

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS- CCT
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LEONARDO BARROS DE OLIVEIRA

**ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE
CORTE APLICADOS NOS PROCESSOS DE USINAGEM**

SÃO LUÍS

2016

LEONARDO BARROS DE OLIVEIRA

**ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE
CORTE APLICADOS NOS PROCESSOS DE USINAGEM**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Jean Robert P. Rodrigues.

SÃO LUÍS

2016

LEONARDO BARROS DE OLIVEIRA

**ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE
CORTE APLICADOS NOS PROCESSOS DE USINAGEM**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Jean Robert P. Rodrigues.

Aprovada em: _____ / _____ / _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof^o Dr. Jean Robert P. Rodrigues
(Orientador)

Prof^o. Dr. Adilton Pereira Andrade Cunha
(Membro da Banca Examinadora)

Prof^o. Dr. Louryval Coelho Paixão
(Membro da Banca Examinadora)

À minha família, pois sem eles eu nada seria, e muito menos conseguiria chegar até onde cheguei.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, por me dar força e coragem durante toda esta longa caminhada e por nunca me abandonar nos momentos em que mais precisei.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jean Robert P. Rodrigues, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, por suas correções e incentivos.

À Universidade Estadual do Maranhão pelo ambiente criativo e amigável que proporciona e por ser um local que sempre me trata lembranças incríveis de todos estes anos que lá passei.

Aos meus pais Maria de Assunção Barros de Oliveira e Edmilson Miranda de Oliveira, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Às minhas irmãs, Letícia e Jéssica, pela compreensão, carinho e ajuda todas as vezes em que solicitei.

A todos os amigos que fiz durante o meu período acadêmico, em especial às pessoas da minha turma por todo esse tempo de convivência com objetivos comuns, amizades estas que levarei por toda a minha vida, pois criamos um vínculo de irmandade.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, o meu muito obrigado.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende”.

Leonardo da Vinci

RESUMO

Os fluidos de corte são comumente empregados em processos de fabricação com o objetivo de atender as necessidades de lubrificação e refrigeração durante a remoção de material, no entanto, sua utilização causa uma série de complicações, especialmente nos aspectos ambientais, econômicos e com relação à saúde dos operadores de máquinas. Desse modo, este trabalho tem por objetivo descrever os aspectos e impactos ambientais causados pelos fluidos de corte, bem como analisar, de uma forma geral, sua importância e aplicações empregados no processo de usinagem, verificar quais os efeitos dos fluidos de corte no meio ambiente e à saúde humana, além de mostrar algumas sugestões de práticas que contribuam com a conservação do meio ambiente na utilização dos fluidos de corte. Observa-se que atualmente existe uma grande preocupação com a natureza e o local de trabalho devido aos efeitos nocivos dos fluidos de corte, assim intensificaram-se estudos para novos métodos de aplicação e otimização de tais fluidos, visando a sua redução, bem como os problemas ocasionados por esse e sobre essa tendência. Percebe-se que através de algumas práticas sugeridas utilizando ferramentas de gestão ambiental e novos métodos de gerenciamento é possível reduzir essa agressão ambiental e ao ser humano que a utilização dos fluidos de corte podem ocasionar, tornando realidade um equilíbrio entre a produtividade e o respeito ao meio ambiente e trabalhador.

Palavras-chave: Fluidos de corte, Usinagem, Meio ambiente, Impactos ambientais.

ABSTRACT

Cutting fluids are commonly used in manufacturing processes to meet lubrication and refrigeration needs during material removal, however, their use causes a number of complications, especially in environmental, economic and health aspects Of machine operators. In this way, this work aims to describe the environmental aspects and impacts caused by cutting fluids, as well as to analyze, in a general way, its importance and applications used in the machining process, to verify the effects of cutting fluids on the environment And to human health, besides showing some suggestions of practices that contribute to the conservation of the environment in the use of the cutting fluids. It is observed that there is currently a great concern with nature and the workplace due to the harmful effects of cutting fluids, so studies have been intensified for new methods of application and optimization of such fluids with a view to their reduction, as well as the Problems caused by this and this tendency. It is noticed that through some practices suggested using environmental management tools and new methods of management it is possible to reduce this environmental and human aggression that the use of cutting fluids can cause, making a balance between productivity and respect to the Environment and worker.

Keywords: Cutting fluids, Machining, Environment, Environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluido de corte em ação.....	18
Figura 2: Comportamento da força de corte em relação à velocidade de corte para diferentes aços.....	19
Figura 3: Regiões de ação dos fluidos de corte	20
Figura 4: Variedades dos fluidos de corte e suas subdivisões.....	22
Figura 5: Regiões de aplicação dos fluidos de corte	35
Figura 6: Principais interações dos fluidos de corte com o meio ambiente	38
Figura 7: Dermatite causada pelo contato com óleo de corte	44
Figura 8: Ilustração dos impactos ambientais causados pelos fluidos de corte	47
Figura 9: Esquematização do processo de descarte dos fluidos de corte.....	49
Figura 10: Fatores Influentes na usinagem a seco.....	54
Figura 11: MQF aplicado em processo de furação.....	55
Figura 12: Dispositivos para mistura do fluido com MQL	56
Figura 13: Processos e equipamentos utilizados para retirar partículas dos fluidos de corte.	58
Figura 14: Identificação de oportunidades de P+L	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos, composições e propriedades dos fluidos de corte	23
Tabela 2: Fluido de corte de acordo com o processo.....	32
Tabela 3: Principais riscos ambientais causados pelo uso, manuseio e descarte de fluidos de corte utilizados em processos de usinagem	41
Tabela 4: Principais vantagens tangíveis e intangíveis da utilização da Produção Mais Limpa	59

LISTA DE SIGLAS

°C	Grau(s) Celsius
3 R's	Reduzir – Reusar – Reciclar
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional de Petróleo
APC	Aresta Postiça de Corte.
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional para o Meio Ambiente
DIN	Deutsches Institut für Normung
EP	Extrema Pressão
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FC's	Fluidos de Corte
ISO	International Standardization Organization
Mg/m ³	Miligrama por Metro Cúbico
MI/h	Mililitros por hora
MQF	Mínima Quantidade de Fluido
N°	Número
P+L	Produção Mais Limpa
UAW	Union of American Workers

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 FLUIDOS DE CORTE	16
2.1 Considerações Iniciais	16
2.2 Funções do Fluido de Corte	17
2.2.1 Funções Primárias dos Fluidos de Corte.....	18
2.2.2 Funções Secundárias dos Fluidos de Corte.....	19
2.2.3 Razões Econômicas para se usar Fluidos de Corte.....	21
2.3 Classificação e Tipos de Fluido de Corte	21
2.3.1 Fluidos de Corte Integral	24
2.3.1.1 Óleos Integrais	24
2.3.2 Fluidos de Corte Solúveis.....	25
2.3.2.1 Fluidos Emulsionáveis.....	25
2.3.2.2 Fluidos Semi-Sintéticos	26
2.3.2.3 Fluidos Sintéticos	27
2.4 Tipos de Aditivos Utilizados em Fluidos de Corte	27
2.5 Propriedades dos Fluidos de Corte	30
2.6 Critérios de Seleção dos Fluidos de Corte	30
2.7 Métodos de Aplicação dos Fluidos de Corte	34
2.8 Sugestões Tecnológicas	36
3 ASPECTOS E IMPACTOS GERADOS À SAÚDE HUMANA E AO MEIO AMBIENTE	37
3.1 Considerações Iniciais	37
3.2 Aspectos de Manutenção, Controle e Descarte dos Fluidos de Corte e a Preocupação com o Meio Ambiente	38
3.3 Fluidos de Corte e a Legislação Ambiental	41
3.4 Riscos à Saúde do Operador	43
3.5 Riscos ao Meio Ambiente	45
3.6 Efeitos Adversos no Descarte	48

3.7 A importância da Reciclagem dos fluidos de corte	50
4 BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE.....	52
4.1 Tendências Tecnológicas.....	52
4.1.1 Usinagem com Técnica de Resfriamento Criogênico.....	52
4.1.2 Usinagem a Seco	53
4.1.3 Usinagem com Quantidade Mínima de Fluido de Corte.....	54
4.2 Purificação dos Fluidos de Corte	56
4.3 Produção Mais Limpa (P+L)	58
4.4 O Princípio dos 3 R'S na Utilização de Fluidos de Corte.....	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros	63
REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

Na usinagem, ocorre a retirada de material - cavaco - a partir do movimento realizado entre peça e ferramenta. Durante essa retirada de material, é gerada uma grande quantidade de calor, devido ao atrito que ocorre entre a ferramenta-peça e cavaco-ferramenta. Este calor pode desgastar a ferramenta além do normal e aumentar as dimensões da peça (dilatação térmica). Para diminuir e/ou extrair da ferramenta e da peça o calor, usam-se os fluidos de corte como lubrificante e/ou refrigerante. (LISBOA et al., 2013).

De acordo com Diniz; Marcondes e Coppini (1999), a utilização dos fluidos de corte (FC's) nos processos de usinagem de certos materiais melhora as características tribológicas do sistema peça-ferramenta-cavaco. Durante o processo de corte dos metais é gerado uma grande quantidade de calor, devido à energia necessária para deformação do material e à energia decorrente do atrito ferramenta-peça e cavaco-ferramenta.

Segundo Grub (2013), os FC's atuam refrigerando e lubrificando a interface peça-ferramenta-cavaco, diminuindo as altas temperaturas geradas no sistema. Assim, se eles forem escolhidos e aplicados apropriadamente, seu uso é de extrema importância e podem trazer benefícios, reduzindo os custos de fabricação ou aumentando a taxa de produção.

Contudo, se não for manuseado e tratado corretamente, além de altos custos, o fluido de corte pode ser a causa de problemas que vão desde o processo de fabricação até riscos à saúde dos operadores e ao meio ambiente. Então, antes de optar pela utilização do fluido de corte deve-se estudar se haverá benefícios ao processo e como evitar os riscos por ele causados. (MAGALHÃES, 2013).

De acordo com Tessaro (2008), o uso correto dos fluidos de corte nos processos de usinagem pode trazer muitos benefícios, observados na qualidade e na produtividade. Por outro lado, se não forem manipulados e tratados corretamente, eles podem ser nocivos a saúde e ao meio ambiente. Assim, a escolha do fluido de corte influi diretamente na qualidade do acabamento superficial das peças, na produtividade, nos custos operacionais e também na saúde dos operadores e no meio-ambiente.

Segundo Santos (2014), ao lado das vantagens tecnológicas associadas com o uso dos fluidos de corte estão os enormes perigos atrelados a estes, e que são nocivos ao meio ambiente e à saúde das pessoas. A contaminação do solo, água e ar podem decorrer de vazamentos e perdas, emissões, água de lavagem e da própria disposição dos fluidos de corte.

Diniz e Scandiffio (2001) afirmam que, questões ambientais internas ao ambiente industrial ainda envolvem a saúde do operador devido ao contato do fluido com a pele, a ingestão e inalação de poluentes derivados deste. Externamente ao ambiente industrial, o impacto ecológico refere-se ao descarte do fluido ao fim de sua vida.

Há as exigências ambientais, muitas das quais já regulamentadas por leis, que visam o desenvolvimento sustentável através da preservação da saúde humana e do meio ambiente. Assim, tem-se buscado elaborar fluidos de corte ditos “ecologicamente corretos”, com agressão mínima ou nula ao meio ambiente. (SECCO et al., 2012).

A partir da conscientização da urgência dos problemas ambientais, torna-se cada vez mais imprescindível uma nova concepção, que proponha um tipo de desenvolvimento que mescle a produção com a conservação e ampliação dos recursos, relacionando as condições mínimas de subsistência e a garantia de acesso equitativo aos recursos não apenas para esta geração como também para as gerações futuras (PASQUALINI et al., 2011).

A estrutura do trabalho está organizada da seguinte forma: no primeiro momento foi feita a presente introdução, na qual é descrito uma pequena abordagem sobre o tema a ser trabalhado. O capítulo 2 trata-se de uma forma geral com definições e conceitos sobre os fluidos de corte, estando subdivididos em sete subpartes as quais dará maior sustentação ao entendimento do tema. O capítulo 3 trata-se de informações sobre diversos aspectos e impactos ambientais associados aos fluidos de corte. No capítulo 4 é observado algumas práticas ambientais na utilização dos fluidos de corte importantes que contribuem com a redução de ataques ao meio ambiente. No quinto e último capítulo discorrem-se comentários que devem ser levados em consideração para que diversos aspectos e problemas ambientais possam ser evitados, ou pelo menos minimizados.

Em suma, espera-se que este texto monográfico contribua para uma visão mais cautelosa que leve ao equilíbrio entre produção e o meio ambiente,

através de pesquisas que contribuam no desenvolvimento de novos métodos de aplicação, menos agressivos, e da implementação de uma nova cultura na indústria metal-mecânica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- ✓ Estudar os aspectos e impactos ambientais causados pelos fluidos de corte empregados no processo de usinagem.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Analisar a importância e a aplicação dos fluidos de corte dentro do processo de usinagem;
- ✓ Estudar os tipos e classificações dos fluidos de corte, bem como seu tratamento e descarte;
- ✓ Verificar quais os efeitos dos fluidos de corte, no meio ambiente;
- ✓ Mostrar boas práticas ambientais na utilização dos fluidos de corte.

2 FLUIDOS DE CORTE

2.1 Considerações Iniciais

Durante o processo de usinagem, é fácil perceber a geração de calor proveniente do contato ferramenta-peça e cavaco-ferramenta, devido ao atrito ali exercido. Com a utilização dos fluidos de corte, é possível diminuir o coeficiente desse atrito, assim, reduzindo a quantidade de calor gerado no processo (ABREU, 2010).

De acordo com Santos (2014), o efeito positivo do uso de fluidos de corte dentro da usinagem foi previamente descrito por F. Taylor em 1894, que implantou a utilização de fluido de corte no processo de fabricação dos materiais. No início, ele utilizou a água para resfriar a região ferramenta-peça-cavaco, conseguindo elevar a velocidade de corte em 33%. Depois, começou a utilizar água e solda, ou água e sabão para evitar a oxidação da peça e/ou ferramenta. Os óleos minerais surgiram para aplicação na usinagem de latão e, com o desenvolvimento de ferramentas, induziu-se o estudo e geração de novos fluidos de corte, aparecendo os óleos emulsionáveis e sintéticos.

Os grandes avanços tecnológicos pelo qual vem passando diversos países indicam um considerável crescimento na economia mundial, necessitando-se que as empresas e seus respectivos produtos sejam produzidos a um baixo custo e com boa qualidade superficial. Os fluidos de corte são usados na indústria metal-mecânica, especificamente em operações de corte em metais, tais como: fresagem, furação, faceamento e torneamento, sobretudo, eles têm sido incorporados nos processos de usinagens no intuito de melhorar as características tribológicas inerentes ao mesmo, as quais estão presentes na superfície de contato da ferramenta e a peça. (NOGUEIRA, 2014).

De acordo com Gonçalves (2008), os fluidos de corte são composições complexas que contêm agentes químicos diversificados de acordo com o tipo de operação a ser realizada e os metais a serem trabalhados na usinagem.

A escolha do fluido de corte com certa composição depende do material a ser usinado, do tipo de operação de corte e da ferramenta usada. Os fluidos de corte

solúveis e sintéticos são indicados quando a principal função é refrigerar. Assim, os óleos minerais, graxos usados juntos ou separados, puros ou incluindo aditivos especiais, são utilizados quando a lubrificação é mais significativo que o resfriamento (PEGADO, 2004).

São vários os benefícios procedentes do uso de fluidos de corte: aumento da vida da ferramenta, melhor acabamento do componente, exatidão dimensional melhora, e também facilita a quebra e o transporte do cavaco. Outros benefícios ligados são a proteção da superfície usinada contra corrosão e diminuição das forças de usinagem e do consumo de energia (SOARES, 2016).

De acordo com Tessaro (2008), existe uma grande variedade de fluidos disponíveis no mercado, que são divididos em quatro classes, e agrupados em dois tipos básicos: os fluidos de corte integrais, compreendido pelos óleos integrais, e os fluidos de corte à base de água, composto pelos fluidos emulsionáveis, semi-sintéticos e sintéticos.

2.2 Funções dos Fluidos de Corte

Fluidos de corte são compostos sólidos, líquidos ou gasosos utilizados para gerar melhoras de caráter funcional e/ou econômico nos processos de usinagem. Melhorias de caráter funcional são as que aumentam o desempenho e a produtividade do processo. As melhorias de caráter econômico são as que tornam o processo de usinagem mais econômico, como o nome já diz. (MAGALHÃES, 2013).

As principais funções dos fluidos de corte são:

- ✓ Lubrificação a baixas velocidades de corte;
- ✓ Refrigeração a altas velocidades de corte.

As principais funções secundárias são:

- ✓ Auxilia na retirada de cavaco da zona de corte;
- ✓ Protege a máquina ferramenta e a peça da corrosão atmosférica.

A figura 1 ilustra a aplicação do fluido em uma peça a ser usinada. Como refrigerante, atua sobre a ferramenta e impede que ela atinja temperaturas muito altas e perca suas características de corte. Age, também, sobre a peça evitando

deformações causadas pela temperatura. Atua finalmente sobre o cavaco, reduzindo a força necessária para se seja cortada. (FOGO, 2008).



Figura 1: Fluido de corte em ação.
Fonte: Fogo, 2008.

2.2.1 Funções Primárias dos Fluidos de Corte

Grub (2013) divide os fluidos de corte em duas principais funções: lubrificar a baixas velocidades de corte e refrigerar à altas velocidades de corte. Nota-se que a função do fluido está diretamente ligado à velocidade de usinagem. Sob baixas velocidades de corte, caso em que as temperaturas são mais baixas, a refrigeração é relativamente sem importância, enquanto a lubrificação toma um papel fundamental. Com a predominância da lubrificação há redução do atrito na interface cavaco-ferramenta, diminuindo a região de aderência, e conseqüentemente, prevalecendo a de escorregamento. Com isso, é possível evitar a formação de aresta postiça de corte – APC, que prejudica o acabamento superficial da peça.

Conforme Gonçalves et. al. (2010), o fluido de corte diminui o excesso de microsoldagem do cavaco na superfície de saída da ferramenta e do surgimento de APC quando adicionados aditivos apropriados. A altas velocidades de corte, as condições não são favoráveis para a penetração do fluido na interface cavaco-ferramenta para que ele faça o papel lubrificante. Nessas condições, a refrigeração é que se torna mais importante e um fluido à base de água deve ser utilizado. A Figura

2 mostra o comportamento das forças de corte em função da velocidade de corte para diversos materiais, ilustrando a influencia da APC em baixas velocidades para o aço. (SANCHES, 2011).

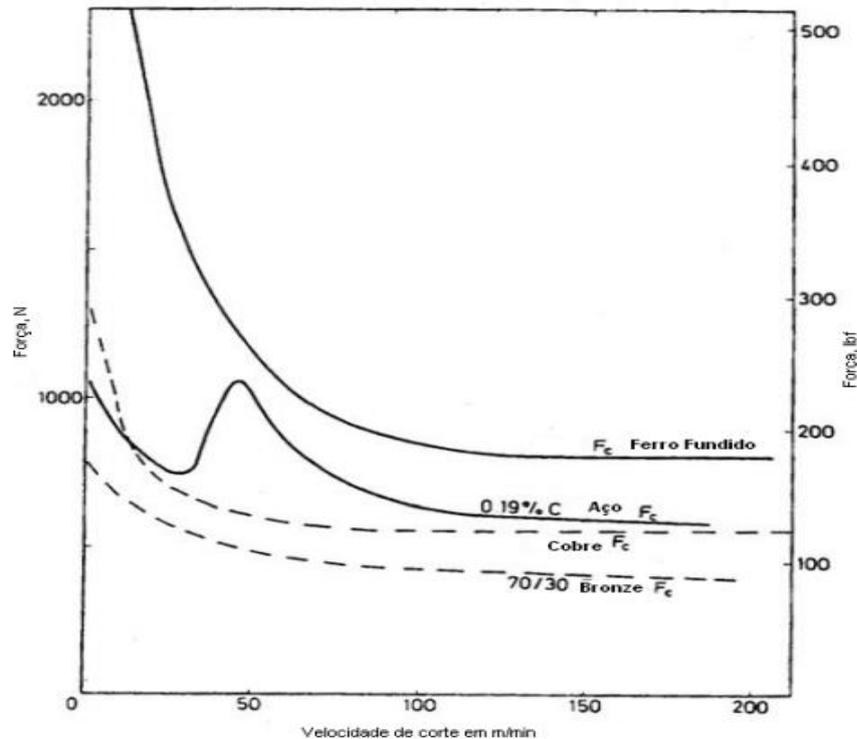


Figura 2: Comportamento da força de corte em relação à velocidade de corte para diferentes aços.
Fonte: Trent, 2000.

2.2.2 Funções Secundárias dos Fluidos de Corte

De acordo com Souza (2011), o calor gerado durante a usinagem, transferido pela ferramenta, pela peça, pelo cavaco ou pela própria irradiação para a máquina, poderá afetar as dimensões das partes da máquina-ferramenta por dilatação térmica, o que conseqüentemente prejudicará as medidas finais da peça usinada. Além disso, no processo de usinagem, o cavaco torna-se indesejável tão logo acabe de ser gerado. Sua presença na região de corte pode provocar danos ou deformações na peça, na ferramenta ou até na máquina. O emprego de fluido lubrificante ajuda na quebra do cavaco e facilita a sua retirada em alguns casos, como nos processos de torneamento, furação e fresamento.

A partir da figura 3 é possível perceber que o fluido de corte age em várias regiões e apresentar várias funções. Além de diminuir o atrito entre as interfaces cavaco-ferramenta, peça-ferramenta e ferramenta-cavaco, também auxilia na retirada dos cavacos ali produzidos (SANTOS, 2014).

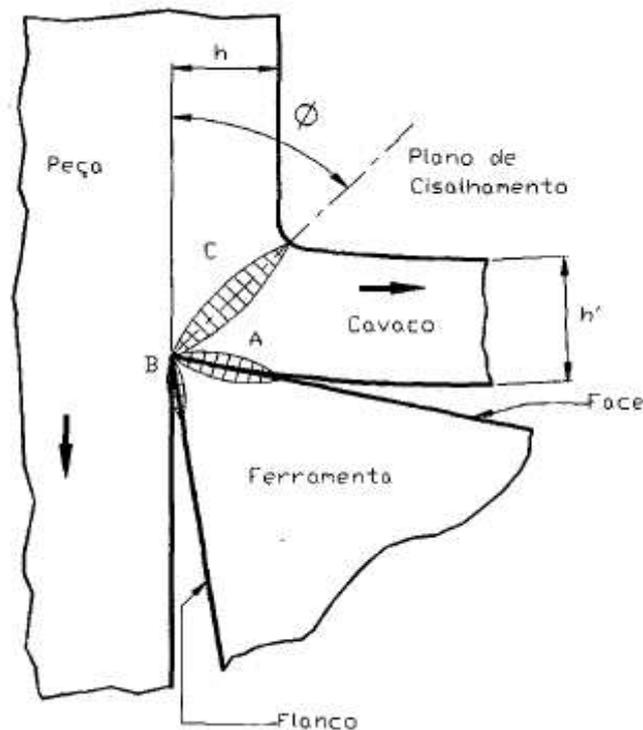


Figura 3: Regiões de ação dos fluidos de corte.
Fonte: Dias, 2000.

A região do cisalhamento, representada pela zona C da Figura 3, é onde ocorre a diminuição do atrito entre ferramenta-cavaco. A zona B é onde ocorre o decréscimo de atrito entre a interface peça-ferramenta. E a zona A é onde ocorre a perda de atrito na interface ferramenta-cavaco. (DIAS, 2000).

É válido ressaltar também as funções de caráter econômico dos fluidos de corte, tais como: redução do consumo de energia, redução dos custos com ferramentas, diminuição ou eliminação da corrosão na peça (GONÇALVES, 2008).

2.2.3 Razões Econômicas para se usar Fluidos de Corte

Gonçalves et al. (2010), afirmam que o objetivo final dos fluidos de corte é obter um custo total por partes usinadas ou um aumento na taxa de produção. Isto pode acontecer graças aos benefícios que os fluidos de corte podem proporcionar, como por exemplo:

- ✓ Aumento da vida útil da ferramenta pela lubrificação e refrigeração;
- ✓ Redução das forças de corte devido à lubrificação, e consequentemente, redução de potencia;
- ✓ Melhora do acabamento superficial;
- ✓ Fácil remoção do cavaco na zona de corte;
- ✓ Menor distorção da peça pela ação da ferramenta (controle dimensional da peça).

A importância relativa de cada função citada dependerá ainda do material usinado, do tipo de ferramenta utilizado, das condições de corte, do acabamento superficial e do controle dimensional exigido (RIBEIRO; SILVA; MACHADO, 2003).

2.3 Classificação e Tipos dos Fluidos de Corte

Gonçalves (2008) relata que o crescimento da demanda, impulsionado pelo crescimento industrial, fez crescer esforços para aumentar a velocidade de corte, o que exigiu o desenvolvimento de materiais para ferramentas de corte mais resistentes e consequentemente trouxe a necessidade de melhoras dos fluidos de corte.

Conforme Gonçalves et al. (2010), a interação entre fluidos de corte e o processo de remoção de material é uma área de pesquisas de interesse para as indústrias. Nesse sentido, os fluidos de corte evoluíram em um conjunto complexo de óleos e componentes. Essa evolução deve-se à obtenção de fluidos mais eficientes e ecologicamente mais viáveis.

Então, industrialmente são mais observados os fluidos líquidos de corte e existe uma alta variedade disponível no mercado com inúmeros fornecedores

atuando para atender as indústrias metal mecânicas. Esses produtos podem ser divididos em quatro classes e agrupados em dois tipos básicos, como a mostra a figura 4 (ABREU, 2010).

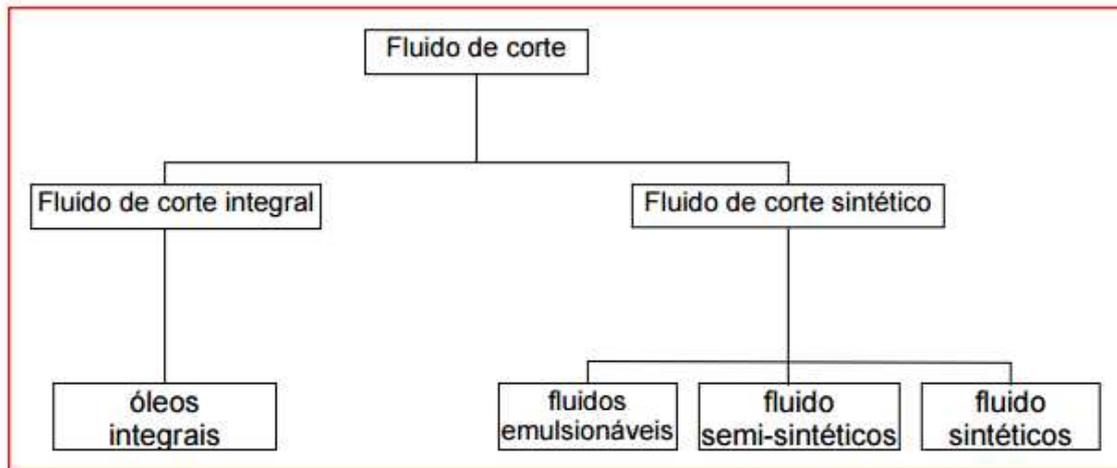


Figura 4: Variedades dos fluidos de corte e suas subdivisões.
Fonte: Tessaro, 2008.

Os fluidos de corte, atualmente, podem ser óleos integrais ou uma mistura de óleos, podem conter um ou uma combinação de aditivos tais como: enxofre, cloro, fósforo ou outros compostos químicos; podem ser miscíveis com água, utilizando pouquíssimo óleo ou até nenhum, podem conter ou não agentes surfactantes, isto é, existem fluidos para atender as propriedades necessárias para aplicação em uma ampla variedade de operações de usinagem. (GONÇALVES, 2008, p. 9).

Já Nogueira (2014), afirma que os óleos lubrificador-refrigerantes são classificados em quatro grupos, de acordo com as substâncias ou misturas que o compõe.

Entretanto Diniz et al. (1999) afirmam que há várias maneiras de classificar os fluidos de corte e não há uma padronização única estabelecida entre as empresas fabricantes. A classificação mais difundida é feita da seguinte maneira:

- ✓ Ar: Pouco utilizado, aplica-se principalmente na usinagem de ferro fundido cinzento.

- ✓ Água: Primeiro fluido a ser utilizado. Foi substituído por óleos integrais e óleos emulsionáveis devido a sua alta taxa de evaporação, é deficiente na lubrificação e provoca corrosão em materiais ferrosos.

- ✓ Emulsão: É uma solução onde se mistura um percentual de água mais um percentual de óleo solúvel em um reservatório (SILVA, 2012).

De acordo com Lisboa et. al. (2013), não há uma classificação padrão dos fluidos de corte. Na tentativa de unificar as classificações existentes, apresenta-se a tabela 1 que destaca, também, as principais composições e propriedades dos fluidos de corte.

FLUIDOS DE CORTE					
Classificação	Integrais	Solventes em água			Gases
		Emulsões	Semi-Sintéticos	Sintéticos	
Principais composições	Óleos minerais Óleos graxos Cloro Enxofre Fósforo	Água Óleo mineral Emulsificadores Cloro Enxofre Glicol Biocidas	Água Óleo mineral Elementos orgânicos e inorgânicos Cloro Enxofre Biocidas	Água Sais inorgânicos Cloro Enxofre Biocidas Agentes Umectantes	Ar Argônio Hélio Nitrogênio Gás Carbônico
Principais propriedades	Lubrificação Extrema-Pressão Anticorrosão	Refrigeração Extrema-Pressão Anti-oxidação Anticorrosão Lubrificação Lavagem	Refrigeração Extrema-Pressão Anti-oxidação Anticorrosão Lubrificação	Refrigeração Extrema-Pressão Anti-oxidação Anticorrosão	Anti-oxidação Usinagem a seco

Tabela 1: Tipos, composições e propriedades dos fluidos de corte.
Fonte: Gonçalves, 2008.

De acordo com Magalhães (2013), que os óleos de corte puros são os que não são misturados com água e, por causa disso, não são os mais indicados para retirada de calor no processo. Podem ser divididos em ativos ou inativos, sendo os ativos caracterizados pelo acréscimo de cerca de 2% de enxofre ao óleo para reagir com a superfície da peça para protegê-la de elevadas temperaturas e melhorar a usinagem. Já nos inativos, essa reação não ocorre, pois o enxofre presente no óleo está relacionado fortemente a cadeias de hidrocarbonetos.

Em outra classificação, consistem os óleos, em que seu calor específico é cerca da metade da água e, logo, têm capacidade menor de refrigeração. Por outro lado, suas qualidades lubrificantes são bem melhores, o que consiste em menor quantidade de calor gerado. Quanto menor a viscosidade desses óleos, maior é seu poder de refrigeração. Os óleos leves são, por isso, sugeridos em operações de

usinagem a altas velocidades, onde o calor deve ser rapidamente dispersado (SÁ, 2010).

Gonçalves (2008) demonstra a correlação que as propriedades dos fluidos de corte devem conter. Tem-se como exemplos:

- ✓ Viscosidade adequada (baixa o suficiente para que o fluido chegue à zona a ser lubrificada e alta o suficiente para ter uma boa aderência);
- ✓ Elevado calor específico e condutividade térmica;
- ✓ Anticorrosiva;
- ✓ Antiespumante;
- ✓ Compatibilidade com a maioria das pinturas e vedações;
- ✓ Compatibilidade com materiais ferrosos e não ferrosos;
- ✓ Baixa tendência para originar precipitados sólidos;
- ✓ Não causar incrustações nas tubulações de filtração do fluido em uso, entre outras.

2.3.1 Fluidos de Corte Integral

2.3.1.1 Óleos Integrais

De acordo com a descrição de Carvalho (2011), os óleos integrais são os que de petróleo refinados (logo possuem alta lubrificação e baixa solubilidade em água) ou de origem animal, marinha, vegetal ou sintética, que geralmente são usados em conjunto com aditivos.

Segundo Dias (2000), os lubrificantes empregados na forma de óleos integrais primeiramente foram os óleos vegetais e animais, mas devido ao seu custo elevado e rápida deterioração, tornaram-se inviáveis. Atualmente, esses óleos são utilizados como aditivos para melhorar as propriedades lubrificantes dos óleos minerais, e são classificados de óleos integrais porque são livres de água em sua composição.

Os fluidos à base de óleo diferem-se dos à base de água devido à sua fase contínua ser composta por óleo, apresentando diversas vantagens em relação a sua compatibilidade, estabilidade térmica, lubrificação, mínima corrosão, rapidez na operação e reaproveitamento após tratamento adequado. (ARAUJO et al., 2015).

Estes óleos têm ótimas propriedades lubrificantes, bom controle anti-ferrugem e vida útil longa. Porém, apresentam menor poder refrigerante quando comparados com os fluidos de corte solúveis em água, devido ao seu calor específico ser cerca de metade em relação ao da água. (SANTOS, 2014).

O fluido de base óleo foi utilizado por muito tempo em função da sua elevada eficiência como inibidor de corrosão, mas, um grande problema desse fluido é o seu descarte no meio ambiente, pois seus compostos, por serem ricos em diesel e óleos minerais, tendem a persistir por muitos anos nos meios marinhos (CATAI et al., 2002).

2.3.2 Fluidos de Corte Solúveis

2.3.2.1 Fluidos Emulsionáveis

A água é um dos meios mais eficazes para a refrigeração. No entanto, em seu estado natural, aponta três desvantagens: promover oxidação, apresentar baixo poder de lubrificação e baixar molhabilidade nos metais. Os emulsificadores são substâncias que reduzem a tensão superficial da água e com isso, facilitam a dispersão do óleo e o mantém finamente disperso como uma emulsão estável (TIGRINHO, 2005).

As emulsões são constituídas de óleos minerais adicionados a água em proporções que podem variar de 1:10 a 1:00 com agentes emulgadores que garantem a miscibilidade da água. Geralmente, empregam-se agentes anticorrosivos, tais como nitrato de sódio, para amenizar os efeitos corrosivos da água nas emulsões. (RIBEIRO et al., 2003).

Emulsões oleosas são sistemas heterogêneos onde um líquido imiscível está intimamente disperso em outro líquido sob a forma de partículas que se mantêm estabilizadas pela atuação de agentes tensoativos. (SANTOS, 2013, p 4).

Conforme relato de Riquelme (2010), para conservar a estabilidade de uma emulsão, são usados emulgadores que solubilizam na água e, por diferença de polaridade, homogeneizam as gotículas de óleo na mistura. Desse modo, garante-se o aumento da lubricidade, pela presença de óleo, e a capacidade de refrigeração e limpeza de cavacos da região de corte, pela presença de água.

2.3.2.2 Fluidos Semi-Sintéticos

Microemulsões são sistemas opticamente transparentes ou translúcidos, além de pouco viscosos, termodinamicamente estáveis e sua formação é proporcional à diminuição da tensão superficial do sistema (LUZ, 2011).

Segundo Sá (2010), Microemulsões, ou fluidos semi-sintéticos, são também formadores de emulsões. Estes fluidos são composições de fluidos sintéticos que contém somente uma pequena porcentagem de óleo mineral emulsionável, variando de 5% a 30% do total do fluido concentrado, o qual é adicionado a fim de proporcionar uma emulsão estável, translúcida e composta de minúsculas gotículas de óleo.

As microemulsões se destacam por algumas características especiais, tais como: alta estabilidade termodinâmica, grande área interfacial, tensão interfacial muito baixa, diversificação de estruturas e transparência óptica. (MELO, 2013).

A presença de muitos emulsificadores proporciona ao fluido uma coloração menos leitosa e mais transparente. A menor quantidade de óleo mineral e biocidas presentes elevam a vida do fluido e diminuem os riscos à saúde. (CONCEIÇÃO, 2010).

2.3.2.3 Fluidos Sintéticos

Uma nova geração de fluidos vem sendo desenvolvida, são os chamados fluidos sintéticos, definidos como fluidos cuja fase contínua é um líquido sintético. Eles podem desempenhar as mesmas funções dos fluidos à base de óleo, bem como ser utilizados em situações nas quais os fluidos à base de água sofrem limitações. Como desvantagem tem-se seu elevado custo. (FARIAS, 2005).

De acordo com Shaffel (2002), Os fluidos sintéticos são bem mais caros do que os oleosos, mesmo assim, não deixam de serem economicamente compensadores, já que o descarte marítimo dos fluidos de à base de óleo está proibido em varias partes do mundo implicando em custos e riscos extra a serem assumidos com o transporte dos resíduos para descarte em terra.

No geral, estas substâncias permitem rápida dissipação de calor, bom controle dimensional, excelente poder detergente e boa visibilidade da região de corte, facilidade no preparo da solução e elevada resistência à oxidação do fluido e à corrosão. Os fluidos sintéticos contém boa estabilidade microbiológica, assim, não precisa ser periodicamente descartado devido ao ataque de bactérias. Esta característica economiza tempo de máquina parada para limpeza e reabastecimento do reservatório (GONÇALVES et al., 2010).

2.4 Tipos de Aditivos Utilizados em Fluidos de Corte

Nos dias atuais, os investimentos são altos para adquirir fluidos que atendam todas as especificações necessárias para uma operação rápida e eficiente. Para tanto, as empresas vêm patrocinando pesquisas e simulações com a intenção de solucionar problemas enfrentados durante os processos de fabricação. Essas pesquisas são direcionadas para a composição dos fluidos, ou seja, os aditivos utilizados nos mesmo vão determinar a eficiência do que está sendo produzido. (SEIXAS, 2010).

Dias (2000) classifica os tipos de aditivos da seguinte forma:

- *Antiespumante*

Este aditivo realiza uma alteração na tensão superficial e altera a dispersibilidade dos aditivos que poderiam estabilizar a espuma. Uma forma de ação muito importante destes aditivos é por espalhamento sobre a superfície da espuma, ou pela penetração na mesma. Ao diminuir a tensão superficial, a película de líquido não consegue manter o ar aprisionado, dessa maneira a espuma se destrói. Os antiespumantes mais utilizados são à base de poligilicóis e os quebradores de espuma são derivados de silicone (PINTO, 2012).

- *Anticorrosivo*

Segundo Soares (2010), são substâncias químicas acrescentadas aos lubrificantes para não deixar o ataque de contaminantes corrosivos às superfícies metálicas. Os agentes anticorrosivos têm a possibilidade de serem produtos resultantes da própria oxidação do óleo, como também agentes externos contidos no ar atmosférico ou no caso de motores de combustão interna, ácidos formados na combustão.

De acordo com Santos (2014), os materiais anticorrosivos reduzem o desgaste por uma película passivadora, e que os fluidos de base sintética e integrais são melhores agentes anticorrosivos. É normal a utilização de produtos à base de nitrito de sódio em baixas concentrações. Um bom fluido de corte deve inibir a corrosão e oxidação da peça e da máquina-ferramenta.

- *Antidesgaste/Extrema (EP)*

Quando a película de Lubrificação hidrodinâmica não está mais presente a temperatura tem a tendência a aumentar e o aditivo EP precisará entrar em ação, reagindo com a superfície do metal formando camadas que irão evitar o contato direto entre as superfícies deslizantes. Com isso evitando a soldagem das partes móveis em condições de extrema pressão. (NOGUEIRA, 2014).

- *Biocidas*

Os biocidas, também conhecidos como agrotóxicos, aparecem com a função de eliminar organismos que representam obstáculos à produção. (SOUZA, 2014).

Além disso, Nogueira (2014) cita que os biocidas diminuem o crescimento de microorganismos, como bactérias, fungos e leveduras em emulsões lubrificantes, evitando: a degradação rápida do fluido, a quebra da emulsão, a ocorrência de efeitos maléficos pelo contato do homem com as emulsões contaminadas (dermatite, pneumonia).

- *Detergentes*

De acordo com Soares (2013), os detergentes são compostos de moléculas com uma longa cadeia de hidrocarbonetos, um grupo oleofílico com a finalidade de solubilizar o composto na base fluida e um grupamento polar, que é atraído para as partículas contaminantes no lubrificante. Reduzem a deposição de lodo, lamas e borras.

Pegado (2004) colabora afirmando que são compostos organometálicos contendo magnésio, bário, cálcio, entre outros.

- *Emulgadores*

São responsáveis pela formação de emulsões de óleo na água e vice-versa. Diminuem a tensão superficial formando uma película superficial semi-estável na interface óleo-água. Os sabões de ácidos graxos, as gorduras sulfatadas, sulfonatos de petróleo e emulgadores não iônicos se destacam como os principais tipos. (GRUB, 2013).

- *Passivador Metálico*

Compostos que dificultam ou neutralizam o efeito catalítico dos metais na oxidação. Formam uma película protetora inativa por absorção ou adsorção, tornando em um complexo catalítico inativo com os íons metálicos solúveis e insolúveis. Sua maior utilização é em fluidos destinados para usinagem de metais amarelos, alumínio e materiais zincados. (MIRANDA, 2011).

2.5 Propriedades dos Fluidos de Corte

Os fluidos de corte são sujeitos a sofrer alterações durante sua utilização no que se refere a sua composição e propriedades que podem prejudicar suas funções quando em processo. Sendo assim, apontam-se as principais propriedades dos fluidos de corte, que caracterizam o seu desempenho durante as operações de usinagem, sendo subdivididos conforme Miranda (2011) sugere:

- ✓ Propriedades anticorrosivas;
- ✓ Propriedades antiespumantes;
- ✓ Propriedades antioxidantes;
- ✓ Absorção de calor;
- ✓ Propriedades antidesgaste;
- ✓ Propriedades antisolda;
- ✓ Ausência de odores;
- ✓ Viscosidade;
- ✓ Baixa tendência à formação de névoa;
- ✓ Compatibilidade com meio ambiente;
- ✓ Transparência, entre outras.

Na usinagem, mesmo a velocidade de corte sendo convencional ou alta, o uso de fluido de corte é opcional, e quando ele é escolhido e aplicado apropriadamente, traz benefícios. A escolha correta de um fluido de corte deve ser feita naquele que possui formulação química e propriedades corretas, para atacar as adversidades de um processo de corte específico (SOARES, 2010).

2.6 Critérios de Seleção dos Fluidos de Corte

A escolha do uso correto do fluido de corte tem uma influência precisa sob qualidade de acabamento das peças, a produtividade, o custo operacional, a saúde do trabalhador e meio ambiente (GONÇALVES, 2008).

Para Pegado (2004) a seleção apropriada de um fluido de corte deve ser apontada pra aquele que possui composição química e propriedades corretas, para atacar as adversidades de um processo de corte específico.

A tarefa de selecionar um fluido de corte não é tão simples, para tal, é preciso conhecer tudo o que se deseja do produto/peça em pauta e qual o recurso de manufatura mais recomendável, e sendo assim, conciliar e controlar as condições/ recursos disponíveis (ABREU, 2010).

Silva et al. (1999) afirmam que a escolha correta de um fluido de corte vai depender de uma série de fatores que estão interrelacionados, tais como: aspectos econômicos, tipo de máquina operatriz, custos relacionados ao procedimentos de descarte, tipo de sistema de circulação de fluido de corte, saúde humana e contaminação do fluido, meios de controle método de aplicação do fluido, severidade da operação, tipos de operação, materiais usinados, compatibilidade metal com fluido, dentre outros. Porém, é necessário citar, que não existe um fluido de corte que atende todos os requisitos acima lembrados. Nogueira (2014) define entre os aspectos acima considerados, os parâmetros prioritários para a operação de usinagem bem desempenhada:

- *Condições de usinagem*

Em uma usinagem, quando se apresentam um grande avanço e profundidade, baixa velocidade de corte, elevadas forças de corte, o fluido de corte lubrificante utilizado é o óleo puro, onde é aplicado somente na parte de contato. Porém, na usinagem com características contrárias à primeira, onde há elevadas velocidades de corte, usa-se a emulsão, pois busca-se somente a refrigeração (DINIZ et al., 1999).

- *Material da peça*

Nogueira (2014) esclarece que o ponto crucial para uma escolha positiva do fluido de corte, é conhecer o material da peça e seu comportamento. Sendo assim, surge o conceito de usinabilidade, que é a propriedade que os materiais têm de se deixarem ser usinados. Na tabela 1 é possível observar quais os fluidos de corte utilizados de acordo com os materiais da peça.

	OPERAÇÕES DE USINAGEM		
Material da peça	Brochamento	Roscamento	Furação profunda
Aços	Óleos emulsionáveis, óleos minerais sulfurados e óleos graxos-minerais cloro-sulfurados	Óleos graxos-minerais sulfurados ou cloro-sulfurados	Óleos emulsionáveis, óleos minerais sulfurados e óleos graxos-minerais sulfurados
Aços inoxidáveis	Óleos emulsionáveis e óleos graxos-minerais cloro-sulfurados	Óleos graxos-minerais cloro-sulfurados	Óleos emulsionáveis, óleos minerais sulfurados e óleos graxos-minerais cloro-sulfurados
Ferro fundido	Óleos emulsionáveis e óleos graxos-minerais sulfurados ou a seco.	Óleos graxos-minerais cloro-sulfurados e óleos emulsionáveis.	Óleos emulsionáveis ou a seco.
Monel, níquel	Óleos graxos-minerais cloro sulfurados e óleos graxos-minerais.	Óleos graxos-minerais cloro-sulfurados e óleos emulsionáveis.	Óleos emulsionáveis e óleos graxos-minerais inativos.
Cobre	Óleos graxos-minerais inativos, Óleos graxos-minerais cloro sulfurados e óleos emulsionáveis.	Óleos graxos-minerais inativos, Óleos graxos-minerais cloro-sulfurados, óleos emulsionáveis e óleos graxos-minerais sulfurados.	Óleos emulsionáveis e óleos graxos-minerais inativos.
Latão, bronze	Óleos graxos-minerais sulfurados inativos e óleos emulsionáveis.		Óleos emulsionáveis, Óleos graxos-minerais inativos, ou a seco.
Alumínio e suas ligas	Óleos graxos-minerais sulfurados inativos e óleos emulsionáveis.	Óleos graxos-minerais sulfurados inativos e óleos emulsionáveis.	Óleos emulsionáveis, Óleos graxos-minerais inativos, compostos de querosene e o óleo de tocinho.
Magnésio e suas ligas	Óleos graxos-minerais inativos.	Óleos graxos-minerais inativos.	Óleos graxos-minerais inativos.

Tabela 2: Fluido de corte de acordo com o processo

Fonte: Nogueira, 2014

- *Material da Ferramenta*

Para se atingir o sucesso na operação, é de grande importância que a seleção do material das ferramentas seja efetuada por um especialista na área. Alguns destes materiais são: aço rápido, o metal duro, a cerâmica, ferro fundido e o

diamante e devem conter as algumas propriedades como, elevada dureza quente, elevada dureza a frio, tenacidade, resistência à abrasão, estabilidade química, facilidade de obtenção à preços econômicos. Uma vez que nenhum material apresente todas estas propriedades, é necessário listar interesses primários e secundários que deseja obter (SANCHES, 2011).

- *Processo de Usinagem*

Cada operação é sujeita a objetivos e parâmetros de usinagem diferentes, e tem o fluido de corte que mais se adequa a cada uma, levando-se em conta a finalidade da operação e o material da peça a ser usinada.

- *Tipo de Máquina*

O produto final é alcançado através de diversas transformações físicas. A complexidade dessas transformações sucessivas aliada ao tipo de produção influenciam na determinação da máquina-ferramenta adequada ao processo e, conseqüentemente, o fluido de corte adequado (RAEL, 2004).

✓ Operações específicas e exigentes são facilmente realizadas por máquinas clássicas, utilizando-se fluidos especiais aditivados, tendo como exemplo as máquinas brochadeiras, rosqueadeiras, superacabadoras, etc;

✓ Operações variadas e perfis mais complexos podem ser obtidos por máquinas-ferramentas de reprodução empregando-se fluidos de uso geral, de grande compatibilidade, onde tem-se como exemplos os centros de usinagem.

Bonfá (2013) acrescenta que a seleção de um fluido perfeito é dificilmente irá acontecer, já que há uma grande variedade de produtos disponíveis no mercado e com alto grau de competitividade. O custo é a alto e a utilização do fluido de corte tem que compensar economicamente, ou seja, os benefícios devem superar o custo do produto.

Além da parte econômica existe uma preocupação com os aspectos ecológicos (operadores e meio ambiente) que de devem ser considerados na seleção. Lisboa et al. (2013) citam que em suas composições, os fluidos de corte contêm óleos e agentes químicos que podem causar danos ao solo, água e ar. Portanto, os fluidos de corte devem ser descartados adequadamente segundo legislação ambiental existente.

2.7 Métodos de Aplicação dos Fluidos de Corte

Quando aplicados da forma apropriada, os fluidos de corte têm a tendência de aumentar a produtividade e reduzir custos, facilitando o uso de maior velocidade de corte, maior taxa de avanço e melhor profundidade de corte. A aplicação efetiva pode também aumentar a vida útil da ferramenta, reduzir a rugosidade superficial, melhorar a precisão dimensional, e ainda diminuir a potência exigida (DESTRO et al., 2010).

Conforme Sanchez et al. (2011), a forma mais comum de aplicação do fluido de corte é a abundante (convencional) que age nas costas do cavaco, de onde o calor é extraído. Porém, sob altas velocidades de corte foi observado que os fluidos de corte têm sua eficiência diminuída. Este fato pode ser atribuído à maior taxa de geração de calor, a incapacidade do fluido alcançar as regiões a serem refrigeradas e a tendência do cavaco em movimento expulsar o fluido para fora da região de corte.

Já Lisboa et al. (2013) citam que, de modo geral, para que o fluido de corte desempenhe suas funções deve ser aplicado próximo da aresta de corte, nas interfaces peça/ferramenta/cavaco. Não há um consenso em relação à melhor direção de aplicação de fluido.

Segundo Santos (2014), há basicamente três métodos de aplicação dos fluidos de corte:

- I. Jorro de Fluido à baixa pressão
- II. Pulverização
- III. Sistema à alta pressão.

Soares (2016) cita que para cada fluido de corte existem formas e técnicas diferenciadas para aplicação do mesmo. Para os fluidos de corte líquidos, a técnica mais utilizada é o jorro; a ação aqui é por gravidade ou baixa pressão. Ele consiste na aplicação do fluido de corte líquido em um ou mais dos três pontos, como mostrado na figura 6.

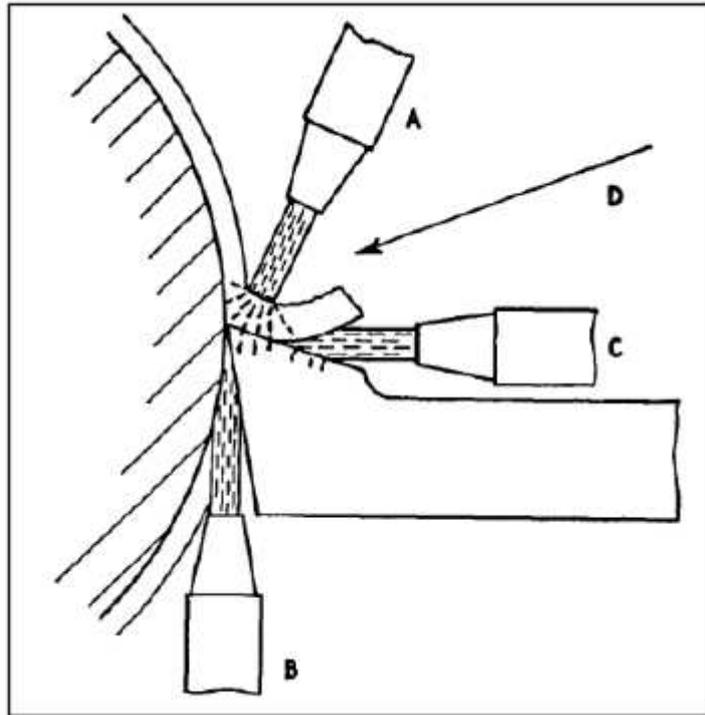


Figura 5: Regiões de aplicação dos fluidos de corte.
Fonte: Santos, 2014.

Os três pontos possíveis indicados pela figura 6 são: o ponto A mostra a direção sobre a cabeça, já o ponto B identifica a direção entre a superfície inferior do cavaco e a superfície de saída da ferramenta, enquanto o ponto C indica a direção entre a peça e a superfície de folga da ferramenta (SANTOS, 2014).

Emprega-se também a vazão extremamente baixa de fluido (MQF – Mínima Quantidade de Fluido) que é a pulverização de uma pequena quantidade de óleo, na forma de névoa, em conjunto com a aplicação de ar comprimido tendo como objetivo aumentar a capacidade de lubrificação (SÁ, 2010).

Segundo Bonfá (2013), devido sua simplicidade, o primeiro método é o mais utilizado, porém o segundo oferece vantagens sobre o primeiro devido o seu maior poder de penetração, velocidade e economia.

Segundo Naves e Silva (2011), o fluido de corte quando aplicado em alta pressão torna simples a refrigeração da interface cavaco-ferramenta e favorece a redução do calor gerado durante os processos de usinagem. Influencia também na redução do atrito durante o escoamento do cavaco pela superfície de saída da ferramenta, promovendo um contato mais suave na movimentação do cavaco sobre a superfície de saída o que contribui para aumentar a integridade da ferramenta.

O uso de fluidos de corte à alta pressão não deve ser visto como um meio para compensar deficiências, provenientes de outros fatores de aplicação – como ferramentas e máquinas inadequadas, instabilidade no processo, dados de corte incorretos entre outros, mas sim como uma tecnologia que pode contribuir na usinagem de materiais exigentes como, por exemplo, titânio, níquel e suas ligas devido à alta taxa de calor gerado na formação do cavaco destas ligas. Se o fluido for estrategicamente aplicado, em jatos bem direcionados com alta pressão, ele pode ser vantajoso em várias aplicações, podendo reduzir os esforços de usinagem, conseqüentemente reduzindo a potência elétrica consumida pela máquina, melhorar o acabamento superficial e contribuir para precisão dimensional e geométrica de peças usinadas (NAVES; SILVA, 2011, p 2.).

2.8 Sugestões Tecnológicas

Conforme NOGUEIRA (2014) algumas dicas tecnológicas que se referem ao uso dos fluidos de corte são tomadas em diferentes tipos de materiais. Os principais são:

- ✓ Fofos cinzentos: são geralmente usinados a seco, entretanto um óleo emulsionável pode ser útil para ajudar a remover o cavaco que é o tipo de ruptura;

- ✓ O alumínio e suas ligas podem ser usinados a seco. Para algumas ligas fluido de corte é necessário, que pode ser uma emulsão com mistura de óleo mineral e graxo e a maioria das emulsões solúveis. Não requer aditivos EP e o enxofre ataca o metal instantaneamente;

- ✓ Magnésio e suas ligas geralmente são usinados secos e a extremas velocidades de corte, entretanto, um refrigerante pode ser usado. Emulsões são proibidas, pois a água reage com o cavaco para liberar hidrogênio, que apresenta riscos de ignição. O enxofre ataca o metal;

- ✓ O cobre e suas ligas normalmente usam óleos solúveis. O enxofre ocasiona descoloração das peças;

- ✓ Devido a altas fragilidades das ferramentas cerâmicas, deve-se ter cuidado ao colocar um refrigerante, porque os choques térmicos podem causar trincas superficiais.

3 ASPECTOS E IMPACTOS GERADOS À SAÚDE HUMANA E AO MEIO AMBIENTE

3.1 Considerações Iniciais

Gonçalves (2008) define aspecto ambiental como a causa de qualquer ocorrência de possíveis alterações no meio ambiente, enquanto que, impacto ambiental é qualquer modificação do mesmo, podendo ser adversa ou benéfica, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização, isto é, a consequência das ações realizadas.

De acordo com Grub (2013), a utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem faz das indústrias uma agressora ao meio ambiente. Como já citado anteriormente, os fluidos de corte podem trazer muitos benefícios no processo de usinagem, como por exemplo, aumento da vida útil das ferramentas de corte, e conseqüentemente, diminuído os custos de produção. Porém estão sujeitos a oferecer grandes impactos negativos ao meio ambiente, assim como grandes riscos à saúde dos operadores.

Resíduos de fluidos de corte contêm variações incontáveis na sua composição química e toxicidade e são produzidos em grande escala pelas industriais do setor metal mecânico. Mesmo em baixa concentração os fluidos de corte possuem um elevado potencial de poluição, por isso seu gerenciamento seguro é um dos pontos determinantes para o desenvolvimento das indústrias metal mecânica de forma ambientalmente correta no Brasil. (TESSARO, 2008).

De acordo com o pensamento de Castro (2010), as empresas observaram nas questões ambientais um dos mais importantes fatores de sucesso para continuidade da aceitação de seus produtos nos mercados tanto interno quanto externo. O foco da empresa moderna é o de se adaptar ou correr o risco de espaços conquistados com muito esforço. É imperativo aplicar princípios de gerenciamento ambiental condizentes com o desenvolvimento sustentável. A figura 10 é uma ilustração representando as principais interações dos fluidos de corte com o meio ambiente.

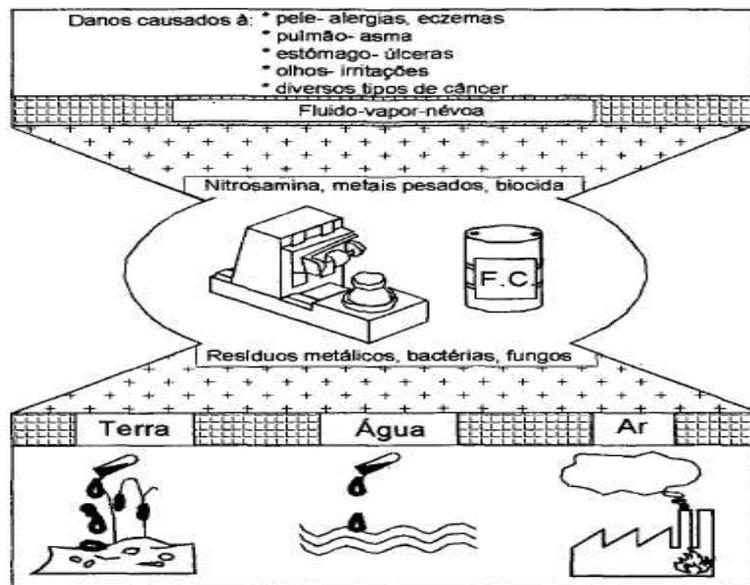


Figura 6: Principais interações dos fluidos de corte com o meio ambiente.
Fonte: DIAS, 2000.

Pesquisas feitas por diversos estudiosos demonstram que o contato prolongado com os fluidos de corte e seus subprodutos podem causar tanto doenças de pele quanto doenças pulmonares, além do câncer. Porém, no momento em que esses produtos devem ser descartados, devido sua deterioração, eles provocam de uma forma ou de outra, algum tipo de agressão ao meio ambiente (DIAS, 2000).

3.2 Aspectos de Manutenção, Controle e Descarte dos Fluidos de Corte e a Preocupação com o Meio Ambiente.

A crescente industrialização presente no cotidiano mundial torna cada dia o processo de usinagem, principalmente dos metais, imprescindível nas empresas. Junto a este crescimento industrial encontra-se também o aumento assustador na utilização de fluidos de corte, pois para muitos, quanto mais fluido existirem na região de corte, maiores serão a economia global do processo e a produtividade. Entretanto, isto não é correto, pois o tratamento e descarte dos mesmos são caros e ilegais quando desrespeitam leis, além do que o fluido em demasia pode às vezes não melhorar em nada a qualidade final das peças. (CATAL et al., 2002).

Durante as operações de usinagem os fluidos de corte estão sujeitos a diferentes fontes de contaminação, a começar pelo processo de degradação natural que inclui diminuição de suas propriedades refrigerantes e lubrificantes, assim também como proliferação de bactérias, fungos e emissões de gases e odores. Desta forma, tais produtos necessitam de medidas de controle que garantam seu bom desempenho (DIAS, 2000).

Segundo Silva et al. (1999), os fluidos de corte devem receber os mesmos cuidados que máquinas, equipamentos elétricos, instalações, etc. Os sistemas de refrigeração devem ser limpos, a cada nova carga de fluido de corte. Cuidados especiais quanto a estocagem e manuseio devem ser tomados. A remoção da camada de óleo sobrenadante é importante, pois, desta forma impede-se a proliferação de bactérias anaeróbias, responsáveis pelo mau cheiro característicos de emulsões contaminadas. A remoção dos cavacos é importante, pois impede a formação de pontos de estagnação no reservatório, o que contribui para a proliferação de microrganismos.

Já Junior (2012) alerta que as instruções básicas para a manutenção correta dos fluidos de corte são:

- ✓ Limpar o sistema de fluídos com cuidado antes de trocar por novos fluidos, atentando para a limpeza das tubulações, canalizações e reservatórios;
- ✓ Evitar ao máximo o uso de madeiras e outros materiais orgânicos no sistema;
- ✓ Sempre que possível realizar a esterilização do sistema por meio de biocidas, ou utilizar detergentes para a remoção de incrustações ou depósitos gordurosos;
- ✓ Priorizar um bom sistema de remoção de cavacos, a fim de que se evite pontos de estagnação dos mesmos, onde poderiam se instalar focos de microorganismos;
- ✓ Sempre fazer a aeração do fluido, como intuito de que o crescimento no número de bactérias anaeróbicas (que se proliferam na presença de O₂), não aconteça, assim com o mau cheiro provindo das mesmas;
- ✓ Prezar pela higiene do local de trabalho, evitando que o sistema de circulação de fluído seja utilizado como depósito de lixo, ou mesmo que pessoas com moléstias infecciosas operem o referido sistema.

Segundo Fogo (2008), as indústrias devem buscar sempre a qualidade de seus produtos, visando também a qualidade do meio ambiente, investindo em processos ambientalmente corretos e no tratamento, reciclagem e reutilização dos seus resíduos. Uma investigação aprofundada sobre métodos de manuseio e controle desses resíduos pode ser uma vantagem competitiva para as empresas.

Os óleos lubrificantes oferecem riscos reais ao meio ambiente e à saúde, e estão classificados como perigosos. Contudo, muitas vezes são descartados diretamente na natureza, seja pela ausência de tratamentos, ou seja, pelo gerenciamento inadequado (GONÇALVES et al. 2010).

Conforme Junior (2012), uma vez usado o fluido de corte, ele contém partículas metálicas na forma de cavacos, oriundas da peça usinada, partículas abrasivas que surgem devido ao desgaste da ferramenta e partículas resultantes da degradação biológica, que combinada com íons ferrosos dão a emulsão um aspecto acinzentado.

No ato do descarte dos fluidos de corte, e seus resíduos, muitas empresas, por falta de informações técnicas e falta de conhecimento da legislação, cometem alguns erros com práticas incorretas na destinação final dos fluidos de corte usados. Fogo (2008) destaca:

- ✓ Manejo inadequado;
- ✓ Ausência de um plano de tratamento;
- ✓ Armazenagem inadequada;
- ✓ Transporte impróprio;
- ✓ Entrega a receptores não autorizados e
- ✓ Disposição de resíduos em locais não autorizados.

O descarte dos fluidos de corte é um processo complicado, o que o torna indesejável, tanto pelo seu alto custo quanto pelos procedimentos legais que o envolvem, já que devem ser realizados por empresas especializadas e requer análise e aprovação da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) que, por último, indica o destino a ser dado. (FOGO, 2008).

A tabela 3 faz um resumo informando os principais aspectos e impactos ambientais referentes a cada atividade realizada com os fluidos de corte.

Atividade	Aspectos Ambientais	Impactos no Ambiente
Armazenagem	Vazamento de resíduos líquidos	Poluição do solo e corpos d'água
Preparação do fluido de corte (emulsão)	Contato com pele do operador e inalação de vapores	Doenças respiratórias e de pele
Etapas do sistema produtivo	Respingos e contato com a pele do operador; Vazamentos para rede de coleta de esgoto; Formação de névoa e vapores; Formação de lamas de retificação	Diversas doenças e irritações de pele (dermatites e eczemas) do operador, e doenças respiratórias; Contaminação de rios e solos
Armazenagem, transporte e descarte de cavaco como sucata para fundição	Vazamento de fluidos de corte em terrenos e estradas; Emissões de gases tóxicos na atmosfera	Contaminação de rios, solos e ar atmosférico.
Armazenagem e descarte de resíduos de fluido de corte	Vazamentos de resíduos para o meio ambiente; Eliminação de resíduos em local não autorizado	Contaminação de rios e solo.

Tabela 3: Principais riscos ambientais causados pelo uso, manuseio e descarte de fluidos de corte utilizados em processos de usinagem.

Fonte: adaptado de DIAS 2000.

3.3 Fluidos de Corte e a Legislação Ambiental

De uma forma geral os fluidos de corte usualmente empregados nas operações de usinagem devem apresentar fatores importantes que justifiquem o seu uso. Logo, deve-se considerar principalmente os custos operacionais de sua aplicação, as exigências legais de conservação do meio ambiente e a preservação da saúde do operador da máquina (NAVES e SILVA, 2011).

De acordo com Mello et al. (2002), além dos fatores econômicos ligados à utilização dos fluidos de corte, sabe-se que eles podem causar danos à saúde dos operadores de máquinas ferramentas e degradar o meio ambiente. Entre as doenças constatadas estão as doenças de pele, irritações oculares, doenças respiratórias e até mesmo câncer, em consequência de algum tipo de contato prolongado. Em decorrência deste fato, as empresas são obrigadas a enfrentar leis ambientais mais rigorosas em relação à compra, manutenção e principalmente com o descarte de resíduos dos fluidos.

As leis ambientais estão cada vez mais rígidas em relação aos problemas decorrentes desta utilização, que vão desde a geração de efeitos nocivos ao trabalhador até a agressão ao meio ambiente. Tais como a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que exigem providências no sentido de reduzir o impacto ambiental dos processos produtivos e apontam o potencial de vantagens, a curto e longo prazo, que podem ser alcançados com a redução do uso de fluidos de corte. Já a Lei Federal nº 2.312/54, regulamentada pelo Decreto nº 49.974/61: dispõe sobre o dever do Estado quanto à defesa e proteção da saúde do indivíduo, daí o interesse aos cuidados do manejo e contato com os fluidos de corte. (TESSARO, 2008).

Há evidências históricas que comprovam incidentes envolvendo substâncias perigosas, por isso, leis e regulamentações tem sido alvo de publicações globalmente, com o objetivo de controlar os tipos e níveis de substâncias perigosas lançadas no meio ambiente. No Brasil, as leis do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e portarias da ANP (Agência Nacional de Petróleo) determinam que todo óleo lubrificante de ser refinado, considerando qualquer outra forma de descarte um crime ambiental (GRUB, 2013).

Segundo Nogueira (2014), devido aos seus inúmeros efeitos indesejáveis, o uso dos fluidos de corte tem sido bastante questionado no ramo industrial. Os custos (aquisição, armazenamento, manutenção e despejo), o perigo à saúde humana e a pressão da legislação cada vez mais severa, tem feito com que as empresas aumentem a linha de pensamento e se aprofundem nas questões de compatibilidade ambiental de suas produções.

Para Gonçalves (2008), com a evolução dos eventos em torno do desenvolvimento sustentável, as indústrias e empresários, de um modo geral, e com destaque, para aquelas com maior potencial de degradação ambiental, passam a lidar com uma diversidade de partes interessadas, a legislação ambiental cresce em quantidade e complexidade, assim como, surgem consumidores que valorizam as características ambientais para selecionar produtos e serviços, investidores começam a se preocupar com os passivos ambientais e cuidar do meio ambiente melhora a reputação das empresas e favorece o seu desempenho financeiro e mercadológico.

3.4 Riscos à Saúde do Operador

De acordo com Catai et al. (2004), saúde dos trabalhadores e a relação sadia entre este e seu ambiente de trabalho, é de vital importância para o bem estar da empresa, pois trabalhador feliz espelha uma boa produtividade. Com o grande aumento na utilização dos fluidos de corte nos processos de usinagem dentro das indústrias mecânicas, são cada vez mais estudados os problemas que os mesmos podem trazer para a saúde dos trabalhadores.

Os fluidos de corte são compostos por substâncias tóxicas que tem a função de garantir maior vida útil aos mesmos. Entre elas estão dispersantes, anticorrosivos, biocidas e clorantes. Além do que, os fluidos de corte podem ser contaminados em função de poeira, água de má qualidade, fungos bactérias e outros fluidos utilizados na operação (JÚNIOR, 2012).

Segundo Grub (2013), durante a aplicação dos fluidos de corte em processos de usinagem, pode-se destacar três tipos de danos principais ao operador: O primeiro é que a toxicidade dos aditivos causam danos à saúde dos trabalhadores, a segunda é que a degradação do óleo mineral e biocidas causa danos à pele e a terceira é aquela em que as misturas de óleo mineral e alcalescência causam danos ao aparelho respiratório.

Conforme Tessaro (2008), os problemas dermatológicos são os mais comuns nos operadores de equipamentos que utilizam fluidos de corte, pois existe muita oportunidade de contato do fluido com a pele durante o processo de fabricação. Esses efeitos mais conhecidos no meio medicinal como dermatites de contato ou ocupacionais, geralmente manifestam-se de duas formas: o contato irritante do derme com o fluido de corte, que pode chegar a umedecer a roupa, ou por reações alérgicas da pele, mesmo quando não tem contato com tanta frequência.

Catai et al., (2004) relatam que a dermatite de contato, que é uma das formas de dermatite, acontece na área de contato da pele do trabalhador com a substância nociva. A substância química que teve contato com a pele do operador pode ser irritativa ou alérgica, o que causará dermatites irritativas e alérgicas respectivamente na pele agredida. A figura 7 apresenta a foto da mão de um operador apresentando dermatite devido ao constante contato com o óleo de corte.

Nota-se que a pele da mão já se apresenta bem ressecada e um dos dedos apresentando descamação.



Figura 7: Dermatite causada pelo contato com óleo de corte.
Fonte: CATAI et al., 2004.

Outro fato relevante, é que as operações de usinagem produzem névoa, fumaça e micropartículas, além de outros gases que podem ser transportados pelo ar e aspirados pelos operadores e funcionários situados próximos ao local de trabalho (SOARES, 2016).

De acordo com Gonçalves (2008), recentes estudos epidemiológicos sugerem que a carcinogenicidade humana é ainda a principal preocupação associada aos trabalhadores usuários de fluidos de corte aquosos.

A probabilidade de câncer associados aos fluidos de corte são bastante eminentes. A General Motors, juntamente com o Instituto U.A.W. (Union of American Workers), em 1983, fizeram uma pesquisa com o intuito de aprofundar os conhecimentos sobre os danos causados pelos fluidos de corte. Para a realização da pesquisa, estudaram-se as mortes de mais de 46.000 trabalhadores com três ou mais anos de serviço. A pesquisa consistia em constatar o motivo das mortes dos trabalhadores, que aconteceram entre 1941 e 1984; e revelou-se que nos trabalhadores expostos a óleo solúvel, foram encontradas altas taxas de câncer no

estômago, pâncreas, laringe e próstata, além de leucemia. Para trabalhadores expostos a óleo puro, encontrou-se maior número de câncer da laringe, esôfago e reto. O risco de adquirir câncer por parte das pessoas que não foram expostas a este tipo de produto era menor do que metade (DINIZ e SCANDIFFIO, 2001).

De acordo com Dias et. al. (2001), muitos estudos confirmaram que o contato prolongado com os fluidos de corte e seus subprodutos pode causar diversas doenças de pele, alguns tipos de câncer, além de doenças pulmonares. Por outro lado, no momento em que devem ser descartados, tais produtos provocam de uma forma ou de outra, algum tipo de agressão ao meio ambiente.

3.5 Riscos ao Meio Ambiente

Um fator que contribuiu para o crescimento na qualidade dos fluidos de corte é a pressão de Agências de Proteção Ambiental e de Saúde para que os produtos sejam comercializados com segurança e sejam menos nocivos ao meio ambiente e a saúde. Porém, mesmo com todo esse avanço e melhorias na qualidade dos fluidos, os riscos ambientais e os danos à saúde continuam em grande escala, pois os fluidos, na sua maioria eles possuem baixa biodegradabilidade, alta toxicidade e elevado custo de reciclagem (ESPINDOLA e KLAFKE, 2014).

Em relação ao meio ambiente, infelizmente os produtos que dão boas características tecnológicas aos fluidos de corte são em sua grande maioria nocivos. Durante o uso, que normalmente é em circuito fechado, o fluido também recebe contaminações de outros produtos e elementos nocivos, como solventes e metais pesados do material da peça, ferramenta e revestimentos (SANTOS, 2014).

Os cavacos contaminados com fluidos de corte também são um problema crítico, pois os aditivos utilizados muitas vezes não permitem a refusão dos cavacos, uma vez que no aquecimento formam-se vapores (por ex. dioxinas e gases nitrosos, ambos nocivos ao meio ambiente) nas mais variadas combinações químicas dos seus elementos constituintes. Para que o processamento correto dos cavacos ocorra, sem prejuízo ao meio ambiente, os aditivos utilizados devem ser

reconhecidos e isto nem sempre é possível, seja por limitações tecnológicas e/ou econômicas (DIAS et. al., 2001).

Outro obstáculo comum que interfere na utilização de fluidos de corte é a dificuldade de manter a área fabril em bom estado de limpeza e conservação. O ambiente com utilização de fluidos de corte, principalmente nas redondezas das máquinas-ferramenta, por mais "fechadas" que sejam (com eficientes guardas de proteção), é, normalmente, muito poluído, com o chão escorregadio e paredes impregnadas. Isso se torna mais crítico quando da utilização de óleos integrais (PEGADO, 2004).

Os fluidos de corte contêm óleos e agentes químicos que podem causar danos ao solo, água e ar em suas composições. Portanto, os fluidos de corte devem ser descartados adequadamente segundo legislação ambiental existente. (LISBOA et al., 2013).

A contaminação do solo, água e ar podem originar-se de vazamentos e perdas, emissões, água de lavagem e também, da disposição dos fluidos de corte. Os componentes dos fluidos de corte como bactericidas e fungicidas reagem com outros produtos inseridos no processo de corte, tornando os fluidos, materiais que podem vir a causar doenças (BIANCHI et al., 2010).

Se não bastassem as questões tecnológicas e mercadológicas há as exigências ambientais, muitas das quais já regulamentadas por leis, que visam o desenvolvimento sustentável através da preservação da saúde humana e do meio ambiente. Assim, tem-se buscado elaborar fluidos de corte ditos "ecologicamente corretos", com agressão mínima ou nula ao meio ambiente (SECCO et al., 2012). A figura 8 é uma ilustração que tem o objetivo resumir o que acontece com vários tipos de fluidos de corte nas indústrias.

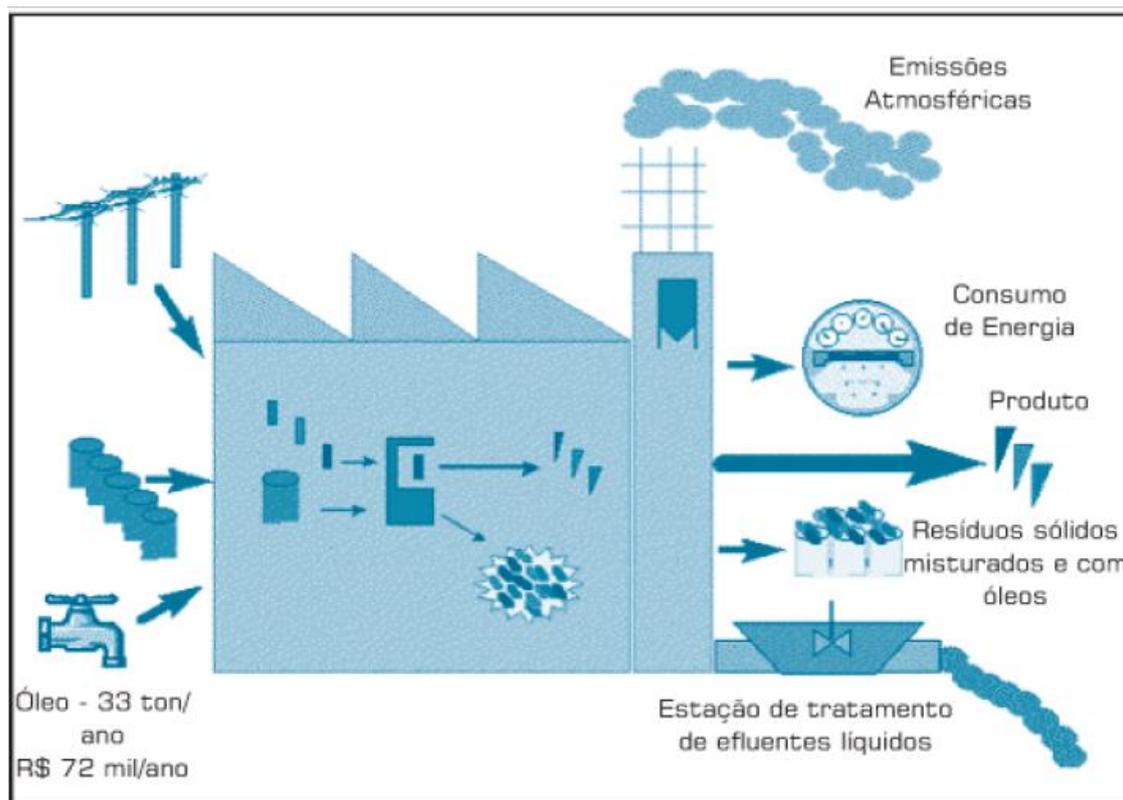


Figura 8: Ilustração dos impactos ambientais causados pelos fluidos de corte.
Fonte: Santos, 2014.

Devido a estes problemas, torna-se extremamente importante o tratamento correto do fluido de corte durante seu tempo de utilização. A legislação, originada de pressões exercidas por agências de saúde e de meio ambiente, torna os problemas de reciclagem e descarte dos fluidos de corte uma preocupação para os gerentes de produção. Legislação de vários países tem exigido que os fabricantes assumam o ônus do descarte e reciclagem desses produtos (PEGADO, 2004)

Portanto, além dos fatores econômicos ligados à utilização dos fluidos de corte, sabe-se que eles podem causar danos à saúde dos operadores de máquinas ferramentas e degradar o meio ambiente. Entre as doenças constatadas estão as doenças de pele, irritações oculares, doenças respiratórias e até mesmo câncer, em consequência de algum tipo de contato prolongado. Em decorrência deste fato, as empresas são obrigadas a enfrentar leis ambientais mais rigorosas em relação à compra, manutenção e principalmente com o descarte de resíduos dos fluidos (MELLO et al., 2002).

De uma forma geral os fluidos de corte usualmente empregados nas operações de usinagem devem apresentar fatores importantes que justifiquem o seu

uso. Logo, deve-se considerar principalmente os custos operacionais de sua aplicação, as exigências legais de conservação do meio ambiente e a preservação da saúde do operador da máquina (NAVES e SILVA, 2011).

3.6 Efeitos Adversos no Descarte

Segundo Gonçalves; Yaginuma; Yamamoto (2010), em decorrência das fortes pressões exercidas pelas leis ecológicas, o despejo dos resíduos de fluidos de corte ganha uma importância crescente no meio industrial.

De acordo com afirmação de Tessaro (2008), um dos problemas mais graves no ramo da metal-indústria são os fluidos de corte, já que se torna essencial na manufatura das peças, sendo seu descarte cada vez mais complexo, pois a cada nova linha de fluidos fabricados surgem novos compostos. Destro et. al. (2010) acrescentam que seu descarte é consideravelmente alto e envolve procedimentos trabalhosos. O custo desses fluidos, com filtragem e descarte, pode ser maior que o custo da ferramenta de corte.

Com o aparecimento de Leis Ambientais cada vez mais rigorosas em todo o mundo, surge mais um grande problema na vida dos empresários que necessitam dos processos de usinagem de metais. Este entrave diz respeito a como descartar os fluidos utilizados dentro das indústrias, de formas financeira e ecologicamente viáveis. Existem muitas alternativas, porém a melhor seria a conscientização dos empresários de que uma manutenção eficiente do fluido minimizaria descartes e gerariam lucros, pois se aumentaria a vida útil dos mesmos (CATAI et al. 2002).

Óleos de corte puros ou integrais podem ser vendidos para refinação; regenerados pelo fabricante ou empresas especializadas; queimado para aproveitamento energético (caldeiras) ou incinerado de acordo com a legislação ambiental. Quanto aos óleos emulsionáveis, os processos de descarte podem ser divididos em: físico (filtração e quebra térmica), químico (adição de sais) e físico-químico (quebra ácida com adsorção a quente). No entanto, todos eles têm em comum os seguintes estágios: quebra da emulsão, separação do óleo e tratamento da água. A escolha do processo depende do estado da emulsão, de sua composição e do custo envolvido. (LISBOA et al., 2013).

Os resíduos sólidos, a exemplo de cavacos impregnados de óleo de corte ocasionam riscos durante o transporte e a armazenagem, já que, ocorre armazenagem dos cavacos em depósitos a céu aberto, o que possibilita que a água proveniente das chuvas carregue para o solo e sistemas de água pluvial, fluvial e subterrâneo, diversos contaminantes e compostos constituintes dos fluidos de corte que são solúveis ou emulsionáveis em água, causando sérios danos ambientais (Gonçalves, 2008).

A figura 9 demonstra uma ilustração do processo de disposição dos fluidos de corte, levando em consideração os processos de usinagem utilizados, assim como os óleos ou emulsões requisitados.

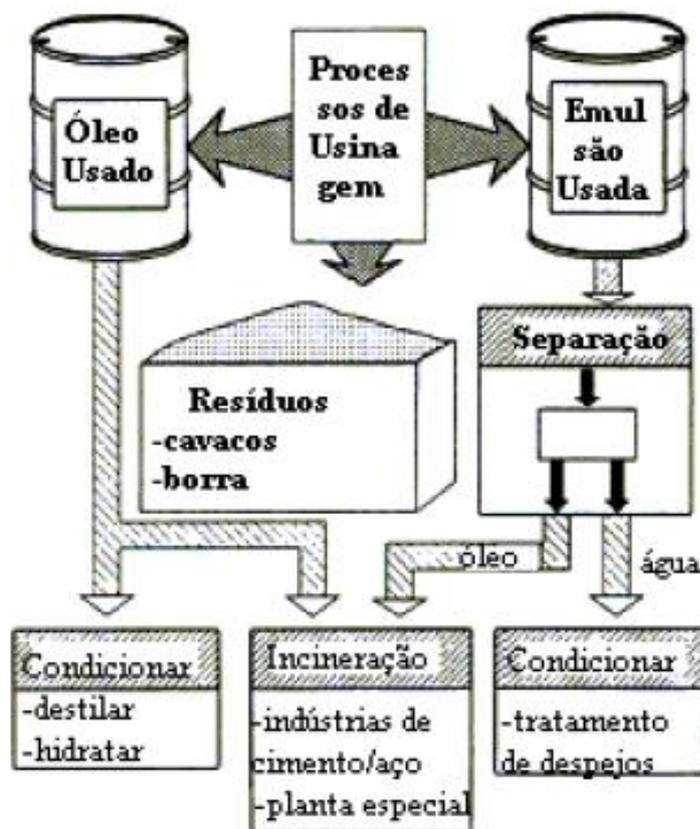


Figura 9: Esquemática do processo de descarte dos fluidos de corte.
Fonte: GONÇALVES et. al. 2010.

Os altos custos de disposição final e tratamento de fluidos de corte, adicionado com a ineficiência dos órgãos de fiscalização e controle de resíduos industriais, faz com que usuários procedam de maneira inadequada no momento do

descarte, lançando resíduos de fluidos de corte em rios, lagos e terrenos baldios, comprometendo a qualidade da água e do solo. (DIAS et al., 2001).

De acordo com Grub (2013), algumas medidas que diminuam ou controlem a poluição por meio dos fluidos de corte podem ser executadas mediante a implantação de um bom programa de manutenção, que envolva o acompanhamento, controle e adoção de procedimentos periódicos e/ou diários de manutenção.

3.7 A Importância da reciclagem dos fluidos de corte

A reciclagem é o termo geralmente utilizado para definir o reaproveitamento de materiais beneficiados como matéria-prima para um produto novo. As vantagens da reciclagem são: a minimização da utilização de fontes naturais, muitas vezes não renováveis, e a baixa quantidade de resíduos que necessitam de tratamento final, como aterramento, ou incineração. O conceito de reciclagem serve apenas para os materiais que podem voltar ao estado original e ser transformado novamente em um produto igual em todas as suas características. (GONÇALVES, 2008).

Segundo Bianchi et al. (2010), melhor que descartar o fluido é reciclar o mesmo. O fluido de corte usado é removido da máquina e os resíduos são separados pelo processo de reciclagem. O fluido limpo é então adicionado ao reciclado e a nova mistura volta para dentro da máquina. O processo de reciclagem elimina a frequência com que o fluido de corte é descartado. Isto pode trazer um grande benefício financeiro, pois os custos com os descartes são elevados. Isso também serve para explicar o motivo do descarte dos fluidos ser bem mais frequente do que a reciclagem (ESPINDOLA e KLAFKE, 2014).

No Brasil, o órgão responsável pela fiscalização das Leis Ambientais Brasileiras em relação à utilização e descarte dos fluidos de corte é o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), sendo que a Resolução nº 9, de 31 de Agosto de 1993, considera crime ambiental não só descartar óleo lubrificante na natureza, mas também comercializar, fornecer, transportar, queimar ou dar outro destino que não a reciclagem através do rerrefino. Nos casos onde não seja possível

a reciclagem, o órgão ambiental competente, poderá liberar a sua combustão para aproveitamento energético ou queima desde que seja atendido os padrões de emissões de gases para atmosfera. (FOGO, 2008).

De acordo com Gonçalves (2008), quando não há mais a possibilidade de reuso por meio da reciclagem interna ainda se pode agregar valores aos resíduos gerados, comercializando os cavacos limpos com outras empresas ou sucateiros e os fluidos de corte com uma empresa que faça o rerrefino.

4 BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DOS FLUIDOS DE CORTE

4.1 Tendências Tecnológicas

Aspectos produtivos, econômicos e ambientais, faz com que os empresários invertam em pesquisas e desenvolvimentos de técnicas que visam reduzir ou eliminar o uso de lubri-refrigerantes nos processos de usinagem. (LISBOA et al., 2013).

Para conseguirem se manter competitivas, as indústrias têm buscado formas de aumentar o desempenho e qualidade dos processos produtivos e conseqüentemente reduzir os de fabricação. No âmbito dos processos de usinagem, várias técnicas têm sido observadas para redução ou eliminação do fluido de corte. Em consenso com essa tendência surgem as técnicas de aplicação da usinagem a seco, o resfriamento criogênico e mínima quantidade de fluido de corte (CARVALHO et al., 2016).

Evidenciando a tendência de preocupação ambiental na utilização de máquinas-ferramenta, conforme relatado por Silva et al. (1999), observa-se a grande ênfase dada à tecnologia ambiental, ou seja, a preservação do meio ambiente no campo de abrangência da máquina-ferramenta, e a busca da conformidade com a norma ISO 14000. Explicando melhor, grande ênfase vem sendo dada a realização de um processo de usinagem não-agressiva ao meio ambiente, priorizando tecnologias relacionadas à usinagem a seco, usinagem com mínima quantidade de fluido de corte e usinagem com ar resfriado.

4.1.1 Usinagem com Técnica de Resfriamento Criogênico

Outra opção é a usinagem criogênica, que utiliza ferramentas de metal duro em temperaturas abaixo de - 150°C, utilizando, para isso, nitrogênio líquido como fluido refrigerante. Experimentos revelam bom desempenho desta técnica a

baixas velocidades de corte, bem como, redução do desgaste do flanco e aumento da vida da ferramenta. (VICENTIN, 2009).

Fluidos criogênicos, como o nitrogênio líquido, com temperaturas extremamente baixas, vêm sendo apontados como uma boa resposta para esta necessidade, com grande poderio de retirada de calor sem danos ao meio ambiente. (VICENTIN, 2009).

Conforme Lisboa et al. (2013) é uma alternativa ambientalmente correta, uma vez que não há fluido de corte para se descartar, pois o nitrogênio evapora inofensivamente no ar. Entretanto, este método traz alguns problemas, como a necessidade de equipamentos especiais com tamanho significativo ao lado da máquina-ferramenta.

4.1.2 Usinagem a Seco

De acordo com Espindola e Klafke (2014), a aplicação de novas técnicas, como a usinagem a seco ou a usinagem pelo método de atomização, visam reduzir ou eliminar o consumo de fluidos refrigerantes.

As funções dos fluidos de corte não estão disponíveis em operações de usinagem a seco; isto significa que existe maior atrito entre a ferramenta e a peça e entre o cavaco e a ferramenta, como também maior dificuldade de expulsão dos cavacos. A ferramenta é submetida a uma maior carga térmica, o que pode resultar em níveis mais altos de desgaste por adesão, abrasão, difusão e oxidação e, portanto, a redução de sua vida. (DINIZ et al. 2001).

Porém, de acordo com Lisboa et. al. (2013), o processo de usinagem a seco implica em abrir mão dos benefícios do fluido de corte. No entanto, resulta, também, na eliminação de custos de aquisição e manutenção dos fluidos, bem como dos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde do operador.

A tendência mundial mira a usinagem a seco, ou seja, sem fluido de corte, que objetiva reduzir significativamente custos com a compra de tais fluidos e seus descartes, bem como problemas ocupacionais, tais como doenças de pele (dermatites) e variações de sintomas respiratórios, e relacionados ao meio ambiente,

onde os fluidos de corte tornam-se graves poluentes de água, solo e ar. (SANTOS, 2014).

A figura 10 é um esquema que mostra todos os fatores influentes na usinagem a seco, e ao lado o processo sendo executado.



Figura 10: Fatores influentes na usinagem a seco
Fonte: SOUZA, 2011.

4.1.3. Usinagem com Quantidade Mínima de Fluido de Corte

Essa técnica é um elo entre os métodos de lubri-refrigeração convencionais e a usinagem a seco, e que pode trazer benefícios para as indústrias (DESTRO et al., 2010).

Em processos em condições mais severas de usinagem, como na furação, a não utilização do fluido de corte não é recomendável devido aos grandes esforços térmicos e mecânicos exigidos no processo, havendo a necessidade de facilitadores do processo. Como em muitos casos não é possível a ausência total do meio auxiliar, o método com Mínima Quantidade de Fluido (MQL), tem se mostrado uma boa alternativa (SANTOS, 2014).

A técnica de aplicação de Mínima Quantidade de Fluido de Corte (MQF) tem sido objeto de pesquisas nos últimos anos. Nesta técnica o fluido é aplicado em volumes muito baixos chegando a 10 ml/h. Normalmente, eles são aplicados

juntamente com um fluxo de ar (método da pulverização), e direcionados contra a saída do cavaco, ou entre a superfície de folga da ferramenta e a peça (GONÇALVES et al., 2010).

A figura 11 mostra a ação lubrificante pelo método da MQF, no qual se baseiam no desenvolvimento reduzido de calor, requisitando ferramentas otimizadas, com revestimento e geometria que se adequem para remoção do cavaco e combate ao superaquecimento. (LISBOA et al., 2013).



Figura 11: MQF aplicado em processo de furação.
Fonte: LISBOA et. al., 2013.

De acordo com Soares (2016), a aplicação de MQF pode ser feita de duas formas: (a) misturando o fluido e o ar pressurizado dentro do bico por um dispositivo misturador; ou (b) misturando o fluido externamente ao bico em um dispositivo misturador posicionado em um tanque específico. A figura 12 representa ambos os sistemas.

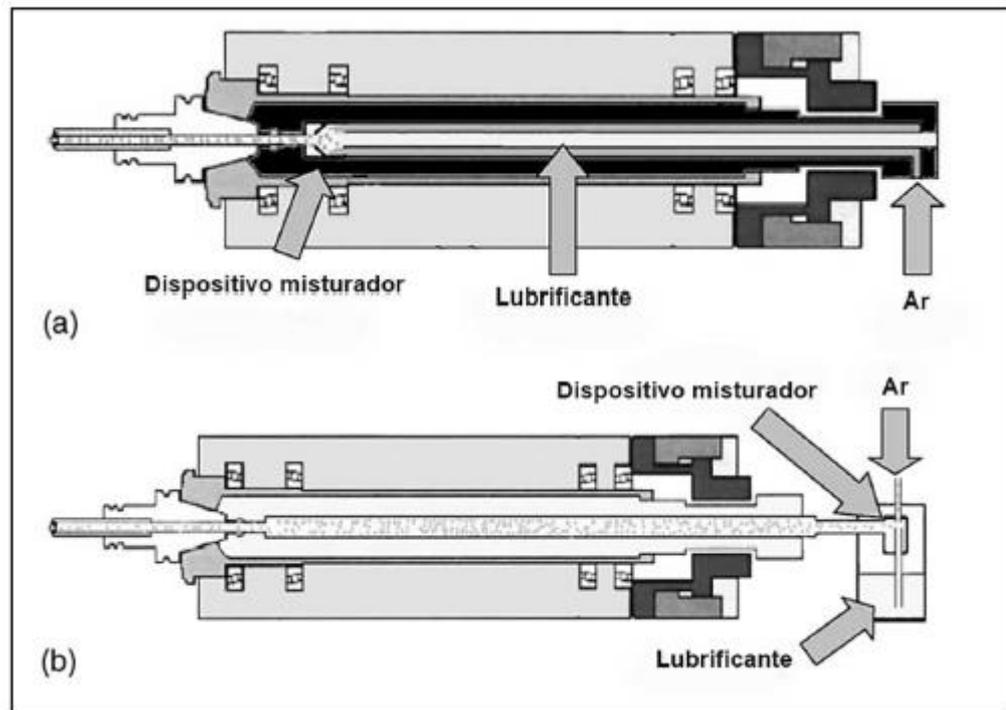


Figura 12: Dispositivos para mistura do fluido com MQL.
 Fonte: SOARES, 2016.

4.2. Purificação dos Fluidos de Corte

Gonçalves (2008) afirma que os sistemas de purificação de fluidos de corte separam os contaminantes líquidos e sólidos e podem ser baseados em processos de separação mecânica, tais como: sedimentação, flotação, filtração, centrifugação e separação magnética.

Segundo Nogueira (2014), a seleção do equipamento e do processo dependerá da análise de vários fatores, tais como: tipo e volume de fluido de corte, proporção de contaminantes presentes e serão escolhidos de acordo com a classificação do contaminante que será removido, sendo que, os sistemas de purificação dos fluidos de corte podem ser individuais ou centralizados e têm os seguintes objetivos:

- ✓ Redução da Mão de obra na limpeza de reservatórios;
- ✓ Controle das propriedades dos fluidos, para que sejam garantidas as concentrações corretas para cada máquina (nos sistemas centralizados);

- ✓ Redução do descarte com possibilidade de remoção de metálicos finos, resíduos de rebolo e outros contaminantes;
- ✓ Melhoria na qualidade das peças usinadas;
- ✓ Aumento da vida útil do fluido de corte.

Tais métodos de purificação não são aproveitados somente com o intuito de prolongar a vida útil do fluido de corte, mas também para retirar a parte sólida que constitui o fluido no momento de seu tratamento e/ou disposição (TESSARO, 2008).

De acordo com Nogueira (2014), a purificação é alcançada por meio de procedimentos simples, que podem seguir dois métodos básicos:

✓ *Decantação* - Tendo como mesmo princípio utilizado nos processos de tratamento de água, este é um processo que trabalha a separação por gravidade. Usualmente utilizam dispositivos auxiliares como barras raspadoras, planos inclinados, chicanas de separação, etc., com o objetivo de aperfeiçoar a operação. É indicado para fluidos que separam rapidamente as impurezas, como no caso de fluidos sintéticos para retificação de ferro fundido e vidro. Apresentam restrições que se baseiam ao não uso de fluidos que tendem a formar espumas. Portanto cuidados especiais devem ser tomados ao usar fluidos semi-sintéticos e emulsões.

✓ *Filtração* - É o método típico de filtragem onde se usam meios porosos através do qual se passa o fluido de corte, uma vez que esta passagem pode ser promovida por gravidade, sucção ou pressão. Os meios porosos mais comuns são: papel, tecido ou feltro e telas metálicas.

A figura 13 ilustra os diferentes processos de separação utilizados para retirar partículas dos fluidos de corte.

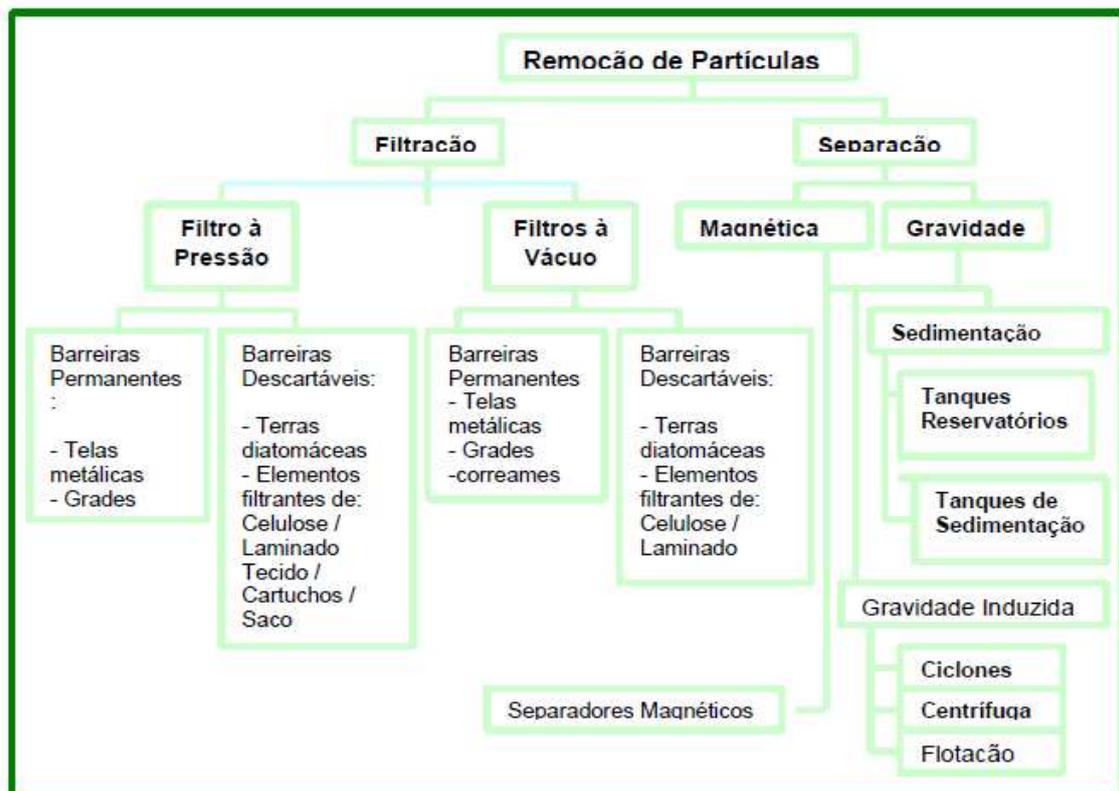


Figura 13: Processos e equipamentos utilizados para retirar partículas dos fluidos de corte.

Fonte: GONÇALVES, 2008.

4.3. Produção Mais Limpa (P+L)

Atualmente, o setor privado tem avançado no tratamento das problemáticas ambientais. As questões relativas ao meio ambiente têm-se tornado oportunidades de aumento da competitividade, pensamento contrário ao de alguns anos atrás, quando a gestão ambiental era vista como um fator de distúrbio para as atividades empresariais. Naquela época, destacava-se que uma política de proteção ambiental causava um aumento dos custos de fabricação, sendo, portanto, incompatível com o desenvolvimento econômico (FILHO et al., 2007).

Para analisar e melhorar os impactos ambientais gerados pelos processos de usinagem pode-se utilizar a ferramenta de gestão ambiental conhecida como “Produção Mais Limpa” ou “P+L”. A partir desta é possível definir uma proposta de redução dos resíduos que são gerados durante este processo, através de mudanças nos produtos ou até nos próprios processos (CASTRO, 2010).

Produção Mais Limpa (P+L) é a expressão utilizada para designar práticas preventivas. Conforme a Divisão de Tecnologia, Indústria e Economia do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP em Inglês), P+L é a “aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada e preventiva para processos, produtos e serviços, com objetivo de aumentar a eficiência global e reduzir os riscos às pessoas e ao meio ambiente” (CIESP, 2013).

Ao contrário do que possa parecer, o surgimento dessas novas tecnologias de produção mais limpa deve-se principalmente às restrições legais, como também, e sobretudo, fruto da possibilidade de abertura de novos mercados, impulsionados pelos consumidores verdes, e não por pressão direta do movimento ambientalista (DIAS, 2000).

A tabela 4 indica alguns dos resultados que as empresas podem atingir utilizando a ferramenta da “Produção Mais Limpa”.

RESULTADOS TANGÍVEIS	RESULTADOS INTANGÍVEIS
Geração de inovações tecnológicas de processos, produto e gerencial.	Desenvolvimento econômico mais sustentável
Benefícios advindos de vantagens comerciais (concessão de financiamentos, obtenção de seguros com taxas mais ativas, facilidade para tornar-se fornecedor de grandes empresas)	Melhoria da qualidade ambiental do produto
Melhoria da competitividade, através da redução de custos ou melhoria de eficiência.	Melhoria da imagem pública da empresa
Redução de custos com matéria prima, insumos e energia.	Aumento da eficiência ecológica
Ocorrência de melhorias econômicas de curto prazo	Melhoria das condições de trabalho dos empregados
Novas oportunidades de negócios	Aumento de motivação dos empregados
Minimização dos riscos no campo das obrigações ambientais	Diversidade de benefícios para as empresas bem como para toda a sociedade
Redução dos encargos ambientais causados pela atividade industrial	Indução do processo de inovação dentro das empresas
	Aumento da segurança dos consumidores dos produtos

Tabela 4: Principais vantagens tangíveis e intangíveis da utilização da Produção Mais Limpa
Fonte: CASTRO, 2010.

4.4 O Princípio dos 3 R'S na Utilização de Fluidos de Corte

Nas últimas décadas os impactos ocasionados por conta do modelo econômico vigente, “produção-consumo-descarte”, criaram e causaram muitos problemas ambientais tais como o esgotamento da capacidade de suporte dos recursos naturais, poluição da água, do solo e do ar e conseqüentemente produção exagerada de resíduos sólidos (SILVA, 2003).

Uma saída para a solução dos problemas relacionados com o descarte, inapropriado de resíduos, é apontado pelo Princípio dos 3 R's – Reduzir, Reutilizar e Reciclar. Fatores associados com estes princípios devem ser considerados, como o ideal de prevenção e não geração de lixos, somados à adoção de padrões de consumo sustentável, visando poupar os recursos naturais e conter o desperdício (SILVA, 2003).

Os 3 R's da sustentabilidade representam as ideias de reduzir, reutilizar e reciclar. Gonçalves (2008) define cada uma delas:

✓ *Reduzir* – Este primeiro R representa diminuir o consumo de bens e serviços, usando apenas o necessário e evitando desperdícios. Ao utilizar o consumo consciente, a produção de resíduos e a emissão de poluentes também irão diminuir.

✓ *Reutilizar* – A prática de reutilização representa prolongar a vida útil dos produtos, fazendo com que tenham novas funções (ou funções recuperadas) e não irem direto para o lixo. A reutilização de materiais também contribui para o desenvolvimento sustentável do planeta, já que evita o consumo de energia para fabricação, além de diminuir a retirada de matéria prima para produção de novos produtos.

✓ *Reciclar* – Outro ponto importante para a sustentabilidade é a reciclagem. Porém, é necessário dar o correto destino ao lixo produzindo, separando-os de acordo com o material e encaminhando-os para empresas ou cooperativas de reciclagem.

A figura 14 mostra um esquema identificando o Princípio dos 3 R's como base para a P+L na utilização dos fluidos de corte em processos de usinagem, passando por várias etapas até chegar no objetivo final.

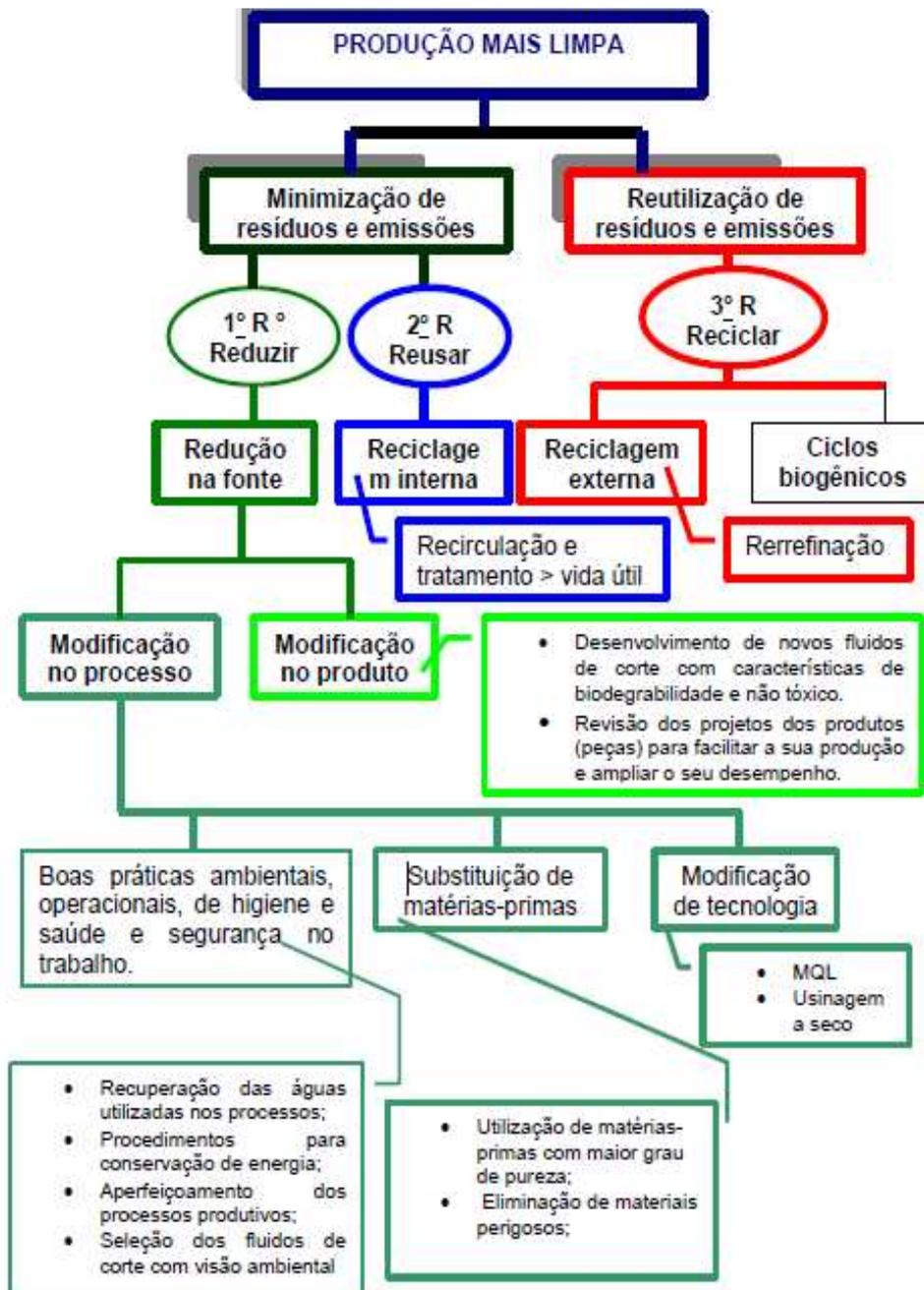


Figura 14: Identificação de oportunidades de P+L
 Fonte: GONÇALVES, 2008.

A partir da figura 14 acima é possível perceber que a utilização dos 3 R's é um processo que vai desde a conscientização dos seres humanos até os resultados esperados, logo, muitos dos aspectos dos problemas ambientais ligados aos fluidos de corte podem ser controlados, ou até mesmo evitados, durante seu gerenciamento, assim como através de novos métodos que agridem menos a natureza. (MAGNAGO, 2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das publicações apresentadas, percebe-se que são vários os problemas decorrentes da utilização dos fluidos de corte, que vão desde a geração de efeitos nocivos ao ambiente de trabalho até a agressão do meio ambiente.

Devido a essa preocupação, as empresas têm investido em processos cada vez mais “limpos” e evitando ao máximo o uso dos fluidos de corte, elaborando métodos que concilie a produtividade e a não poluição da natureza.

Nota-se uma tendência na procura por um processo de usinagem menos agressivo, tais como tecnologias relacionadas com a usinagem com ar resfriado, usinagem com mínima quantidade de fluidos de corte, usinagem a seco, entre outras.

Outro fator que deve ser observado são novos métodos e aplicações para o gerenciamento dos fluidos de corte, pois nesses processos, conduzidos de forma correta, podem dar uma vantagem competitiva para as empresas.

As Ferramentas de gestão ambiental como, programa de “Produção Mais Limpa” e o “Princípio dos 3 R’s” aplicado junto aos fluidos de corte, também traz para as empresas muitos benefícios ambientais.

Percebe-se que através da adoção, por parte das indústrias, de um gerenciamento voltado para a produtividade interligada com ferramentas que se preocupam com o meio ambiente, pode minimizar os impactos negativos, causado principalmente pelo descaso por parte dos envolvidos.

Entretanto, é necessário que todas as pesquisas, desenvolvimento e esforços para por em prática a redução do consumo dos fluidos de corte sejam realmente aplicados, desde as pequenas empresas até as de grande porte. Assim, é possível garantir que a produção dos bens que necessitam de tais fluidos seja realizada com qualidade, respeito ao meio ambiente e, à segurança e saúde do trabalhador.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

- ✓ Ferramentas de Gestão Ambiental Aplicadas na Utilização dos Fluidos de Corte Focados na Redução da Poluição Ambiental
- ✓ Estudo do Procedimento de Descarte e Reciclagem dos Fluidos de Corte Utilizados em Processos de Usinagem

REFERÊNCIAS

- ABREU, Guilherme Pedroso Pires. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais – Fluidos de Corte**. 4ª ed. Faculdade de Engenharia de Bauru. UNESP, 2010.
- ARAÚJO, Thiego Costa; SILVA, Francisca Joseane de Souza; RODRIGUES, Julia Relene de Freitas. **Discutindo a Importância do Gerenciamento de Fluido e Cascalho de Perfuração em Poços de Petróleo**. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, 2015.
- BIANCHI, Eduardo Carlos et. al. **O Impacto do Problema Ambiental do Fluido de Corte nas Indústrias e Novas Alternativas para sua Utilização mais Racional nos Processos de Retificação**. Fórum Ambiental da Atla Paulista, 2010.
- BONFÁ, Miguel Mandú. **Torneamento do aço endurecido AISI D6 utilizando mínima quantidade de Fluido de Corte**. Universidade Federal de Uberlândia, 2013.
- CASTRO, Alessandra Frediani Dias. **Reaproveitamento dos Resíduos de Usinagem : Um Estudo de Caso na Indústria Automotiva**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- CARVALHO, Mariana Augusta Neves da Silva. **Presença de Microrganismos em óleos de Corte e sua Relação com a Saúde Ocupacional**. Dissertação de Mestrado, Universidade Católica Portuguesa, 2011.
- CARVALHO, Paulo Paiva; RUBIO, Juan Carlos Campos; MARTINS, Paulo Sérgio. **Avaliação do desempenho da usinagem a seco sobre a circularidade e diâmetro de furos sede de rolamento de peças de alumínio na operação de madrilhamento usando ferramenta de PCD**. Paraná, 2016.
- CATAI, R. E; BIANCHI, P. R.; AGUIAR, P. R. **Formas de Manutenção e Métodos de Descarte dos Fluidos de Corte utilizados na Usinagem de Metais**. Natal, 2002.
- CATAI, Rodrigo Eduardo et. al. **Dermatoses, um sério problema para a saúde dos trabalhadores dentro das indústrias**. XI SIMPEP, Bauru, 2004.
- CIESP. Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. **Produção Mais Limpa (P + L)**, 2013. In: <http://www.ciesp.com.br/acoes/producao-mais-limpa-pl/>
- CONCEIÇÃO, Márcio Kalaia Alves. **Proposta de um Método para a seleção de um Fornecedor de Serviço de Usinagem: Um estudo de Caso na Indústria de Autopeças**. Florianópolis, 2010.
- DESTRO, Rodrigo Santana et. al. **Análise de Métodos de Utilização de Fluidos de Corte na retificação Plana de Aço**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Paraíba, 2010.

DIAS, Alexandre Magno de Paula. **Avaliação Ambiental de Fluidos de Corte Utilizados em Processos Convencionais de Usinagem**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

DIAS, Alexandre Magno de Paula et. al. **Aspectos Nocivos de Fluidos de Corte utilizados em Processos Convencionais de Usinagem**. 1º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Curitiba, 2001.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. mm editora – São Paulo, 1999.

DINIZ, Anselmo Eduardo; SCANDIFFIO, Innocenzo. **Uma contribuição ao Estudo do Corte a Seco e do Corte com Mínima Quantidade de Lubrificante em Torneamento de Aço**. 1º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Curitiba, 2001.

ESPINDOLA, Elias Samuel Cristo; KLAFKE, André Luiz. **Análise Comparativa da Utilização de Fluidos de Corte na Usinagem do Aço**. VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – Conem. Uberlândia, 2014.

FARIAS, Kássie Vieira. **Influência de Umectante Aniônico na Reologia e Espessura do Reboco de Fluidos Hidroargilosos**. – Campina Grande, 2005.

FILHO, Júlio César Gomes da Silva et. al. **Aplicação da Produção Mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua**. São Paulo, 2007.

FOGO, Fabiane Capraro. **Avaliação e critérios de eficiência nos processos de tratamento de Fluido de Corte por Eletroflotação**. São Carlos, 2008.

GONÇALVES, Bruno Bastos; YIAGINUMA, Gabriel Fernando; YAMAMOTO, Marcelo Kazuo. **Óleos de Usinagem: Tipos, Classificação e Desempenho**. Bauru, 2010.

GONÇALVES, Penha Suely de Castro. **Boas Práticas Ambientais Na Utilização De Fluidos De Corte Nos Processos De Usinagem**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2008.

GRUB, André Mangetti. **Avaliação do Desempenho de Fluidos de Corte contaminados no processo de Torneamento do Aço Inoxidável Aussenítico V304UF**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

JÚNIOR, Hamilton Funes. **Utilização da Técnica da Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) com Adição de Água no Processo de Retificação Cilíndrica Externa de Aços Endurecidos com Rebolos De CBN**. Bauru, 2012.

LISBOA, Fabio Cordeiro; MORAES, Jessyca Jordanna Barroso; HIRASHITA, Massako de Almeida. **Fluidos de Corte: Uma Abordagem Geral e Novas Tendências**. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Salvador, 2013.

LUZ, Gabriela Marielli. **Desenvolvimento de Sistemas Nanoestruturados Estabilizados com Álcool Cetílico Etoxilado e Propoxilado para Administração Cutânea.** Araraquara, 2013.

MAGALHÃES, Sávio Borba. **Análise Econômica da Influência do Fluido de Corte no Torneamento Cilíndrico Externo do Aço Inox 3041.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

MAGNAGO, Priscila Flores. **Produção Mais Limpa: Uma Análise de seus Métodos e Formas de Implementação.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MELO, Tereza Noêmia Tavares da Fonseca. **Utilização dos Tensoativos na Indústria de Petróleo.** Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus Angicos, Angicos, 2013.

MELLO, Hamilton José et. al., **Efeito da Aplicação de mínima quantidade de Fluido (MQF) no torneamento de Aços de diferentes Condutividades Térmicas.** II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, João Pessoa – Paraíba, 2002.

MIRANDA, Clayton Toledo. **Nova Formulação de Óleo solúvel para Usinagem de Metais Ferrosos e não Ferrosos.** Universidade Federal de São Paulo, Lorena, 2011.

MEETING, Lubgrax. **Aditivos Extrema Pressão para Lubrificantes Industriais.** Miracema – Nuodex, 2013.

MUNIZ, C. A. S. **Estudo da Viscosidade na Preparação de Fluidos de Corte.** XLIV Congresso Brasileiro de Química. Salvador, 2006.

NAVES, Vitor Tomaz Guimarães; SILVA, Marciso Bacci. **Usinagem com Fluido de Corte à Alta Pressão.** 21º POSMEC – Simpósio do Programa de Pós Graduação. Uberlândia, 2011.

NOGUEIRA, André Gustavo Amorim. **Fluidos de Corte: Aspectos Gerais, Tendências Tecnológicas e Impactos Gerados à Saúde Humana e ao Meio Ambiente.** São Luís, 2014.

PASQUALINI, Andreia et. al. **Redução do Consumo de Fluido de Corte através da Produção Mais Limpa.** VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2011.

PEGADO, Roberta de Melo. **Novas Formulações de Lubrificantes a partir de Óleos Básicos Regionais.** UFRN, Natal, 2004.

PINTO, Gustavo Henrique Vieira Pereira. **Metodologia para Avaliação de Cinemática de Partículas Gasosas em Fluidos de Viscosidade com o Tempo e sua aplicação na construção de Poços de Petróleo.** Dissertação de Mestrado – UFRN, Natal, 2012.

RIBEIRO, Leonardo Oliveira; SILVA, Rosemar Batista; MACHADO, Álisson Rocha. **A temperatura na Interface Cavaco-Ferramenta sob Diferentes Condições de Refrigeração/Lubrificação**. 2º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Uberlândia, 2003.

RIQUELME, Fabrício Fernandes. **Avaliação de Fluidos de Corte emulsionáveis no fresamento de liga de alumínio 7050 – T7451 a altas velocidades de corte**. 2010.

SÁ, Vinícius Maia. **Avaliação do Desgaste da Ferramenta de Metal Duro Revestida com TiN no Fresamento do Aço ABNT4140 Temperado e Revenido, utilizando duas Fresas de Diâmetros Diferentes**. Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SANCHES, Henrique Augusto Belizário. **Avaliação do Processo de Usinagem com Corte Interrompido utilizando a análise de esforços e frequências**. Dissertação de Mestrado –Escola Politécnica da Universidade de São Paulo : São Paulo, 2011.

SANCHEZ, Luiz Eduardo de Angelo; NALON, Luis Jacinto; PALMA, Geraldo Luiz. **Avaliação do Emprego de Diferentes Métodos de Aplicação de Fluido de Corte no Torneamento de um Aço de Difícil Usinagem**. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Caxias do Sul, 2011.

SANTOS, Sara Vasconcelos. **Utilização de Resíduos Siderúrgicos como Adsorventes de Baixo Custo no tratamento de Efluentes contendo Emulsões Oleosas**. Dissertação de Mestrado – UFMN, Belo Horizonte, 2013.

SANTOS, Thiago Aguiar. **Estudo dos Tipos de Refrigeração Utilizados nos Processos de Usinagem: Refrigeração Abundante, Refrigeração MQL e Sem Refrigeração**. São Luís, 2014.

SCHAFFEL, Silvia Blajberg. **A questão ambiental na etapa de Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil**. Dissertação de Mestrado- UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

SECCO, Daniel de Carvalho et. al. **Fluidos de Corte para Usinagem: Menor Viscosidade prejudica Lubrificação?** XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica. São Carlos-SP, 2012.

SEIXAS, Jairo Ezequiel. **Aditivção de Fluidos de Perfuração**. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.

SILVA, Eraldo Jannone; BIANCHI, Eduardo Carlos; OLIVEIRA, João Fernando Gomes. **Estudo para a Determinação de Procedimentos – Padrão para seleção, aplicação, manutenção e Descarte de diferentes tipos de Fluido de Corte utilizados em retificação**. XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – São Paulo, 1999.

SILVA, José Sebastião dos Reis. **Comparação do Desempenho de ferramentas de cerâmica no Faceamento de ferro fundido Nodular no Estado Endurecido.** São João Del Rei, 2012.

SILVA, Schirley Machado. **Uma proposta de Educação Ambiental Integrando o Princípio dos 3 Rs (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) nas Unidades Escolares Municipais de Santo Amaro da Imperatriz – SC.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SOARES, Ana Paula Justino. **Obtenção e Estudo das Propriedades de Novas Formulações de Fluidos de Corte Microemulsionados.** Natal, 2010.

SOARES, Christianne Lacerda. **Influência do Modo de Aplicação do Fluido de Corte sobre a usinabilidade do aço ABNT 4340 no torneamento.** Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, 2016.

SOARES, Rogério Manhães. **Avaliação Técnica, Mercadológica e de Tendências da Utilização de Óleos Lubrificantes de Base Vegetal.** Rio de Janeiro, 2013.

SOUZA, André João de. **Processos de Fabricação por Usinagem.** Rio Grande do Sul, 2011.

SOUZA, José Wilson Coelho. **Efeitos Toxicológicos dos Fluidos de Corte.** Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2013.

TESSARO, Elias Paulo. **Avaliação de Processos Oxidativos para Tratamento Ambientalmente Adequado de Fluidos de Corte.** 2008. 82f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

TIGRINHO, Luiz Maurício Valente. **Influência da Lubrificação na Estampagem via análise das deformações obtidas em uma chapa de aço de Alta Estampabilidade.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná : Curitiba, 2005.

VICENTIN, Gilmar Cavalcante. **Porta-Ferramenta para Usinagem com Refrigeração Interna com Mudança de fase do Fluido.** III Seminário da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Unesp – Bauru, 2009.