorridas no processo: antes e após produção de 1.074 peças num um período de seis meses, por meio de análises físico-químicas: densidade ( $\rho$ ), Índice de Acidez Total (I.A.T.), viscosidade, pH, contagem de micro-organismos, percentual de espuma formado, teste de estabilidade, teste de corrosão, determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO), determinação de sólidos totais e determinação da condutividade;
- ❖ Determinar quais os parâmetros importantes na degradação do fluido de corte.

### 2ª Fase:

- ❖ Monitorar o fluido de corte mineral emulsionável a cada ciclo de 12 usinagens com produção regular de 105 peças no processo de retificação por meio de análises de concentração, pH, contagem microbiológica e teste de corrosão.
- ❖ Realizar intervenções por meio de ajustes das propriedades afetadas do fluido de corte mineral emulsionável visando um aumento de tempo de vida do

fluido durante um período de 4 meses para que ele opere dentro das especificações do fabricante com o uso de biocida a base de triazina.

### **3ª Fase:**

❖ Avaliar a adição de aditivos na formulação do fluido de corte visando a melhoria do processo.

❖ Monitorar o fluido de corte reformulado a cada ciclo de 9 usinagens com produção regular de 105 peças no processo de retificação por meio de análises de concentração, pH, contagem microbiológica e teste de corrosão.

❖ Realizar intervenções por meio de ajuste das propriedades afetadas, visando um aumento do tempo de vida do fluido durante um período de 3 meses.

### **4ª Fase:**

❖ Monitorar o fluido de corte por meio de análises de concentração, pH, contagem microbiológica e teste de corrosão.

❖ Realizar intervenções por meio de ajuste das propriedades afetadas, visando um aumento do tempo de vida do fluido durante um período de 2 meses com o uso de biocida a base de 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo destina-se a apresentar uma revisão da literatura englobando os principais aspectos do processo de retificação, fluidos de corte, composição, degradabilidade, aditivos, biocidas, desempenho, estratégias de aumento de tempo de vida, técnicas e parâmetros empregados na avaliação do fluido mineral emulsionável.

#### 3.1 PROCESSO DE RETIFICAÇÃO

A usinagem abrange as operações nas quais uma fina camada de material, denominada cavaco, é removida por uma ferramenta cortante (TRENT apud HASSUI, 1997).

Especificamente, a retificação é um processo de usinagem que utiliza partículas abrasivas como ferramentas cortantes (MALKIN apud HASSUI, 1997). A remoção do material é feita por meio da interação de grãos abrasivos presentes em uma ferramenta que avança sobre uma peça em condições de elevada velocidade (ARAÚJO, 2010).

O processo de retificação ao longo dos tempos vem sendo considerado como um dos mais importantes da manufatura, tendo como objetivo melhorar o acabamento superficial e garantir a integridade das peças acabadas (VIEIRA JÚNIOR apud CATAI, 2004).

A retificação é o processo de usinagem mais utilizado quando há a necessidade de uma elevada qualidade superficial, dimensional ou geométrica da peça usinada (HASSUI, 1997).

Trata-se de um processo de alta precisão e importância, uma vez que é inaceitável perder uma peça nesta etapa, pois o valor agregado ao material nesta fase é elevado devido aos vários processos que antecedem a retificação (SOARES; OLIVEIRA apud CATAI, 2004).

As características que distinguem a retificação dos demais processos de usinagem é que, nessa, durante o corte, tem-se várias arestas atuando simultaneamente com geometrias de corte desconhecida, pois a distribuição de arestas na superfície é aleatória, são muitas variáveis que influenciam o processo que é muito sensível às pequenas oscilações de variáveis, além da obtenção de

tolerâncias apertadas e baixa rugosidade, com baixa capacidade de remoção de cavacos (HASSUI, 1997; ARAÚJO, 2010).

Um dos principais fatores que limita o processo de retificação são os danos térmicos, que pode ser reduzido com o uso do fluido de corte que tem como objetivo remover o calor gerado da interação da peça com o rebolo e lubrificar as duas superfícies de contato, a fim de diminuir a quantidade de atrito (IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005).

### **3.1.1 Características do processo de retificação**

Segundo Araújo (2010), os processos de retificação podem ser classificados de acordo com a operação do rebolo e forma das superfícies geométricas produzidas.

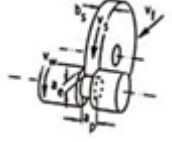

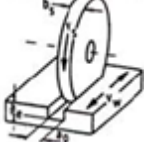
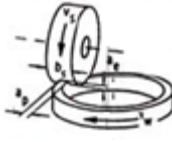
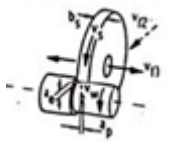

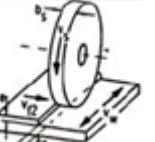

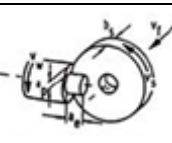
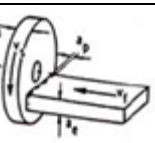
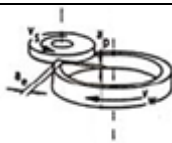
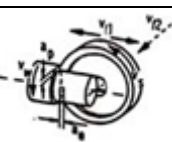

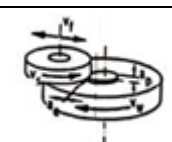
De acordo com Oliveira citado por Araújo (2010), uma classificação amplamente adotada sobre o processo de retificação baseia-se na norma DIN 8589. A Figura 2 ilustra os diferentes tipos de processo de retificação.

#### **3.1.1.1 Dressagem**

Também conhecida como dressamento, diamantação ou retificação do rebolo, é o processo em que o rebolo tem sua face de trabalho usinada com o uso de uma ferramenta, chamada de dressador. A dressagem de um rebolo tem três finalidades principais: a obtenção de concentricidade da superfície de trabalho com o eixo de rotação, o perfilamento da superfície de trabalho para uma operação de forma e o arrancamento dos grãos abrasivos gastos para melhorar a agressividade da face de trabalho (OLIVEIRA apud ARAÚJO, 2010).

Neste trabalho foi utilizada a retificação cilíndrica externa tangencial de mergulho com a peça fixada entre centros. Neste tipo de retificação, a peça e o rebolo possuem movimento de rotação e o rebolo avança perpendicularmente à superfície retificada, sem apresentar o movimento paralelo à mesma. Além disso, este processo é utilizado quando a espessura do rebolo é maior do que o comprimento a ser retificado e dispensa também o movimento da mesa de tal maneira que se trabalha somente com os avanços do rebolo que se processam sobre a peça de forma contínua.

Figura 2 - Operações de retificação segundo norma DIN 8589.

	Cilíndrica Externa	Cilíndrica Interna	Plana	Rotativa
Tangencial de Mergulho				
Tangencial de Passagem				
Lateral de Mergulho				
Lateral de Passagem				

Fonte: OLIVEIRA adaptada por ARAÚJO, 2010, p.77.

### 3.1.1.2 O ciclo de retificação cilíndrica de mergulho

Segundo Oliveira citado por Hassui (1997), define-se o ciclo de retificação como o conjunto de etapas que ocorrem em uma operação desde a colocação até a saída da peça, dentro de especificações pré-determinadas, da máquina. Para cada uma das etapas é associado um tempo, cuja somatória irá resultar no tempo total de retificação.

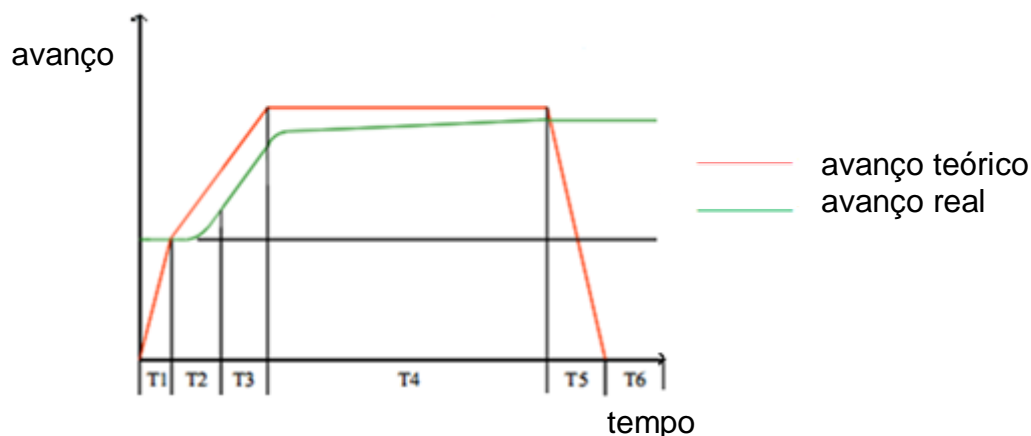
A Figura 3 representa o ciclo de retificação ideal comparado com um real.

Segundo Oliveira citado por Hassui (1997) na Figura 3 observa-se que o ciclo de retificação é composto das seguintes etapas:

- ❖  $T_1$ : movimento do rebolo em direção à peça sem remoção de material com avanço de trabalho.

- ❖  $T_2$ : início do contato rebolo-peça. Nesta fase acontecem deformações elásticas da peça e do eixo do rebolo com consequente atraso do avanço real em relação ao teórico. Também é nesta fase que inicia a geração de cavaco.

Figura 3 - Representação do ciclo de retificação cilíndrica de mergulho.



Fonte: adaptado de HASSUI, 1997, p.24.

❖  $T_3$ : remoção de material com avanço real igual ao avanço nominal (ou teórico).

❖  $T_4$ : fase de centelhamento, faiscamento ou “*spark out*”. Nesta fase mantém-se o rebolo na posição final de avanço, enquanto, a peça e o eixo do rebolo recuperam-se da deformação elástica sofrida no início do ciclo. Nesta fase atinge-se o diâmetro final da peça e, sem ela muito provavelmente não conseguir-se-ia as tolerâncias de forma, nem a rugosidade necessárias à peça, já que o diâmetro da peça no início do centelhamento ainda é bem diferente do diâmetro final desejado.

❖  $T_5$ : recuo do rebolo

❖  $T_6$ : tempo gasto com uma possível dressagem. Este tempo é constituído por tempo de deslocamento do rebolo até o dressador, mais o tempo de dressagem e o tempo de retorno do rebolo à posição de corte. Caso a retificação seja manual, tem-se ainda o tempo de correção da posição do rebolo.

### 3.1.2 Danos nas peças na retificação

O processo de retificação é submetido a elevadas temperaturas na região de corte, o que pode causar grandes problemas para a peça, como o surgimento de microtrincas, queima, danos macroestruturais e o aparecimento de tensões superficiais (SHAW; MALKIN apud SILVA et al., 2011).

O mais notável e mais severo tipo de dano sofrido pelas peças é conhecido como queima, que pode ocorrer quando a energia e aquecimento gerados pelo processo de retificação são capazes de produzir descoloração e manchas que pode ser visto nas peças (BADGER; TORRANCE apud IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005; CHANG; SATOSH; MASAHIRO apud IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005). Entretanto, a queima da peça pode ocorrer mesmo quando nenhuma falha física é observada (BADGER; TORRANCE apud IRANI; BAUER; WARKENTIN; ROWE; COMACK; JIM apud IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005). Como a temperatura da superfície aumenta, a microestrutura do material pode mudar, podendo variar a dureza. Além disto, estas variações na estrutura podem resultar em tensões internas prejudiciais (BADGER; TORRANCE apud IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005, CHANG; SATOSH; MASAHIRO apud IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005). Se o material é sensível o suficiente, a peça trabalhada pode até trincar devido à tensão residual ou expansão térmica localizada a partir do processo de retificação, fato mais comum em cerâmica (DESA; BAHADUR apud IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005).

### **3.2 FLUIDOS DE CORTE**

Fluidos de corte são uma parte integrante dos processos de fabricação de peças por meio da remoção de cavacos, dentro do sistema que compreende a máquina operatriz, as ferramentas de corte, as peças em produção e o fluido de corte (RUNGE; DUARTE, 1990).

Fluidos de corte são aplicados à zona de retificação para limitar a geração de calor pela redução de atrito por meio de suas propriedades lubrificantes e reduzindo o aquecimento por condução devido a energia gerada (IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005). Os requisitos básicos que devem ser cumpridos pelos fluidos de corte além da refrigeração e lubrificação são a remoção eficiente dos cavacos gerados na região de retificação e proteção contra a corrosão (EBBRELL apud IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005, WEBSTER; CUI apud IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005, MARINESCU apud ALBERDI, 2011). A Figura 4 ilustra a aplicação do fluido de corte em uma peça metálica sendo usinada.

Figura 4 - Aplicação de fluido de corte.



Fonte: dados da autora.

Há uma grande variedade de fluidos disponíveis que são divididos em quatro classes e agrupados em dois tipos básicos: os fluidos de corte integrais, compreendidos pelos óleos integrais e os fluidos de corte solúveis em água, que podem ser subdivididos em emulsões e sintéticos (soluções). Os fluidos formadores de emulsões podem ser subdivididos em convencionais e semissintéticos conforme ilustra a Figura 5 (RUNGE; DUARTE, 1990).

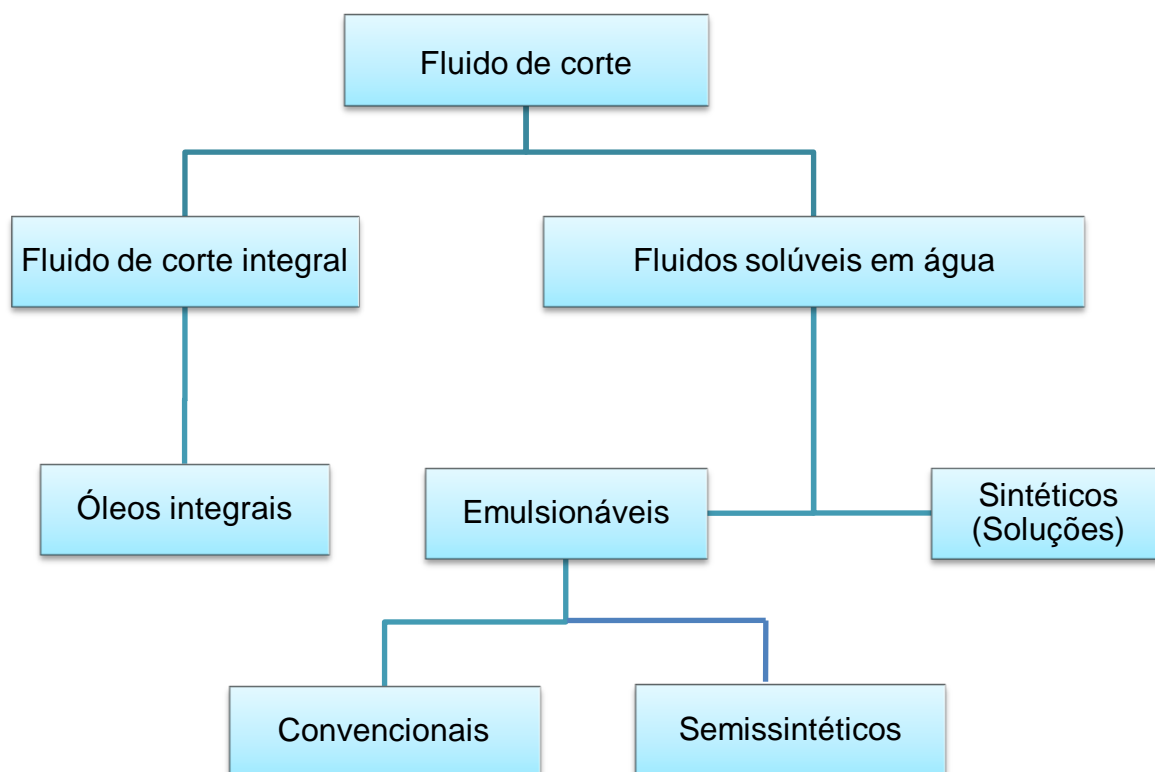
Também ocorre a utilização de ar como fluido gasoso como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (RUNGE; DUARTE, 1990) e também as pastas e lubrificantes sólidos que são aplicados manualmente sobre a peça e na ferramenta em operações de mandrilhamento (SILVA apud CATAI, 2004).

Dos tipos de fluidos comercializados, destacam-se as emulsões e os óleos integrais que representam respectivamente, 38 e 29% do total de vendas. Em seguida estão os sintéticos (25%) e as pastas e lubrificantes sólidos (4% cada um) (GONÇALVES, 2011).

O fluido de corte estudado nesta pesquisa foi do tipo mineral emulsionável, por ser um dos mais utilizados no segmento, apresentando uma relação custo/benefício mais atraente em comparação aos demais tipos de fluido disponível.



Figura 5 - Tipos de fluidos de corte.



Fonte: adaptada de RUNGE; DUARTE, 1990.

### 3.2.1 Fluido de corte integral ou óleo de corte puro

Os óleos de corte puros, chamados também de óleos ou fluidos integrais (DINIZ et al., FERRARESI apud RAEL, 2004), não são misturados à água para operações de usinagem. São encontrados numa variedade muito grande em relação a sua viscosidade e níveis de aditivação (MUNIZ, 2008). Recomenda-se usar o óleo puro em operações nas quais o calor gerado por atrito é muito grande, principalmente em operações de desbastes pesados (DINIZ et al. apud RAEL, 2004).

### 3.2.2 Fluido de corte solúveis em água

O efeito positivo do uso de fluidos no corte de metais foi primeiramente descrito em 1894 por F. Taylor, que relatou que, quando aplicado uma grande quantidade de água na área de corte, a velocidade de corte poderia aumentar 33% sem redução tempo de vida da ferramenta (ÁVILA; ABRÃO, 2001).

A água, apesar de ter sido o primeiro fluido de corte utilizado, e apresentar baixo custo, ser não inflamável, atóxica, possuir baixa viscosidade, alta taxa de evaporação e alto calor específico, seu baixo poder umectante e lubrificante junto ao alto poder de corrosão faz com que ela não seja um bom fluido de corte, e por isso foi substituída por óleos puros (integrals) e óleos emulsionáveis, com o propósito de conciliar a refrigeração à lubrificação (FERRARESI, NOVASKI; RIOS apud RAEL, 2004).

O uso de água juntamente com derivados do petróleo resultou em um sistema de amplo uso, oferecendo vantagem de refrigeração (proporcionada pela água) e de lubrificação (gerada pelos derivados do petróleo) (BIANCHI et al., 2008).

### **3.2.2.1 Fluidos emulsionáveis convencionais**

Nas emulsões, o óleo mineral está disperso em formas de gotículas na água, devido à presença de emulsificantes, os quais reduzem o tamanho das gotículas de óleo mineral, mantendo-as dispersas e conferindo às mesmas, cargas repulsivas, evitando assim sua coalescência. As emulsões apresentam menor poder de lubrificação e maior poder de refrigeração que o óleo integral (SILVA et al., 2004).

A concentração do óleo mineral no fluido, antes da formação da emulsão, encontra-se entre 50 a 80% v v<sup>-1</sup> (SCANDIFFIO, 2000). Este sistema torna-se um ambiente favorável à manutenção e reprodução de uma ampla variedade de micro-organismos, que acabam por alterar as propriedades do fluido e reduzir o seu tempo de vida (BIANCHI et al., 2008), além de ser muito prejudicial aos operadores devidos as toxinas microbianas geradas pelas bactérias e fungos (ZEMAN apud LAWAL, CHOUDHURY, NUKMAN, 2012). Por isso, as emulsões necessitam de cuidados especiais em relação à qualidade da água utilizada, ao controle de micro-organismos, ao pH e à concentração da emulsão (SILVA et al., 2004).

As propriedades físico-químicas das emulsões podem ser melhoradas segundo Maia et al. (2007) pela seleção criteriosa dos aditivos, tais como biocidas, antiespumantes, emulgadores, anticorrosivos dentre outros. Contudo, as características lubrificantes e refrigerantes também podem ser alteradas por meio

da concentração que depende das necessidades do processo. De acordo com Brinksmeir (1999), a concentração de óleo em emulsões utilizadas no processo de retificação estão entre 2 e 15% v v<sup>-1</sup>.

### **3.2.2.2 Semissintéticos (Microemulsões)**

Segundo Muniz (2008), fluidos semissintéticos são fluidos que contêm uma menor quantidade de óleo mineral quando comparado aos fluidos emulsionáveis convencionais. A variação da concentração de óleo mineral no fluido, antes da formação da emulsão, encontra-se entre 20 a 50% v v<sup>-1</sup> (SCANDIFFIO, 2000) e quando misturados com água formam emulsões muito finas (microemulsão). Um termo mais apropriado para este tipo de fluido de corte seria óleo solúvel com baixo teor de óleo mineral (MUNIZ, 2008).

El Baradie (1996a) cita que fluidos semissintéticos apresentam vantagens e limitações semelhantes aos dos fluidos sintéticos, apresetando propriedades lubrificantes melhores do que os fluidos sintéticos. Eles também são mais limpos, com melhor controle de ferrugem do que os óleos emulsionáveis.

Uma desvantagem comum de óleos solúveis é a baixa estabilidade da emulsão, pois há uma propensão do óleo separar da emulsão. Os fluidos semissintéticos possuem boa lubrificação para retificação de moderada a pesada. Além disso, eles são constituídos de menos óleo mineral que os solúveis, mas requerem uma alta qualidade da água e tendem a formar espuma facilmente. A espuma pode inibir a transferência de calor, pois limita a quantidade de fluido em contato entre a ferramenta e a peça (IRANI, BAUER, WARKENTIN, 2005).

### **3.2.2.3 Sintéticos (Soluções)**

Segundo Sales (1999), estes fluidos de corte caracterizam-se por não conterem óleo mineral em sua composição. Baseiam-se em substâncias químicas que são solúveis em água. Consistem de sais orgânicos e inorgânicos, aditivos de lubricidade, biocidas e inibidores de corrosão entre outros adicionados à água. Apresentam um tempo de vida maior uma vez que são menos metabolizáveis pelas bactérias reduzindo o número de trocas da máquina. Formam soluções

transparentes, resultando em boa visibilidade do processo de corte. Possuem agentes umectantes que melhoram bastante as propriedades refrigerantes da solução. As soluções são estáveis mesmo em água dura. Os fluidos sintéticos são chamados de refrigerantes químicos ou soluções verdadeiras e apresentam boas propriedades refrigerantes e proteção anticorrosivas.

As desvantagens desse fluido são o baixo poder lubrificante, a formação de compostos insolúveis e de espuma para determinadas operações (EL BARADIE, 1996a).

### 3.3 COMPARAÇÕES ENTRE OS QUATRO PRINCIPAIS FLUIDOS DE CORTE

A Tabela 1 destaca e classifica as propriedades dos quatro principais tipos de fluidos de usinagem, mostrando que não há fluidos perfeitos em todos os aspectos (WEBSTER apud IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005).

Tabela 1 - Características dos fluidos de corte

	Sintético (Soluções)	Semissintético	Emulsionável convencional	Óleo integral
Calor removido	4	3	2	1
Lubrificação	1	2	3	4
Manutenção	3	2	1	4
Filtrabilidade	4	3	2	1
Danos ambientais	4	3	2	1
Custo	4	3	2	1
Tempo de vida	1	2	3	4

1-pior; 4-melhor.

Fonte: WEBSTER adaptada por IRANI; BAUER; WARKENTIN, 2005.

### 3.4 COMPOSIÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE

O principal constituinte dos fluidos de corte são as bases lubrificantes que são obtidas do refino do petróleo cru, os chamados óleos básicos minerais e da síntese de compostos relativamente puros com propriedades adequadas para o

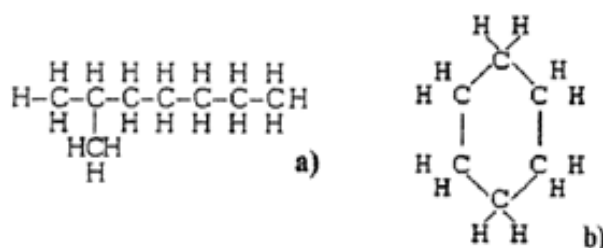
uso como lubrificantes, chamadas bases sintéticas (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Os óleos básicos minerais podem ser classificados de acordo com sua origem em naftênicos e parafínicos, séries estas que são diferenciadas pela relação numérica entre o número de átomos de carbono e hidrogênio (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

❖ Compostos da série parafínica –  $C_nH_{2n+2}$ . Estes compostos são alcanos de cadeias carbônicas lineares ou ramificadas exemplificados conforme ilustra a Figura 6a.

❖ Compostos da série naftênica –  $C_nH_{2n}$ . Estes compostos são cicloparafinas de cadeias carbônicas cíclicas exemplificados conforme Figura 6b.

Figura 6 - Compostos da série parafínica (A) e naftênica (B).



Fonte: RAEL, 2004, p.32

Estes dois tipos de óleos apresentam propriedades peculiares que os indicam para umas aplicações, e não são indicados para outras. A Tabela 2 destaca as principais características dos óleos parafínicos e naftênicos.

Tabela 2 - Características dos óleos parafínicos e naftênicos.

<b>Características</b>	<b>Parafínicos</b>	<b>Naftênicos</b>
Ponto de fluidez	Alto	Baixo
Índice de viscosidade	Alto	Baixo
Resistência à oxidação	Grande	Pequena
Oleosidade	Pequena	Grande
Resíduo de carbono	Grande	Pequeno
Emulsibilidade	Pequena	Grande

Fonte: CARRETEIRO; BELMIRO, 2006.

Além do óleo básico mineral, na formulação de um óleo de corte, também é necessário ter aditivos que atuam com o objetivo de melhorar o desempenho do produto final (GUIMARÃES, 2006). Os aditivos aumentam a eficiência dos fluidos de corte, reforçando-os e conferindo características necessárias às exigências das máquinas modernas. De acordo com Petrobrás citado por Muniz (2008), os aditivos podem ser classificados em:

❖ Emulsificantes: são produtos químicos utilizados na fabricação de fluidos de corte que conferem ao óleo mineral a propriedade de formar emulsões estáveis do tipo água em óleo (A/O) ou óleo em água (O/A), nas quais o óleo mantém suas propriedades.

❖ 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 ou, no caso dos motores de combustão interna, ácidos formados na combustão.

❖ Biocidas: reduzem a população de micro-organismos (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, pneumonia).

❖ Antiespumante: são agentes químicos que previnem e reduzem a formação de espuma estável devido à aglutinação das minúsculas bolhas de ar que se encontram na superfície do óleo, com a conseqüente formação de bolhas maiores, que em contato com o ar ambiente se desfazem com maior facilidade.

❖ Óleos graxos: são de origem vegetal ou animal. Possuem boa capacidade de molhar o material da peça e da ferramenta. Em virtude do alto preço tem sido substituído pelos óleos de extrema pressão (E.P.). Apresentam boa capacidade lubrificante. Os óleos graxos mais comuns são: óleo de tocinho e óleo de baleia (FERRARESI apud RAEL, 2004).

❖ Agentes de Oleosidade, Resistência de Película, Extrema Pressão (E.P.) e Antidesgaste: reduzem o atrito e o desgaste entre peça e reboło (SANTOS apud GUIMARÃES, 2006).

Na Tabela 3, pode-se observar as características de cada tipo de fluido de corte solúvel, bem como a presença e a concentração de aditivos (SCANDIFFIO, 2000).

Tabela 3 - Composição de aditivos nos tipos de óleos solúveis.

<b>Aditivos</b>	<b>Base mineral</b>	<b>Semissintético</b>	<b>Sintético</b>
Óleo mineral ( $v v^{-1}$ )	50-80%	20- 50%	0
Emulgadores	Média concentração	Alta concentração	Baixa concentração
Tipo de emulsão	Leitosa ou translúcida	Translúcida	Solução
Lubrificantes	Alta concentração	Alta concentração	Baixa concentração
Anticorrosivos	Média concentração	Alta concentração	Alta concentração
Biocidas	Sim	Sim	Sim
Antiespumantes	Sim	Sim	Não
Água	Não	Sim	Sim
Aditivos E.P.	Sim/não	Sim/não	Não

Fonte: adaptado de SCANDIFFIO, 2000, p.7.

Os aditivos E.P. e antidesgaste são utilizados para aumentar as propriedades de lubrificação. O uso de cloro como aditivo para fluido de corte vem encontrando restrições em todo o mundo, devido aos danos que este causa ao meio ambiente e à saúde humana. Por esta razão procura-se substituir o cloro por aditivos a base de enxofre e cálcio. Usam-se ainda gordura e óleos animal e vegetal para melhorar as propriedades de lubrificação (MACHADO et al., 2009).

### 3.5 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS DE CORTE

Para Muniz (2008), um fluido de corte deve ter as seguintes propriedades para apresentar um bom desempenho:

❖ **Calor específico:** é uma grandeza física que define a variação térmica de determinada substância ao receber uma certa quantidade de calor, essa propriedade varia significativamente com a temperatura, e mostra aumentos significativos relacionados à maior polaridade da molécula e/ou à ligação de hidrogênio presente.

❖ **Condutividade térmica:** propriedade que quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica. A condutividade térmica dos hidrocarbonetos líquidos varia de  $0,14 \text{ W m}^{-2} \text{ K}$  a  $0^\circ\text{C}$  até  $0,11 \text{ W m}^{-2} \text{ K}$  a  $400^\circ\text{C}$ , esses valores podem ser aplicados a todos os óleos minerais e hidrocarbonetos sintéticos usados em lubrificantes.

❖ **Propriedades anticorrosivas:** para proteção contra corrosão de peças, ferramentas e componentes da máquina operatriz.

❖ **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 a saúde humana, pois os operadores das máquinas são expostos ao contato direto e por longo período 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 os 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.

❖ Antidesgaste: essa propriedade reforça a propriedade de lubrificação e os aditivos antidesgaste não são tão eficientes que resistam sozinhos a pressões de corte muito altas.

❖ 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.

❖ Transparência: o fluido deve ser transparente para que o operador observe a peça durante o seu corte.

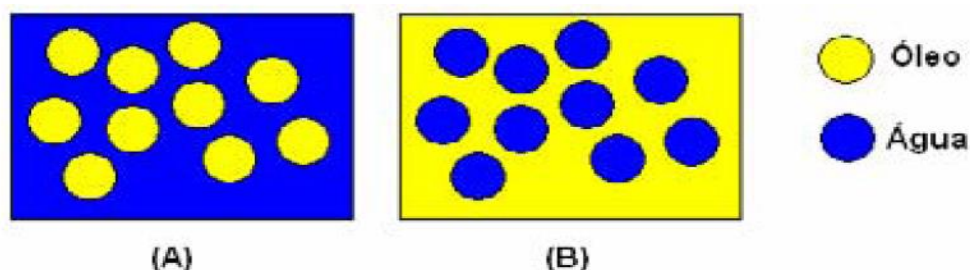
### 3.6 EMULSÕES

Uma emulsão é definida como uma mistura de dois líquidos imiscíveis, sendo que um deles está disperso no outro e são estabilizados pela ação de agentes emulsificantes (CAPEK, 2004).

#### 3.6.1 Tipos de emulsões

Segundo Larsson e Friberg citado por Muniz (2008) as emulsões podem ser classificadas de acordo com a natureza de sua fase dispersa. Quando o óleo é a fase dispersa, a emulsão é dita óleo em água (O/A) ou direta; quando a água é a fase dispersa, a emulsão é dita água em óleo (A/O) ou inversa. Os dois tipos de emulsões são representados na Figura 7:

Figura 7 - Tipos de emulsões: (A) emulsão O/A e (B) emulsão A/O.



Fonte: MUNIZ, 2008.

#### 3.6.2 Preparo, estocagem e estabilidade das emulsões

Segundo El Baradie (1996b), a emulsão só é estável quando em sua preparação se acrescenta óleo à água, sendo que durante esta mistura a emulsão deve ser agitada constantemente. Recomenda-se preparar a emulsão em tanque separado, porque o reservatório da máquina nem sempre permite uma mistura uniforme. De modo algum, deve-se recorrer ao recurso de tentar fazer a mistura pela bomba de circulação do fluido da máquina, pois pode resultar emulsões invertidas, que comprometem a sua estabilidade (RUNGE; DUARTE, 1990).

Conforme Muniz (2008), a estabilidade das emulsões de um fluido de corte depende da manutenção das cargas elétricas repulsivas entre as gotículas de óleo

formadas e dispersas em água. Os seguintes fenômenos afetam a estabilidade e podem gerar a quebra da emulsão:

- ❖ A adição de ácidos e sais, os quais anulam as cargas repulsivas das gotículas.

- ❖ A acidulação da emulsão, pela absorção de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) durante o preparo.

- ❖ O ataque bacteriano que, além do consumo de emulsificante e agentes anticorrosivos, gera subprodutos ácidos, resultantes de seu metabolismo, reduzindo o pH da emulsão e a proteção anticorrosiva.

- ❖ A qualidade da água é importante, ela deve estar isenta de impurezas, micro-organismos e excesso de cloro. A dureza da água é uma propriedade de grande importância no preparo de emulsões. A utilização de “água dura” no preparo das emulsões pode levar a formação de compostos insolúveis, resultando da combinação de cátions de cálcio, magnésio e ferro com sabões, agentes umectantes e emulgadores, podendo levar a quebra da emulsão.

A água utilizada deve ser limpa e de boa qualidade, assim como o óleo, sendo que uma atenção especial deve ser dispensada ao recipiente em que ocorrerá a mistura, este precisa estar em boas condições de limpeza (EL BARADIE, 1996b).

Fluidos solúveis de qualquer tipo, tanto na forma diluída em água ou concentrada, não devem ser estocados ou manipulados em recipientes de cobre, latão, alumínio ou zincados. Recipientes de aço ou plástico são os mais adequados (RUNGE; DUARTE, 1990).

Outro fator que se deve ser ter controle nas emulsões é a sua concentração, sendo que o valor ideal é fornecido pelo fabricante do produto, dependendo sempre da aplicação a qual a emulsão está destinada. O limite inferior não deve ser ultrapassado, pois refere-se à mínima concentração de utilização do fluido para que o mesmo mantenha suas propriedades lubrificantes e anticorrosivas. Esta concentração é dada em termos da proporção entre a quantidade de fluido de corte solúvel concentrado e a quantidade de água a ser adicionada, o que é conhecido como taxa de diluição (RUNGE; DUARTE, 1990).

### 3.6.3 Contaminação das emulsões

Há dois tipos de contaminação das emulsões de fluidos de corte: os artificiais (cavacos, lubrificantes de máquinas e corpos estranhos) e os naturais (micro-organismos) (PEREIRA; CORREA; PIVATO, 2005). Esses contaminantes poderão flutuar, serem emulsionados, dispersos ou emulsificados pelos componentes do fluido de corte (MISRA; SKOLD, 2000).

De acordo com Runge e Duarte (1990), 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, resultando no entupimento de filtros e tubulações.
- ❖ E, por líquidos estranhos, os quais podem causar as mesmas consequências descritas acima para os micro-organismos, além de acarretar maiores desgastes das ferramentas, entupimento dos filtros e névoa de óleo.

Por possuir uma grande gama de nutrientes, as emulsões são facilmente contaminadas por micro-organismos, que utilizam esses compostos como matéria-prima em seu metabolismo. Sendo assim, o fluido contaminado sofre redução drástica de seu tempo de vida, uma vez que a degradação causada ocorre de forma acelerada (THOMÉ et al., 2008).

As principais rotas de contaminação microbiológicas nos fluidos de corte são: a água utilizada no preparo da emulsão, contaminação do fluido anterior utilizado no reservatório, do ar, das peças que podem conter micro-organismos na superfície e contaminações externas como saliva, varredura de chão, lixo e alimentos além da higiene precária dos operadores das máquinas (EPPERT, 2001, BENNET apud PIUBELI, 2003).

Os micro-organismos necessitam de fontes de alimentos para sobreviver. O maior efeito da contaminação por micro-organismos é o consumo de componentes funcionais do fluido de corte como o óleo, o emulsificante ou anticorrosivo podendo reduzir drasticamente a funcionalidade do fluido de corte (EPPERT, 2001).

O crescimento de micro-organismos pode resultar em possíveis alterações na lubrificação e propriedades térmicas fluidos do circuito, bem como riscos à saúde devido a presença de micro-organismos patogênicos (COUGHLIN, 1992).

Segundo Runge e Duarte (1990), dentre todas as formas de contaminação, o ataque bacteriano é o principal responsável pelo descarte prematuro de uma emulsão.

De acordo com Runge e Duarte (1990), as bactérias devem ser mantidas sob controle, pois é quase impossível manter uma emulsão estéril. Os principais meios para se evitar a proliferação de micro-organismos são o uso de: biocidas (eficientes e amplamente utilizados), radiação gama (eficiente, porém requer cuidados especiais durante a aplicação), pasteurização (custo elevado) e via micro-ondas (bastante efetiva).

Segundo Genner e Hill (1981), o processo de biodeterioração dos fluidos de corte pode ser dividido 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.
- ❖ Acúmulo de biofilme microbiano.

De acordo com Rossmore citado por Takahashi (2005), a contaminação bacteriana dos fluidos de corte pode aumentar indiretamente a corrosão das peças usinadas, seja pelo consumo dos inibidores de corrosão ou pela produção de subprodutos como, por exemplo, os ácidos orgânicos e reduzir a lubrificidade devido à degradação dos hidrocarbonetos pela atividade microbiana.

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, sem contar com problemas ambientais relacionados com o seu descarte (RUNGE; DUARTE, 1990).

### 3.6.4 Controle das emulsões

Como descrito no item 3.5.3, os fluidos de corte podem sofrer vários tipos de contaminações que aceleram o seu processo de degradação. Por esta razão, é importante controlar os parâmetros do fluido de corte em operação para assegurar o desempenho a um nível mais elevado quanto possível (CANTER, 2011).

Segundo Runge e Duarte (1990), o valor de pH e a concentração das emulsões devem ser controlados frequentemente. A contagem de microorganismos e o teste de proteção anticorrosiva em sistemas grandes ou centralizados, devem ser feitas semanalmente.

O valor do pH é um forte indicativo do nível de ataque de bactérias presentes na emulsão e da queda de suas propriedades anticorrosivas, pois a acidulação gradual da emulsão ocorre, principalmente, devido a geração, pelas bactérias, de subprodutos ácidos provenientes do seu metabolismo. O pH adequado das emulsões, afim de impedir a proliferação bacteriano, deve estar entre 9 e 10,5 (MUNIZ, 2008).

Segundo Runge e Duarte (1990), os parâmetros estipulados para a qualidade da emulsão frente ao valor do pH são:

- ❖ 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.

A determinação da concentração de emulsões pode ser feita por meio de três métodos: quebra ácida, titulação e refratometria (RUNGE; DUARTE, 1990).

Há vários métodos que são empregados na determinação da contagem microbiana como lâminas de imersão (*"dip slide"*), contagem de placas, bioluminescência, fluorescência, entre outros (COUGHIN, 1992).

Por fim, há vários testes para determinar o potencial corrosivo de emulsões ou soluções sobre o metal da peça, máquinas e ferramentas (RUNGE; DUARTE, 1990).

### 3.7 PRODUÇÃO LIMPA

Segundo a definição de Jackson (1993), produção limpa é uma aproximação operacional para o desenvolvimento de sistemas de produção para uma produção ecoeficiente. Podem-se citar duas práticas para a produção limpa:

- ❖ Redução do fluxo de materiais do processo, ciclo ou atividade, ou a melhoria na eficiência desses processos.
- ❖ Substituição de materiais, produtos ou serviços perigosos por outros de menor impacto.

Algumas formas de se atingir a produção limpa podem ser citadas pelas técnicas de minimização de materiais, de perdas, de desperdícios e de efluentes, visualizados na Figura 8.

De acordo com UNIDO citado por Ometto (2005), a diminuição de materiais, de perdas, de desperdícios, de efluentes, de resíduos e de emissões são alguns dos objetivos da produção limpa. Esses podem ser alcançados a partir das 8 técnicas e exemplificadas a seguir:

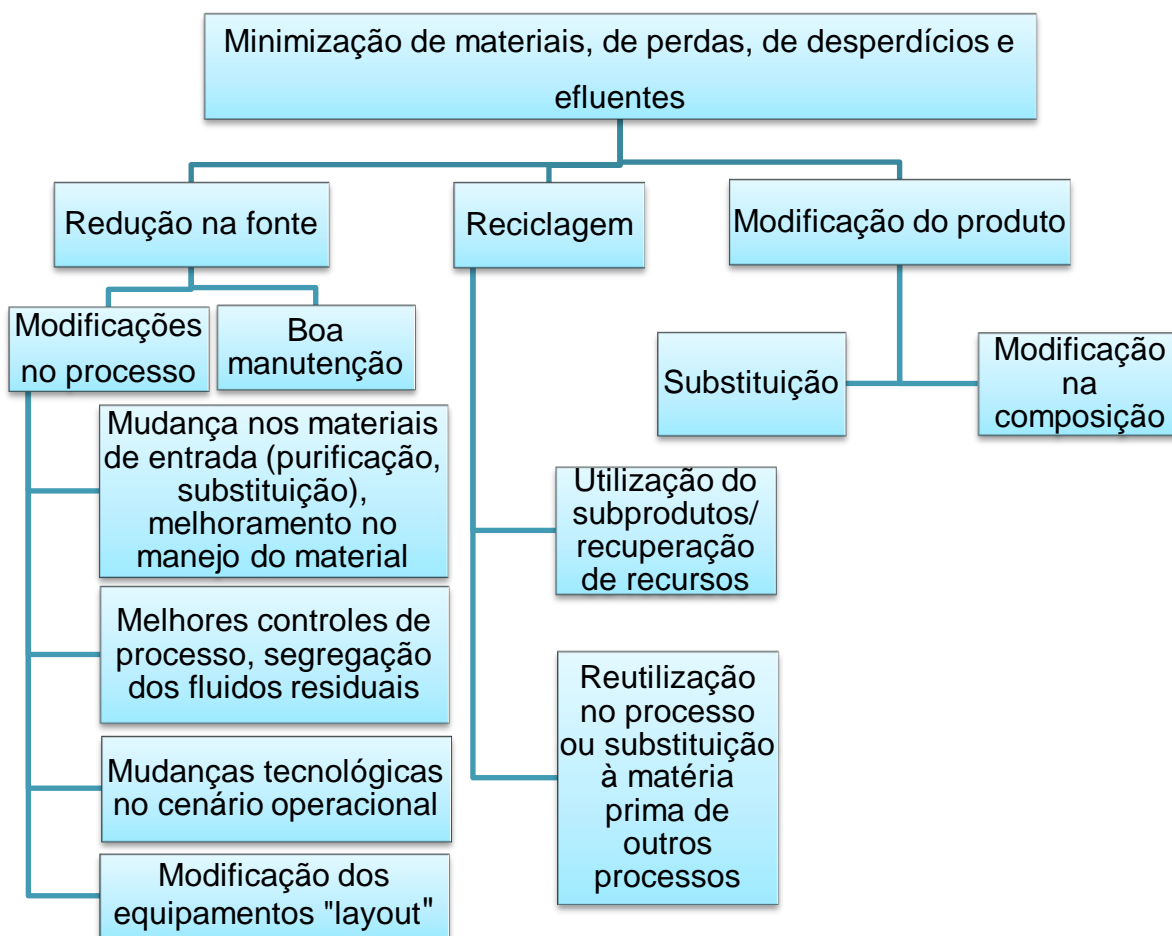
1) Manutenção adequada:

- ❖ Prevenção de vazamentos, perdas ou derramamentos;
- ❖ Calendário de manutenção preventiva;
- ❖ Inspeção frequente dos equipamentos;
- ❖ Treinamento do pessoal.

2) Realizar substituições:

- ❖ Por material menos tóxico;
- ❖ Por material renovável;
- ❖ Por material com maior ciclo de vida.

Figura 8 - Visão geral das técnicas de minimização dos efluentes.



Fonte: adaptação de OMETTO, 2005.

### 3) Melhoria no controle do processo:

- ❖ Mudanças nos procedimentos de trabalho;
- ❖ Instruções de utilização das máquinas;
- ❖ Monitoramento dos dados do processo para facilitar a melhoria da eficiência e reduzir as perdas e emissões.

### 4) Mudanças no equipamento:

- ❖ Mudanças nos equipamentos de produção e nos auxiliares, como a adição de uma divisão de medidas e de controle, para melhorar a eficiência e diminuir as taxas de perdas e emissões.



5) Mudanças na tecnologia:

- ❖ Utilização de tecnologias menos poluentes;
- ❖ Mudança no fluxograma do processo, a fim de diminuir a cadeia produtiva.

6) Reciclagem/Reuso:

- ❖ Realizar a reutilização das perdas geradas para serem utilizadas no próprio processo, para outras aplicações na companhia ou para outras empresas.

7) Produzir o máximo que pode ser utilizado:

- ❖ Investigar novos usos para utilização e transformação das perdas geradas em materiais que podem ter aplicações.

8) Reformulação ou modificação do produto:

- ❖ Mudanças no produto com a finalidade de minimizar os impactos durante a produção, o uso, a reciclagem ou a disposição final.

De acordo com Freeman citado por Ometto (2005), para que as técnicas de prevenção contra a poluição sejam cada vez mais eficazes e economicamente viáveis, elas devem ser utilizadas em conjunto, podendo ser aplicadas em muitos estágios do processo industrial.

Segundo Young, Byrne e Cotterel (1997), os custos com fluidos de corte representam 16,9% dos custos de manufatura. Dentro deste percentual 54,1% estão relacionados com a degradação do fluido.

Segundo boletins e relatórios técnicos da Itibanyl Produtos Especiais Ltda-IPEL citado por Capelleti (2006, de acordo com os históricos observados em diferentes indústrias, a manutenção da contaminação microbiana inferior a  $10^4$  UFC mL<sup>-1</sup>, para cada grupo microbiano analisado, propicia uma reciclagem contínua do fluido de corte sem acarretar problemas no sistema.

### 3.7.1 Biocidas e estratégias de controle microbiológico industrial

Uma forma de controle da contaminação de micro-organismos dos fluidos de corte envolve o uso de biocidas (MONICI; BIANCHI; AGUIAR, 2004).

Segundo a definição adaptada por Capelletti (2006) da European Commission, biocida pode ser definido como qualquer substância que contém um ou mais agentes ativos, capaz de prevenir, inibir, diminuir ou eliminar a ação de organismos vivos patogênicos e não patogênicos. No presente estudo foram tratados como biocidas as substâncias que têm atividade antimicrobiana encontrados no ambiente industrial.

Os biocidas podem ser aplicados na formulação do fluido concentrado e no tratamento de tanque. A aplicação na formulação do fluido concentrado deve ser cuidadosa, pois o risco de incompatibilidade dos biocidas com os componentes da formulação no concentrado é maior (TAKAHASHI, 2005).

Segundo Rossmoore e Rossmoore citados por Takahashi (2005), o uso de biocida no fluido concentrado pode falhar por inúmeras razões: o biocida pode ser solúvel na concentração de uso (0,1 a 0,2%), mas não pode ser solúvel em concentração vinte vezes maior, teor que pode ser necessário quando se está preparando o óleo concentrado. Além disso, a reatividade química em fluidos de corte concentrados pode destruir a molécula de biocida.

As aplicações de biocidas diretamente nos tanques de usinagem são usadas como tratamento de choque para diminuição drástica da contaminação microbiana nos tanques. É desejável um biocida de controle rápido, para o controle da contaminação, e de poder residual, para evitar que a contaminação se prolifere (TAKAHASHI, 2005).

Segundo Takahashi (2005) um biocida ideal para preservação de fluidos de corte deve ter:

- ❖ Ação de amplo espectro contra bactéria, leveduras e fungos filamentosos;
- ❖ Compatibilidade com os componentes da formulação e pH;
- ❖ Ser pouco tóxico à saúde humana e ao meio ambiente;
- ❖ Boa solubilidade em água e
- ❖ Boa relação custo benefício.

É difícil encontrar um biocida que atenda a todas estas características desejadas. Por isso é necessário utilizar misturas de ativos para conseguir melhor aproveitamento das características do biocida. O uso excessivo, além de gerar um gasto desnecessário, pode gerar consequências indesejáveis como o aparecimento de dermatites nos operadores. Então, torna-se importante determinar a extensão da contaminação para que apenas quantidades apropriadas de biocidas sejam adicionadas (TAKAHASHI, 2005).

Os biocidas agem nos componentes celulares funcionais, principalmente na parede celular, no citoplasma e nos componentes da membrana citoplasmática. O acesso a estes alvos é determinado pela composição química e propriedades físico-químicas que cada biocida apresenta, bem como pelas interações com o material extracelular, pela composição química e morfologia das células (DENYER, 1995). A escolha de um agente antimicrobiano com ampla atividade é necessário quando o alvo é constituído por distintos tipos de micro-organismos. Por vezes, princípios ativos em associação apresentam sinergismo na erradicação de comunidades de micro-organismos e/ou quando estes são resistentes a tratamentos convencionais (CAPELLETI, 2006).

### **3.7.2 Classificação dos biocidas**

Os biocidas são classificados de acordo com seu caráter químico em dois grandes grupos (BURK apud CAPELLETI, 2006): oxidantes (tais como ozônio, peróxido de hidrogênio e compostos de cloro) e não-oxidantes (compostos sulfurados, estanho, isotiazolinonas, sais de cobre, aldeídos, sais quaternários de amônio, dentre outros).

A aplicação de biocidas oxidantes em sistemas de usinagem de metais apresenta alguns inconvenientes, pois como são muito reativos (não liberam residual de agente ativo a longo prazo), podem ocasionar modificações nas características originais do fluido de corte e corrosão nos equipamentos e tubulações. Atualmente, a grande maioria dos agentes antimicrobianos utilizado pelo segmento industrial pertence ao grupo dos biocidas não-oxidantes (CAPELLETI, 2006). Na Tabela 4 são listados alguns dos biocidas não-oxidantes mais comumente utilizados no segmento de usinagem de metais.

Tabela 4 - Biocidas não-oxidantes frequentemente usados no controle de contaminações em sistemas de fluido de corte

<b>Grupo</b>	<b>Nome comercial de ativos</b>
Compostos sulfurados	Tiocianometiltiobenzotiazol (TCMTB)
Compostos de Isotiazolinona	Clorometilisotiazolinona Metilisotiazolinona
Aldeídos	Triazina Dimetiluréia
Derivados halogenados	Bronopol Iodopropinilbutilcarbamato (IPBC) 2,2 dibromo-3-nitrilopropionamida

Fonte: IPEL Itibanyl Produtos Especiais Ltda apud CAPELLETI, 2006; SHENNAN, 1983.

Os micro-organismos podem adaptar-se aos biocidas não-oxidantes, principalmente se estes forem aplicados em dosagens abaixo da concentração mínima requerida e por longos períodos. Portanto, sua aplicação tem que ser cuidadosa e seguir certos critérios de seleção dos compostos para o tratamento de contaminações (CAPELLETI, 2006).

A Tabela 5 lista o perfil de eficácia de alguns destes biocidas contra bactérias planctônicas.

A adição de biocidas à emulsão em uso não deve ser feita somente ao ser detectada a sua deterioração, pois as quantidades a serem adicionadas serão grandes e, mesmo que se obtenha um efeito biocida adequado, o teor de material anticorrosivo da emulsão já estará enfraquecido e o pH terá diminuído a níveis inadequados; para restituir à emulsão algumas das propriedades originais, será necessária a adição de materiais que elevem o pH ao nível original e de materiais anticorrosivos, o que resulta em emulsão apenas aceitáveis para o uso e de baixa qualidade (RUNGE; DUARTE, 1990).

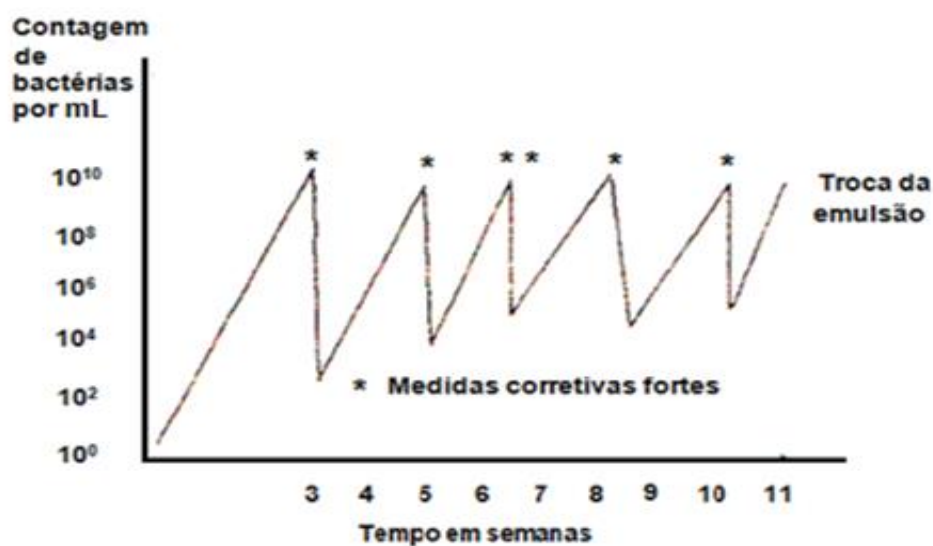
As Figuras 9 e 10 representam a prática não recomendada para a correção das emulsões em uso contínuo. Nota-se que as medidas corretivas foram tomadas somente após a forte degradação da emulsão.

Tabela 5 - Efetividade microbiológica conhecida dos biocidas mais utilizados no segmento industrial de usinagem de metais.

Bactéria	Biocida						
	Isotiazolinonas, semi-acetais e TCMTB	Isotiazolinonas e semi-acetais	Triazina	Piritionato de sódio	Isotiazolinonas, semi-acetais e derivados halogenados	Bronopol	Isotiazolinonas e Bronopol
<i>Bacillus sp</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cellulomonas sp</i>	X	X	X	X			
<i>Clostridium sp</i>							X
<i>Desulfovibrio sp</i>						X	X
<i>Enterobacter sp</i>	X	X		X	X		
<i>Escherichia coli</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Flavobacterium sp</i>					X	X	X
<i>Klebsiella sp</i>					X	X	
<i>Proteus sp</i>					X	X	X
<i>Pseudomonas sp</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Salmonella sp</i>	X	X	X	X		X	
<i>Staphylococcus sp</i>	X	X		X		X	
<i>Streptomyces sp</i>			X				

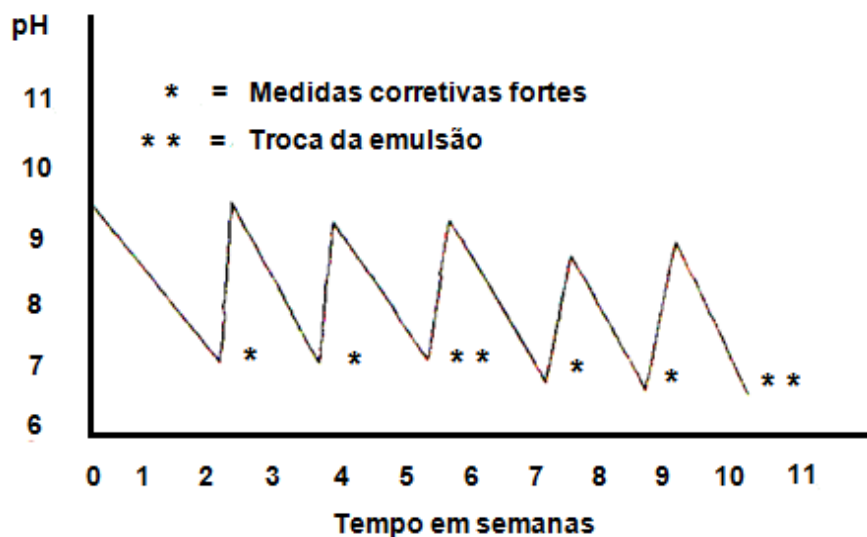
Fonte: IPEL Itibanyl Produtos Especiais Ltda adaptada por CAPELLETI,2006.

Figura 9 - Medidas corretivas para reduzir a contagem de bactérias tomadas somente após forte deterioração da emulsão.



Fonte: RUNGE; DUARTE, 1990, p.113.

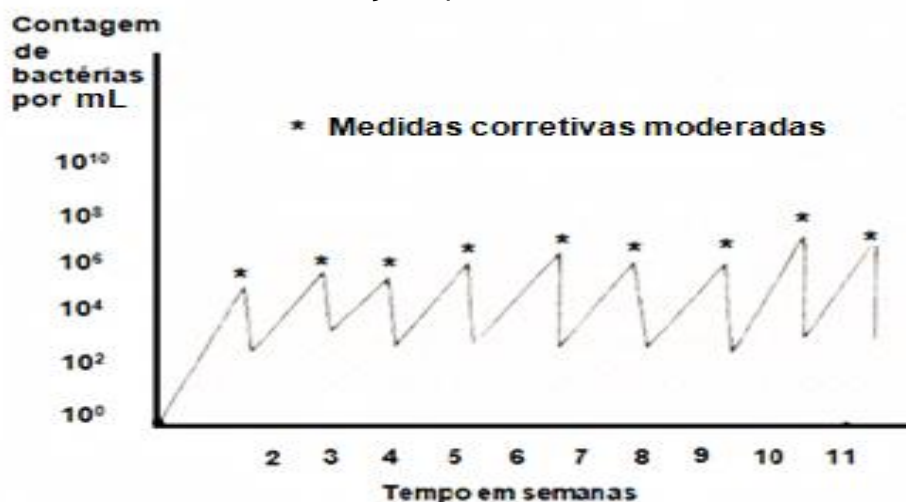
Figura 10 - Medidas corretivas para manutenção da emulsão tomadas somente após forte redução do valor de pH.



Fonte: RUNGE; DUARTE, 1990, p.113.

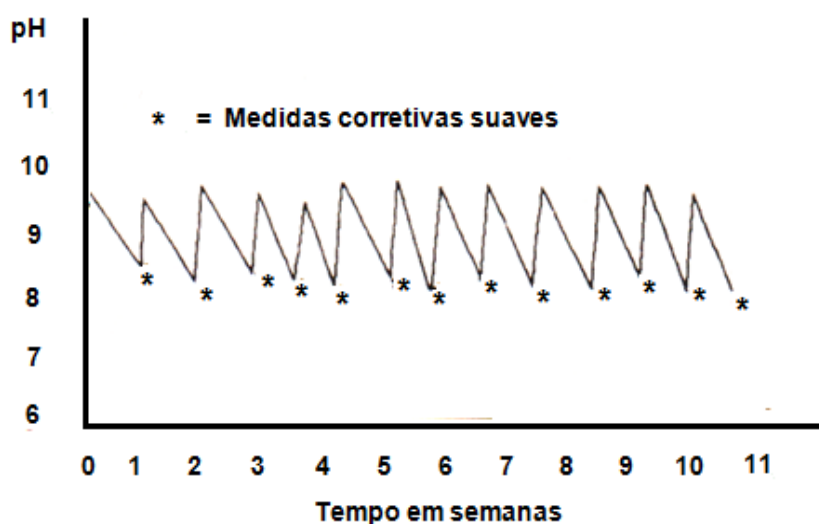
As Figuras 11 e 12 representam a contagem de bactérias e de valores de pH no caso de manutenção correta da emulsão por meio de controles e adições de biocidas contínua e periodicamente. A correção do pH é necessária somente a intervalos mais prolongados.

Figura 11 - Medidas corretivas para reduzir a contagem de bactérias controlada por meio de adições periódicas de biocidas.



Fonte: RUNGE; DUARTE, 1990, p.113.

Figura 12 - Medidas corretivas para manutenção da emulsão com valores do pH da emulsão oscilando entre limites pequenos em função da adição regular de materiais conservantes da emulsão.



Fonte: RUNGE; DUARTE, 1990, p.113.

Observando as figuras 9 a 12, que as intervenções quando mais frequentes, em períodos de tempos menores, melhora e aumenta o tempo de vida do fluido de corte em uso. Portanto, o momento ideal da adição de biocidas é no início do uso da emulsão, em base periódica para que as variações de pH e as

contagens de micro-organismos sejam as menores possíveis. Dessa maneira, não haverá a necessidade de adicionar materiais para elevar o pH, nem para reforçar as propriedades anticorrosivas.

O modo de aplicação do biocida é tão importante quanto sua seleção; a simples adição do produto pode não reduzir a contaminação microbiológica, podendo agravar os problemas (CAPELLETI, 2006).

Entre os biocidas mais utilizados incluem-se os classificados como doadores de formaldeído, que liberam formaldeído no fluido de corte, que por sua vez, atua no controle da contaminação de micro-organismos (TAKAHASHI, 2012).

O mecanismo de liberação do formaldeído geralmente está associado a um deslocamento de equilíbrio da reação, formando formaldeído quando o pH é ácido. O decréscimo do valor de pH está intimamente ligado ao crescimento de microbiológico, pois ácidos e gás carbônico são gerados pelo seu metabolismo e acidificam o meio. O formaldeído atua em reação direta com componentes celulares como proteínas, ácidos desoxirribonucleicos e ribonucleicos (DNA e RNA), o que leva a suspeitar que esta substância seja cancerígena (TAKAHASHI, 2012).

A triazina [*hexahydro-1,3,5-tris(2-hydroxyethyl-s-triazine)*] é o biocida mais conhecido entre os doadores de formaldeído (ROSSMOORE; ROSSMOORE apud TAKAHASHI, 2012). É extremamente efetiva contra as bactérias, mas não a fungos dos gêneros *Rhizopus sp*, *Fusarium sp* e *Cephalosporium sp* (DEMARE; ROSSMORE apud TAKAHASHI, 2012). Atualmente sua utilização está proibida, principalmente pelas empresas que seguem legislações europeias, devido à liberação de nitrosaminas resultantes de sua degradação (TAKAHASHI, 2012). As nitrosaminas são conhecidas por serem carcinogênicas (LOEPPKY; HANSEN; KEEFER, 1983).

### **3.7.3 Poluição ambiental causada pelo descarte ilegal de fluidos de corte**

Segundo Howes et al. (1991), os impactos ambientais causados pelas indústrias não eram considerados como fatores técnicos decisivos para execução de um determinado projeto, porém isto está se modificando rapidamente. Devido a opinião pública e regulamentações governamentais, as indústrias estão passando a assumir uma postura diferente com relação à disposição de seus rejeitos.



Uma das fontes mais problemáticas na manufatura são os fluidos de corte, que são produtos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana. Com o crescimento acentuado da utilização deste produto, leis ambientais foram criadas no intuito de regularizar o seu uso, bem como viabilizar o seu descarte, preocupando-se também com o ambiente de trabalho e com a saúde dos trabalhadores. Devido ao número crescente de leis que visam controlar os danos à saúde e ao ambiente, o custo real dos fluidos de corte utilizados nos processos de usinagem tem crescido substancialmente. Por outro lado, a pressão econômica sobre as indústrias devido aos despejos está aumentando progressivamente, incentivando as indústrias a buscar formas de atualizar os seus sistemas de gestão ambiental (KÖNIG; RUMMENHÖLLER, 1998; WEINGAERTNER et al, 1999).

A política ambiental segue leis nacionais e/ou internacionais, bem como leis estaduais, dependendo de cada situação, sendo que uma das ferramentas que podem fortalecer as empresas em relação aos fatores ecológicos e ambientais é a obtenção da certificação ISO 14001, que faz com que a empresa esteja comprometida com o meio ambiente. Essa certificação é de reconhecimento internacional, o que abre novos horizontes para a empresa em relação ao mercado exterior.

O órgão responsável pela fiscalização das leis ambientais brasileiras em relação à utilização e descarte de fluidos de corte é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

A resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011, estabelece, dentre tantos outros critérios, o teor máximo de 20 mg L<sup>-1</sup> de óleos minerais para a descarte de efluentes líquidos. Em função desta restrição, o descarte de emulsões contendo óleo mineral a 6% torna-se inadequado, fazendo-se necessário reduzir a concentração do produto em grandes volumes de diluente.

Em adição, a poluição gerada pelo descarte de uma tonelada de fluido usado, no solo ou em cursos d'água, equivale, por dia, ao esgoto doméstico de 40 mil habitantes. A queima indiscriminada do óleo lubrificante usado, sem tratamento prévio de desmetalização, gera emissões significativas de óxidos metálicos, além de outros gases tóxicos (RUNGE; DUARTE, 1990).

### 3.8 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO EMPREGADAS PARA AVALIAÇÃO DO FLUIDO DE CORTE MINERAL EMULSIONÁVEL

As técnicas de caracterização empregadas no monitoramento e degradabilidade dos fluidos de corte avaliados neste trabalho foram escolhidas, a princípio, por serem empregadas na literatura para avaliação da qualidade dos fluidos de corte mineral emulsionável.

#### 3.8.1 Dureza da água

A dureza total da água é devido à presença de cátions de cálcio, magnésio e ferro. 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 200 ppm) na água certamente será prejudicial às emulsões. A Tabela 6 classifica a água quanto a sua dureza. A dureza permanente ou temporária é expressa em termos de carbonato de cálcio (carbonato de cálcio equivalente ao teor de sais de cálcio e magnésio na água) (RUNGE; DUARTE, 1990).

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).

Tabela 6 - Classificação quanto à dureza da água

	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; DUARTE, 1990.

### 3.8.2 Concentração

O uso do refratômetro é o meio mais rápido e prático para se determinar a concentração de emulsões e soluções. O princípio do funcionamento do equipamento baseia-se no efeito da refração da luz. Quando a luz passa de um meio para o outro (neste caso, do ar para o líquido), a direção dos raios de luz muda ligeiramente. O índice de mudança da direção dos raios de luz muda é determinado pelo meio que penetram e quanto mais concentrada forem as emulsões, maior será a mudança da direção da luz incidente.

### 3.8.3 Densidade ( $\rho$ )

A densidade (ou massa específica) é definida como sendo o quociente entre a massa e volume ocupado pela substância em análise (Equação 1) :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

onde:

$m$  = Massa (g)

$v$  = Volume (mL) da substância em estudo.

### 3.8.4 Viscosidade

A viscosidade é grandeza física relacionada à força de resistência ao movimento de um fluido. A viscosidade dos fluidos de corte deve ser suficientemente baixa para assegurar fácil circulação pela máquina, para manter um jato de fluxo abundante na área de corte e permitir a rápida decantação dos cavacos e outros resíduos (RUNGE; DUARTE, 1990). As medidas de viscosidade cinemática são normalmente feitas com baixas taxas de cisalhamento (menores que  $100 \text{ s}^{-1}$ ) (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

### 3.8.5 pH

O pH (potencial hidrogeniônico) é um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio aquoso ou não aquoso. O pH é definido como o logaritmo negativo da concentração de espécies  $H^+$  (Equação 2).

$$pH = -\log [H^+] \quad (2)$$

Como observado no item 3.5.3 a proliferação de micro-organismos nas emulsões reduzem o pH do meio com o passar do tempo.

### 3.8.6 Índice de acidez total (I.A.T.)

O I.A.T. indica a quantidade total de substâncias ácidas contidas no óleo. As substâncias ácidas geradas pela oxidação do óleo podem atacar metais e produzir compostos insolúveis. O I.A.T. representa a quantidade de base, expressa em miligramas de hidróxido de potássio por grama da amostra, necessária para titular a amostra em um ponto final especificado, utilizando fenolftaleína como indicador.

### 3.8.7 Contagem microbiológica

O método da contagem por “*dip slide*” dá uma indicação adequada do nível de contaminação nas emulsões de óleo solúvel “*in loco*” (GENNER; HILL, 1981). Esse método é amplamente difundido e rotineiramente aplicado pelos usuários de fluidos de corte (RABENSTEIN, 2009).

### 3.8.8 Percentual de espuma formado

Indica a tendência da emulsão de formar espuma. Pode ocorrer se a água utilizada for muito branda ou devido ao esgotamento do aditivo antiespumante.

### **3.8.9 Teste de estabilidade**

Emulsões de fluidos de corte devem ser estáveis. A avaliação da sua estabilidade evidencia a porcentagem de separação do óleo e água da emulsão.

### **3.8.10 Teste de corrosão**

O teste de corrosão é uma maneira de avaliar o potencial corrosivo de emulsões sobre os cavacos de ferro fundido, avaliando a inibição de corrosão dos anticorrosivos presentes na emulsão (RUNGE; DUARTE, 1990).

### **3.8.11 Determinação da DQO**

A Demanda Química de Oxigênio é um indicador da quantidade de matéria orgânica existente em meio aquoso, baseado na determinação da quantidade de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica, biodegradável ou não, em meio ácido por ação de um oxidante forte.

### **3.8.12 Determinação de sólidos totais**

Sólidos totais são todos os materiais que permanecem na cápsula após evaporação parcial da amostra e posterior secagem em estufa à temperatura de 110°C.

### **3.8.13 Determinação da condutividade**

A condutividade é a expressão numérica da capacidade que uma determinada amostra tem de conduzir corrente elétrica e representa uma medida indireta da concentração de poluentes.

### 3.8.14 Teste de solubilidade

A avaliação da solubilidade está associada a solubilização dos aditivos em óleo de corte e posterior emulsificação em água.

### 3.8.15 Rugosidade

A superfície de uma peça de acordo com Kopac e Bahor (1999) apresenta de uma maneira geral desvios aleatórios, irregularidades ou saliências que podem ser macro ou microgeométricos não importando, portanto, o quanto lisa e brilhante seja a sua superfície ou o quanto suave tenha sido o processo de corte, uma superfície usinada não é totalmente isenta de irregularidades. Desta forma existe sempre a necessidade de determinar os valores adequados que assegurem a obtenção das características de uma superfície.

A medição da rugosidade também é empregada nos processos de fabricação como uma variável de saída, determinante para o controle estatístico dos processos e para avaliação de sua eficiência, já que qualquer alteração no processo poderá seguramente refletir sobre os valores de rugosidade (WHITEHOUSE, 2001).

Segundo Agostinho et al. citado por Catai (2004), a rugosidade pode ser caracterizada por irregularidades microgeométricas que ocorrem durante o processo de fabricação. Sua quantificação é feita pelos parâmetros de altura e largura das irregularidades. A rugosidade desempenha um papel importante no comportamento dos componentes mecânicos e está relacionada com a precisão de ajuste da máquina, condições de usinagem e com as tolerâncias de fabricação, que são especificadas de acordo com a aplicação da peça usinada.

De acordo com Gadelmawla et al. (2002), os parâmetros de amplitude são os mais utilizados para caracterização topográfica dos materiais. Dentre eles o mais conhecido e utilizado para o controle da rugosidade é o parâmetro universal  $R_a$ , definido como desvio médio absoluto da rugosidade a partir da linha média sobre um comprimento de amostragem.

O parâmetro  $R_a$ , embora tenha suas vantagens, quando analisado isoladamente não permite uma correta avaliação do perfil de rugosidade, pois

superfícies com diferentes características podem apresentar o mesmo valor de  $R_a$  mais não o mesmo desempenho quando em serviço (MACHADO et al., 2009).

Dentre os métodos que quantificam a integridade superficial de uma peça, a rugosidade é o procedimento mais adequado, pois além de ser rápido, é um método satisfatório para determinar a qualidade do acabamento superficial (ULUTAN; OZEL, 2011). O parâmetro universal  $R_a$  é definido como desvio médio absoluto da rugosidade a partir da linha média sobre um comprimento de amostragem (GADELMAWLA et al., 2002).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico são descritos todos os procedimentos, equipamentos, material e métodos utilizados em todas as fases da pesquisa.

### 4.1 EQUIPAMENTO E ACESSÓRIOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO

Para usinagem dos corpos de prova foi utilizada uma retificadora Tos Hostivar (Figura 13) do laboratório de retificação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

Figura 13 - Retificadora Tos Hostivar.



Fonte: dados da autora.

O reservatório do fluido de corte tem dimensões de 600x400x500 mm com compartimentos interligados, que servem para realizar a movimentação do fluido e deposição dos resíduos, conforme ilustra a Figura 14. Durante o processo de usinagem, o fluido de corte é impulsionado por uma bomba a partir do reservatório até o local de corte. Em seguida, por gravidade, o fluido desliza por meio de um sistema coletor que o encaminha de volta ao reservatório. O volume do fluido no reservatório é mantido em 96L e foi ajustado para garantir a circulação pela retificadora por meio da bomba.



Figura 14 - Reservatório da retificadora com seus três compartimentos e bomba.



Fonte: dados da autora.

Para análise da rugosidade na determinação dos parâmetros de amplitude foi utilizado o rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ-301. O comprimento de medição “*Cut-off*” utilizado foi de 0,8 mm.

#### 4.2 CORPOS DE PROVA

Para os corpos de prova foram utilizados aço ABNT 4340 temperado e revenido com dureza média de 52 HRC, classificado como aço para beneficiamento, possui boa combinação entre resistência e tenacidade.

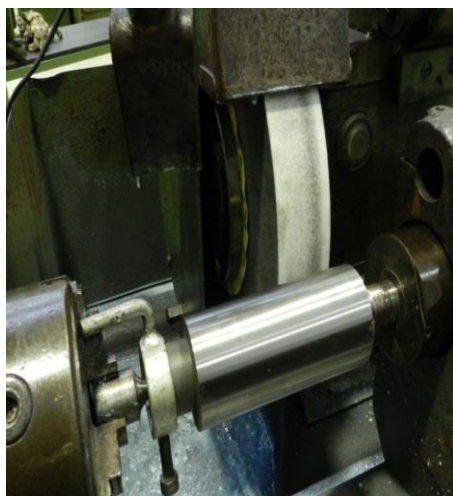
A composição química do material é exibida na Tabela 7 conforme certificado de qualidade do fabricante.

Tabela 7 - Composição química do aço ABNT 4340 em % em massa.

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>Al</b>
0,38	0,66	0,03	0,21	0,011	0,74	1,66	0,22	0,021
<b>Cu</b>	<b>Co</b>	<b>V</b>	<b>Ti</b>	<b>Sn</b>	<b>N</b>	<b>H</b>	<b>Fe</b>	
0,052	0,04	0,04	0,003	0,0012	0,72ppm	4,7ppm	Balanço	

Os corpos de prova possuem as seguintes dimensões: comprimento: 160 mm, diâmetro: entre 56 e 58 mm. A Figura 15 ilustra o corpo montado na retificadora.

Figura 15 - Corpo de prova montado na retificadora.



Fonte: dados da autora.

### 4.3 REBOLO, DRESSADOR E PARÂMETROS DE DRESSAGEM

O rebole utilizado neste trabalho foi o rebole convencional de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), com as seguintes dimensões e características: (355,6 x 50,8 x 127 - FE 38A60KV). Essa ferramenta é utilizada para retificação de aços endurecidos.

A operação de dressagem do rebole foi realizada no início de cada ensaio. Foi utilizado um dressador de ponta única de diamante preso a um suporte, que faz parte dos acessórios da retificadora, conforme está representado na Figura 16.

Na operação de dressagem, a velocidade e a profundidade de dressagem foram mantidas constantes não influenciando as variáveis de saída do processo. A profundidade de dressagem  $a_d$  foi de 0,05 mm, durante 10 passadas ao longo da periferia do rebole, no sentido de sua largura. Sendo, portanto removido 0,5mm de material no diâmetro do rebole antes de cada ensaio a uma velocidade média de dressagem de  $2,7\text{mm s}^{-1}$ . Para o melhor resultado desta operação utilizou-se o fluido de corte a uma vazão de  $16\text{ L min}^{-1}$ .

### 4.4 CONDIÇÕES UTILIZADAS NOS ENSAIOS

Para os ensaios definitivos foram estabelecidos os seguintes parâmetros de usinagens apresentados na Tabela 8.

Figura 16 - Dressagem do rebolo.



Fonte: dados da autora.

Tabela 8 - Condições de usinagens utilizadas.

<b>PARÂMETRO</b>	<b>MEDIDA</b>
Rotação da peça ( $V_w$ )	95 rpm
Velocidade de mergulho ( $V_f$ )	1,2 e 0,8 mm/min
Tempo de centelhamento ( $t_s$ )	10 s e 5 s
Vazão do fluido de corte ( $V_j$ )	16 L min <sup>-1</sup>
Velocidade de corte do rebolo ( $V_s$ )	30m/s
Profundidade de corte ( $a$ )	0,02 e 0,013
Velocidade de dressagem	2,7mm/s
Profundidade de dressagem ( $a_d$ )	0,05 mm

Fonte: Lima (2013)

Destes parâmetros todos foram mantidos constantes e se alterava apenas a velocidade de mergulho e o tempo de centelhamento (“*spark out*”). Com essa variação foi possível simular as condições de acabamento no processo de retificação, além de melhor avaliar a qualidade de lubri-refrigeração do fluido durante diferentes situações de corte.

Os corpos de prova foram dividido em 3 etapas, aqui denominadas pelas regiões A, B, e C, sendo que neste trabalho cada corpo de prova representa um ensaio, que por sua vez foi submetido a 3 condições de usinagem:

❖ Condição de usinagem 1: realizado utilizando uma velocidade de mergulho de 1,2 mm/min e com posterior “*spark out*” de 10s ao final de cada ciclo.

❖ Condição de usinagem 2: realizada com velocidade de mergulho de 0,8mm/min e com posterior “*spark out*” de 10s ao final de cada ciclo.

❖ Condição de usinagem 3: realizada com uma velocidade de mergulho de 1,2mm/min e com posterior “*spark out*” de 5s ao final de cada ciclo.

A execução dos ensaios foi feita sob três condições de corte distintas possibilitando realizar a análise comparativa da eficiência dos fluidos de corte das 3 etapas no processo de retificação conforme sintetizado na Tabela 9.

Tabela 9 - Matriz de experimentos para realização dos ensaios de retificação.

Fluido de corte/ Condição de usinagem	Fluido de corte de uso contínuo	Fluido de corte recuperado	Fluido de corte reformulado 6% aditivo	Fluido de corte reformulado 10% aditivo
Condição de usinagem 1	3 Ensaios – CDP 1, CDP 2, CP 3	4 Ensaios – CDP 10, CDP 13, CDP 16, 19	2 Ensaios – CDP 22, CDP 25	1 Ensaio – CDP 29
Etapa	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C
Condição de usinagem 2	3 Ensaios – CDP 4, CDP 5, CP6	4 Ensaios – CDP 11, CDP 14, CDP 17, CDP 20	2 Ensaios – CDP 24, CDP 26	1 Ensaio – CDP 30
Etapa	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C
Condição de usinagem 3	3 Ensaios - CDP 7, CDP 8, CDP 9	4 Ensaios – CDP 12, CDP 15, CDP 18, CDP 21	2 Ensaios – CDP23, CDP 27	1 Ensaio – CDP 28
Etapa	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C

CDP =Corpo de Prova

Fonte: Lima (2013)

Os ensaios de cada condição de usinagem foram constituídos por ciclos de retificação, os quais foram responsáveis pela penetração de 1mm do rebolo durante 7 ciclos em cada etapa do corpo de prova para as condições de usinagem 1 e 2. Na condição de usinagem 3, a penetração do rebolo foi de 0,2 mm durante

35 ciclos de retificação, procedimento também executado em cada etapa do corpo de prova. O sobre metal de 0,2 mm foi escolhido devido às condições de utilização no meio industrial, fazendo-se uma simulação do processo de fabricação. Desta maneira, em todas as condições de usinagem foi possível obter uma redução de 7 mm no diâmetro do corpo de prova em cada etapa. Somando as 3 etapas a redução foi de 21 mm, retificando assim o total de 105 peças.

A respeito dos fluidos de corte, foram realizados 3 ensaios por condição de usinagem para o fluido comercial de uso contínuo, 4 ensaios por condição de usinagem para o fluido recuperado, de forma que fosse possível observar a manutenção das propriedades do fluido em um maior número de usinagem. Quanto a utilização do fluido reformulado este inicialmente foi submetido a 2 ensaios por condição de usinagem, e diante dos resultados optou se por realizar um novo ensaio, porém com 10% de aditivos, desta maneira foi possível verificar se o aumento do percentual de aditivo, nas mesmas condições de usinagem, proporcionaria um melhor desempenho do processo.

É importante destacar que para todos os ensaios, com a utilização dos diferentes fluidos de corte, foi feito um controle cuidadoso da concentração da emulsão, e sempre que necessário foi realizando a sua correção para valores constantes de óleo em água antes do início dos ensaios.

Ressalta-se ainda que os testes com o fluido de corte recuperado e reformulado só foram realizados após a necessidade de seu ajuste, para isto foi determinado que o fluido fosse ajustado quando o seu pH estivesse inferior a 8,5 e a constatação de uma contaminação microbiológica maior que  $10^4$  UFC mL<sup>-1</sup> para cada grupo analisado. Esses valores são considerados pelo fabricante como fora das especificações.

#### **4.5 SISTEMA DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO**

O fluido de corte utilizado foi o óleo de corte emulsionável de base naftênica da marca MECAFLUID S 1100 do fabricante PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A., lote nº 0007/2011 e data de fabricação 30/08/2011. A concentração da emulsão fez-se na proporção é de 1 parte de óleo em 15 partes de água, ou seja, com a concentração de 6,0% v v<sup>-1</sup>. A Tabela 10 fornece a caracterização físico-química desse óleo.

Tabela 10 - Ensaios típicos.

Ensaio	Unidade	Resultado
pH a 5%	-	8,5-10,5
Reserva alcalina a 5%	mL HCl 0,1N	Min. 5,0
Corrosão ferro fundido 7%	-	negativo
Espuma	--	5"
Bactericida	-	presente
Densidade a 25°C	g cm <sup>-3</sup>	0,89 a 0,92
Viscosidade	cSt a 40°C	20,0
Ponto de fulgor	°C	180°C
Ponto de combustão	°C	190°C

Fonte: PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A.

O fluido de corte foi estudado em quatro fases:

❖ 1ª Fase: Fluido de corte de uso contínuo.

O fluido de corte utilizado na primeira etapa de ensaios foi uma emulsão em água, com a concentração de 6,0 % v v<sup>-1</sup> de óleo mineral MECAFLUID S 1100 que possui as seguintes informações do fabricante: 70 a 85 % em peso de óleo naftênico, 1 a 5% em peso de bactericidas e 10 a 25% de aditivos (Tensoativos, sulfonatos e inibidores de corrosão).

❖ 2ª Fase: Fluido de corte ajustado com biocida a base de triazina segundo recomendação do fabricante.

A emulsão utilizada nesta condição teve sua concentração de 6,0% v v<sup>-1</sup> de óleo mineral em água, sendo que os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram ajustados mediante recomendações do fabricante por meio do uso de alcalinizante e biocida a base de triazina para preservação da emulsão óleo/água, normalmente utilizado como produto de “choque” e “manutenção”.

❖ 3ª Fase: Fluido de corte com adição de aditivo de Extrema Pressão (A<sub>3</sub>).

O fluido de corte utilizado na terceira fase de ensaios foi avaliado por meio da adição de aditivo de Extrema Pressão ao óleo emulsionável comercial,

mantendo a mesma concentração da emulsão de 6,0% v v<sup>-1</sup> com o objetivo de avaliar o desempenho do aditivo frente ao óleo comercial.

❖ 4ª Fase: Fluido de corte ajustado com biocida a base de dibromo-3-nitropropionamida segundo recomendação do fabricante.

A emulsão utilizada nesta condição teve sua concentração de 6,0% v v<sup>-1</sup> de óleo mineral em água, sendo que os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram ajustados mediante recomendações do fabricante por meio do uso de alcalinizante e biocida a base de dibromo-3-nitropropionamida.

Nas 3 primeiras fases de uso do fluido de corte foram realizadas usinagens de peças. Apenas na 4ª condição o estudo foi realizado sem usinagens de peças.

#### **4.6 PREPARO DA EMULSÃO**

De acordo com as informações do fabricante do óleo emulsionável de base mineral naftênica, a concentração indicada e utilizada no processo de retificação em questão foi de 6,0 % v v<sup>-1</sup>. A emulsão foi preparada como citado por El Baradie (1996b) e Runge e Duarte (1990). Ressalta-se que antes da colocação dos fluidos de corte no reservatório da máquina, o mesmo foi cuidadosamente lavado e seco.

#### **4.7 MÉTODOS EXPERIMENTAIS DAS FASES DA PESQUISA**

De acordo com os objetivos da 1ª Fase, inicialmente, avaliou-se a dureza da água utilizada no preparo da emulsão para garantir que esta não sofra perda de qualidade e desempenho devido ao uso de uma água não adequada. Em seguida, preparou-se a emulsão e a colocou no reservatório da retificadora. As amostras foram recolhidas para caracterização da emulsão de fluido de corte mineral emulsionável no tempo zero (recém-preparada) e posteriormente em intervalos regulares de produção 105 peças em 9 ciclos de retificação para o monitoramento periódico de concentração, densidade ( $\rho$ ), pH, e viscosidade.

Os dados da avaliação do monitoramento do fluido de corte foram analisados empregando-se o teste de hipótese de uma média

(distribuição t-Student), considerando os valores da emulsão no tempo zero como valor de referência ( $\mu_0$ ), a média ( $\bar{x}$ ) dos parâmetros durante os ciclos de usinagem, o desvio padrão ( $s$ ) das médias. Aceita-se a hipótese nula ( $H_0$ ) quando a média dos valores dos parâmetros não sofrem variações significativas comparada com os valores de referência ou a hipótese alternativa ( $H_a$ ) quando há variações significativas da média dos valores dos parâmetros comparadas com os valores de referência com um nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 5% ( $\alpha=0,05$ ), aplicando-se teste bicaudal ( $\alpha/2$ ) quando a média dos valores dos parâmetros é igual os valores de referência ( $\mu_0$ ), ou o teste unicaudal a direita ( $\alpha$ ), quando os valores dos parâmetros é maior ou menor que os valores de referência ( $\mu_0$ ).

Em seguida, caracterizou-se a amostra da emulsão antes de ser utilizada no processo de retificação, visando obter as características físico-químicas para a avaliação das mudanças ocorridas durante o processo de retificação em um período de seis meses e produção de 945 peças com mais 129 peças de pré-testes totalizando 1.074 peças. Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos empregados foram: densidade ( $\rho$ ), Índice de Acidez Total (I.A.T.), viscosidade, pH, contagem de micro-organismos, percentual de espuma formado, teste de estabilidade, teste de corrosão, determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO), determinação de sólidos totais e determinação da condutividade.

A 2ª Fase consistiu no preparo de uma nova emulsão do fluido de corte visando o monitoramento e ajustes das propriedades mais relevantes determinadas na primeira fase de forma que o fluido opere dentro das especificações do fabricante, em um período de quatro meses, por meio de mais 12 ciclos de retificação com produção de 1.260 peças nas mesmas condições de usinagens da 1ª fase. Os dados da avaliação do monitoramento do fluido de corte para os parâmetros de concentração e pH foram analisados empregando-se o teste de hipótese de uma média como descrito para a 1ª fase.

Na 3ª Fase avaliou-se o desempenho do fluido de corte emulsionável frente a adição de 3 diferentes aditivos sendo eles: Agente de oleosidade ( $A_1$ ), Componente lubrificante ( $A_2$ ) e Extrema Pressão (E.P.) ( $A_3$ ). Essa aditivação teve como objetivo aumentar a lubrificidade da emulsão obtida, reduzindo a rugosidade medida na peça usinada. O desempenho foi avaliado pela análise de rugosidade nos corpos de prova comparando-se os valores obtidos da emulsão comercial com os valores das quatro emulsões aditivadas. A emulsão com o aditivo que



apresentou melhor resultado de rugosidade foi utilizada para retificação de mais 9 ciclos com produção de 105 peças para cada ciclo. Em seguida, preparou-se a emulsão e a colocou no reservatório da retificadora. As amostras foram recolhidas para caracterização da emulsão de fluido de corte em tempo zero e em intervalo produção regulares e com a realização de ajustes das propriedades físico-químicas e microbiológicas. Foram realizados mais 9 ciclos de retificação com produção de 945 peças nas mesmas condições de usinagem das 1ª e 2ª fase. Os dados da avaliação do monitoramento do fluido de corte com aditivação para os parâmetros de concentração e pH foram analisados empregando-se o teste de hipótese de uma média (distribuição t-Student) como descrito na 1ª Fase

Os ensaios de retificação para o desempenho dos fluidos de corte das três fases tiveram como parâmetros de saída o desgaste do rebolo, a rugosidade, a microdureza e a análise microestrutural- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos corpos de prova. Esses parâmetros foram avaliados pelo trabalho de mestrado de Lima (2013) por meio das técnicas de caracterização do material das peças e do rebolo.

A 4ª Fase consistiu no preparo de uma nova emulsão do fluido de corte visando o monitoramento e ajustes das propriedades mais relevantes determinadas na primeira fase para que o fluido opere dentro das especificações de uso. Em um período de dois meses os ajustes foram realizados conforme orientações do fabricante do biocida a base de dibromo-3-nitrolopropionamida que não libera formaldeído. Posteriormente, foi comparado as propriedades da emulsão ajustada com o biocida a base de triazina. Os dados da avaliação do monitoramento do fluido de corte para os parâmetros de concentração foi analisado empregando-se o teste de hipótese de uma média (distribuição t-Student), com um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ). As Tabelas 11, 12, 13 e 14 relacionam as técnicas de caracterização e os procedimentos experimentais utilizados nas quatro fases da pesquisa.

A seguir são descritos todos os procedimentos adotados nas quatro fases da pesquisa.

Tabela 11 - Técnicas de caracterização e procedimentos experimentais da 1ª Fase da pesquisa.

<b>1ª FASE</b>	<b>TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO</b>	<b>MÉTODOS EXPERIMENTAIS</b>
<b>Qualidade da água</b>	Dureza	Método titulométrico EDTA-Na (NBR 12.631)
<b>Monitoramento</b>	Concentração	Refratômetro
	Densidade	Picnômetro
	Viscosidade	Método de Ostwald
	pH	Potenciômetro de bancada
<b>Degradabilidade</b>	Densidade	Picnômetro
	Índice de acidez total	Titulação
	Viscosidade	Método de Ostwald
	pH	Potenciômetro de bancada
	Contagem microbiológica	Lâminas de imersão (“dip slide”)
	Percentual de espuma formado	Método Selub 09-Petrobrás
	Teste de estabilidade	Método Selub 08-Petrobrás
	Teste de corrosão	Método IP 287/87
	Determinação da DQO	Método espectrofotométrico
	Sólidos totais	Secagem em estufa
	Condutividade	Condutímetro digital

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 12 - Técnicas de caracterizações e procedimentos experimentais da 2ª Fase da pesquisa.

<b>2ª FASE</b>	<b>TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO</b>	<b>MÉTODOS EXPERIMENTAIS</b>
Monitoramento	Concentração	Refratômetro
	pH	Potenciômetro de bancada
	Análise microbiológica	Lâminas de imersão (“ <i>dip slide</i> ”)
	Teste de corrosão	Método IP 287/87

da pesquisa.

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 13 - Técnicas de caracterizações e procedimentos experimentais da 3ª fase da pesquisa.

<b>3ª FASE</b>	<b>TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO</b>	<b>MÉTODOS EXPERIMENTAIS</b>
Aditivos	Teste de solubilidade	Solubilização em óleo e água
	Teste de estabilidade	Método Selub 08-Petrobrás
	Rugosidade	Rugosímetro Mitutoyo-Ra
Monitoramento	Concentração	Refratômetro
	pH	Potenciômetro de bancada
	Análise microbiológica	Lâminas de imersão (“ <i>dip slide</i> ”)
	Teste de corrosão	Método IP 287/87

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 14 - Técnicas de caracterizações e procedimentos experimentais da 4ª fase da pesquisa.

4ª FASE	TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO	MÉTODOS EXPERIMENTAIS
Monitoramento	Concentração	Refratômetro
	pH	Potenciômetro de bancada
	Análise microbiológica	Lâminas de imersão (“ <i>dip slide</i> ”)
	Teste de corrosão	Método IP 287/87

Fonte: elaborada pela autora.

#### 4.7.1 Medida da dureza da água

Para análise da dureza total da água utilizou-se o método titulométrico do EDTA-Na (NBR 12.621).

##### Princípio do método

Os íons Cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) de uma solução formam um complexo vermelho-vinho com o corante negro-de-eriocromo T, em  $\text{pH} = 10,0 \pm 0,1$ . Pela adição de EDTA-Na à solução colorida, ocorre formação de um complexo estável e não dissociado do EDTA-Na com os íons  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , separando-se o corante.

Quando a quantidade de EDTA-Na adicionada for suficiente para complexar todo o cálcio e magnésio, a solução toma a cor azul original do corante, o que indica o fim da titulação.

##### Padronização da solução de EDTA-Na $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_8\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

❖ Diluir 25 mL da solução padrão de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ )  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (medidos com pipeta volumétrica) a 50 mL com água deionizada, em erlenmeyer de 250 mL.

❖ Adicionar ao erlenmeyer 1 mL de solução de  $\text{NH}_4\text{OH}_{\text{conc}}$ . para obter pH 10,0, conferir o pH com o uso de papel indicador universal.

❖ Adicionar ao erlenmeyer 0,05 g do Indicador de negro de eriocromo-T e titular com solução de EDTA-Na 0,01 mol L<sup>-1</sup> até mudança de coloração vermelho vinho para azul. Adicionar as últimas gotas com intervalos de 3 a 5 s.

❖ Considerar que as soluções de CaCO<sub>3</sub> e EDTA-Na reagem em condições estequiométricas (1:1), calcula-se o fc da solução de EDTA-Na.

### Determinação da dureza total da Amostra

❖ Transferir 100 mL da amostra para um erlenmeyer, utilizando pipeta volumétrica.

❖ Adicionar 1 mL da solução de NH<sub>4</sub>OH conc. para obter pH=10,0 e aproximadamente 0,1 g do indicador de negro de eriocromo-T (ou pastilhas tampão para dureza).

❖ Titular a solução com EDTA-Na 0,01mol L<sup>-1</sup>, lentamente e com agitação constante até mudança da coloração de vermelho vinho para azul, anotar o volume gasto (Obs: com pastilhas tampão a coloração muda de vermelho vinho para verde).

❖ Efetuar uma prova em branco com igual volume de água destilada para facilitar a observação da viragem e corrigir possível contaminação da água destilada com os íons Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>. Anotar o volume gasto.

A dureza total é calculada pela Equação 3:

$$mg \text{ CaCO}_3 \text{ L}^{-1} = [(V_1 - V_b) \times f_c \times 0,01 \times 100000] / v_a \quad (3)$$

onde,

V<sub>1</sub> = Volume (mL) de solução de EDTA-Na gasto na titulação da amostra.

V<sub>b</sub> = Volume (mL) de solução de EDTA-Na gasto na titulação do branco.

f<sub>c</sub> = Fator de correção volumétrica da solução de EDTA-Na.

v<sub>a</sub> = Volume (mL) da amostra.

#### 4.7.2 Concentração

A concentração dos fluidos utilizados foi monitorada pelo refratômetro manual de bolso, marca ATAGO. A faixa de medição do aparelho é de 0 a 33% Brix. Este equipamento é apresentado na Figura 17.

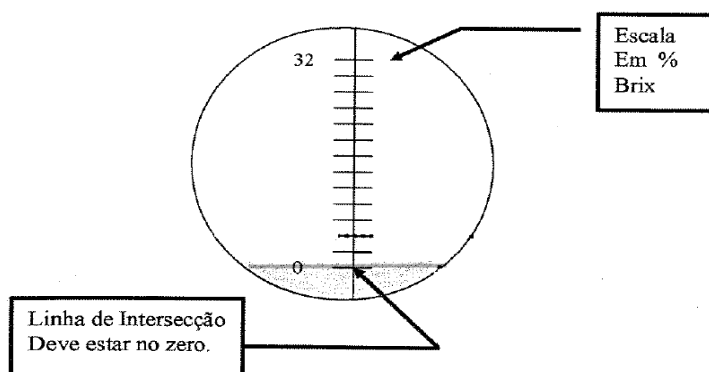
Antes de usar um refratômetro convém sempre verificar os resultados encontrados em relação a uma emulsão de concentração conhecida. Na ocular do refratômetro vê-se um círculo com uma escala central vertical calibrada. Colocando-se água pura no refratômetro, a escala permanece totalmente clara. Usando-se emulsões ou soluções, a escala será dividida, num determinado ponto, com área clara e escura. A interseção indica a concentração da emulsão/solução conforme a Figura 18.

Figura 17 - Equipamento para monitoramento da concentração do fluido de corte: refratômetro.



Fonte: manual ATAGO.

Figura 18 - Calibração do zero no refratômetro manual.



Fonte: manual ATAGO.

### Calibração do equipamento

Para se obter o ajuste do zero no refratômetro foi utilizada água corrente. A interseção deve-se dar da interseção da parte escura com a parte clara na posição de 0% Brix. Uma representação esquemática do que se observa na ocular do refratômetro durante o ajuste do zero é mostrado na Figura 19.

A utilização do refratômetro na determinação da concentração de emulsões e soluções é, segundo Runge e Duarte (1990), o meio mais rápido e que apresenta boa precisão.

Antes de medir a concentração, verificou-se se o valor da leitura no refratômetro ajusta-se a concentração da emulsão.

Para se determinar o fator de correção, foi adotado o seguinte procedimento:

Em um balão volumétrico de 100 mL foi adicionado 6,0 mL de fluido de corte e completado o volume com água da rede. Após a homogeneização da emulsão, retira-se uma pequena alíquota da emulsão, coloca-se no refratômetro e se determina a concentração correspondente.

A Tabela 15 apresenta o fator de correção encontrado para o fluido de corte.

Tabela 15 - Fator de correção para medidas de concentração da emulsão obtida empregando o refratômetro.

Fluido	Concentração Padrão	Concentração lida no refratômetro	Fator de correção	Leitura no refratômetro para concentração de 6,0%
Mecafluid S 1100	6,0	6,2	0,97	6,2

Fonte: elaborada pela autora

Como o fator de correção é pequeno decidiu-se manter a concentração que é lida no refratômetro, sem o uso de fator de correção.

A concentração foi monitorada antes da execução de cada ensaio. Quando a concentração estava acima da recomendada foi adicionado um volume de água até que o valor de concentração desejado fosse atingido.

### 4.7.3 Densidade

Para análise da densidade foi utilizado o picnômetro conforme o procedimento a seguir:

- ❖ Pesar o picnômetro vazio e seco, sendo obtida a massa  $m_1$ . Tomando-se os seguintes cuidados:

- ❖ Não tocar no picnômetro com a mão (usou papel absorvente).

- ❖ Eliminar as bolhas no líquido.

- ❖ Lavar bem o picnômetro na troca de amostras, usar na última etapa da lavagem a amostra da pesagem seguinte, fazer ambiente.

- ❖ Secar o picnômetro externamente, sem tocar na parte superior.

- ❖ Completar o volume do picnômetro com a amostra e este deve ser tampado de maneira que o excesso de água escorra pelo capilar.

- ❖ Inserir o picnômetro dentro do béquer contendo água destilada a temperatura ambiente por 15 minutos para se atingir o equilíbrio térmico. Medir a temperatura.

- ❖ Secar o picnômetro por fora e pesá-lo.

- ❖ Realizar este procedimento em triplicata.

- ❖ Com a média das massas,  $m_2$ , calcular a densidade da amostra por meio da Equação (4).

$$\rho = (m_2 - m_1) / v \quad (4)$$

### 4.7.4 Viscosidade

Para determinação da viscosidade cinemática foi utilizado o método de Ostwald conforme o procedimento a seguir:

- ❖ Em um béquer de 100 mL adicionar aproximadamente 20 mL de fluido de corte preenchendo até a metade do bulbo C, indicado na Figura 19.

- ❖ Prender o viscosímetro com uma garra e o mergulhar em um béquer de 2 L contendo água a 40 °C, conforme Figura 20.

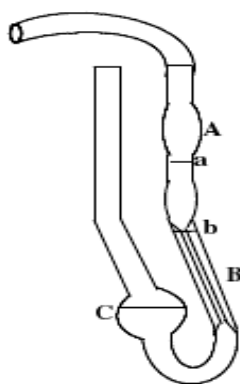
- ❖ Deixar o sistema atingir o equilíbrio térmico e iniciar a medida.



- ❖ Com um pipetador, elevar o líquido até o bulbo A.
- ❖ Deixar o líquido escoar e quando o menisco atingir a marca a acionar o cronômetro.
- ❖ Parar o cronômetro quando o menisco atingir a marca b.
- ❖ Realizar esta medida em triplicata. Com o valor médio foi realizado a comparação do tempo de escoamento da água deionizada.

Dados: viscosidade da água a 40°C =  $0,653 \times 10^{-3} \text{ N s m}^{-2}$  ou 0,0653 cSt.

Figura 19 - Representação viscosímetro de Ostwald.



Fonte: [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/ap-fisquim-farm12/c18.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/ap-fisquim-farm12/c18.html)

Figura 20 - Sistema montado para manter a temperatura a 40°C.



Fonte: dados da autora.

#### 4.7.5 pH

O valor de pH foi medido utilizando-se um potenciômetro de bancada da Digimed modelo DM-20.

### Calibração do aparelho

O aparelho foi previamente calibrado antes de cada medida mediante a utilização de padrões seguindo procedimento operacional padrão.

### Medida do pH da amostra

- ❖ Em um béquer de 100 mL adicionar 50 mL de amostra.
- ❖ Mergulhar o eletrodo na amostra. Esperar um tempo de 30 segundos para estabilização da leitura.
- ❖ Realizar a leitura do pH e lavar o eletrodo com água destilada.
- ❖ Após o término da operação, deixar o eletrodo imerso em solução de KCl 3 mol L<sup>-1</sup>.

### **4.7.6 Índice de Acidez Total (I.A.T.)**

Para determinação do Índice de Acidez Total adotou-se o seguinte procedimento:

- ❖ Pesar 10 g de fluido de corte e transferir para um erlenmeyer de 250 mL.
- ❖ Com o auxílio de uma proveta de 100 mL, adicionar 50 mL de uma mistura de etanol 96 % e éter etílico (1:1) v v<sup>-1</sup>.
- ❖ Realizar a titulação com hidróxido de potássio 0,1 mol L<sup>-1</sup>, utilizando fenolftaleína como indicador, até a solução ficar rosada no mínimo 30 segundos.
- ❖ Calcular o índice de acidez pela Equação (5).

$$\text{Índice de acidez} = (v \times N \times fc \times 56,11) / m \quad (5)$$

onde:

$v$  = Volume de KOH gasto em mL.

$N$  = Normalidade do KOH.

$Fc$  = Fator de correção do KOH.

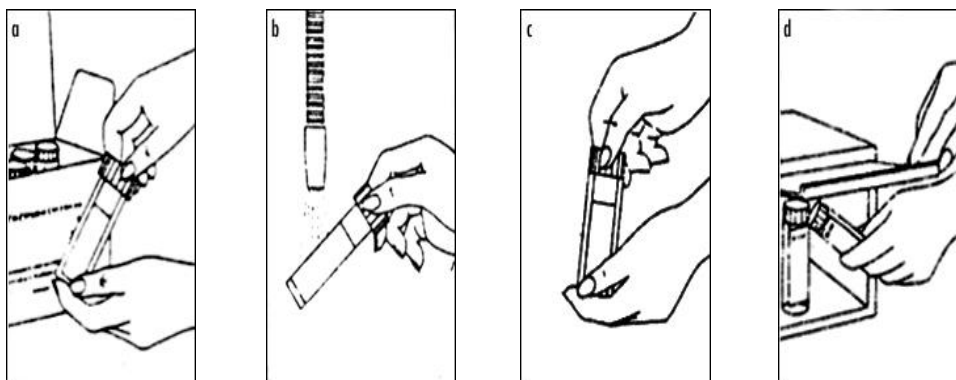
$m$  = Massa da amostra em g.

#### 4.7.7 Contagem microbiológica

Para contagem microbiológica foram utilizadas lâminas de imersão (“*dip slide*”) que consiste em uma lâmina de plástico revestida com nutrientes para micro-organismos específicos, dentro de uma cápsula plástica que protege a lâmina contra uma infecção não desejada. Uma face contém PCA (Plate Count Ágar) para contagem total de bactérias que contém TTC que tornam as colônias vermelhas, para melhorar a visualização e a outra face Ogye Ágar para fungos e leveduras. Para iniciar as medidas deve-se retirar a lâmina e imergi-la no fluido a ser testado. Após ser removido o excesso de fluido a lâmina é recolocada na sua proteção original. Posteriormente deve-se colocar o conjunto na estufa, por um período de 48 h a 35 °C e posteriormente a 30°C por 72 h que somada aos nutrientes das lâminas, favorece o crescimento rápido de micro-organismos.

A Figura 21 ilustra a utilização das lâminas de imersão. Em (a) ilustra a remoção da lâmina de imersão do estojo de proteção. Em (b) ilustra a imersão da lâmina debaixo do jato de fluido de corte da máquina operatriz. O passo seguinte, conforme ilustrado em (c) consiste em colocar a lâmina de volta no estojo que deve ser identificado. O estojo foi colocado na estufa, como mostrado em (d) por 48h a 35°C e mais 72 h a 30°C.

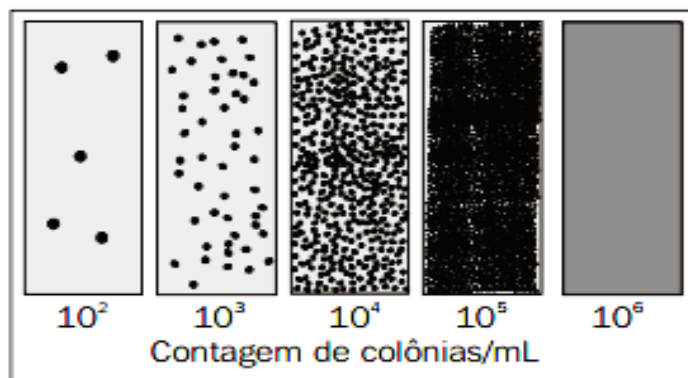
Figura 21 - Ilustração do uso de lâminas de imersão para contagem de micro-organismos.



Fonte: RUNGE; DUARTE, 1990.

Após o período de incubação, inspeciona-se a lâmina e compara com o gabarito que acompanha o conjunto, conforme ilustra a Figura 22.

Figura 22 - Gabarito empregado na contagem do número de colônias.



Fonte: LABORCLIN, 2008.

Na coleta das amostras para contagem de microrganismos deixa-se o fluido circular por 6 minutos na retificadora. Esse procedimento foi adotado para que a amostra seja representativa.

#### 4.7.8 Percentual de espuma formado

Para verificar o percentual de espuma formado (% F.E.) foi realizado o seguinte procedimento (Método Selub 09-PETROBRÁS):

- ❖ Em uma proveta de 100 mL colocar 60 mL de amostra da emulsão, sendo identificado por volume inicial,  $v_1$
- ❖ Fazer 30 inversões do sistema.
- ❖ Deixar o sistema em repouso por 20 minutos. Em seguida, realizar a leitura do volume final do sistema,  $v_2$ .
- ❖ Calcular o percentual de espuma formada, por meio da equação 6

$$\%F.E. = [(v_2 - v_1) \times 100] / v_1 \quad (6)$$

onde:

% F.E.= percentagem de formação de espuma.

$v_1$ = Volume de solução inicial.

$v_2$ = Volume de solução com espuma.

#### 4.7.9 Teste de estabilidade

A avaliação da estabilidade das emulsões foi realizada visualmente, durante um período de 24 h, à temperatura ambiente (25°C), quanto ao percentual de separação das fases. As medidas foram realizadas em proveta com graduação de 100 mL (subdivisões de 1 mL) (Método Selub 08-PETROBRÁS). A existência de uma pequena quantidade de nata nas bordas do recipiente é aceitável (RUNGE; DUARTE, 1990).

#### 4.7.10 Teste de corrosão

A análise de corrosão foi realizada em cavacos de ferro fundido de acordo com Método IP 287/87- Petrobrás com o seguinte procedimento:

- ❖ Pesar 2 gramas de ferro fundido, sobre o papel filtro já acondicionado na placa de Petri.
- ❖ Pipetar 2 mL da amostra a ser testada, umedecer os cavacos de ferro uniformemente e espalhar utilizando uma espátula de plástico.
- ❖ Recobrir a placa de Petri e deixar em repouso durante 2 horas.
- ❖ Depois descartar os cavacos e lavar o papel de filtro suavemente em água de torneira
- ❖ Mergulhar o papel de filtro rapidamente em acetona e esperar secar, à temperatura ambiente.
- ❖ Verificar visualmente o grau de corrosão comparando-se com a classificação apresentada na Tabela 16 e Figura 23.

#### 4.7.11 Determinação da DQO

A determinação da DQO foi realizada pelo método espectrofotométrico de acordo com o procedimento a seguir:

### Obtenção da curva padrão

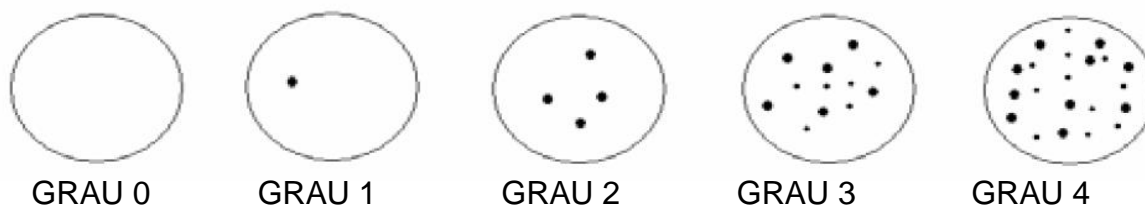
❖ Preparar soluções padrão de 25 mL de volume contendo: 0, 20, 40, 60, 80, 100 ppm de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ), 1 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ )  $3,0 \text{ mol L}^{-1}$ .

Tabela 16 - Como reportar a corrosão

Grau de corrosão	Significado	Superfície do papel
0	ausência de corrosão	sem alteração.
1	traços de corrosão	No máximo 3 sinais de corrosão, nenhum tendo diâmetro maior que 1mm.
2	leve corrosão	Não mais que 1% da superfície descolorida, porém sinais de corrosão em maior número ou mais fortes que o grau 1.
3	média corrosão	Descoloração de mais de 1%, porém menos que 5% da superfície.
4	forte corrosão	Descoloração de mais de 5% da superfície.

Fonte: IP 287/87- Petrobrás.

Figura 23 - Aparência do papel filtro após teste de corrosão.



Fonte: Método IP 287/87- Petrobrás.

❖ Realizar a leitura de absorvância em um comprimento de onda específico ( $\lambda = 430 \text{ nm}$ ) para estas soluções no espectrofotômetro UV-Visível,

sendo utilizado como zero uma solução de 25 mL contendo 1 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $3,0 \text{ mol L}^{-1}$ .

❖ Utilizar os valores obtidos para montar a curva padrão que relaciona concentração e absorvância.

#### Digestão da amostra

❖ Adicionar em um balão de fundo redondo de 250 mL, 5 mL da amostra, 10 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ , 1 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $3,0 \text{ mol L}^{-1}$  e pérolas de vidro.

❖ Colocar o balão na manta aquecedora e conectar ao condensador de Vigroux.

❖ Deixar o sistema em refluxo a aproximadamente  $140^\circ\text{C}$  por 2 horas.

❖ Deixar o sistema esfriar.

#### Cálculo da DQO

❖ Para realizar a leitura da amostra deve-se, preparar uma solução contendo a quantidade de dicromato e ácido que foram adicionados para a digestão (10 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ , 1 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $3,0 \text{ mol L}^{-1}$ ), o branco.

❖ Retirar desta solução uma alíquota de 1 mL e diluí-la 2.500 vezes.

❖ Realizar a mesma diluição para as amostras.

❖ Fazer leitura da absorvância das duas soluções e por meio da curva padrão, obter as concentrações de dicromato em ambas.

❖ Por meio da diferença entre as concentrações de dicromato inicial e após a digestão, foi possível calcular a DQO.

#### **4.7.12 Determinação de sólidos totais**

Para a determinação dos sólidos totais realizou-se os seguintes procedimentos:

❖ Colocar uma cápsula de porcelana em uma mufla a  $(550 \pm 50)^\circ\text{C}$  por uma hora.

- ❖ Em seguida, transferir para dessecador para esfriar, quando a mesma atingir a temperatura ambiente pesá-la, esta massa foi identificada como ( $m_1$ ).
- ❖ Adicionar na cápsula 50 mL de amostra ( $v$ ).
- ❖ Deixar a cápsula na estufa por aproximadamente 115°C, o tempo suficiente para secar.
- ❖ Transferir o sistema para um dessecador para esfriar até a temperatura ambiente e em seguida pesá-lo.
- ❖ Colocar a cápsula novamente na estufa por 30 minutos para verificar se todas as substâncias foram evaporadas. Deixar esfriar e pesar novamente. Este procedimento foi repetido até a massa se manter constante em três pesagens consecutivas, o valor obtido foi identificado como ( $m_2$ ).
- ❖ O valor de sólidos totais,  $ST$ , obtido em  $\text{mg L}^{-1}$  foi calculado por meio da Equação (7).

$$ST = [(m_2 - m_1) \times 1000000] / v \text{ (mL)} \quad (7)$$

#### 4.7.13 Determinação da condutividade

A condutividade do fluido de corte foi determinada em um condutivímetro digital, modelo DM-31, da marca Digimed.

#### 4.7.14 Teste de solubilidade

Adicionou-se 0,4 mL (6%) de cada aditivo a 6 mL de óleo comercial formando 3 sistemas diferentes. Cada sistema foi submetido a agitação mecânica em uma velocidade de 700 rpm por um período de 30 minutos, à temperatura ambiente (25°C). Em seguida cada sistema foi emulsionado para 100 mL de emulsão.

#### 4.7.15 Rugosidade

Para as medidas de rugosidade das peças usinadas utilizou-se o comprimento de medição (*Cut-off*) de 0,8 mm em 4 posições distintas e equidistantes a 90° aproximadamente. Logo após foi realizada a média e o desvio



padrão dos resultados. A rugosidade (Ra) foi escolhida por ser a variável de saída mais utilizada nos processos de fabricação. Quanto aos corpos de provas, estes foram limpos com álcool, flanela e preparados em uma superfície de apoio para melhor utilização do apalpador. A Figura 24 ilustra a condição de montagem e medição da rugosidade.

Figura 24 - Medição dos parâmetros de rugosidade.



Fonte: dados da autora.

#### 4.8 AJUSTES DOS PARÂMETROS AFETADOS DA 2ª FASE

A emulsão de fluido de corte utilizada, nesta fase do trabalho, teve os seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos ajustados mediante recomendações do fabricante com o uso de alcalinizante e biocida a base de triazina, que é bactericida, leveduricida e fungicida para preservação da emulsão óleo/água, normalmente utilizado como produto de “choque” e “manutenção”.

- **CHOQUE:** estratégia utilizada quando a emulsão apresenta contaminação microbiológica muito elevada (acima de  $10^5$  UFC mL<sup>-1</sup>). Utiliza-se 0,35% da solução em relação ao volume total da máquina, por três dias consecutivos (de preferência no mesmo horário), assim consegue-se a erradicação dos micro-organismos da emulsão e parte dos biofilmes fixos a superfície do equipamento.

- **MANUTENÇÃO:** quando a emulsão está com a população microbiana controlada (máximo de  $10^4$  UFC mL<sup>-1</sup>), utiliza-se 0,30% da solução em relação ao

volume da emulsão que será repostado (efetuar a estratégia de manutenção todas as vezes que repuser a emulsão).

Após a adição de biocida, mede-se o valor de pH, se ainda for inferior a 8,5, adiciona-se o alcalinizante, até elevar o pH para 9,5.

#### **4.9 ADITIVOS UTILIZADOS PARA PRÉ-TESTES NA 3ª FASE**

Os aditivos utilizados na fase de pré-testes foram da MIRACEMA- Nuodex Indústria Química Ltda e as informações são descritas a seguir de acordo com a ficha técnica:

##### **- Aditivo 1 (A<sub>1</sub>): Agente de oleosidade**

Aditivo baseado em óleos animais selecionados, filtrados a frio, refinados, desodorizados e classificados como compostos sintéticos de lubrificidade, a ser usados como componentes nas formulações de óleo de corte com o propósito de aumentar a oleosidade do óleo básico mineral e sua condutividade térmica.

##### Propriedades físico-químicas:

- ❖ Aspecto: Líquido transparente.
- ❖ Viscosidade a 40°C: 30-39 cSt.
- ❖ Solubilidade em óleos minerais: solúvel.
- ❖ Aplicação: 5 a 6% em óleos minerais adequados.

##### **- Aditivo 2 (A<sub>2</sub>): Componente lubrificante:**

Éster, de médio peso molecular, desenvolvido a partir do poliglicol e ácidos graxos de origem vegetal parcialmente hidrogenado, não é tóxico e é biodegradável.

Propriedades físico-químicas:

- ❖ Aspecto: líquido transparente.
- ❖ Peso específico a 25°C: 0,970-1,010 g cm<sup>-3</sup>.
- ❖ Índice de iodo: 55-75.
- ❖ Acidez (como ácido oléico): 3% máximo.
- ❖ Índice de saponificação: 105 – 120.
- ❖ Aplicação: 5 a 6% em óleos minerais.

**- Aditivo 3 (A<sub>3</sub>): Aditivo de Extrema Pressão (E.P.)**

O aditivo possui estabilidade térmica e oxidativa com perfeita solubilidade em óleos minerais naftênicos e parafínicos. É baseado em composição sinérgica de óleos de animais refinados e filtrados a frio com ésteres de ácidos graxos naturais sulfurizados por processo catalítico.

Propriedades físico-químicas:

- ❖ Aspecto: líquido brilhante marrom escuro.
- ❖ Viscosidade a 100°: 160-200 SSU.
- ❖ Solubilidade em óleos minerais: solúvel.
- ❖ Aplicação: 4 a 10% em óleos minerais adequados.

#### **4.10 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS EMULSÕES ADITIVADAS**

Para execução dos pré-testes utilizou-se a retificadora plana com reservatório adaptado para retificação dos corpos de prova das seguintes amostras de emulsões de 5L nas seguintes formulações:

Amostra 1: 300mL de óleo comercial novo: (C).

Amostra 2: 300mL de óleo comercial (C) + 19,1mL (6%) Aditivo 1 (A<sub>1</sub>):  
(C + A<sub>1</sub>).

Amostra 3: 300mL de óleo comercial (C) + 19,1 mL (6%) Aditivo 2 (A<sub>2</sub>):  
(C + A<sub>2</sub>).

Amostra 4: 300mL de óleo comercial (C) + 19,1 mL (6%) Aditivo 3 (A<sub>3</sub>): (C + A<sub>3</sub>).

Amostra 5: Junção das 3 amostras 15L de óleo comercial (C) + Aditivo 1 (A<sub>1</sub>) + Aditivo 2 (A<sub>2</sub>) + Aditivo 3 (A<sub>3</sub>): (C + A<sub>1</sub> + A<sub>2</sub> + A<sub>3</sub>).

A concentração das emulsões foram verificadas empregando-se o refratômetro e a análise da rugosidade dos corpos de prova foi avaliada.

De acordo com o resultado preliminar do melhor aditivo, avalia-se outras concentrações do aditivo para 5L de emulsão com as seguintes formulações:

Amostra 1: 300mL de óleo comercial novo + 12,5 mL (4%) Aditivo 3 (A<sub>3</sub>).

Amostra 2: 300mL de óleo comercial + 26,1 mL (8%) Aditivo 3 (A<sub>3</sub>).

Amostra 3: 300mL de óleo comercial + 33,3 mL (10%) Aditivo 3 (A<sub>3</sub>).

O monitoramento da emulsão aditivada preliminar e da avaliação com diferentes concentrações foi realizado por meio das análises físico-químicas e microbiológicas e os ajustes foram realizados conforme metodologia descrita no item 4.8.

#### **4.11 AJUSTES DOS PARÂMETROS AFETADOS DA 3ª FASE**

A emulsão de fluido de corte utilizada, nesta fase do trabalho, teve os seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos ajustados igualmente segundo recomendações do fabricante descritos no item 4.8.

#### **4.12 AJUSTES DOS PARÂMETROS AFETADOS DA 4ª FASE**

A emulsão de fluido de corte utilizada, nesta fase do trabalho, teve os seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos monitorados e ajustados mediante recomendações do fabricante do biocida com o uso de alcalinizante e biocida a base de 2,2 dibromo-3-nitrolopropionamida. Este biocida não libera formaldeído.

De acordo com a ficha técnica fornecida pelo fabricante o biocida tem a seguintes propriedades físico-químicas:

- ❖ Aspecto: líquido.
- ❖ Cor: incolor a marrom.
- ❖ Odor: inodoro a fraco.
- ❖ pH: 1,5- 5,0.
- ❖ Densidade específica: 1,20- 1,30 g cm<sup>-3</sup>.
- ❖ Viscosidade cinemática 16 cSt (25°C).
- ❖ Aplicação: com contaminação máxima de 10<sup>4</sup> UFC mL<sup>-1</sup> , 0,2 a 0,4% em relação ao volume do reservatório com posterior adição de alcalinizante.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 1ª FASE**

#### **5.1.1 Medida da dureza da água utilizada na formação da emulsão**

O resultado obtido para a análise da dureza total da água foi de  $(64,0 \pm 1,2)$  mg CaCO<sub>3</sub>, com coeficiente de variação de 1,9%.

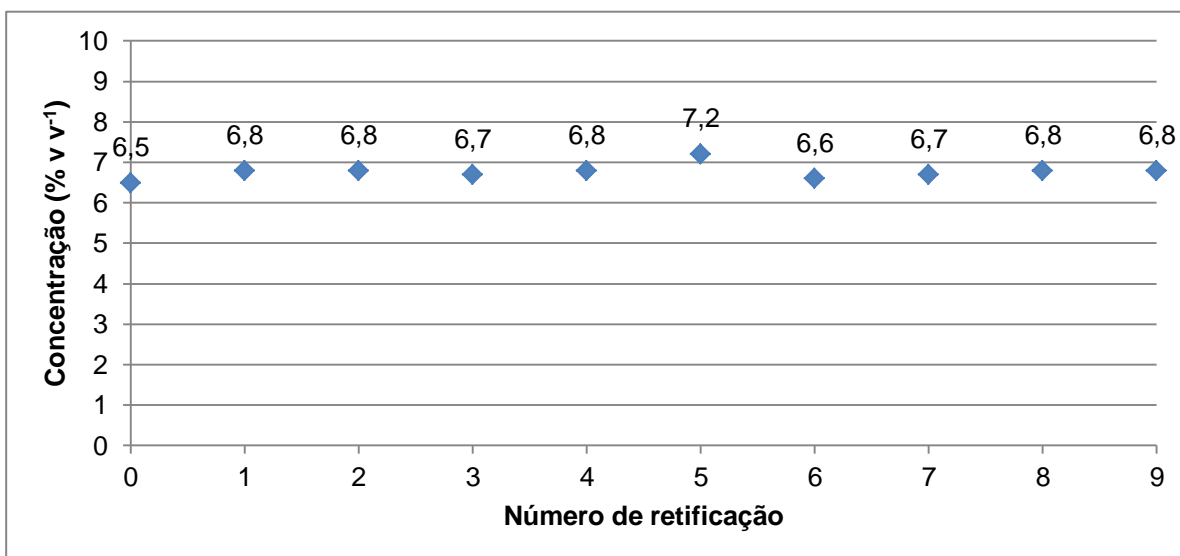
De acordo com a Tabela 6, p. 58, pode-se classificar a água utilizada na emulsão como moderadamente branda e por isso está adequada ao uso no preparo da emulsão e não foi observado problema de formação de espumas.

#### **5.1.2 Monitoramento do comportamento da emulsão no processo de retificação**

O monitoramento do fluido de corte durante o processo de usinagem foi realizado em intervalos regulares de 9 ensaios com produção de 105 peças por ciclo de retificação. Os parâmetros físico-químicos analisados nesta etapa foram: concentração, densidade, viscosidade e pH. O número de retificação zero corresponde à emulsão nova.

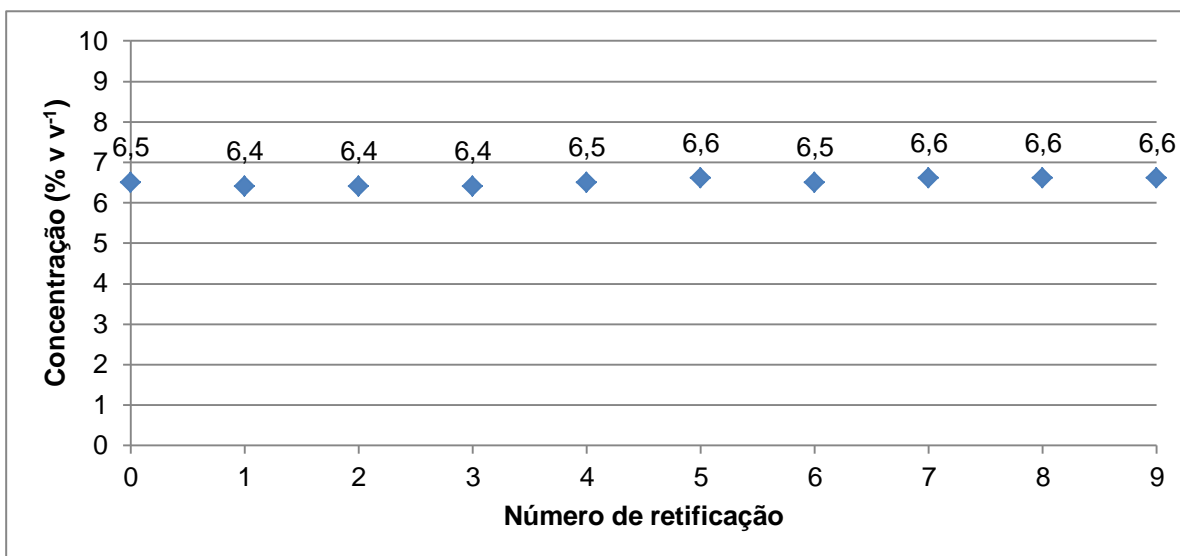
Os valores de concentração foram monitorados antes de cada ciclo de usinagem e ajustadas para execução dos ensaios. A Figura 25 apresenta os valores de concentração antes do ajuste e Figura 26 apresenta os valores depois do ajuste. Os valores de concentração foram obtidos à temperatura em torno de 25°C.

Figura 25 - Valores de concentrações antes do ajuste para cada ciclo de retificação.



Fonte: dados da autora.

Figura 26 - Valores de concentrações ajustados para cada ciclo de retificação.



Fonte: dados da autora.

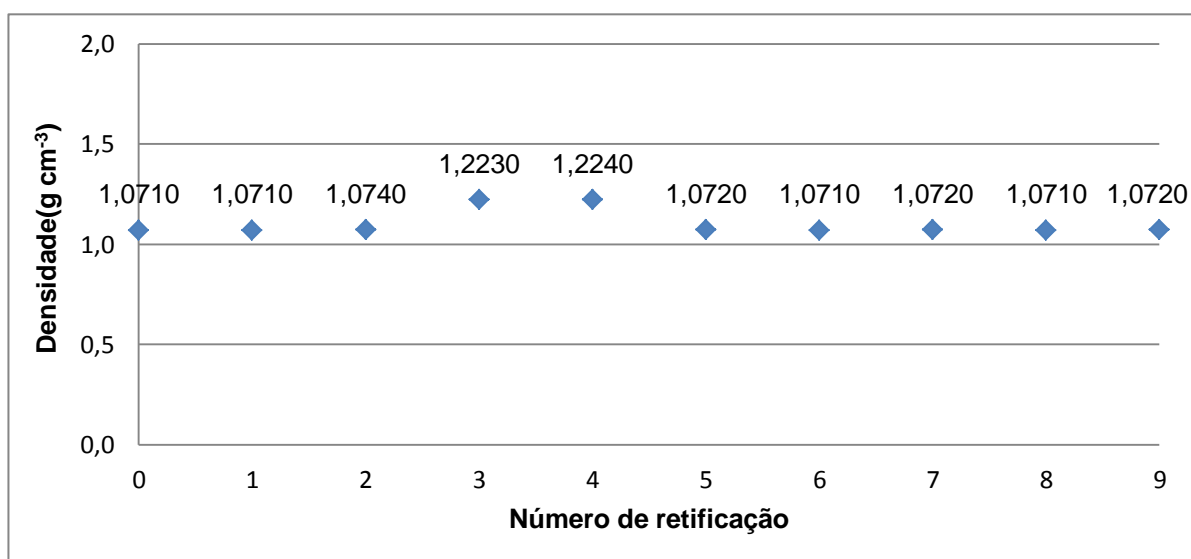
Ao utilizar a distribuição t-Student para os valores de concentração antes do ajuste ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 < \bar{x}$ , tendo como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 6,5\% \text{ v v}^{-1}$ ;  $\bar{x} = 6,8\% \text{ v v}^{-1}$ ;  $s = \pm 0,17$ ; observa-se que há evidências significativas ( $\alpha=0,05$ ) de que em média os valores de concentração sofrem variações, isso se deve a perda de água por evaporação da emulsão durante o processo de retificação.

Ao analisar os valores médios de concentração ao longo do processo de usinagem ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 \neq \bar{x}$ ) após o ajuste ( $\alpha=0,05$ ), tendo como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 6,5\% \text{ v v}^{-1}$ ;  $\bar{x} = 6,5\% \text{ v v}^{-1}$ ;  $s = \pm 0,093$ ; é aceito que os valores de concentração não sofreram variações significativas.

Os valores dos parâmetros de densidade, viscosidade e pH foram monitorados depois do ajuste da concentração, antes da execução de cada ciclo de usinagem e foram realizados a temperaturas em torno de  $25^\circ\text{C}$  para valores de densidade e viscosidade. Os valores de pH foram ajustados a temperatura de  $25^\circ\text{C}$ .

A Figura 27 representa os valores de densidade para cada ciclo de usinagem.

Figura 27 - Variação da densidade em relação ao número de ensaios de retificação.



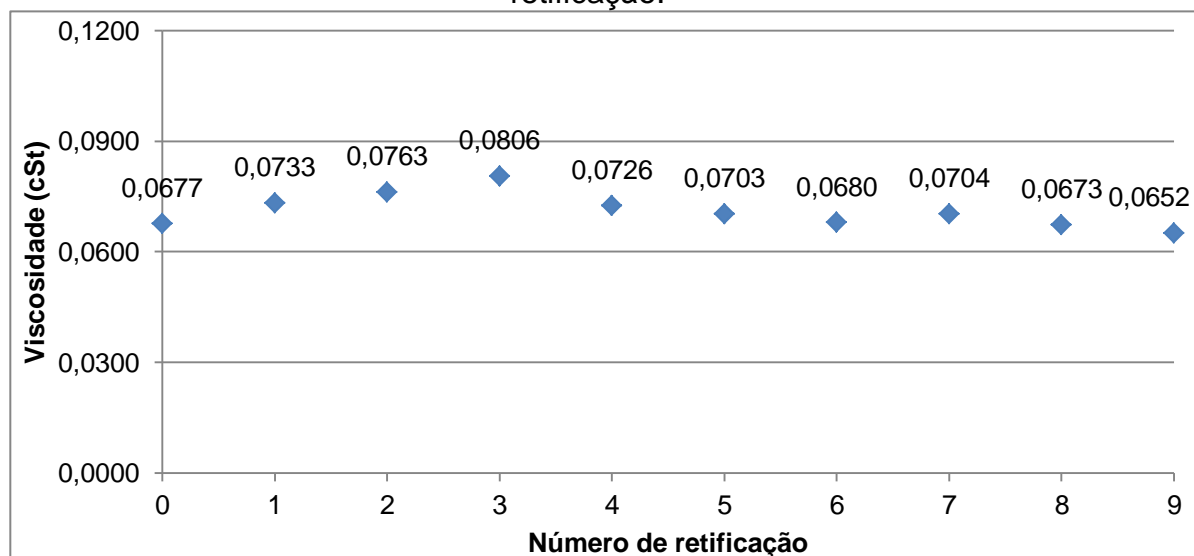
Fonte: dados da autora.

Tomando como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 1,0710 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $\bar{x} = 1,1056 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $s = \pm 0,06686$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 < \bar{x}$ ), não há evidências significativas ( $\alpha=0,05$ ) de que em média os valores de densidade sofreram variações.

A Figura 28 representa os valores de viscosidade para cada ciclo de usinagem.



Figura 28 - Variação da viscosidade em relação ao número de ensaios de retificação.

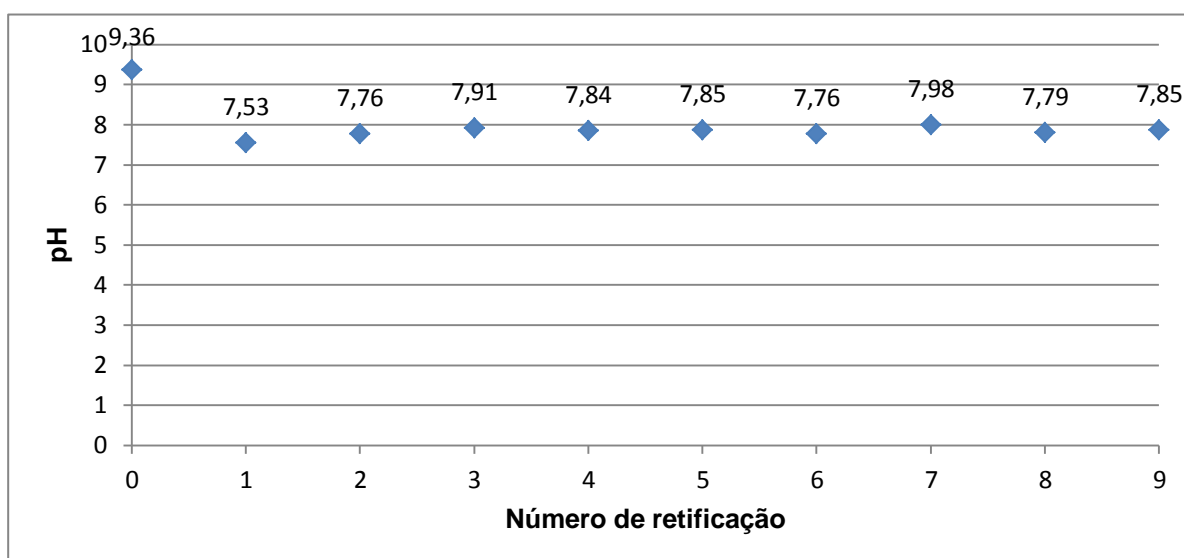


Fonte: dados da autora.

Tomando como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 0,0677$  cSt,  $\bar{x} = 0,0716$  cSt,  $s = \pm 0,0048$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 < \bar{x}$ ), há evidências de que em média, os valores de viscosidade não sofrem variações significativas ( $\alpha=0,05$ ).

Na Figura 29 é apresentado os valores de pH para cada ciclo de usinagem.

Figura 29 - Variação do pH em relação ao número de ensaios de retificação.



Fonte: dados da autora.

A queda do valor de pH da emulsão nova para antes da realização do primeiro ciclo de retificação corresponde ao período de aproximadamente 3 meses que o fluido ficou em repouso no reservatório da retificadora. Segundo Runge e

Duarte (1990) os valores de pH medidos antes do início de cada ciclo de retificação estão fora dos parâmetros de qualidade da emulsão e seria necessário uma substituição.

Considerando como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 9,36$ ,  $\bar{x} = 7,81$ ,  $s = \pm 0,126$ , ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 < \bar{x}$ ) ao analisar os valores médios de pH ao longo do processo de usinagem ao nível de significância de ( $\alpha = 0,05$ ) é aceito que os valores de pH sofreram variações significativas.

Pelos resultados apresentados anteriormente, podemos concluir que dos quatro parâmetros usados para avaliar o monitoramento por meio da variação das propriedades da emulsão do fluido de corte, frente a um ciclo de uso contínuo, que os valores de concentração e pH sofreram variações significativas. Os valores de concentração foram ajustados antes de cada ciclo de usinagem. As variações dos valores de pH é o fator mais relevante para o monitoramento e está de acordo com as observações de Rabenstein (2009) que constatou uma redução gradual de pH de uma emulsão de base mineral em um período de 25 semanas e de Bianchi et al. (2008) que notaram a redução do pH de fluido emulsionável de base vegetal na medida em que a experimentação avançava.

### **5.1.3 Caracterizações físico-químicas da degradabilidade da emulsão**

A Tabela 17 apresenta os valores das análises químicas realizadas para avaliação da degradabilidade da emulsão. Duas amostras foram recolhidas: antes da utilização no processo de usinagem e após utilização por um período de 6 meses. O fluido analisado é o mesmo do item 5.1.2. Após o período de 9 ciclos de retificação, a emulsão foi deixada em repouso, dentro do próprio reservatório da retificadora, por um período aproximado de vinte dias para que entre o início e o fim do processo tenham transcorrido 6 meses.

Tabela 17 - Caracterização físico-química do fluido de corte emulsionável antes e após-processo de retífica em um período de seis meses.

Análise	Antes do processo de retificação	Após utilização de 6 meses
Densidade (g mL <sup>-1</sup> )	(1,0710 ± 0,0009)	(1,0767 ± 0,0006)
Índice de acidez (mg KOH g <sup>-1</sup> )	(0,615 ± 0,002)	(2,200 ± 0,002)
Viscosidade (cSt)	(0,0677± 0,0031)	(0,0678± 0,0030)
pH (a 25 °C)	(9,36 ± 0,01)	(7,63 ± 0,01)
Contagem microbiológica (UFC mL <sup>-1</sup> )	Bactérias totais: <10 <sup>2</sup> Fungos e leveduras: <10 <sup>2</sup>	Bactérias totais: 10 <sup>5</sup> Fungos e leveduras: 10 <sup>3</sup>
Percentual de Espuma	0	0
Teste de estabilidade	0	0
Corrosão	2	3
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	86	74
Sólidos totais (mg L <sup>-1</sup> )	44.932	38.236
Condutividade (µS cm <sup>-1</sup> )	369,70± 0,01	1.120,30±0,01

Fonte: dados da autora.

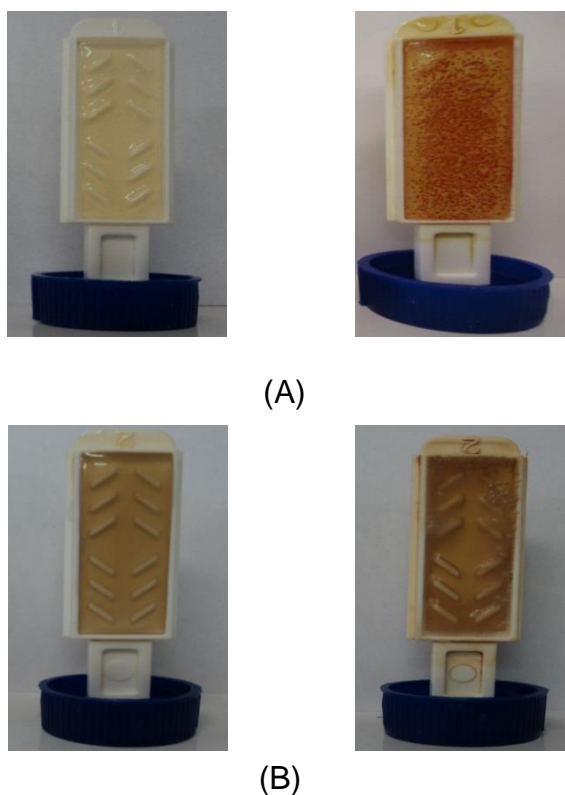
Quando as amostras da emulsão nova e após utilização de 6 meses de usinagem são comparadas observa-se que a densidade praticamente não sofreu modificações, a viscosidade não foi afetada, conservando o valor da viscosidade próxima ao valor da água a 40°C, enquanto que o pH sofreu acentuada redução e o aumento do índice de acidez total. Constatou-se o aumento da contagem de micro-organismos, não ocorreu a formação de espuma, a emulsão ainda apresentava estabilidade e o grau de corrosão aumentou um grau. O valor de DQO e sólidos totais diminuíram de valor enquanto a condutividade da emulsão aumentou aproximadamente quatro vezes.

O valor final do pH está abaixo do valor de uma emulsão adequada para uso satisfatório, que seria acima de 8,7. Para valores de pH entre 7,8 e 8,7 é necessário a adição de biocidas para controlar o grau de contaminação, e a correção de pH com adição de agentes alcalinizantes. Para valores de pH inferiores a 7,8 é necessário a troca do fluido de corte (RUNGE ; DUARTE, 1990). Esta queda no valor de pH está relacionada principalmente à proliferação de micro-organismos no fluido, uma vez que estes, no decorrer de seu metabolismo, liberam substâncias ácidas. Esse resultado está de acordo com o aumento do índice de acidez total que indica a quantidade de substâncias ácidas contidas no óleo. O índice de acidez total aumentou aproximadamente 3,5 vezes. A grande área superficial dos cavacos gerados e depositados no fundo do reservatório pode sequestrar aditivos químicos como o próprio biocida (SHENNAN, 1983). O nível de contaminação microbiológico considerado satisfatório, que não afeta na qualidade das peças usinada, é de contagens inferiores a  $10^4$  UFC mL<sup>-1</sup> para cada grupo microbiano analisado (CAPELLETTI, 2006). A contagem obtida após a utilização de 6 meses foi superior a este valor, correspondente a  $10^5$  UFC mL<sup>-1</sup>. Na presença de aproximadamente  $10^6$  UFC mL<sup>-1</sup> obtém-se um efeito inibidor do crescimento fúngico (RUNGE; DUARTE, 1990), o que pode ser constatado com a baixa proliferação deste micro-organismo, quando comparada a de bactérias. A Figura 30 ilustra o resultado da avaliação microbiológica antes do processo de retificação e após 6 meses de utilização.

O nível de contaminação microbiana não chegou a consumir o antiespumante da emulsão. Ele evita a formação de espumas, o que pode dificultar a visualização do operador durante o processo de usinagem ou prejudicar a refrigeração da peça usinada pela formação de bolhas de ar (MUNIZ, 2008) assim como o emulsificante da emulsão, já que a emulsão permaneceu estável. O grau de corrosão das duas amostras aumentou um grau.

A análise dos dados da DQO e de sólidos totais permitem observar que os parâmetros diminuem de concentração devido a: a) a degradação da matéria orgânica constituinte da emulsão que é metabolizada pelos micro-organismos. Nesta degradação há produção de CO<sub>2</sub> e água, reduzindo o teor poluidor do fluido. b) altas temperaturas que a emulsão é submetida ao entrar em contato com a região de corte, sendo suficiente alta para degradar matéria orgânica.

Figura 30 - Resultado da avaliação microbiológica pelo método “*dip slide*” antes do processo de retificação e após 6 meses de uso. A- Face 1. B- Face 2.



Fonte: dados da autora

O valor de condutividade aumentou devido, inicialmente, a contaminação microbiológica, que durante o seu ciclo metabólico libera substâncias ácidas que além de contribuir para reduzir o pH, contribuem para aumentar a condutividade do meio.

Diante dos resultados observa-se que monitoramento diário do pH e contagem microbiana semanal da emulsão é necessário quando se deseja recuperar do fluido, ajudando no mínimo descarte possível, com o aumento do tempo de vida, assegurando que o fluido opere dentro dos parâmetros de qualidade. É necessário filtrar dos cavacos antes deles depositarem no fundo de reservatório, melhorando o custo benefício e contribuindo para uma manufatura mais limpa.

## 5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 2ª FASE

### 5.2.1 Monitoramento do comportamento da emulsão no processo de retificação e realização de ajustes dos parâmetros afetados.

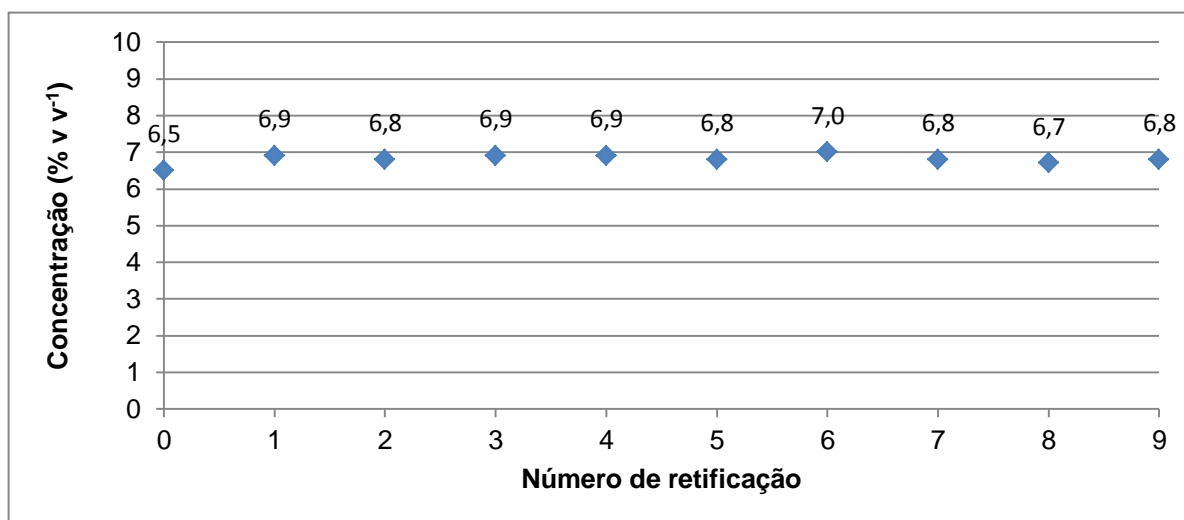
Diante dos resultados apresentados nos itens 5.1.2 e 5.1.3, para o acompanhamento das variações das propriedades do fluido de corte no monitoramento durante os ciclos de usinagens e na degradabilidade durante um período de seis meses de uso contínuo, definiu-se o pH, contagem microbiológica e grau de corrosão como os parâmetros de monitoramento visando o controle da qualidade do fluido emulsionável, devido a praticidade e rapidez das técnicas com o objetivo de uma reciclagem contínua para que o fluido opere dentro das especificações do fornecedor pelo fabricante, como por exemplo, a coloração e o odor (sinais característicos da presença microbiana) além da filtragem dos cavacos. Os efeitos desta recuperabilidade foram avaliados pelos parâmetros de saída e estão de acordo com a proposta do trabalho de Lima (2013).

Os valores de concentração foram monitorados antes de cada ciclo de usinagem e ajustadas para execução dos ensaios. A Figura 31 apresenta os valores de concentração antes do ajuste e a Figura 32 os valores depois do ajuste. Nos números de usinagens 3, 6 e 9 foram realizados dois ensaios no mesmo ciclo de retificação.

Tendo como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 6,5\% \text{ v v}^{-1}$ ,  $\bar{x} = 6,8\% \text{ v v}^{-1}$ ,  $s = \pm 0,09$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 < \bar{x}$ ), observa-se que os valores de concentração antes do ajuste há evidências significativas ( $\alpha=0,05$ ) de que em média os valores de concentração sofrem variações durante o processo de usinagem.

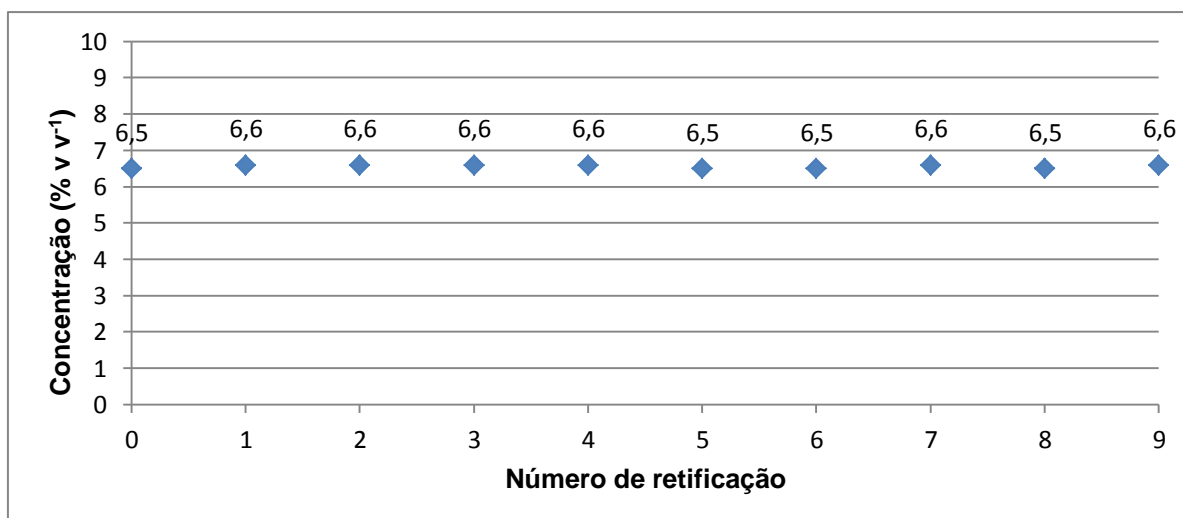
Ao analisar os valores médios de concentração ao longo do processo de usinagem tendo como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 6,5\% \text{ v v}^{-1}$ ,  $\bar{x} = 6,6 \text{ v v}^{-1}$ ,  $s = \pm 0,05$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 < \bar{x}$ ) ( $\alpha=0,05$ ) é aceito que os valores de concentração não sofreram variações significativas e que o ajuste da concentração foi satisfatório.

Figura 31 - Valores de concentrações antes do ajuste para cada ciclo de retificação.



Fonte: dados da autora.

Figura 32 - Valores de concentrações ajustados para cada ciclo de retificação.



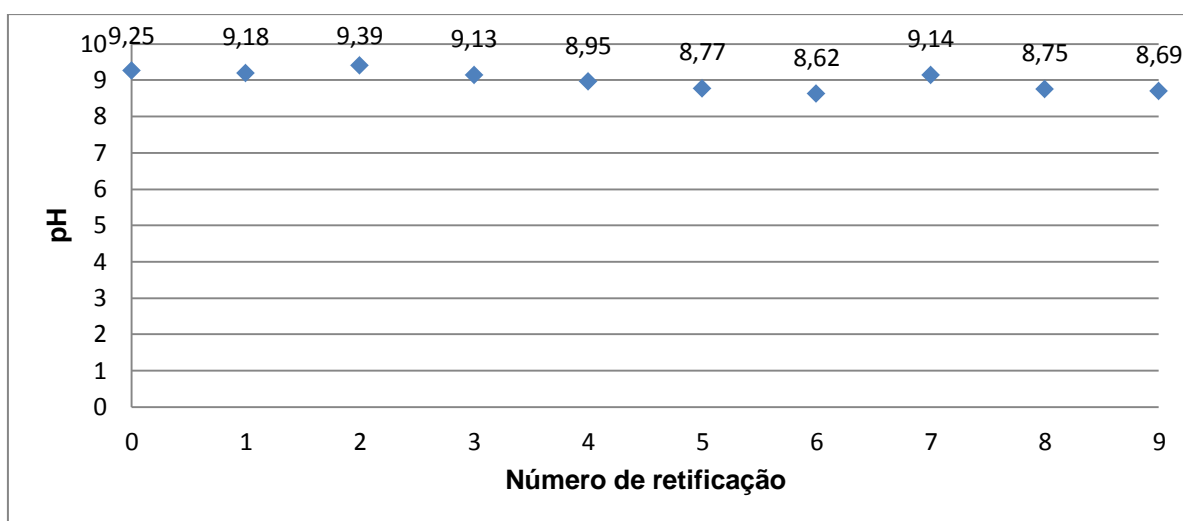
Fonte: dados da autora.

As amostras para análises de pH, contagem microbiológica e corrosão foram recolhidas após o ajuste da concentração.

A Figura 33 apresenta os valores de pH para cada ciclo de retificação.

Os valores de pH estão dentro dos valores adequados ao uso segundo o fabricante e Runge de Duarte (1990) e observa-se também de que em média os valores de pH sofrem variações significativa ( $\alpha=0,05$ ) ao longo do número de usinagens, tendo como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 9,25$ ,  $\bar{x} = 8,96$ ,  $s = 0,265$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 > \bar{x}$ ).

Figura 33 - Valores de pH para cada ciclo de retificação.



Fonte: dados da autora.

A Tabela 18 apresenta os valores de contagem microbiológica para cada ciclo de retificação:

Tabela 18 - Valores das contagens microbiológicas.

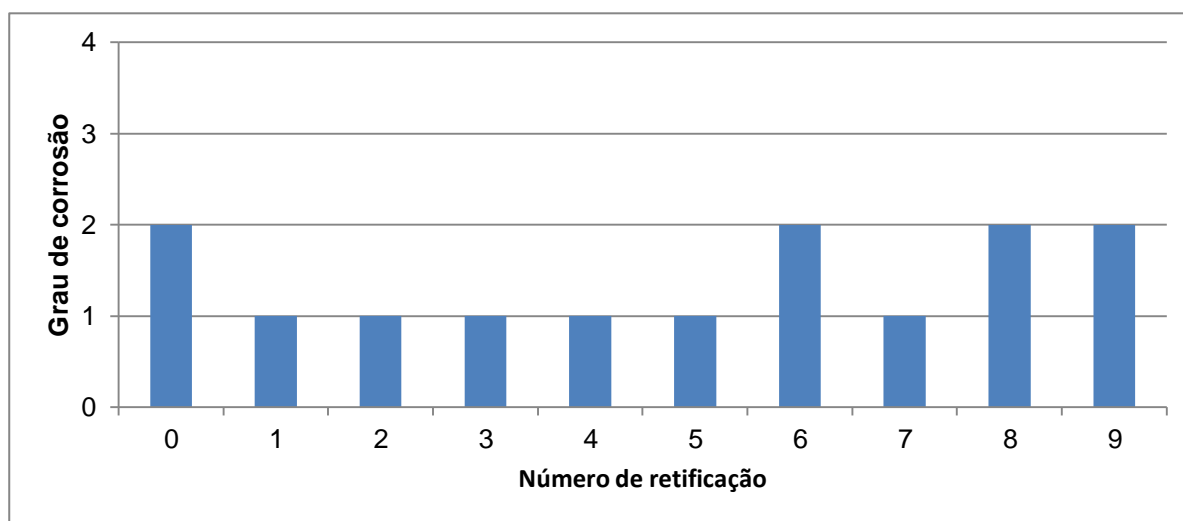
Nº de retificação	Bactérias totais (UFC mL <sup>-1</sup> )	Fungos e leveduras UFC mL <sup>-1</sup>
0	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
1	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
2	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
3	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
4	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
5	10 <sup>3</sup>	<10 <sup>2</sup>
6	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>
7	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
8	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
9	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>

A Figura 34 apresenta os valores de análise de corrosão em ferro fundido para cada ciclo de usinagem.

De acordo com as conclusões de Lima (2013) a recuperabilidade do fluido realizada nesta etapa do trabalho não comprometeu o desempenho do processo nas variáveis de saída analisadas.



Figura 34 - Análise de corrosão em ferro fundido.



Fonte: dados da autora.

Para realização dos ajustes dessa fase foram monitorados os valores de pH diariamente, as contagens microbiológicas e análise de corrosão foram realizadas semanalmente. A seguir, apresentam-se os valores das análises e os ajustes realizados para que o fluido operasse dentro das especificações do fabricante.

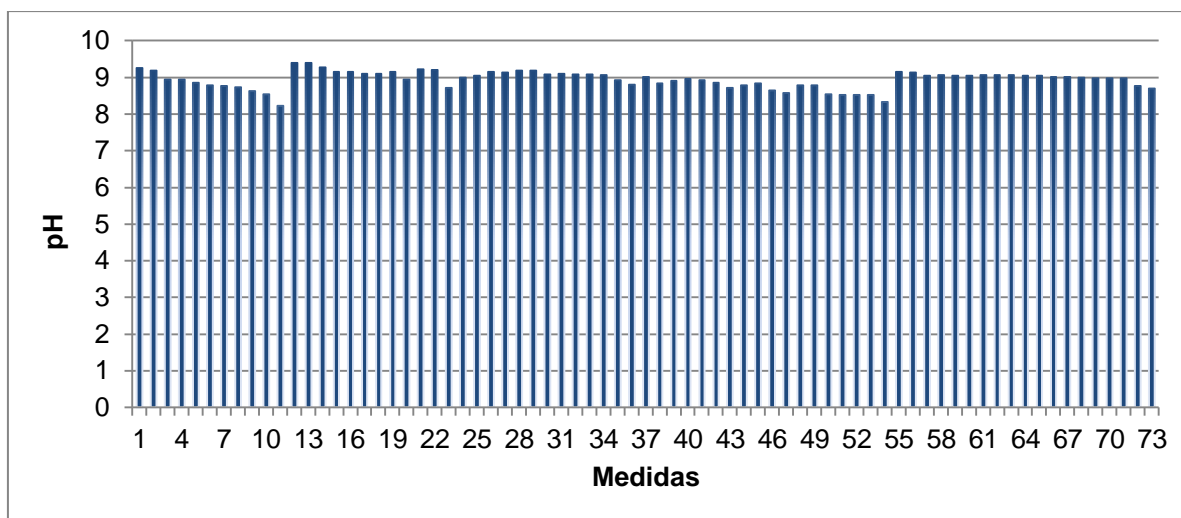
❖ pH: medidas diárias:

Da medida de número 49 e 50 há um intervalo de duas semanas, para simular um tempo de parada de máquina conforme ilustra a Figura 35.

Observa-se pelo monitoramento, uma tendência de redução da medida do pH no decorrer do processo. Dados semelhantes foram obtidos por Passman e Rossmore (2002), que em trabalho com emulsão observaram um decréscimo do pH do fluido de corte associado com presença de micro-organismos.

Pela análise da tendência da Figura 35, foi observado que da 1ª a 11ª semana houve uma queda contínua no valor do pH, essa queda, provavelmente, deve-se ao baixo teor residual do biocida adicionado no fluido comercial. Após a primeira intervenção, foi observado um tempo de estabilidade maior de pH, este período de maior estabilidade deve-se a um maior teor residual do biocida usado nas intervenções, visto que o biocida empregado nesta etapa, foi o mesmo utilizado na formulação comercial.

Figura 35 - Monitoramento diário dos valores de pH.



Fonte: dados da autora.

❖ Contagem microbiológica: medidas semanais. Os resultados das análises são apresentados na Tabela 19:

Tabela 19 - Valores das contagens microbiológicas

Amostra	Bactérias totais (UFC mL <sup>-1</sup> )	Fungos e leveduras (UFC mL <sup>-1</sup> )
1	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
2	10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
3	10 <sup>4</sup>	<10 <sup>2</sup>
4	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
5	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
6	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
7	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
8	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
9	10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
10	10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
11	10 <sup>3</sup>	<10 <sup>2</sup>
12	nd	nd
13	nd	nd
14	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>
15	10 <sup>3</sup>	>10 <sup>6</sup>
16	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
17	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
18	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
19	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>

nd = não determinado

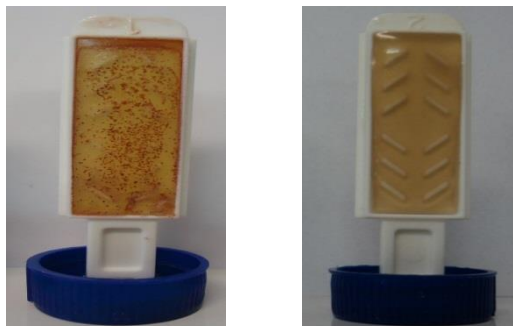
Fonte: dados da autora.

Quando o pH atingiu o valor de  $(8,21 \pm 0,01)$  na medida número 11 e a contagem bacteriana da 3ª semana atingiu  $10^4$  UFC mL<sup>-1</sup> conforme resultado apresentado na Figura 36, adicionou-se 0,30% v v<sup>-1</sup> de biocida a base de triazina em relação ao volume de emulsão no reservatório conforme orientações do fabricante descrito no item 4.8. A medida do valor do pH realizada depois da adição de biocida aumentou para  $(9,39 \pm 0,01)$ . A contagem bacteriana, de fungos e leveduras permaneceu abaixo de  $10^2$  UFC mL<sup>-1</sup> por cinco semanas evidenciando um residual de triazina suficiente para manter o controle da contaminação microbiana. Nas análises microbiológicas das 9ª, 10ª e 11ª semanas constatou-se o predomínio bacteriano em relação aos fungos e leveduras, ocorre desta forma uma competição já que estes micro-organismos disputam o mesmo nutriente. Depois de duas semanas de repouso, simulando um tempo de parada da máquina, constatou-se um predomínio de fungos e leveduras em relação à contagem de bactérias que estão concordantes com as observações de Takahashi (2005), que afirma que a adição de biocidas leva a uma diminuição de crescimento de bactérias, mas isso gera um aumento de crescimento fúngico. Na 15ª semana quando o pH atingiu o valor de  $(8,33 \pm 0,01)$  e a contagem de fungos e leveduras ficou superior a  $10^6$  UFC mL<sup>-1</sup> e de bactérias  $10^3$  UFC mL<sup>-1</sup>, conforme ilustra a Figura 37, adicionou-se 0,35% de biocida a base de triazina em relação ao volume de emulsão do reservatório, por 3 dias consecutivos conforme orientações do fabricante descrito no item 4.8. A medida do pH realizada depois da adição de biocida aumentou para  $(9,14 \pm 0,01)$ , não sendo necessário a adição de alcalinizantes, visto que a triazina é uma base forte. A contagem bacteriana, de fungos e leveduras permaneceu abaixo de  $10^2$  UFC mL<sup>-1</sup> durante o tempo de observação, conforme ilustra a Figura 38.

As observações estão concordantes com Bianchi et al. (2008), onde pode-se inferir que a contaminação do fluido de corte ocorre de maneira intensa nos momentos que ele é lançado sobre a ferramenta de corte e a peça. Nesse momento um jato de emulsão se espalha sobre a superfície do corte, lançando partículas que se espalham pelo ambiente aberto. Essas partículas da emulsão, desde pequenos aerossóis até gotículas maiores, permanecem por algum tempo em suspensão como névoa e, em seguida, depositam-se na superfície da máquina, nas paredes dos aparadores, nas mãos do operador e em qualquer outro local

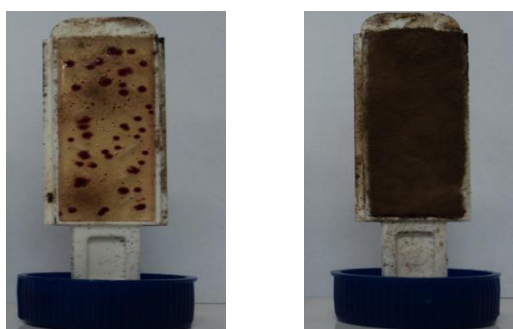
próximo, para então deslizarem e se juntarem num sistema coletor que canaliza o fluido em direção ao reservatório.

Figura 36 - Resultado da análise microbiológica da 3<sup>a</sup> semana.



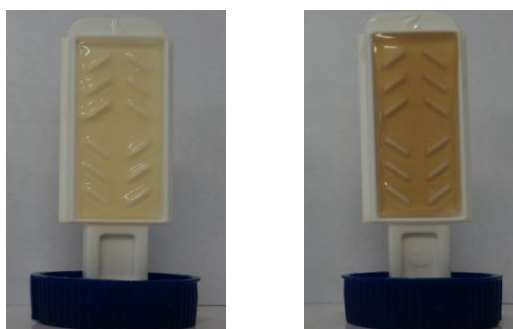
Fonte: dados da autora.

Figura 37 - Resultado da análise microbiológica da amostra 15.



Fonte: dados da autora.

Figura 38 - Resultado da análise microbiológica das amostras 16; 17; 18 e 19.

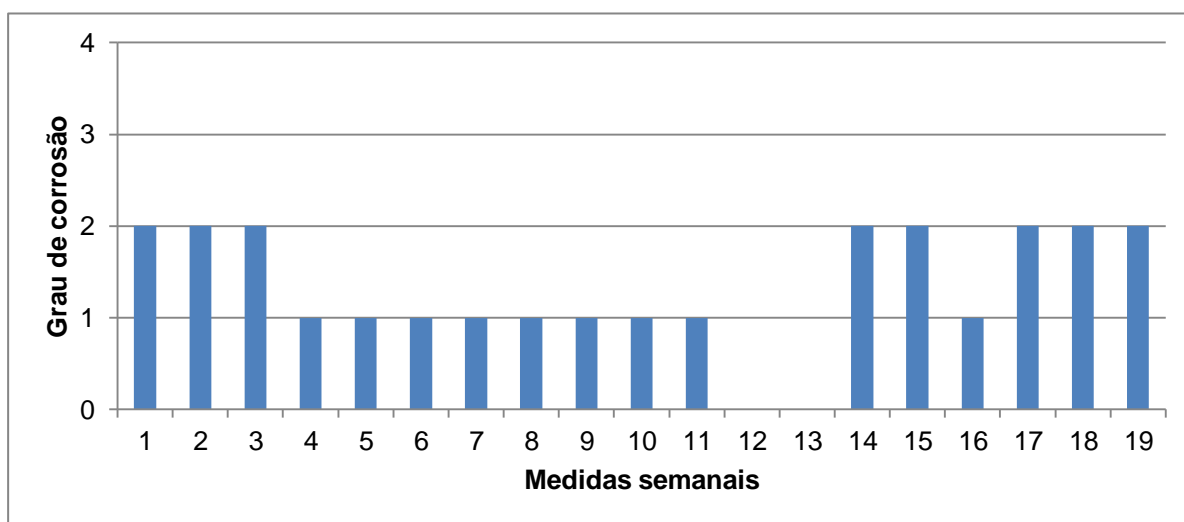


Fonte: dados da autora.

❖ Análise de corrosão em ferro fundido: medidas semanais conforme ilustra a Figura 39. Na 12<sup>a</sup> e 13<sup>a</sup> semanas não foram analisados devido à simulação de parada de máquina.

Observa-se que, com as adições de biocida a base de triazina o grau de corrosão sempre diminui e nota-se uma tendência ao aumento de corrosão da emulsão. A Figura 40 ilustra a análise de corrosão em ferro fundido da amostra da 3ª semana e depois da adição de biocida da amostra da 4ª semana.

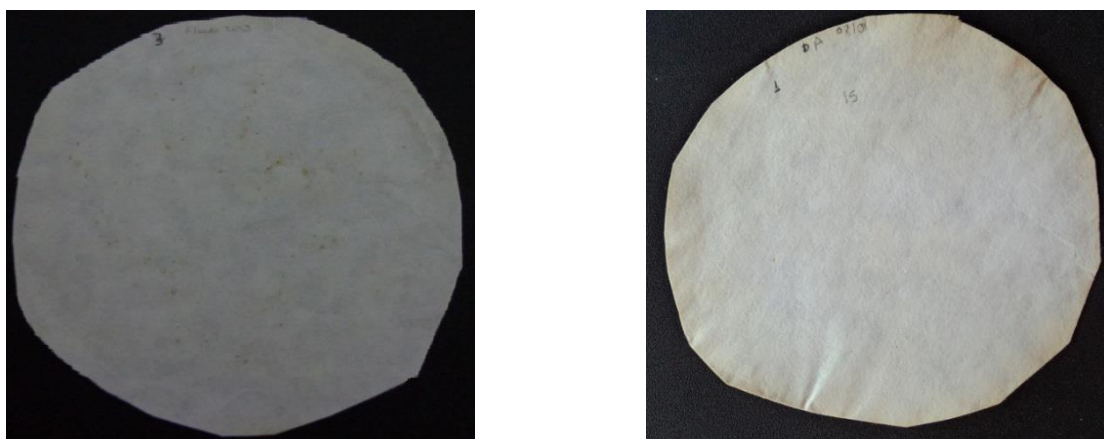
Figura 39 - Análise de corrosão em ferro fundido.



Fonte: dados da autora.

Observa-se que, com as adições de biocida a base de triazina o grau de corrosão sempre diminui e nota-se uma tendência ao aumento de corrosão da emulsão com o passar do tempo. A Figura 40 ilustra a análise de corrosão em ferro fundido da amostra da 3ª semana e depois da adição de biocida da amostra da 4ª semana.

Figura 40 - Resultado da análise de corrosão da amostra da 3ª semana e depois da adição de biocida da amostra da 4ª semana.



Fonte: dados da autora.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 3ª FASE

### 5.3.1 Solubilidade

A incorporação dos aditivos em óleo comercial foi avaliada visualmente, observando-se a solubilidade de todos os aditivos testados quando as amostras foram emulsionadas. Observou-se que todas as amostras solubilizaram-se perfeitamente.

### 5.3.2 Estabilidade

A estabilidade das emulsões aditivas foram avaliadas quanto a medidas de separação de fases obtidas após 24 horas, onde o percentual de separação de fases refere-se ao valor de formação de insolúveis e observou-se que não houve percentual de separação de fases em nenhum dos aditivos adicionados.

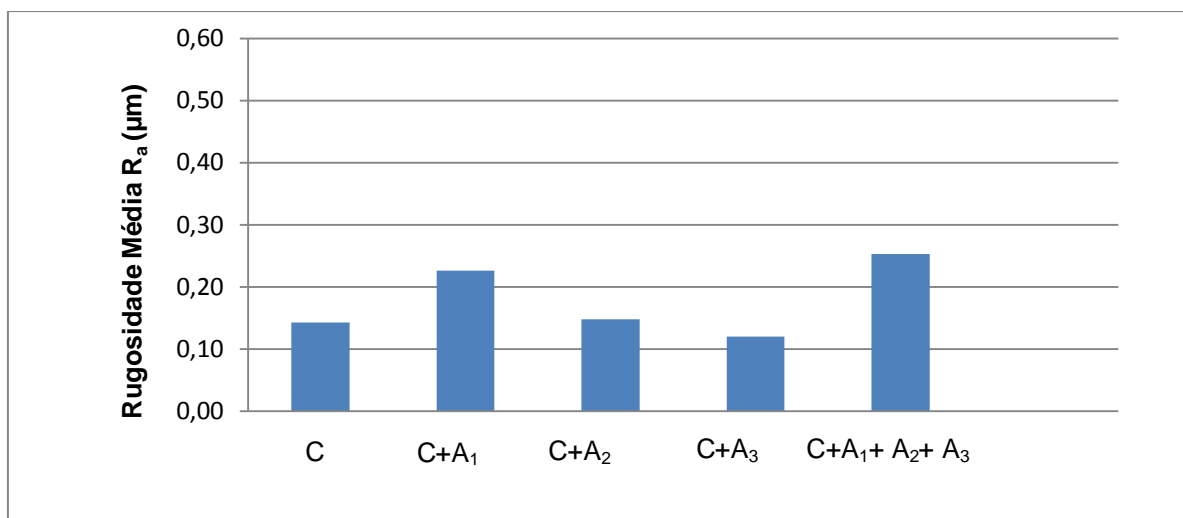
### 5.3.3 Pré-testes para avaliação do desempenho dos aditivos

Nos pré-testes foram avaliadas 5 emulsões em uma retificadora plana para análise de rugosidade dos corpos de prova. O percentual de aditivação foi de acordo com a ficha técnica do fabricante.

O parâmetro escolhido para analisar o desempenho dos aditivos foi a medida de rugosidade ( $R_a$ ). Os resultados da rugosidade média são apresentados na Figura 41. Pela análise da figura observa-se que com a adição do aditivo 1 ( $C + A_1$ ), a rugosidade dos corpos de prova aumentou em relação a emulsão comercial ( $C$ ). Com a adição do aditivo 2 ( $C + A_2$ ) nota-se uma diminuição da rugosidade. A emulsão com o aditivo 3 ( $C + A_3$ ) foi que apresentou menor resultado médio de rugosidade. A junção das 3 emulsões houve um maior aumento de rugosidade em relação a todas as emulsões testadas.

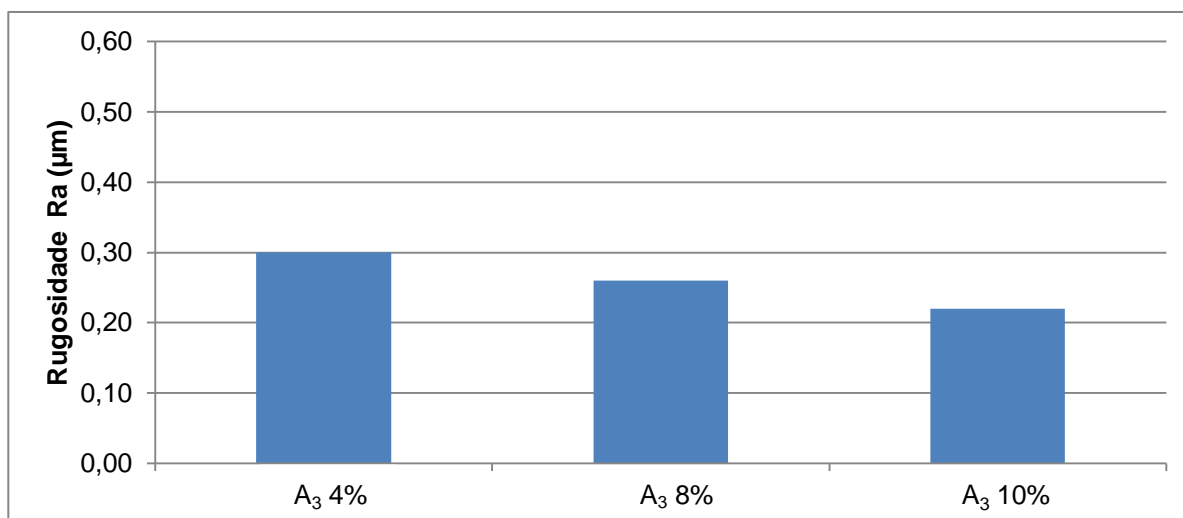
Como a amostra 4 apresentou o melhor resultado de rugosidade. Realizou-se mais pré-testes onde foram avaliados 4 emulsões com concentrações do aditivo 3 ( $A_3$ ) a 4%, 8% e 10%, conforme resultados apresentado na Figura 42.

Figura 41 - Medidas de rugosidade dos pré-testes para avaliação dos aditivos.



Fonte: dados da autora.

Figura 42 - Medidas de rugosidade dos pré-testes para avaliação do aditivo ( $A_3$ ) nas seguintes concentrações: 4%, 8% e 10%.



Fonte: dados da autora

O menor valor encontrado da média de rugosidade é da amostra A<sub>3</sub>10% quando comparadas com as demais percentuais de adição do mesmo aditivo.

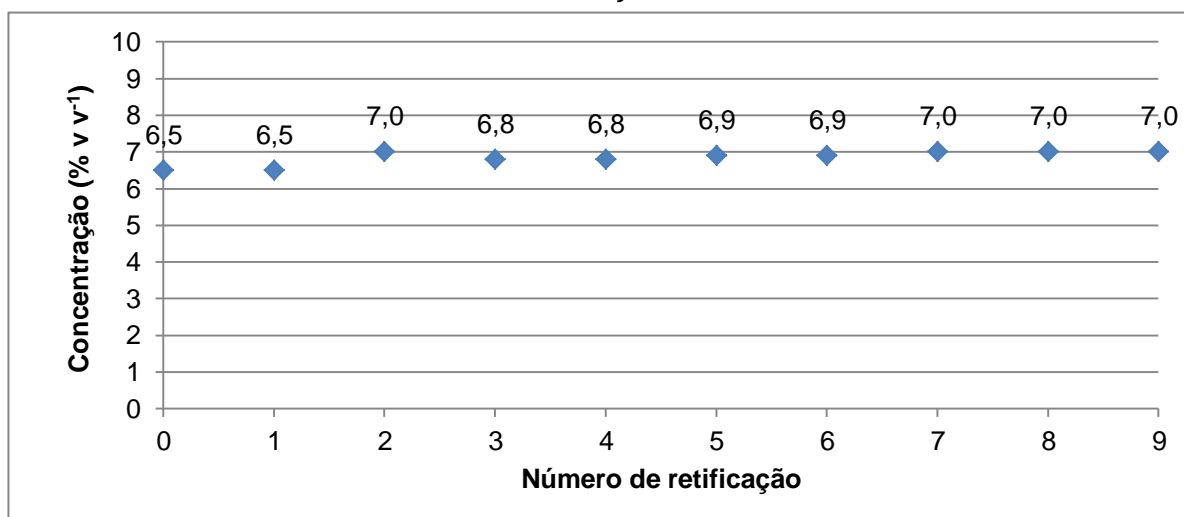
Então, para os testes definitivos na retificadora utilizou-se o percentual de adição de aditivo de 6 % e 10% do aditivo 3 (A<sub>3</sub>).

### 5.3.4 Monitoramento da emulsão de fluido de corte aditivada no processo de retificação e realização de ajustes dos parâmetros afetados.

Diante dos resultados apresentados no item 5.3.3, nos pré-testes para avaliação da emulsão aditivada, definiu-se que a formulação da emulsão com 6% e 10% que correspondem aos melhores resultados das duas etapas dos pré-testes com a aditivação da emulsão com o aditivo 3 ( $A_3$ ). O número de usinagem zero corresponde à emulsão aditivada nova, os números de usinagem 1 ao 6 correspondem a emulsão aditivada com 6% e os números de usinagem 7 ao 9 correspondem a emulsão aditivada com 10% do aditivo 3 ( $A_3$ ).

Os valores de concentração foram monitorados antes de cada ciclo de usinagem e ajustadas para execução dos ensaios. A Figura 43 apresenta os valores de concentração antes do ajuste e a Figura 44 apresenta os valores depois do ajuste.

Figura 43 - Valores de concentrações antes do ajuste para cada ciclo de retificação.

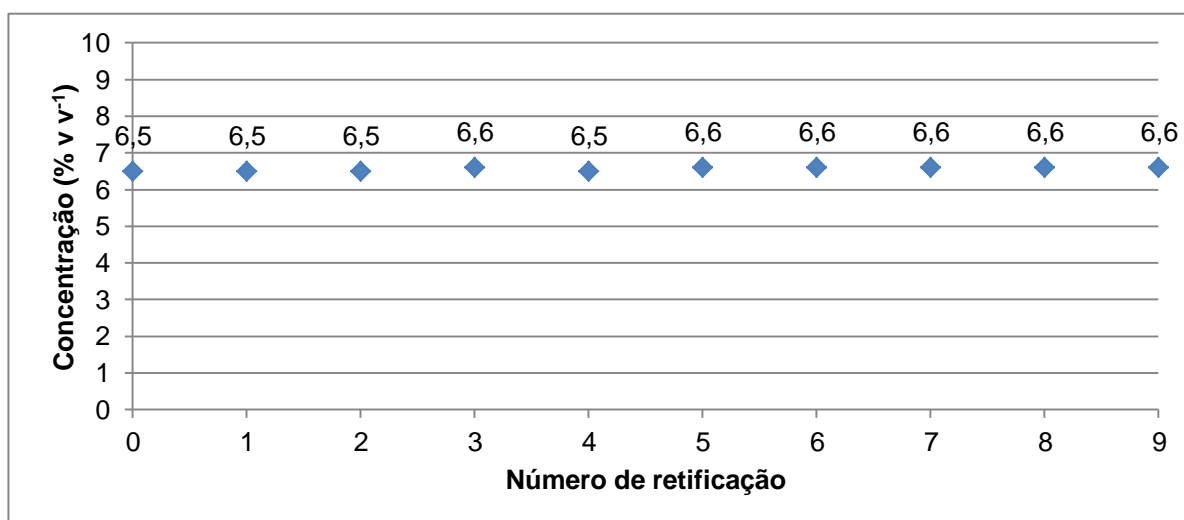


Fonte: dados da autora.

Observa-se que os valores de concentração antes do ajuste que há evidências significativas ( $\alpha=0,05$ ) de que em média os valores de concentração sofrem variações durante o processo de retificação, tendo como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 6,5 \% v v^{-1}$ ,  $\bar{x} = 6,9\% v v^{-1}$ ,  $s = \pm 0,16$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 < \bar{x}$ ).



Figura 44 - Valores de concentrações depois do ajuste para cada ciclo de retificação



Fonte: dados da autora.

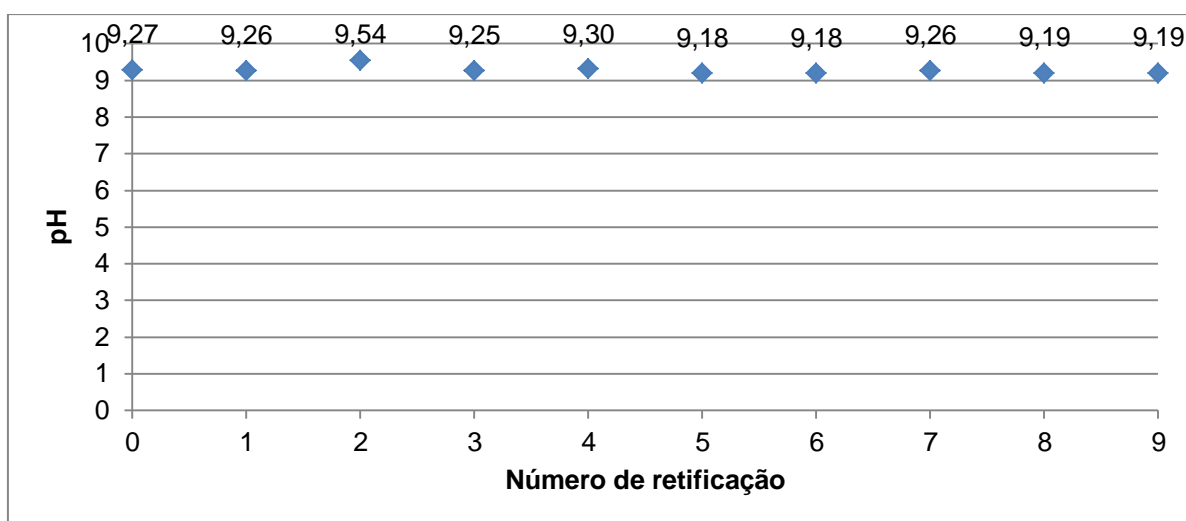
Ao analisar os valores médios de concentração depois do ajuste para cada ciclo ao nível de significância de ( $\alpha=0,05$ ) é aceito que os valores de concentração não sofreram variações significativas, tendo como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 6,5\% \text{ v v}^{-1}$ ,  $\bar{x} = 6,6\% \text{ v v}^{-1}$ ,  $s = \pm 0,05$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 \neq \bar{x}$ ).

As amostras para análises de pH, contagem microbiológica e corrosão foram recolhidas após o ajuste da concentração.

A Figura 45 apresenta os valores de pH para cada ciclo de retificação.

Os valores de pH estão dentro dos valores adequados ao uso segundo o fabricante e Runge de Duarte (1990) e observa-se também de que em média os valores de pH não sofreram variações significativa ( $\alpha=0,05$ ) ao longo do número de usinagens, tendo como referência a emulsão nova  $\mu = 9,27$ ,  $\bar{x} = 9,26$ ,  $s = \pm 0,113$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 > \bar{x}$ ).

Figura 45 - Valores de pH para cada ciclo de retificação.



Fonte: dados da autora.

A Tabela 20 apresenta os valores de contagem microbiológica para cada ciclo de retificação:

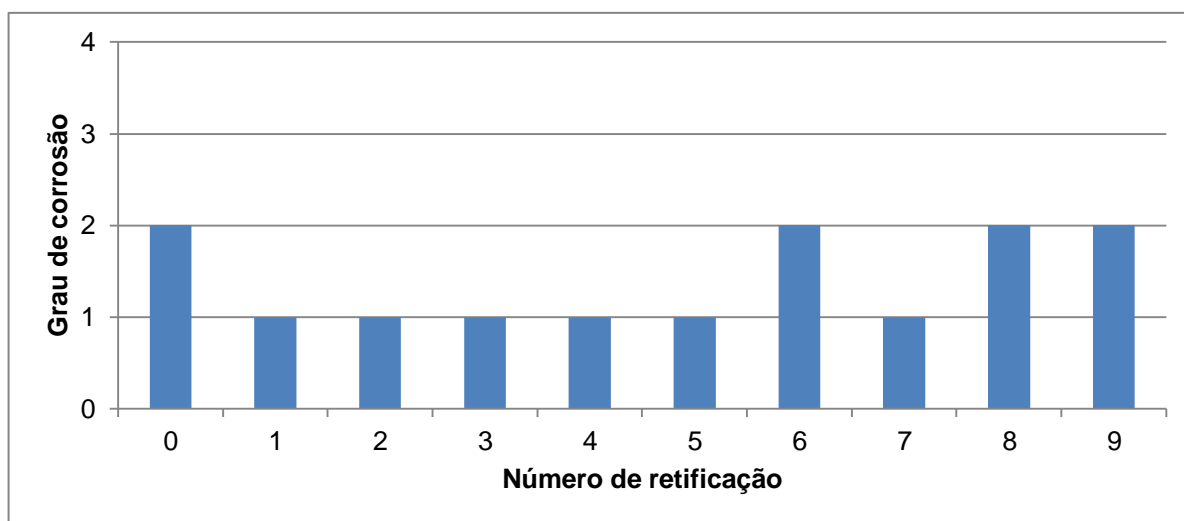
Tabela 20 - Valores das contagens microbiológicas.

Nº de retificação	Bactérias totais (UFC mL <sup>-1</sup> )	Fungos e leveduras (UFC mL <sup>-1</sup> )
0	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
1	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
2	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
3	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
4	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
5	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
6	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
7	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
8	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
9	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>

Fonte: dados da autora.

A Figura 46 apresenta os valores de análise de corrosão em ferro fundido para cada ciclo de retificação:

Figura 46 - Valores de análise de corrosão em ferro fundido para cada ciclo de retificação.

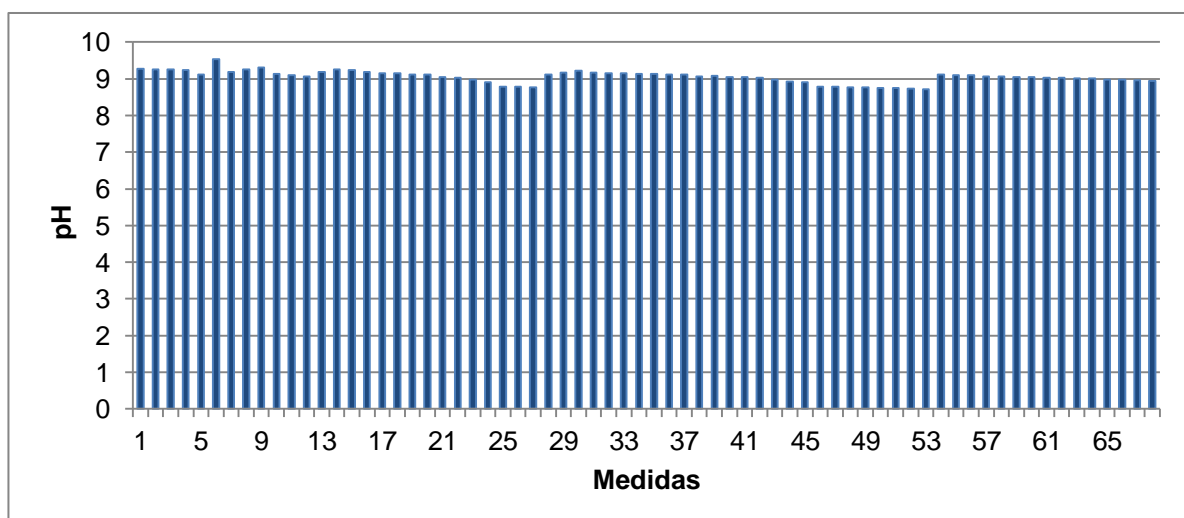


Fonte: dados da autora.

Para realização dos ajustes dessa fase foram monitorados os valores de pH diariamente, as contagens microbiológicas e análise de corrosão foram realizadas semanalmente. A seguir, apresentam-se os valores das análises e os ajustes realizados para que o fluido operasse dentro das especificações estabelecidas pelo fabricante.

❖ pH: As medidas diárias dos valores de pH estão representados na Figura 47.

Figura 47 - Monitoramento dos valores diários de pH.



Fonte: dados da autora.

❖ Contagem microbiológica: medidas semanais. Resultados das análises na Tabela 21:

Tabela 21 - Valores das contagens microbiológicas

Medidas semanais	Bactérias totais (UFC mL <sup>-1</sup> )	Fungos e leveduras (UFC mL <sup>-1</sup> )
1	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
2	10 <sup>4</sup>	<10 <sup>2</sup>
3	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
4	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
5	<10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
6	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>
7	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
8	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
9	10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
10	10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
11	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>
12	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
13	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
14	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>

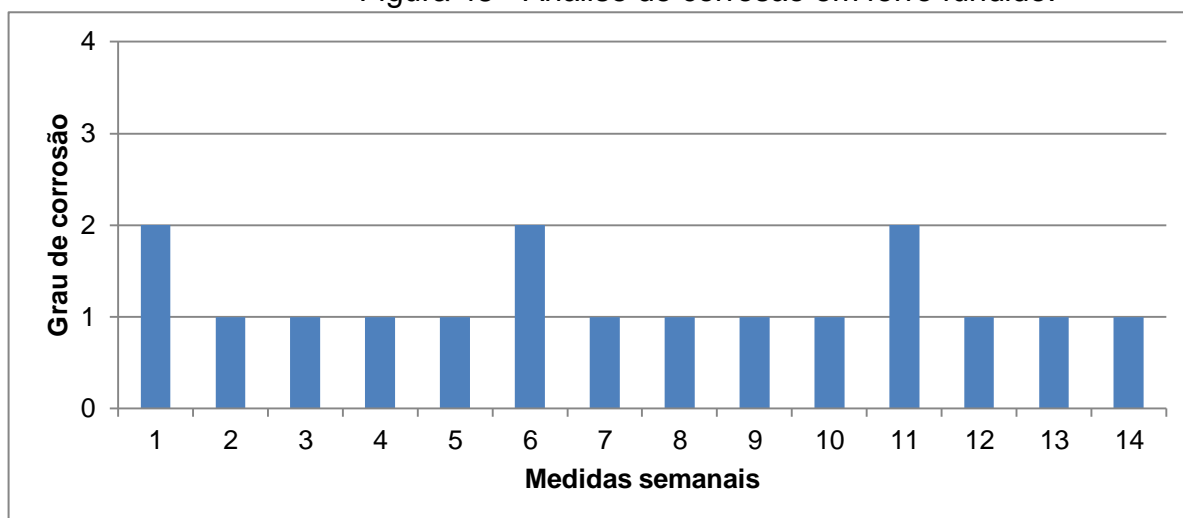
Fonte: dados da autora.

Quando o pH atingiu o valor de (9,11±0,01) na medida número 5 e a contagem bacteriana da 2ª semana atingiu 10<sup>4</sup> UFC mL<sup>-1</sup>, adicionou-se 0,30% v v<sup>-1</sup> de biocida a base de triazina em relação ao volume de emulsão no reservatório conforme orientações do fabricante descrito na página 89. A medida do valor do pH realizada depois da adição de biocida aumentou de valor para 9,54. A contagem bacteriana, de fungos e leveduras permaneceu abaixo de 10<sup>2</sup> UFC mL<sup>-1</sup> por duas semanas evidenciando um residual de triazina suficiente para manter o controle da contaminação microbiana. Nas análises microbiológicas das 5ª e 6ª semanas constatou-se o predomínio de fungos e leveduras em relação ao bacteriano, ocorreu desta forma uma competição, já que estes micro-organismos disputam o mesmo nutriente. Na 6ª semana com uma contaminação de fungos e leveduras de 10<sup>6</sup> UFC mL<sup>-1</sup> e um pH correspondente a 8,77, adicionou-se 0,35% de biocida a base de triazina em relação ao volume de emulsão do reservatório, por 3 dias consecutivos conforme orientações do fabricante descrito no item 4.8. A emulsão apresentou uma contaminação abaixo de 10<sup>2</sup> UFC mL<sup>-1</sup> para bactérias, fungos e leveduras por duas semanas. Na 11ª semana quando a emulsão apresentou uma contaminação de fungos e leveduras de 10<sup>6</sup> UFC mL<sup>-1</sup> adicionou-se novamente

0,35% v v<sup>-1</sup> de biocida a base de triazina em relação ao volume de emulsão do reservatório, por 3 dias consecutivos. Observa-se que após a adição do biocida a emulsão permaneceu com contagem de bactérias, fungos e leveduras abaixo de 10<sup>2</sup> UFC mL<sup>-1</sup> por 3 semanas.

❖ Análise de corrosão em ferro fundido: medidas semanais conforme ilustra a Figura 48.

Figura 48 - Análise de corrosão em ferro fundido.



Fonte: dados da autora.

Observa-se que, com as adições de biocida a base de triazina o grau de corrosão sempre diminui e nota-se uma tendência ao aumento de corrosão da emulsão tempo depois do ajuste.

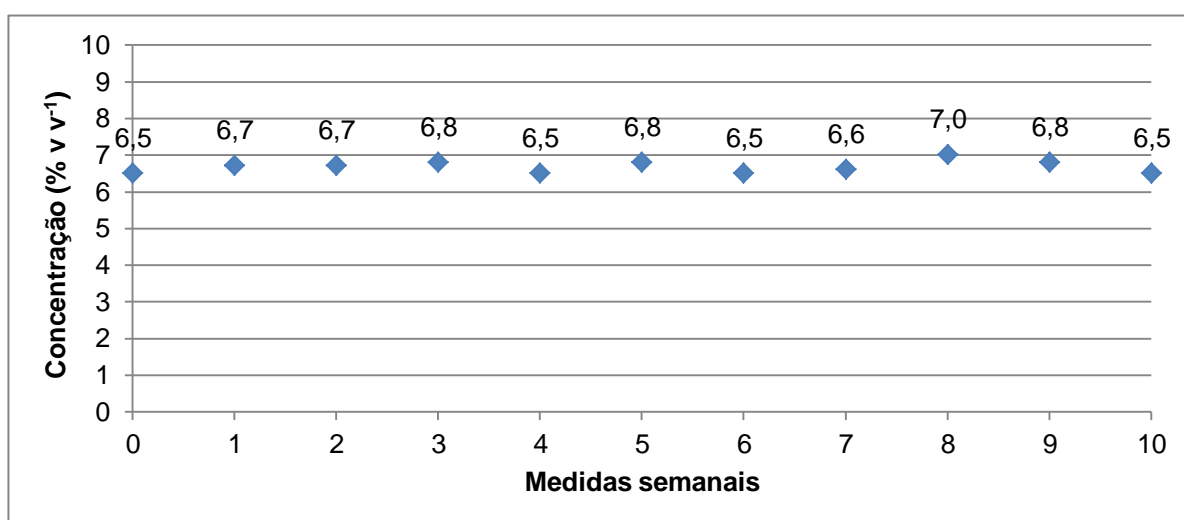
De acordo com o trabalho de Lima (2013) os menores resultados de rugosidade foram para o fluido de corte reformulado com a adição do aditivo (A<sub>3</sub>) para o parâmetro de amplitude (R<sub>a</sub> e R<sub>t</sub>) que proporcionaram uniformidade das peças usinadas devido a menor variação de seus valores, assim como um menor desgaste diametral do rebolo quando comparados com o fluido de corte utilizado em uso contínuo da 1<sup>a</sup> Fase e com o fluido de corte recuperado com ajustes da 2<sup>a</sup> Fase e comparando a diferença entre a emulsão aditivada a 6% e a 10%, o aumento do percentual de aditivo não levou a uma melhora considerável do processo, sendo assim é mais prudente utilizar o fluido reformulado a 6%, pois esse terá o mesmo desempenho do fluido reformulado a 10%, porém com menor uso de aditivos.

## 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA 4ª FASE

### 5.4.1 Monitoramento do comportamento da emulsão e realização de ajustes dos parâmetros afetados.

Os parâmetros de monitoramento: concentração, valores de pH, análise microbiológica e teste de corrosão foram empregados no controle de qualidade do fluido emulsionável com o objetivo de uma reciclagem contínua empregando um novo biocida a base de 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida, por ser uma base fraca utiliza-se alcalinizante. Os valores de concentração foram monitorados e ajustados semanalmente. A Figura 49 apresenta os valores de concentração antes do ajuste e a Figura 50 apresenta os valores depois do ajuste.

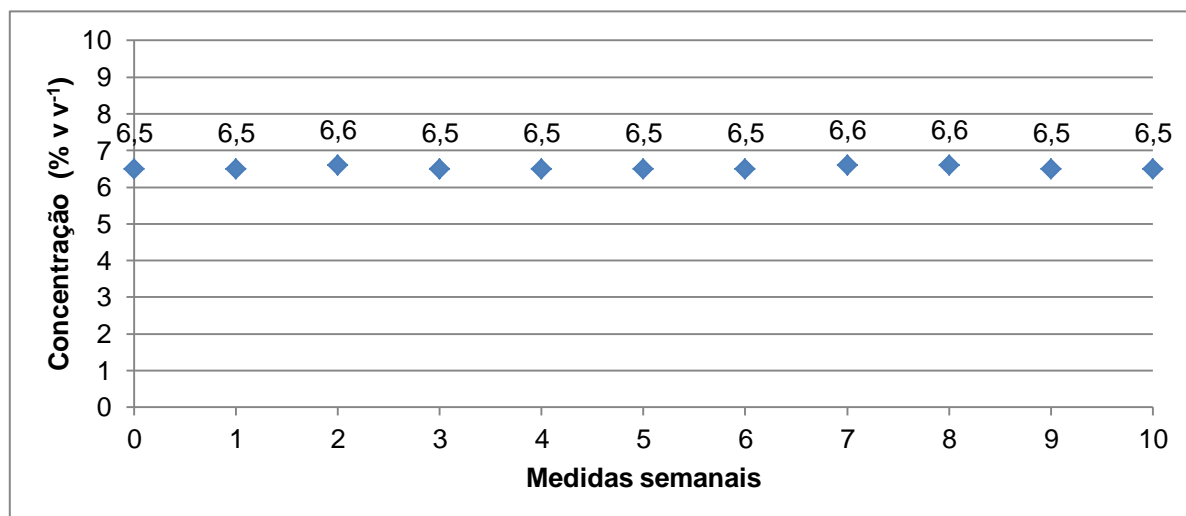
Figura 49 - Medidas semanais de concentração antes do ajuste.



Fonte: dados da autora.

Observa-se que os valores de concentração antes do ajuste que há evidências significativas ( $\alpha=0,05$ ) de que em média os valores de concentração sofrem variações durante o período analisado tendo como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 6,5\% \text{ v v}^{-1}$ ,  $\bar{x} = 6,7\% \text{ v v}^{-1}$ ,  $s = \pm 0,17$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 < \bar{x}$ ).

Figura 50 - Medidas semanais de concentração depois do ajuste.



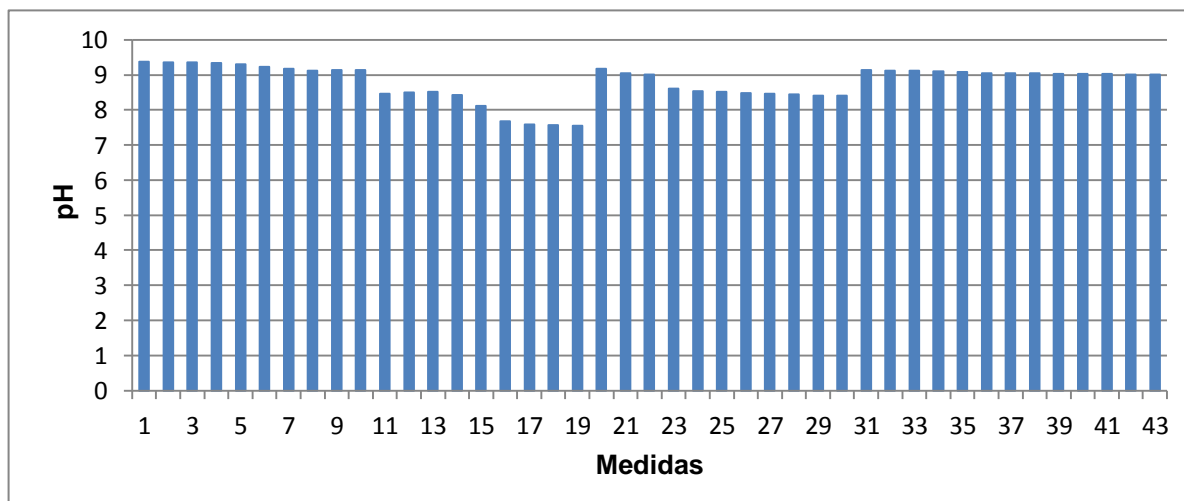
Fonte: dados da autora.

Ao analisar os valores médios de concentração ao longo das semanas ao nível de significância de ( $\alpha=0,05$ ) é aceito que os valores de concentração não sofreram variações significativas tendo como referência a emulsão nova  $\mu_0 = 6,5\% v v^{-1}$ ,  $\bar{x} = 6,5\% v v^{-1}$ ,  $s = \pm 0,05$  ( $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ ;  $H_a: \mu_0 \neq \bar{x}$ ).

Para realização dos ajustes desta fase foram monitorados os valores de pH diariamente, as contagens microbiológicas e análise de corrosão foram realizadas semanalmente. A seguir, apresentam-se os valores das análises e os ajustes realizados para que o fluido operasse dentro das especificações do fabricante.

❖ pH: As medidas diárias dos valores de pH estão representados na Figura 51.

Figura 51 - Monitoramento dos valores diários de pH.



Fonte: dados da autora.

❖ Contagem microbiológica: medidas semanais. Resultados das análises na Tabela 22.

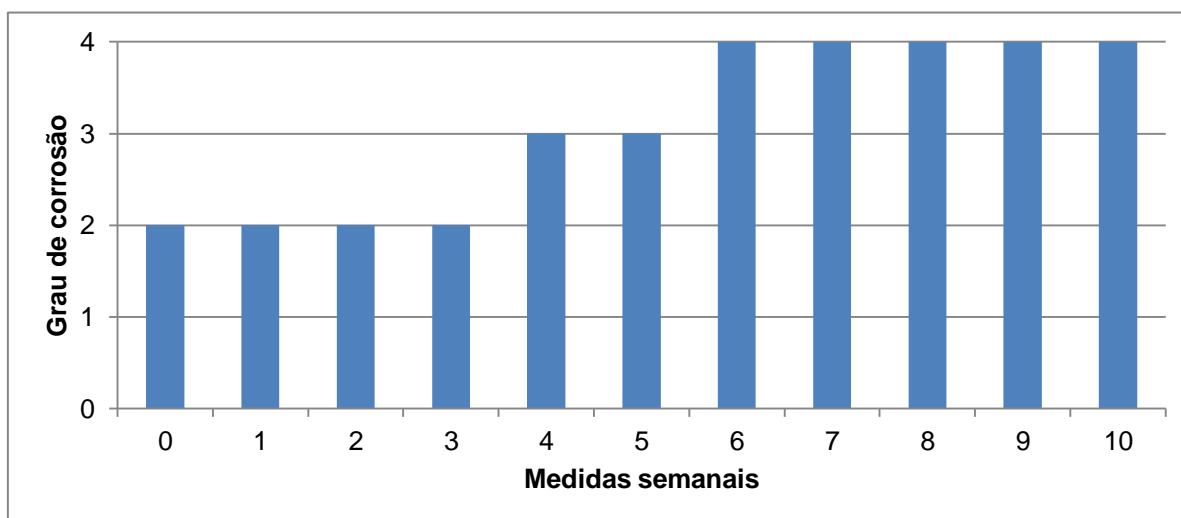
Tabela 22 - Valores das contagens microbiológicas

Medidas semanais	Bactérias totais (UFC mL <sup>-1</sup> )	Fungos e leveduras (UFC mL <sup>-1</sup> )
0	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
1	10 <sup>4</sup>	<10 <sup>2</sup>
2	10 <sup>3</sup>	<10 <sup>2</sup>
3	10 <sup>4</sup>	<10 <sup>2</sup>
4	10 <sup>3</sup>	<10 <sup>2</sup>
5	10 <sup>4</sup>	<10 <sup>2</sup>
6	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
7	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
8	10 <sup>3</sup>	<10 <sup>2</sup>
9	10 <sup>4</sup>	<10 <sup>2</sup>
10	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup>

Fonte: dados da autora.

❖ Análise de corrosão em ferro fundido: medidas semanais conforme ilustra a Figura 52.

Figura 52 - Análises semanais de corrosão em ferro fundido.



Fonte: dados da autora.

Quando o pH atingiu o valor de (9,14±0,01) na medida número 10 e a contagem bacteriana da 1ª semana atingiu 10<sup>4</sup> UFC mL<sup>-1</sup>, adicionou-se 0,20% de biocida a base de 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida em relação ao volume de emulsão no reservatório conforme orientações do fabricante descrito no item 4.12.



Observa-se um que o grau de corrosão permaneceu o mesmo, depois da adição do biocida. A medida do valor do pH realizada depois da adição de biocida diminuiu para  $(8,46 \pm 0,01)$ . A contagem bacteriana realizada na semana posterior observou-se uma contaminação de  $10^3$  UFC mL<sup>-1</sup>. Na 3ª semana quando o pH atingiu o valor de  $(7,57 \pm 0,01)$  adiciona-se 0,20% de biocida a base de 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida em relação ao volume de emulsão no reservatório. Dois dias depois, adicionou-se alcalinizante até o valor do pH atingir o valor de  $(9,17 \pm 0,01)$ . Observou-se então na semana seguinte um aumento do grau de corrosão, medida 4, Figura 52. Na 5ª semana quando a contaminação atingiu  $10^4$  UFC mL<sup>-1</sup> e o pH da medida 28 foi de  $(8,44 \pm 0,01)$ , adicionou-se 0,40%, de biocida a base de 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida em relação ao volume de emulsão. Dois dias depois, adicionou-se alcalinizante até o valor do pH atingir o valor de  $(9,17 \pm 0,01)$ , observa-se que o grau de corrosão aumentou mais um grau, Figura 52. Observa-se na semana posterior uma redução da contaminação microbiana menor que  $10^2$  UFC mL<sup>-1</sup> durante duas semanas (6ª e 7ª). Nas semanas seguintes a contaminação microbiana aumenta gradualmente e o grau de corrosão mantem-se igual das semanas anteriores.

## 6 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos pode-se chegar as seguintes conclusões:

❖ Conclusão geral:

É possível recuperar e aumentar o tempo de vida do fluido de corte o que se torna de fundamental importância para contribuição da diminuição dos resíduos gerados, reduzindo assim os riscos ao meio ambiente, de modo a evitar o descarte prematuro devido aos parâmetros que não se enquadram dentro das especificações do fabricante. Para atingir o objetivo da recuperação é necessário determinar os parâmetros afetados pela degradação por meio de intervenções mediante a adição de biocidas e/ou alcalinizantes. Pelos resultados encontrados, o pH é o principal indicador para avaliação da qualidade do fluido.

Por meio da reformulação é possível melhorar o desempenho do fluido de corte comercial empregando-se novos aditivos. O fluido reformulado apresentou melhor desempenho e teve o tempo de vida aumentado em comparação com o fluido de uso contínuo.

Além disso, a recuperabilidade não comprometeu o desempenho nas variáveis de saída no processo de retificação e a reformulação proporcionou menores resultados de rugosidade das peças usinadas e menor desgaste diametral do rebolo quando comparadas com o fluido comercial de uso contínuo e recuperado.

As conclusões de cada etapa do trabalho foram:

❖ 1ª Fase:

A qualidade da água fornecida pela rede de abastecimento tem qualidade em termos de dureza suficiente para ser usada diretamente no preparo das emulsões, sem necessidade de um tratamento prévio.

Pelo monitoramento realizado para os parâmetros utilizados, para os valores de concentração, densidade, pH e viscosidade existem evidências estatísticas de que a média dos valores ao longo dos ciclos de produção regulares

sofrem variações significativas em relação aos valores da emulsão nova utilizada como referência para os valores de concentração e pH. Entre os parâmetros, os valores de pH é o mais relevante visto que a concentração é ajustada antes de cada ciclo de retificação após esses valores ajustados não sofreram variações significativas.

Pela análise de degradabilidade da emulsão, conclui-se que os parâmetros de pH, índice de acidez, contagem microbiológica, análise de corrosão, DQO, sólidos totais e condutividade são os principais parâmetros físico-químicos e microbiológicas que afetam a degradabilidade da emulsão.

#### ❖ 2ª Fase:

Para os parâmetros utilizados para o monitoramento nesta fase, os valores de pH durante os ciclos de retificação sofreram variações significativas, contudo os valores ficaram dentro da faixa de uso recomendado pelo fabricante. A proliferação microbiológica é controlada por meio da adição de biocida a base de triazina E com a adição do biocida, o grau de corrosão diminui, mas observa-se uma tendência ao aumento da corrosão depois de certo tempo do ajuste, nota-se também que imediatamente um aumento dos valores pH com a adição do biocida, ajustando o valor do para dentro dos parâmetros de uso, visto que o biocida possui um caráter básico o que dispensa o uso do alcalinizante.

#### ❖ 3ª Fase:

Na terceira fase conclui-se que a incorporação do aditivo de Extrema Pressão ( $A_3$ ) em comparação ao aditivo Agente de Oleosidade ( $A_1$ ) e Componente lubrificante ( $A_2$ ), no mesmo percentual (6%), proporcionou um menor valor de rugosidade Ra nos corpos de prova.

A adição do aditivo  $A_3$  na concentração de 10% proporcionou menor valor de rugosidade Ra em comparação com as concentrações de 4% e 8%.

Pela análise do monitoramento conclui-se que os valores de pH não sofreram variações significativas

Observa-se que com a inserção do aditivo contribui para uma variação de nutrientes o que sugere a maior da proliferação de micro-organismos. Com a

adição do biocida, o grau de corrosão diminui, mas observa-se uma tendência ao aumento da corrosão tempo depois do ajuste. Nota-se também nesta fase que o valor de pH aumenta com a inserção do biocida, ajustando o valor do para dentro dos parâmetros de uso.

❖ 4ª Fase:

Nesta fase conclui-se que com o ajuste com o biocida 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida numa concentração de 0,20% imediatamente após a inserção observa-se um decréscimo do valor de pH, tornando-o emulsão fora das especificações de uso, porém observa-se uma redução da contaminação. Com a adição de 0,20% e alcalinizante no segundo dia a corrosão aumentou um grau em comparação a emulsão nova gerando uma hipótese de formações de sal insolúvel e posteriormente com a adição de 0,40% e alcalinizante, a emulsão aumentou dois graus na corrosão, com redução de contaminação. O grau de corrosão é crítico. Com o dobro da concentração do biocida, 0,40%, observa-se uma maior redução de contaminação e por um período maior também. Com a adição do biocida a base de 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida observava-se uma diminuição dos valores de pH, por ser uma base fraca diferente da triazina. A princípio, nota-se que em geral o tempo de conservação do biocida foi menor que quando comparado com o biocida a base de triazina.

## 7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- ❖ Monitorar e avaliar a degradabilidade do fluido de corte semissintético e sintético nas mesmas condições de usinagens realizadas no trabalho;
- ❖ Testes com biocidas naturais ou utilização de métodos físicos para controle da proliferação de micro-organismos;
- ❖ Avaliação do sinergismo entre de biocidas de menor toxicidade para aplicação nos processos de usinagens;
- ❖ Estudo de aplicabilidade dos cavacos gerados visando sua reutilização.
- ❖ Realizar monitoramento em replicata para avaliação da reprodutibilidade dos experimentos de usinagem.
- ❖ Aplicar ferramentas de planejamento fatorial para comparar o emprego dos diferentes aditivos e condições de usinagens.
- ❖ Análise de aplicação industrial da recuperabilidade e reformulação do fluido de corte mineral emulsionável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERDI, R. et al. Strategies for optimal use of fluids in grinding. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Elgoibar, v.51, p.491-499, 2011.

ARAÚJO, J. B. **Desenvolvimento de método de avaliação de desempenho de processos de manufatura considerando parâmetros de sustentabilidade**. 2010. 176f. Tese (Doutorado) – Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12621**: águas-determinação da dureza total- método titulométrico do EDTA-Na. Rio Janeiro, 1992.

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

BIANCHI, E. C. et al. Controle do crescimento microbiano com o uso de radiação ultravioleta. **Revista Máquina e Metais**, n.511, ago. 2008.

BRASIL, Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, 13 maio. 2010.

CAPEK, I. Degradation of kinetically-stable O/A emulsion. **Advances in colloid and interface science**, Eslováquia, v.107, p.125-155, 2004.

CAPELETTI, R. V. **Avaliação de atividade de biocidas em biofilmes formados a partir de fluido de corte utilizado na usinagem de metais**. 2006. 81f. Dissertação (mestrado)- Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

CANTER, N. **Monitoring Metalworking Fluids**, Chicago, Mar. 2011. Disponível em: <[http://www.stle.org/assets/document/MonitoringMWFs\\_March2011](http://www.stle.org/assets/document/MonitoringMWFs_March2011)>. Acesso em: 04 Apr. 2011.

CARRETEIRO R. P.; BELMIRO P. N. **Lubrificantes & lubrificação industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 504 p.

CATAI, R. E. **Otimização das condições de refrigeração/lubrificação no processo de retificação cilíndrica de mergulho**. 2004. 178f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

CHENG, C.; PHIPPS, D.; ALKHADDAR, R. M. Treatment of spent metalworking fluids. **Water Research**, Reino Unido, v.39, p.4051-4062, 2005.

COUGHLIN, R. W. et al. Enumeration of microorganisms in metalworking fluids using photometric methods. **CIRP Annals- Manufacturing Technology**, v.41, p.357-360, 1992.

DENYER, S. P. Mechanisms of action of antibacterial biocides. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.36, p.227-245, 1995.

DIAS, A.M.P.; BRETANO, D. M.; CARVALHO-PINTO, C. R. S., MATIAS, W. G. Avaliação da toxicidade aguda de fluidos de corte utilizados em processos de usinagem usando como organismo-teste *Poecilia reticulada* e *Daphnia magna*. **Revista do Centro de Ciências Biológicas da UFSC**, v. 19, p. 7-13, 2006.

DUNLAP, C. Should you try dry? **Cutting tool engineering**, v.49, n.1, p.22-33, Feb. 1997.

EL BARADIE, M. A. Cutting Fluids: Part I. Characterization. **Journal of Materials Processing Technology**, Dublin, n. 56, p. 786-797, 1996 a.

EL BARADIE, M., A. Cutting Fluids: Part II. Recycling and clean machining. **Journal of Materials Processing Technology**, Dublin, n. 56, p. 798-806, 1996 b.

EPPERT, J. **Causes And Effects Of Microorganism Contamination**, Texas, May. 2001. Disponível em: < [http://www. http://mwfmag.com/?q=content/contamination-part-5](http://www.http://mwfmag.com/?q=content/contamination-part-5)>. Acesso: em 08 de set. 2011.

GADELMAWLA, E. S. et al. Roughness parameters. **Journal of Material Processing Technology**, v.123, p. 133-145, Apr. 2002.

GENNER, C; HILL, E. C. Evaluation of the dip-slide technique for cutting oils. **Tribology International**, v.14. p.11-13, Feb.1981.

GONÇALVES, J. R. Fornecedores de fluidos de corte e de acessórios para aplicação e tratamento. **Revista Máquinas e Metais**, n.545, p.44-51, 2011.

GUIMARÃES A. P. **Estudos de formulação e recuperabilidade em fluidos de corte à base de óleo mineral solúvel**. 2006. 132f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

HASSUI, A. **Comparação sobre a utilização de diferentes sensores no monitoramento do processo de retificação**. 1997. 102f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

HOWES, T.D., et al. Environmental aspects of grinding fluids. **CIRP Annals- Manufacturing Technology**, v.40, p.623-630, Aug. 1991.

IRANI, R. A; BAUER, R. J.; WARKENTIN A. A review of cutting fluid application in the grinding process. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Halifax, n.45, p. 1696-1705, 2005.

JACKSON, T. **Clean production strategies**: developing preventive environmental management in the industrial economy. Stockholm : Lewis Publishers, 1993. 415p.

KLOCKE, F.; SCHULZ, A.; GERSCHWILER, K.; REHSE, M. Clean manufacturing technologies - the competitive edge of tomorrow? **The Internacional Journal of Manufacturing Science & Production**, v.1, n.2, p.77-86, 1998.

KÖNIG, W.; RUMMENHÖLLER, S. As indústrias estão tendo que orientar ecologicamente seus processos produtivos. **Revista Máquinas e Metais**, p. 22-29, abr. 1998.

LABORCLIN. Nutrilab F. Disponível em: <[www.Interlabdist.com.br/dados/produtos/bula/doc/23148492318ea50d84.pdf](http://www.Interlabdist.com.br/dados/produtos/bula/doc/23148492318ea50d84.pdf)> Acesso em: 08 set. 2011.

LAWAL, CHOUDHURY, NUKMAN. Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metal- a review. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, n.52, p. 1-12, 2012.

LIMA, H. V. **Análise do comportamento do fluido de corte Recuperado/Reformulado no processo de retificação**. 2013. 109p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

LOEPPKY, R. N.; HANSEN, T. J.; KEEFER, L. K. Reducing nitrosamine contamination in cutting fluids. **F.D. Chem. Toxic**, v.21, n.5, p.607-613, 1983.

MACHADO, A. R.; Diniz, A. E. Vantagens e desvantagens do uso (ou não) de fluidos de corte. In: CONGRESSO DE USINAGEM, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2000.

MACHADO, A. R. et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2009. 371p.

MAIA, D. A. S et al. Fluidos de corte: novas formulações e recuperabilidade. In: PDPETRO, 4. Campinas. **Anais...** Campinas: PDPETRO, 2007. p. 1-10.

MÉTODO IP 287/87. Teste de corrosão em cavacos de ferro fundido, Petrobrás S.A., 2003.

MÉTODO SELUB 08. Teste de estabilidade de emulsão, Petrobrás S.A., 2003.

MÉTODO SELUB 09. Teste de espuma em óleos solúveis, Petrobrás S.A., 2003.

MISRA, S. K; SKOLD, R. O. Lubrication studies of aqueous mixtures of inversely soluble components. **Colloids and Surfaces A: Physico Chemical and Engineering Aspects**, v.170, p.91-106, 2000.

MONICI, R, D.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R. Análise das diferentes formas de aplicação e tipos de fluido de corte utilizados no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho através de rebolos convencionais e superabrasivos de CBN.



In: BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R.; PIUBELI B. A. **Aplicação e utilização dos fluidos de corte nos processos de retificação**. São Paulo: Artliber, 2004. cap. 5, p.75-102.

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, 2008.

OMETTO, A. R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos edip, exergia e emergia**. 2005. 200f. Tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PEREIRA, C.; CORREA S. J.; PIVATO C. Como se apresentam e para que servem os lubrificantes e refrigerantes. **Revista Máquinas e Metais**, n.471, p.352-361, abr. 2005.

PIUBELI, F. A. et al. Transtornos em operações de usinagem: microrganismos nos fluidos de corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO-COBEF, 2., 2003, Uberlândia. **Anais...Uberlândia: COBEF**, 2003.

RABENSTEIN, A. et al. Microbial degradation of water miscible metal working fluids. **International Biodeterioration & Biodegradation**, n.63, p. 1023-1029, 2009.

RAEL, V. A. **Ciclo de melhoria aplicado na avaliação do comportamento de diferentes condições de refrigeração/lubrificação em fresamento em alta velocidade de corte**. 2004. 129f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

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

SAHM, D.; SCHNEIDER, T. A produção sem refrigerante é interessante e deve ser mais conhecida. **Revista Máquinas e Metais**, n.367, p. 38-55, ago. 1996.

SALES, W. F. **Determinação das características refrigerantes e lubrificantes de fluidos de corte**. 1999. 166f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1999.

SCANDIFFIO I. **Uma contribuição ao estudo do corte a seco e ao corte com mínima quantidade de lubrificante em torneamento de aço**. 2006. 63f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SHENNAN, J.L. Selection and evaluation of biocides for aqueous metal-working fluids. **Tribology International**, v.16, p.317-330, Dec.1983.

SILVA E. J. et al. Procedimento padrão para o uso correto de fluidos de corte. **Aplicação e utilização dos fluidos de corte nos processos de retificação**. São Paulo: Artliber, 2004. cap. 1, p. 9-28.

SILVA, L. R., Bianchi, E. C., Fusse, R. Y., Catai, R. E., França, T. V., Aguiar, P. R. Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant - MQL in grinding. **International Journal of Machines Tools & Manufacture**, v.47, p. 412-418, 2007.

SILVA, L. R. et al. Manufatura ecologicamente correta: análise do comportamento da mínima quantidade de lubrificante-MQL no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO- COBEF, 6., 2011, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: COBEF, 2011.

SOKOVIC´, M.; MIJANOVIC´, K. Ecological aspects of the cutting fluid and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes. **Journal of Materials Processing Technology**, Slovenia, v.109, p.181-189, 2001.

TAKAHASHI, D. F. Biocidas garantem a vida útil do fluido de corte. **Revista Máquinas e Metais**, n.475, p.164-173, ago. 2005.

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

TESSARO, E. P. **Avaliação de processos oxidativos para tratamento ambientalmente adequado de fluidos de corte**. 2008. 82f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

THOMÉ, R. et al. Estudo das micobactérias e fungos contaminantes das emulsões. **Revista Máquinas e Metais**, n. 510, p.166-179, 2008.

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

WEINGAERTNER, W. L., SCHROETER, R. B., Teixeira, C. R. Aspectos ecológicos nos processos de usinagem - Revisão. VI. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA (CIDIM 99), 23 a 26 de nov., Santiago, Chile. **Anais...** Santiago, 1999.

WHITEHOUSE, D. J. Function maps and the role of surfaces. **International Journal of Machine Tools e Manufacture**, v.41, p.1847-1861, 2001.

YOUNG, P.; BYRNE, G.; COTTERELL, M. Manufacturing and the Environment. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Irlanda v.13, p.488-493, 1997.