

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA BACHARELADO

MAXWELL FONSECA VIEIRA

FLUIDOS DE CORTE: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção nos processos de usinagem

SÃO LUÍS - MA
2015

MAXWELL FONSECA VIEIRA

FLUIDOS DE CORTE: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção nos processos de usinagem

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Universidade Estadual do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador Dr. Jean Robert Pereira Rodrigues

SÃO LUÍS - MA
2015

Vieira, Maxwell Fonseca

Fluidos de corte: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção nos processos de usinagem /Maxwell Fonseca Vieira– São Luis, 2015.

93 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

Orientador: Prof. Dr.Jean Robert Pereira Rodrigues

1.Fluidos de corte. 2. Usinagem. 3.Lubrificante. 4. Refrigeração .5. Seleção dos fluidos de corte. 6. Manutenção dos fluidos de corte I.Título

CDU:621.9.022

MAXWELL FONSECA VIEIRA

FLUIDOS DE CORTE: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção nos processos de usinagem

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Defesa aprovada em: _____ de _____ de 2015.

Prof. Dr. Jean Robert Pereira Rodrigues
Orientador e Membro da Banca Examinadora

Prof. Me. Jorge de Jesus Passinho e Silva
Membro da Banca Examinadora

Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho
Membro da Banca Examinadora

Dedico esse trabalho a todos que acreditaram no meu potencial e sempre deram o maior apoio para essa conquista, agradeço especialmente a minha família que sempre me motivou a buscar meus objetivos e a nunca desistir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por me abençoar e me orientar nesta difícil caminhada, pois sem Ele não estaria aqui e jamais teria conseguido.

Agradeço ao meu professor e orientador Jean Robert Pereira Rodrigues pela paciência, pela assistência e por sempre está disposto a me auxiliar neste trabalho, o que foi fundamental para sua elaboração.

Agradeço ao meu pai Raimundo Miranda Vieira por sempre me apoiar e me ensinar a fazer o bem, assim como a minha mãe Ana Célia Ferreira Fonseca que sempre me ajudou, orientou e auxiliou ao longo da minha trajetória, sendo os dois um grande diferencial na minha vida.

Ao meu irmão Maykon Fonseca Vieira por estar sempre do meu lado em todos os instantes.

Agradeço a minha namorada Karla Caroline França Correa pelo apoio, pelos conselhos e pela motivação em todos os momentos, contribuindo para que eu vencesse os obstáculos e as dificuldades que encontrei pelo caminho.

Agradeço ao meu amigo e coorientador Thiago Aguiar Santos pela ajuda e instruções quando eu precisei.

A todos os meus amigos que sempre acreditaram na minha capacidade e deram a maior força, contribuindo direta ou indiretamente para que eu alcançasse este momento único e marcante da minha vida.

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça”

(Isaías 41.10)

RESUMO

Ao longo do processo de usinagem, a remoção do material por meio da penetração da ferramenta de corte na peça ocasiona a geração de calor na região peça-cavaco-ferramenta pelo fato da ocorrência de atrito, deformação plástica e cisalhamento de material, o que pode provocar resultados insatisfatórios no produto e causar o aumento do custo de produção. Assim, os fluidos de corte se tornaram fundamentais nos processos de usinagem pois são capazes de minimizar o calor gerado e, além disso, a procura por fluidos de corte cresceu consideravelmente devido aos avanços da tecnologia que proporcionaram o aumento da qualidade destes. O presente trabalho tem por finalidade apresentar um banco de informações relacionados ao assunto “fluidos de corte”, envolvendo os seus vários tipos que podem ser encontrados na forma sólida como bissulfeto de molibdênio, na forma líquida como óleos e soluções e na forma gasosa como o ar comprimido. Também são colocadas em pauta as mais variadas funções dos fluidos nos quais predominam a refrigeração e a lubrificação responsáveis pela diminuição do calor gerado no processo. Ainda são apresentados a seleção dos fluidos que envolve vários parâmetros específicos do processo e os métodos de aplicação e manutenção que podem contribuir para aumentar a eficiência da operação e reduzir custos, além de minimizar problemas relacionadas à saúde e o meio ambiente.

Palavras-chave: Fluidos de corte, Usinagem, Lubrificante, Refrigeração, Seleção dos fluidos de corte, Manutenção dos fluidos de corte.

ABSTRACT

During the machining process, the removal of the material by the cutting tool penetration into the workpiece causes heat generation in the region tool-chip because of the occurrence of friction, plastic deformation and of workpiece material, which can cause unsatisfactory results in the product and cause the increase in production cost. Thus, cutting fluids have become fundamental in machining processes are because of your capability to minimize the heat generated and moreover, the demand for cutting fluids has increased considerably due to advances in technology that have provided an improvement quality of it. This study aims to present a bank of information relating to the matter "cutting fluids" involving its various types that can be found in solid form as molybdenum disulfide in liquid form as oils and solutions and in gaseous form as air tablet. They are also placed on the agenda the most varied functions of the fluid in which predominate cooling and lubrication responsible for the decrease of the heat generated in the process. Still presents a selection of fluids that surrounds various specific process parameters and methods of application and maintenance that can increase the operation efficiency and reduce costs and minimize problems related to health and the environment.

Keywords: Cutting fluids, Machining, Lubricant, Refrigeration, Selection of cutting fluids, Maintenance of cutting fluids.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação gráfica das funções dos fluidos de corte	22
Figura 2: Fontes de calor	24
Figura 3: Processo de formação do cavaco	25
Figura 4: Distribuição das temperaturas numa ferramenta.....	27
Figura 5: Distribuição de calor entre peça, cavaco e ferramenta.....	27
Figura 6: Relação da dureza dos materiais em função da temperatura	28
Figura 7: Classificação dos fluidos de corte	32
Figura 8: Processo de formação do óleo emulsionável	44
Figura 9: Aplicação de uma emulsão em processo de furação.....	46
Figura 10: Aplicação de fluido de corte semissintético.....	47
Figura 11: Aplicação de fluido sintético operação com serra fita.	50
Figura 12: Efeito do posicionamento do bocal com relação à rugosidade	66
Figura 13: As três direções possíveis de aplicação do fluido de corte.	67
Figura 14: Aplicação por jorro do fluido de corte semissintético, vazão total de 1230 l/h.	69
Figura 15: Esquema de um sistema de aplicação de fluido de corte por atomização.....	70
Figura 16: Cultura de bactérias em fluido de corte (a coloração avermelhada é devido à presença de fungos).	75
Figura 17: Refratômetro utilizado para manutenção da concentração do fluido.....	77
Figura 18: Esquematização de descarte do fluido de corte	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação das características principais dos óleos parafínicos e óleos naftênicos.	39
Tabela 2: Distribuição dos principais processos de usinagem referente à severidade	60
Tabela 3: Fluidos de corte recomendados para algumas operações de usinagem.	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APC	Aresta Postiça de Corte.
MQL	Mínima Quantidade de Lubrificante
MQF	Mínima Quantidade de Fluido
DIN	Deutsches Institut für Normung
EP	Extrema Pressão
V_{cav}	Velocidade do cavaco
V_c	Velocidade de corte [m/min]
μ	Zona de cisalhamento secundária
ϕ	Ângulo de cisalhamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. Breve histórico dos fluidos de corte	17
3.2. Razões para o uso dos fluidos de corte na usinagem	18
4. FLUIDOS DE CORTE	18
4.1 Funções dos fluidos de corte	20
4.1.1 Fluido de corte lubrificante.....	22
4.1.2 Fluido de corte refrigerante	26
4.1.3 Remoção dos cavacos da zona de corte.....	29
4.1.4 Proteção contra corrosão	30
4.1.5 Melhoria no acabamento superficial da peça	31
4.2 Classificação dos fluidos de corte	31
4.2.1 Fluidos de corte sólidos	32
4.2.2 Fluidos de corte gasosos	33
4.2.3 Fluidos de corte líquidos	36
4.2.3.1 Óleos de corte puro ou integrais	36
4.2.3.2. Emulsões	42
4.2.3.3. Soluções (fluidos sintéticos).....	48
4.3 Aditivos aplicados nos fluidos de corte	50
4.4 Seleção dos fluidos de corte	53
4.4.1 Material da peça.....	54
4.4.2 Material da ferramenta.....	58

4.4.3	Operação de usinagem.....	60
4.4.4	Condições de usinagem	64
4.4.5	Máquina-ferramenta e produção.....	64
4.4.6	Aspectos ecológicos	64
4.4.7	Análise econômica.....	65
4.5	Direções e métodos de aplicação dos fluidos de corte.....	65
4.5.1	Direções de aplicação do fluido de corte.....	66
4.5.2	Métodos de aplicação dos fluidos de corte.....	68
4.6	Aspectos de manutenção e controle dos fluidos de corte.....	71
4.6.1	Manutenção dos fluidos de corte	72
4.6.2	Aspectos de controle de manutenção.....	74
4.6.3	Descarte dos fluidos de corte.....	79
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	84
	REFERÊNCIAS	85

1. INTRODUÇÃO

Segundo FERRARESI (1981), a usinagem é o processo de fabricação onde o objetivo é atribuir forma, dimensões ou acabamento desejado para a peça, através da retirada de cavaco. E o cavaco é a porção ou parte do material da peça removida pela ferramenta de corte, sendo seu formato irregular.

Na maioria das vezes o processo de usinagem requer o emprego de um agente, isto é, a aplicação do fluido de corte, que exerce várias funções com o intuito de garantir vantagens tecnológicas no processo. (FOGO, 2008)

O uso dos fluidos de corte traz melhorias que por sua vez poderá ter caráter funcional ou caráter econômico. O benefício funcional pode ser visto pelo melhor desempenho no mecanismo de formação do cavaco, pela facilidade de expulsão do cavaco produzido na região de corte, pela maior chance de se conseguir as dimensões desejadas na peça-obra, etc. O benefício econômico pode ser visto pelo consumo menor de energia durante o processo, pela diminuição do desgaste da ferramenta de corte, o que implica, conseqüentemente, em menor tempo passivo e menor custo da ferramenta por peça submetida à usinagem. Nas operações de usinagem, o corte do cavaco faz com que uma grande quantidade de energia seja gerada, produzindo conseqüentemente calor, pelo fato de ocorrer atrito entre ferramenta-peça e cavaco-ferramenta. Para evitar estes problemas com o intuito de reduzir o desgaste da ferramenta, a dilatação térmica da peça e o dano térmico à estrutura superficial da peça, o calor gerado deve ser minimizado pela lubrificação e/ou removido pela refrigeração da peça e da ferramenta. Portanto, para minimizar esse calor são empregados os fluidos de corte. (DINIZ et al., 2003)

Segundo PAWLAK et al. (2005), CARRETEIRO e BELMIRO (2006), os fluidos possuem duas grandes funções relacionadas aos rigorosos atritos que surgem nas regiões onde há processos físico-químico-mecânicos. Estas duas funções são a de promover lubrificação entre a peça usinada e a ferramenta de corte e também a função de remoção do calor que é gerado no momento dos processos de corte.

De acordo com fabricantes e autores, não há uma padronização uniforme referente à classificação dos fluidos de corte. Porém, basicamente os tipos de fluidos de corte compreendem os gases, os óleos integrais, as emulsões e soluções. (STOETERAU, 2007; MACHADO et al., 2011)

No âmbito da criação de novos tipos de fluidos de corte, houve a adição de diferentes produtos com finalidades específicas, cujo objetivo é o melhor desempenho dos

fluidos nas atividades de usinagem. Este crescimento mirava o aumento da eficiência dos fluidos de corte sem se preocupar tanto com os danos que podiam causar ao trabalhador e à natureza. Contudo, passou-se a desenvolver novos compostos de fluidos para eliminar de sua composição os produtos nocivos, devido ao aumento da preocupação com o meio ambiente juntamente com necessidade de cumprir a legislação vigente. (TEIXEIRA; SCHROETER; WEINGAERTNER, 2005)

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Estudo dos fluidos de corte, seus tipos, funções, seleção, suas formas de aplicação e manutenção nos processos de usinagem.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudar as funções de lubrificação e refrigeração dos fluidos de cortes;
- Mostrar as razões para o uso do fluido de corte;
- Descrever a classificação dos fluidos de cortes divididos em sólidos, líquidos e gasosos;
- Estudar a seleção do fluido de corte quanto ao material da peça e da ferramenta, quanto ao processo e às condições de usinagem, quanto aos aspectos ecológicos, à análise econômica e à máquina-ferramenta e produção;
- Ilustrar as direções da aplicação do fluido;
- Expor os métodos de aplicação dos fluidos de corte;
- Apresentar recomendações quanto à manutenção dos fluidos desde o seu manuseio até o seu descarte correto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Breve histórico dos fluidos de corte

Em 1894, o americano Frederick Winslow Taylor foi o primeiro pesquisador a verificar a influência de um fluido de corte utilizado no processo de usinagem. Taylor constatou esta verificação jorrando quantidades de água na zona de corte, com o propósito de reduzir a temperatura na região cavaco-ferramenta. Assim, ele conseguiu um aumento de 33% na velocidade de corte sem prejudicar a vida útil da ferramenta. (AVILA; ABRÃO, 2001; CAKIR, 2007).

No início, a ideia da utilização da água era de que o jorro de água diminuiria o efeito da alta temperatura na ferramenta, pois a temperatura na usinagem sempre foi um grande problema para o desgaste e vida útil da ferramenta. Porém, a água tinha pequeno poder de umectação, tornando difícil de cumprir as funções de lubrificação/refrigeração, e ainda provocava a corrosão dos materiais ferrosos (FERRARESI, 1977; CASTROL, 1999). A partir disso, surgiu a necessidade de se desenvolver soluções que oxidassem menos do que a água e possuíssem poder de lubrificação. Foi partindo dessa necessidade que os pesquisadores voltaram à atenção para os óleos. (SCANDIFFIO, 2000)

Surgiu então a aplicação dos óleos graxos com o objetivo de diminuir o atrito do cavaco sobre a ferramenta de corte (fase das baixas velocidades de corte e pequenas seções de corte). Os óleos minerais surgiram na aplicação da usinagem de ligas não-ferrosas, latão e em operações leves com aços. Porém, em atividades mais pesadas, foi criado um composto de óleo mineral com óleo graxo que trouxe bons resultados para as operações de usinagem. (TESSARO, 2008)

Desde então, houve a expansão da produção dos fluidos de corte, e com isso, desenvolveram-se vários estudos que proporcionaram a utilização de diferentes combinações de óleos minerais, óleos vegetais, óleos graxos e aditivos químicos como enxofre, cloro, fósforo, ácidos graxos, alcalóides graxos, ésteres, etc. Essas combinações dependiam do emprego específico na operação - proteção contra a corrosão, resistência ao ataque bacteriano, aumento da capacidade de lubrificação e maior estabilidade química. (LUCHESE, 2011)

Entretanto, os óleos de qualquer espécie não possuem a mesma capacidade de resfriamento que a água ou as soluções aquosas possuem. Através de buscas e combinando a capacidade de refrigeração e lubrificação, foram desenvolvidos os óleos emulsionáveis. (MIRANDA, 2011)

Assim surgiram os óleos emulsionáveis (também conhecidos como óleos solúveis ou emulsões) formados por óleo e água e surgiram também os fluidos sintéticos com aditivos ativos (aditivos de extrema pressão) que se caracterizam por aproveitarem a alta propriedade refrigerante da água e também por possuírem boas propriedades lubrificantes. São formados pela combinação da água com agentes químicos e sua aplicação é de acordo com a sua composição segundo o fim a que se destina. (DIAS, 2000)

3.2. Razões para o uso dos fluidos de corte na usinagem

O uso dos fluidos de corte nos processos de usinagem tem como principal propósito a redução do custo total por partes usinadas ou um aumento da taxa de produção. Os fluidos podem evitar ainda mudanças microestruturais na peça oriundas das altas temperaturas de corte. (SANTOS, 2014). Estes objetivos podem ser alcançados através da aplicação dos fluidos de corte que promove benefícios tais como (PEGADO, 2004; NEVES, 2013; SANTOS, 2014; CIMM 2015):

- ✓ Aumento da vida útil da ferramenta pela refrigeração e lubrificação que ocorre devido à diminuição da temperatura;
- ✓ Melhora no acabamento superficial da peça por efeito da lubrificação;
- ✓ Menor risco de distorção da peça pela ação refrigerante;
- ✓ Facilidade na remoção do cavaco da zona de corte;
- ✓ Redução das forças de corte, e, portanto, redução da potência, em decorrência da lubrificação;
- ✓ Redução do consumo de energia;
- ✓ Eliminação da aresta postiça de corte (APC);

4. FLUIDOS DE CORTE

Atualmente na área industrial, é indispensável qualquer empenho que visa o aumento da produtividade e redução de custos. Na usinagem não é diferente, a utilização de fluidos de corte traz grandes vantagens para o processo, se selecionados e empregados de maneira correta. A escolha do fluido de corte apropriado deve se basear por meio de sua composição química, pois, é através de sua composição que se estabelece as propriedades corretas para se lidar com as adversidades de um processo de corte específico. Para que o fluido possa cumprir suas funções corretamente, ele deve ser aplicado utilizando-se um

método que possa garantir sua chegada o mais próximo possível da aresta de corte dentro da interface ferramenta/cavaco. (MACHADO, et. al., 2011)

De acordo com DINIZ et al. (2006), o emprego dos fluidos de corte nos processos de usinagem pode diminuir o calor provocado pelo atrito entre cavaco-ferramenta e ferramenta-peça. Além disso, o fluido de corte confere melhor acabamento superficial à peça usinada, pode remover os cavacos da zona de corte e fornecer proteção contra a corrosão.

A seleção dos fluidos de corte é de certa forma complexa por causa da dificuldade de se conseguir um produto cuja composição cumpra ao mesmo tempo as exigências de boas características para efeito de lubrificação, de refrigeração, de mínimo impacto ao meio ambiente e ao trabalhador e de compatibilidade com ferramentas de corte, material submetido a usinagem e máquinas-ferramenta. Cada um desses fatores influenciam a seleção dos fluidos de corte, que se for efetuada de maneira correta, proporcionará um máximo desempenho, reduzirá custos e aumentará a produção. Os fluidos de corte somente atingem suas funções principais quando são selecionados adequadamente. (DIAS, 2000; EBBRELL, et al., 2000; CATAI, et al., 2003; MELO, et al., 2010)

Muitas vezes, a aplicação dos fluidos de corte juntamente com a sua seleção não é concretizada de maneira satisfatória. Se os fluidos forem corretamente aplicados, os mesmos podem aumentar a produtividade e diminuir custos, pois podem tornar possível o uso de uma alta velocidade de corte, um alto grau de forragem e uma ótima profundidade de corte, e, além disso, aplicações efetivas podem também elevar a vida útil da ferramenta, aumentar a capacidade refrigerante e lubrificante, promover a remoção de cavaco mais facilmente e ainda pode diminuir a rugosidade superficial, a exatidão dimensional e a potência exigida. (EBBRELL, et al., 2000; STANFORD; LISTER, 2002; CATAI, et al., 2003; MUNIZ, et al., 2007)

Segundo DIAS (2000), os fluidos de corte estão expostos a diferentes fontes de contaminação ao longo do processo de corte dos metais. Além disso, com o passar do tempo os fluidos sofrem com a deterioração natural que resulta na perda de suas propriedades refrigerantes e lubrificantes, assim como no desenvolvimento de fungos, bactérias e emissões de gases e odores. Desta maneira, estes produtos precisam de medidas de monitoramento e controle que assegurem seu excelente desempenho. Os fluidos de corte podem ser contaminados por cavacos, partículas provenientes do desgaste de ferramentas, resíduos de óleos lubrificantes e hidráulicos, resíduos orgânicos como partículas de alimento, papel e outros. Para aumentar a vida útil dos fluidos e garantir um ótimo desempenho, todos estes resíduos devem ser removidos.

Desde que foi descoberto que era possível aumentar a velocidade de corte com o emprego de fluidos nas operações de usinagem, muitos avanços tecnológicos foram desenvolvidos, tanto nos materiais, como nas máquinas-ferramentas, o que fez crescer notadamente a demanda por fluidos de corte. Esta alta demanda leva a competitividade e esta, por sua vez, acarreta no aumento da qualidade dos produtos. Além destes fatores, outro aspecto, que também pode influenciar no aumento da qualidade dos atuais fluidos de corte, é a pressão exercida pelas Agências de Proteção Ambiental e Agências de Saúde, que tem por finalidade a comercialização mais segura dos produtos e que estes possam implicar em menos danos ao meio ambiente. (MACHADO, et al., 2011)

4.1 Funções dos fluidos de corte

A função do fluido de corte é a de implementar melhorias nas operações de usinagem, que podem ser funcionais ou econômicas (RAO; SRIKANT, 2007).

Conforme FERRARESI (1977), a melhoria de caráter funcional é aquela que auxilia o processo de usinagem, proporcionando melhor desempenho. Pode-se dizer que estão entre essas melhorias (DINIZ, et al., 2006):

- Expulsar o cavaco da região de corte;
- Refrigerar a ferramenta, a peça usinada e máquina-ferramenta;
- Diminuir o coeficiente de atrito entre a ferramenta e cavaco;
- Melhorar o acabamento superficial da peça usinada;

As melhorias econômicas são aquelas que tornam a operação de usinagem mais econômica. Pode-se dizer que fazem parte dessas melhorias o impedimento da corrosão da peça usinada e a redução do custo da ferramenta e a do consumo de energia de corte.

Segundo SHAW (1984), as duas funções principais dos fluidos de corte são a lubrificação em velocidades de corte relativamente baixas e a refrigeração em velocidades de corte relativamente altas. Conforme OLIVEIRA et al. (2011), além da capacidade de lubrificação e refrigeração, o fluido de corte também pode remover os cavacos da região de corte, de forma a desobstruir as porosidades.

As funções primárias e mais importantes dos fluidos de corte são a refrigeração da ferramenta de corte e da peça, a lubrificação das partes em contato (ação antissolda) e a redução tanto dos esforços de corte, quanto do desgaste da ferramenta. Já as funções secundárias dos fluidos são a remoção dos cavacos pela ação da lavagem, a melhoria do

acabamento da superfície usinada, a proteção da peça contra corrosão e a lubrificação das guias e corredeiras. (SOARES, 2010)

Portanto, nas operações de usinagem, os fluidos de corte podem assumir inúmeras funções como refrigerar a região de corte em altas velocidades de corte, lubrificar a região de corte em baixas velocidades e altas tensões de corte, podem auxiliar na redução da força de corte, na quebra do cavaco, na melhora da vida da ferramenta, no acabamento superficial e na precisão dimensional da peça. Também podem facilitar o transporte de cavaco, deixam uma camada protetora sobre a superfície usinada e protegem a máquina-ferramenta contra oxidação. (TRENT, 1991; EL BARADIE, 1996; KUSTAS et al., 1997; DINIZ et al., 2000).

Conforme TRENT e WRIGHT (2000), o fluido de corte não deve proporcionar melhorias apenas no processo de corte de acordo com o especificado, porém, deve proporcionar também uma sucessão de outros resultados como não ser inflamável e nem tóxico, não oferecer riscos ou danos ao trabalhador, não prejudicar o sistema lubrificante da máquina-ferramenta e não causar a corrosão ou manchar a peça usinada. Além destes, o fluido deve proporcionar proteção à superfície usinada e deve ter, claramente, o menor custo possível.

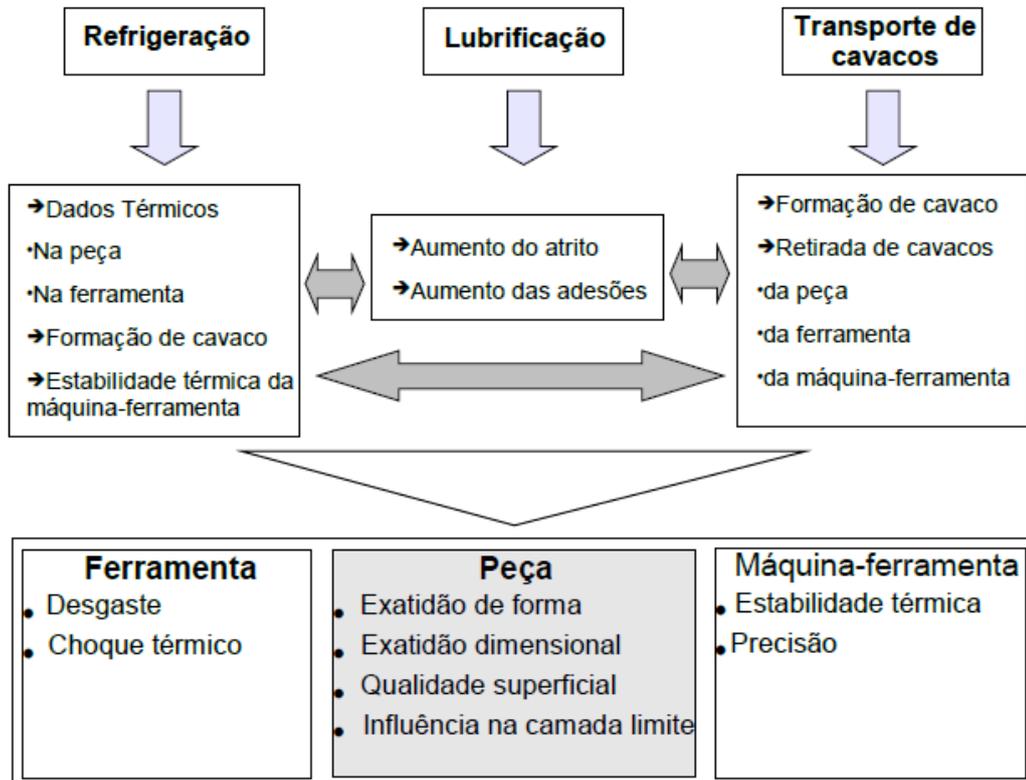
Para atender todas as suas funções, é necessário também que os fluidos de corte possuam determinadas características específicas, tais como (RUNGE; DUARTE, 1990; STEMMER, 1995; EL BARADIE, 1996; KONIG; KLOCKE, 1999):

- Calor específico adequado;
- Condutividade térmica e temperatura de vaporização apropriados;
- Propriedades anticorrosivas, antiespumantes, antioxidantes, antifricção (antidesgate) e antissolda;
- Não cause riscos à saúde do operador e compatibilidade com o meio ambiente;
- Resistência ao cisalhamento menor que a do material da interface ferramenta de corte/peça/cavaco;
- Viscosidade, oleosidade e molhabilidade adequadas;
- Boa resistência do filme lubrificante;
- Transparência;
- Absorção de calor;
- Ausência de odores;
- Resistência ao ataque bacteriano e estabilidade química, entre outros.

Na figura 1, encontra-se uma representação gráfica das funções dos fluidos de

corte em relação à peça, ferramenta e máquina-ferramenta. (SANTOS, 2013)

Figura 1: Representação gráfica das funções dos fluidos de corte



Fonte: Santos (2013)

A importância de cada uma das funções dos fluidos irá depender ainda de outros fatores, tais como o tipo do material usinado, o tipo de ferramenta utilizado (geometria definida ou indefinida), dependerá também do acabamento superficial, das condições de usinagem e outros. (SILVA, 2000)

4.1.1 Fluido de corte lubrificante

Cerca de dois terços do calor gerado no processo de usinagem é causado por atrito interno, isto é, devido à resistência dos átomos do metal em movimento quando este é deformado na zona de corte, e um terço do calor gerado é causado pelo atrito externo. A utilização do lubrificante diminui a quantidade de calor formado por esse atrito através da redução do contato metal-metal, porque na sua aplicação o lubrificante reduz o atrito em cerca de 30%. (ALVES, 2005)

Segundo MACHADO et al. (2011), a lubrificação à baixas velocidades de corte é uma das principais atribuições dos fluidos de corte. Quando a velocidade de corte é baixa, a lubrificação se torna essencial para diminuir o atrito e evitar a ocorrência da aresta postiça de corte (APC). O fluido lubrificante coopera para a diminuição da área de contato cavaco-ferramenta, e a sua eficácia está sujeita à capacidade de penetração nesta mesma área, no curto intervalo de tempo disponível. A eficiência do fluido lubrificante também está ligada à habilidade de formar, por ataque químico ou por absorção física, um filme com a resistência ao cisalhamento menor que a resistência do material da interface e dependerá de propriedades como viscosidade, molhabilidade e oleosidade. Geralmente, para lubrificação, utiliza-se fluidos de corte à base de óleo.

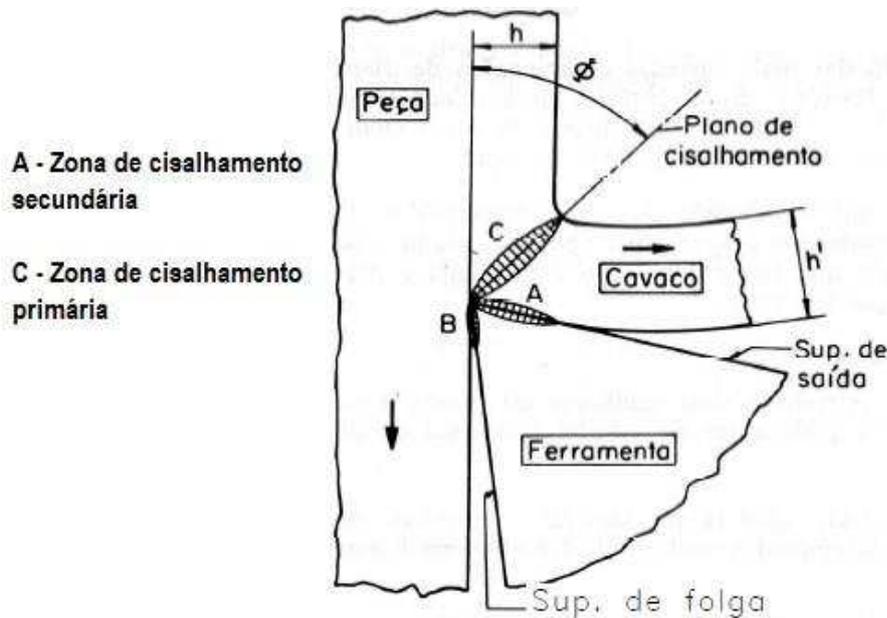
A penetração do fluido nas superfícies em contato ocorre devido ao fenômeno da capilaridade, assistido pela vibração entre a peça, o cavaco e a ferramenta. O fluido só consegue obter o efeito lubrificante se conseguir alcançar a região de corte, caso contrário, o fluido não obtém a condição de lubrificante. Por este motivo, quando a velocidade de corte é elevada, logo, a velocidade de saída do cavaco também é, o seu poder lubrificante fica prejudicado, porque é preciso que o fluido seja impulsionado com elevada pressão para chegar na região de corte, e isso vai exigir dele outras características para que não se vaporize quando chegar a essas elevadas pressões. (DINIZ, et al., 2001)

O modo de como o fluido alcança a região de contato cavaco-ferramenta ainda é um assunto muito discutido entre os pesquisadores. Trent juntamente com Childs e Rowe afirmam que o fluido lubrificante não chega a penetrar na zona de aderência, interface cavaco-superfície, mas o fluido consegue alcançar a zona de escorregamento. Postnikov e Williams relataram, através de experimentos, que o lubrificante penetra contra o fluxo do cavaco, chegando à ponta da ferramenta, por uma ação capilar, assumindo que o contato na interface não é completo, isto é, sob condições de escorregamento. Segundo Horne, o lubrificante alcança a interface pelos lados e não pelo movimento contra o fluxo de saída do cavaco. Isso foi constatado através alguns ensaios com ferramentas transparentes de safira. Porém, independentemente da forma de como o fluido lubrificante chega à interface, ele deverá deve formar o filme lubrificante com resistência ao cisalhamento menor que a resistência do metal. (MACHADO, et al., 2011)

De acordo com FERRARESI (1977), existem três fontes diferentes de calor durante a formação do cavaco no processo de corte do metal. A primeira fonte é na região de cisalhamento, representada pela zona C da figura 2, esta é a zona onde ocorre a principal deformação plástica do material que está sendo usinado e o calor produzido nesta região afeta

todo o volume de cavaco que está sendo formado. A segunda fonte de calor é representada pela zona A da figura 2, esta região afeta a superfície de saída da ferramenta e o lado inferior do cavaco e sua geração de calor é devida ao atrito na interface ferramenta-cavaco. A terceira fonte de calor, que é a zona B da figura, ocorre por causa do atrito entre a ferramenta e a superfície da peça que está sendo usinada. O calor gerado nesta fonte afeta toda a superfície usinada da peça e parte da superfície de incidência ou de folga da ferramenta. Estas três fontes de calor afetam consideravelmente a temperatura da ferramenta, pois são responsáveis pelo aumento da temperatura na mesma, entretanto, a introdução dos fluidos de corte predominantemente lubrificantes são capazes de reduzir estas três fontes.

Figura 2: Fontes de calor

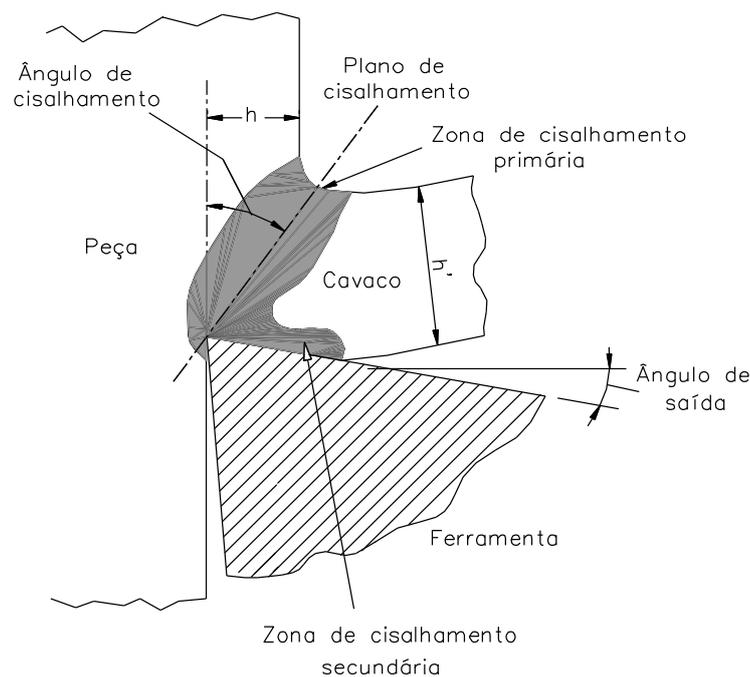


Fonte: Teixeira Filho (2006)

O poder de lubrificação dos fluidos de corte contribui na redução da temperatura, diminuindo o coeficiente de atrito na interface ferramenta-cavaco na zona A, a qual é a zona de cisalhamento (μ) secundária indicada na figura 3. O lubrificante também diminui o atrito na zona de contato entre a superfície de folga e a peça na zona B, decorrendo assim menor quantidade de calor gerada pelo atrito. Na zona C que é a zona de cisalhamento primária representada na figura 3, o decréscimo da temperatura se dá pela redução do coeficiente de atrito entre ferramenta e cavaco que implica em um ângulo de cisalhamento (ϕ) maior. Como consequência, há uma diminuição do grau de deformação que faz com que a energia de deformação por cisalhamento também diminua, resultando, portanto, em menor quantidade de calor gerado na zona de cisalhamento primário. O aumento do ângulo de cisalhamento

primário (ϕ) também faz com que a velocidade de saída do cavaco aumente (V_{cav}), dificultando a transferência de calor do cavaco para a superfície de saída da ferramenta, pois o intervalo de tempo com que o cavaco passa sobre esta superfície é bem curto, garantindo, portanto, que a temperatura do cavaco não influencie na temperatura da ferramenta de corte. (FERRARESI, 1981; TRENT; 2000; BONFÁ, 2013)

Figura 3: Processo de formação do cavaco



Fonte: Teixeira Filho (2006)

Segundo EL BARADIE (1996) e ATTANASIO (2005), é difícil para o fluido alcançar a superfície de corte por causa da alta pressão que há na área de contato e por causa do estreito espaço entre o cavaco e a ferramenta que impõem resistência ao acesso do fluido na zona de corte. Portanto, a adição de constituintes com propriedades lubrificantes e de determinados aditivos seria fundamental para que o fluido possa fluir na área de contato e permitir o melhor deslizamento da ferramenta e dos cavacos além de reduzir a tensão de cisalhamento.

Segundo TEIXEIRA FILHO et al. (2001), quanto maior for a velocidade de corte, mais complicada se torna a lubrificação imposta pelo fluido. Conforme HUMMEL (2001), quanto maior a velocidade de corte, o tempo de penetração dos fluidos entre as superfícies atritantes e o tempo de reação química dos aditivos acabam sendo insuficientes e, conseqüentemente, o fluido perde o seu poder lubrificante.

Segundo MELO et al. (2010), um fluido lubrificante deve obter de boa resistência a altas temperaturas e boa resistência às pressões, deve obter também boas propriedades antiaderentes e viscosidade adequada, isto é, deve ser suficientemente alta para aderir às superfícies e relativamente baixa para melhor penetrar na interface.

4.1.2 Fluido de corte refrigerante

FRANÇA (2005) sustenta a ideia de que a principal função do fluido de corte é sua habilidade de refrigeração do processo, pois a refrigeração torna possível a redução do calor gerado entre a superfície da peça e da ferramenta, aumentando a vida útil desta última e proporcionando maior precisão dimensional através da redução das distorções térmicas que ocorrem ao longo do processo. Por outro lado, a ação da refrigeração não tem um efeito significativo no acabamento superficial da peça. STEMMER (2005) também afirma que a refrigeração da ferramenta pode ser considerada como a principal função dos fluidos quando o processo ocorre em altas velocidades de corte, momento em que ocorre a máxima sollicitação mecânica da ferramenta e a temperatura do gume se aproxima do ponto de amolecimento.

Sabe-se que na usinagem com velocidades de corte cada vez maiores a formação do calor também se torna maior, resultando em altas temperaturas de corte. Diante deste fato, a condição de refrigeração passa a ser fundamental cada vez mais e a condição de lubrificação se torna menor. Neste caso, um fluido de corte à base de água é geralmente utilizado. (PEGADO, 2004)

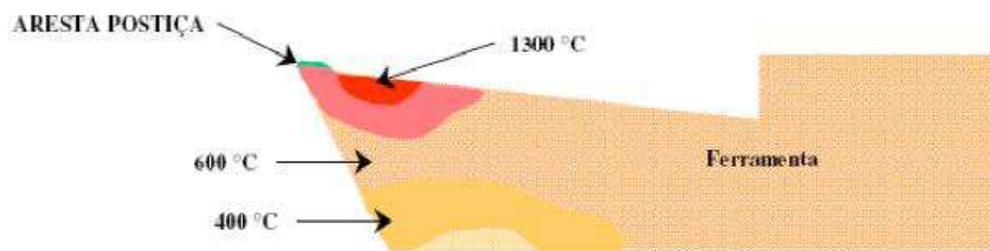
De acordo com MACHADO et al. (2011), em altas velocidades de corte, as temperaturas do processo de usinagem são bastante altas e a situação não é apropriada para a penetração do fluido de corte na interface para que ele execute suas funções. Por conseguinte, utiliza-se um fluido refrigerante, que propicia a transferência de calor da região de corte, diminuindo, portanto, a temperatura da ferramenta e da peça, mesmo que a temperatura na interface ferramenta/cavaco não seja significativamente alterada. Além disso, mesmo que a concentração de óleo seja mínima, haverá redução do coeficiente de atrito e, portanto, da temperatura.

Para remover o calor da região de corte, da ferramenta e da peça de forma eficiente, as exigências que um fluido de corte deve possuir consistem basicamente em uma baixa viscosidade para que penetre na interface eficazmente, uma boa molhabilidade, isto é, capacidade de molhar bem a superfície sólida para proporcionar um bom contato, e deve possuir um alto valor de condutividade térmica e de calor específico para acumular e conduzir

o calor a altas taxas. (DINIZ, 1999; MELO et al., 2010)

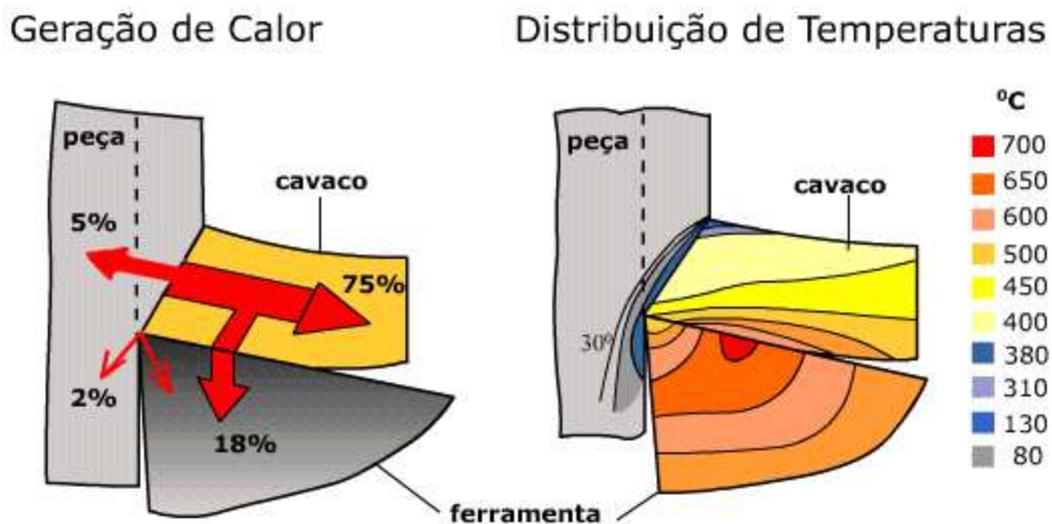
As temperaturas presentes na área de corte sofrem variação considerável. Em geral, pode-se se dizer que quanto maior a velocidade de corte (V_c) ou do avanço, mais altas serão as temperaturas e maior a necessidade de refrigeração. Além disso, a eficiência do fluido de corte em reduzir a temperatura se torna mais difícil, este fato foi constatado experimentalmente (SHAW, 1984; FERRARESI, 1977; CIMM, 2015). Abaixo está representada a distribuição característica do calor na ferramenta na figura 4, e a distribuição do calor entre ferramenta, peça e cavaco é apresentada na figura 5, onde a maior parte do calor gerado na operação de corte vai para os cavacos. (MIRANDA, 2011; CIMM, 2015)

Figura 4: Distribuição das temperaturas numa ferramenta



Fonte: Miranda, 2011.

Figura 5: Distribuição de calor entre peça, cavaco e ferramenta



Fonte: Teixeira (2001)

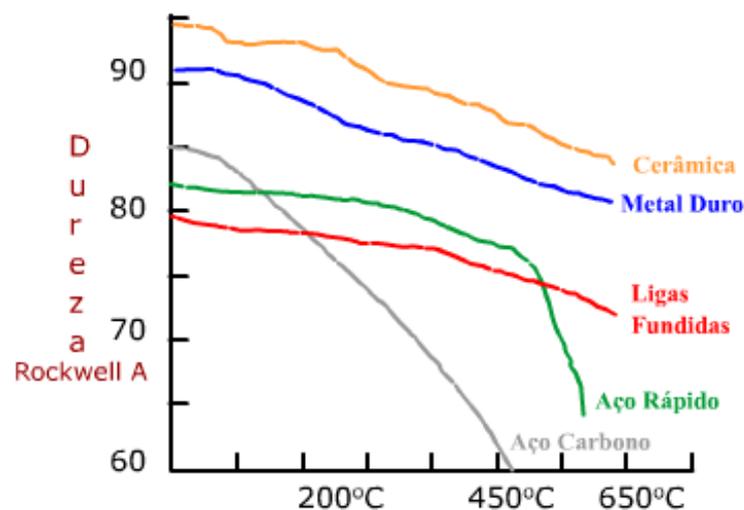
Aproximadamente, cerca de 25% do calor produzido é em decorrência do atrito entre ferramenta e cavaco e os outros 75% por causa da deformação do metal da peça usinada.

Desta forma, se o calor produzido não for removido corretamente, haverá distorções térmicas na peça que está sendo usinada e uma ligeira destêmpera das ferramentas de corte, e como consequência, ocorrerá um desgaste muito rápido, provocando a troca das mesmas de forma mais frequente. (RUNGE; DUARTE, 1990; MUNIZ, 2008)

As consequências do calor sobre os materiais utilizados na fabricação de ferramentas são largamente conhecidas. Em geral, pode-se afirmar que há uma determinada ordem crescente de resistência ao calor para certos materiais de ferramentas, são eles: aço carbono, aço rápido, ligas fundidas, metal duro e cerâmica. (CIMM, 2015)

O gráfico da figura 6 representa o efeito da temperatura sobre a dureza de certos materiais de ferramenta, isto é, a relação de sua dureza inicial com a elevação da temperatura.

Figura 6: Relação da dureza de diferentes materiais em função da temperatura



Fonte: CIMM (2015)

A dureza dos materiais utilizados na fabricação de ferramentas diminui com o aumento da temperatura. A elevação da temperatura ocasiona a diminuição da dureza superficial da ferramenta, o que compromete o desempenho de sua função. Portanto, verifica-se que é fundamental ter maior cuidado no controle da temperatura, pois o controle da elevação da temperatura na usinagem significa um melhor desempenho da função da ferramenta e, devido a isto, deve-se escolher corretamente um fluido de corte refrigerante para proteger a ferramenta. (FERRARESI, 1977; MIRANDA, 2011).

Em se tratando da peça, as fontes de calor também afetam diretamente ao longo do processo, elevando sua temperatura podendo trazer certos prejuízos como deformações na peça devido às tensões provocadas pelo aquecimento, e dificuldades no manuseio da peça

como no transporte efetuado pelo operador. Além disso, o aumento da temperatura pode causar o falseamento das medidas da peça em trabalho. A peça quando aquecida pode apresentar medidas diferentes em relação as suas medidas na condição de temperatura ambiente e, portanto, a utilização do fluido refrigerante deve manter a temperatura da peça o mais próximo possível da temperatura ambiente. (FERRARESI, 1977)

De acordo com Rael (2004), quanto menos a peça for aquecida, menor será o teor de dilatação térmica, resultando na obtenção de medidas finais com tolerâncias mais estreitas e menor prejuízo térmico na estrutura metalúrgica da peça.

Segundo Diniz (2000), o calor gerado no processo de corte do metal pode afetar a precisão do funcionamento da máquina, desta maneira, recomenda-se a utilização dos fluidos de corte, pois suas características com relação à refrigeração da máquina-ferramenta são a manutenção da precisão da máquina (dimensões e posições de guias e dispositivos), diminuição do atrito ferramenta-peça e melhorias do acabamento da superfície usinada, com a diminuição de danos térmicos.

4.1.3 Remoção dos cavacos da zona de corte

Em certos processos de corte, a remoção dos cavacos da zona de corte é de grande importância, pois o cavaco deve ser retirado para não prejudicar o acabamento da peça, danificar a ferramenta de corte ou até mesmo impedir a operação de usinagem. (FERRARESI, 1977; STEMMER, 1995; MELO, et al., 2010)

Segundo CIMM (2015), os fluidos de corte removem os cavacos e particulados entre a peça e a ferramenta na finalidade de evitar quaisquer danos ou estragos, além de marcas indesejáveis principalmente na região de corte da peça acabada.

Em algumas situações, a aplicação do fluido de corte ajuda na expulsão do cavaco como no torneamento, no fresamento e na furação. Porém, em outras situações, o fluido de corte é responsável por expulsar o cavaco da região de corte como, por exemplo, nos processos de mandrilamento, retificação plana, serramento, alargamento e operações de super-acabamento. (FERRARESI, 1977)

Em certas operações, como furação profunda e serramento, a função de remoção de cavacos é de extremo valor, pois a aplicação incorreta do fluido de corte pode causar no engripamento dos cavacos, resultando na quebra prematura da ferramenta de corte. Na furação profunda, o cavaco que é gerado tende a ficar acumulado demasiadamente no fundo do furo, impedindo o corte e impedindo também a formação de mais cavaco. No torneamento

externo, os cavacos em forma de fitas longas podem se enroscar na peça e também na ferramenta atrapalhando o trabalho. Portanto, nessas operações de serramento, furação, retificação, entre outras, a função de remoção de cavacos efetuada pelos fluidos pode evitar a obstrução do cavaco na zona de corte e, conseqüentemente, pode evitar a quebra da ferramenta. (DROZDA, 1983; STEMMER, 1995; DINIZ et al., 1999; MACHADO et al., 2011)

Existem algumas formas de remoção de cavaco, entre elas podemos citar o esforço mecânico que se caracteriza pela passagem do fluido na região de corte, arrastando literalmente o cavaco, o escoamento da vazão do fluido auxilia o arrastamento do cavaco para fora da região. A remoção de cavaco pode correr também por resfriamento brusco, que fragiliza o cavaco, facilitando sua quebra ou fragmentação, ou pode ocorrer por alta pressão do jato de fluido na região de corte, atuando, portanto, como quebra cavaco. (SCHAMISSO, 1992; STEMMER, 2005)

Uma eficiente remoção de cavacos da área de corte também impede a formação de pontos onde poderiam ficar armazenados focos de microrganismos cuja proliferação causaria a infecção do fluido de corte. (AIRES JÚNIOR, 2010; CIMM, 2015)

A função de expulsar os cavacos da região de corte depende da operação de usinagem, do tipo de cavaco que está sendo formado, e depende extremamente da viscosidade e da vazão do fluido de corte. (DINIZ, et al., 1999; PEGADO, 2004; MACHADO, 2011)

4.1.4 Proteção contra corrosão

Para que a corrosão não aconteça, é necessário que o fluido de corte não deixe que o metal entre em contato a umidade e o oxigênio. Isso pode ser feito por meio da formação de uma película protetora, pois metais ferrosos recentemente usinados têm tendência a sofrer oxidação rapidamente, já que qualquer camada de proteção que possuam previamente é removida ou alterada durante o corte. Se o fluido de corte usado for água ou então à base de água, misturam-se aditivos anticorrosivos ou óleos emulsificadores. (MELO, et al., 2010)

Segundo FERRARESI (1977), as superfícies da peça que foram obtidas recentemente pela atividade de usinagem podem sofrer ataque corrosivo por parte de agentes externos como umidade atmosférica, vapores ácidos e outros. Isso pode acarretar em certos prejuízos à peça durante o tempo mais ou menos longo entre duas operações consecutivas. A introdução dos fluidos de corte pode trazer benefícios que consistem na proteção da peça através da película de fluido aderida às superfícies da peça submetida à usinagem.

Quando efetua a função de lubrificante, o fluido de corte permite que a peça não sofra tanta influência da atmosfera, exercendo, assim, o controle da ação oxidante. (FERRARESI, 1977)

4.1.5 Melhoria no acabamento superficial da peça

São três os fatores que mais influenciam no acabamento superficial da peça. São eles (FERRARESI, 1977):

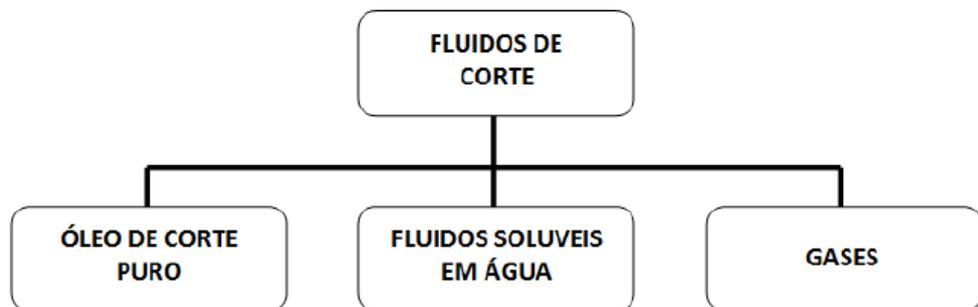
- Geometria da ferramenta, onde os principais parâmetros são o raio da ponta, o ângulo de saída e o de folga. Esses parâmetros podem ter seus valores variados ao longo do processo e, geralmente, variam devido à aresta postiça de corte (APC), que muitas vezes é responsável pelo acabamento superficial irregular da peça por causa de seus fragmentos metálicos. Portanto, evitar a formação da APC está muito relacionada ao acabamento superficial da peça e sua formação pode ser diminuída através do uso do fluido lubrificante que reduz o coeficiente de atrito na interface ferramenta-cavaco.
- Condições de corte, onde o acabamento superficial está relacionado com a velocidade de corte. O uso do fluido contribui para uma melhora da rugosidade da peça por meio da redução do atrito e da redução dos esforços para a retirada do cavaco.
- Comportamento dinâmico da máquina, que relaciona as forças de usinagem de caráter vibratório, as vibrações dos componentes da máquina responsáveis pela produção da rugosidade superficial indevida na peça e relaciona também o coeficiente de atrito na interface cavaco-ferramenta, que se reduzido, diminui as forças de usinagem.

4.2 Classificação dos fluidos de corte

Não existe uma padronização definida para uma única classificação dos fluidos de corte, isto é, podem existir muitas formas de classificá-los dependendo dos autores ou fabricantes. (DINIZ et al., 2001; MICARONI, 2006; MACHADO et al., 2011)

FERRARESI (1977) e BAWA (2004) classificam os fluidos de corte em três grupos conforme seu estado físico: sólidos, líquidos e gasosos. Por sua vez, EL BARADIE (1996) classifica os fluidos em três grupos que são os fluidos solúveis em água; óleo de corte puro; e gases e lubrificantes sólidos, conforme a figura 7. Já de acordo com DINIZ (2000), os fluidos se classificam em ar, tipos aquosos e óleos.

Figura 7: Classificação dos fluidos de corte



Fonte: Lima (2013)

Em outra referência, os fluidos são separados em dois grupos: os não miscíveis em água e os miscíveis em água. (STOETERAU, 2007)

Tendo em vista que existe uma vasta maneira de se classificar os fluidos de corte, será exposta neste trabalho a classificação que divide os fluidos com base no seu estado físico, isto é, sólidos, líquidos e gasosos.

4.2.1 Fluidos de corte sólidos

Em elevada severidade nos processos de corte dos materiais, os lubrificantes sólidos mais empregados são a grafite, o bissulfeto de molibdênio, alguns tipos de pastas, sabões e ceras. (SHAJI & RADHAKRISHNAN, 2003)

A função dos fluidos de corte em estado sólido no processo de usinagem se restringe a apenas uma função, que é a lubrificação na operação. Pode-se citar como exemplos de lubrificantes sólidos a grafita e o bissulfeto de molibdênio (MoS_2) que são aplicados sobre a superfície de saída da ferramenta antes do começo do processo de corte na intenção de diminuir o coeficiente de atrito ferramenta/cavaco. Porém, a interrupção da operação para reaplicar o produto acaba deixando o uso dos lubrificantes sólidos muito restrito. (MACHADO, et al., 2011)

Os sólidos podem alcançar a lubrificação por meio de dois modos diferentes, lubrificantes sólidos e aditivos metalúrgicos. Os lubrificantes sólidos consistem na aplicação de pó diretamente na superfície de saída da ferramenta antes da operação de usinagem. É o caso do bissulfeto de molibdênio que é reduzido a pó em minúsculas partículas e geralmente é utilizado como veículo uma graxa (pasta em forma de bastão) ou um óleo viscoso. Esfrega-se a pasta em forma de bastão nas superfícies de saída e de incidência, colocando-se em fina camada nas falhas superficiais da ferramenta, fazendo com que o contato cavaco/ferramenta/peça fique praticamente evitado, diminuindo, portanto, o coeficiente de atrito nessa interface. Por conseguinte, as pequenas partículas de bissulfeto de molibdênio (MoS_2) apresentam baixas tensões limites de cisalhamento e se apoiam às asperezas da superfície, resultando na redução do atrito entre as superfícies metálicas. (TEIXEIRA FILHO, 2006)

Os aditivos metalúrgicos são outra maneira de lubrificação por parte dos sólidos e consistem em elementos acrescentados ao material da peça durante a sua fabricação. Geralmente, esses elementos são chumbo, manganês, enxofre, bismuto, telúrio ou selênio. Quando combinados, eles podem provocar a formação de compostos com menores resistências ao cisalhamento que a própria matriz. No caso dos aditivos, pode-se citar como exemplo a fabricação dos aços de baixo carbono, onde são acrescentados aditivo chumbo ou aditivo enxofre que atuam de forma decisiva e fundamental na lubrificação interna ao longo do processo de usinagem. (KLUJSZO; SOARES, 2005)

4.2.2 Fluidos de corte gasosos

Os fluidos de corte gasosos são mais utilizados para a refrigeração e para a expulsão do cavaco da região de corte. Portanto, quando utilizados na usinagem dos materiais, não se deve contar muito com a lubrificação e nem com a proteção contra corrosão, pois estes não são os objetivos dos fluidos de corte gasosos. (MAGALHÃES, 2013)

De acordo com FERRARESI (1977), são considerados como fluidos de corte gasosos apenas os fluidos de corte que desempenham suas funções no estado gasoso, porém, eles podem ser líquidos ou não, desde que estejam na fase gasosa ao saírem do duto de aplicação para a zona de corte.

Os fluidos gasosos por apresentarem menor viscosidade, têm maior capacidade de penetração até a zona ativa da ferramenta. Os gases são aplicados em operações de mecânica

de precisão, usinagem de alta velocidade e em QMFC (quantidade mínima de fluidos de corte). (MELO, et al., 2010)

Pode-se dizer que as vantagens e desvantagens da utilização dos gases como fluido de corte na usinagem são (CIMM, 2015):

- Vantagens: redução de custos e do impacto ao meio ambiente, devido ao menor consumo de óleo; melhoria da vida da ferramenta; e melhor visibilidade.
- Desvantagens: limitação da capacidade de refrigeração e lubrificação; e presença de um sistema de exaustão.

✓ Ar

O fluido gasoso mais comum e mais usado pelas indústrias de manufatura é o ar. (MICARONI, 2006; TEIXEIRA FILHO, 2006; FERNANDES, 2007; MELO, et al., 2010). O ar possui vantagem pela capacidade de fornecer refrigeração na região de corte e também possui vantagem pela ausência de contaminantes do cavaco e da peça. Porém, possui a desvantagem de perda do benefício da lubrificação quando utilizado. (LIMA, 2013)

O ar possui destaque devido à sua capacidade de remoção dos cavacos da região de corte e por fornecer refrigeração, apesar do seu poder refrigerante ser pequeno se comparado com os fluidos de corte líquidos. (RAEL, 2004; DINIZ, et al., 2006)

Em relação aos fluidos líquidos, o ar possui pequeno poder de refrigeração, porém, quando é aplicado em temperaturas abaixo de 0° C e sob pressão, os efeitos de refrigeração por parte do ar são consideráveis. Foi constatado através de experiências que o ar refrigerado entre -40 e -60°C e para uma velocidade de corte de 30m/min, a vida da ferramenta cresceu em 400%. Portanto, a utilização de fluidos gasosos resfriados a temperaturas negativas e sob pressão (não só ar, mas também CO₂ e N₂) são capazes de aumentar consideravelmente a vida útil da ferramenta de corte. (MACHADO, et al., 2011)

O ar pode ser comprimido para aperfeiçoar a sua capacidade de refrigeração, sua função se resume à expulsão do cavaco da zona de corte e também a um jato de ar direcionado para a zona de corte afim de remover o calor por convecção forçada (TEIXEIRA FILHO, 2006; MACHADO, et al., 2011). De acordo com DIAS (2000) e PEGADO (2004), o ar comprimido pode ser usado para refrigerar a região de corte não só por meio de um jato puro, mas também misturado a outro fluido, direcionado contra a interface, contra a superfície interna do cavaco com razoável desempenho. A maior restrição no seu uso é o forte nível de ruído gerado no local de trabalho.

O ar é bastante utilizado nas operações de usinagem de cavacos curtos ou quebradiços, como por exemplo, na usinagem do ferro fundido cinzento, pois se for utilizado fluido de corte líquido neste caso, os minúsculos cavacos são arrastados pelo fluido líquido para as partes de atrito da máquina-ferramenta, acarretando na diminuição de sua vida útil (SCANDIFFIO, 2000; DINIZ, et al., 2006). Outra operação na qual pode-se utilizar ar comprimido é no fresamento de rasgos e de cavidades, com o objetivo de remover os cavacos formados de próximo da ferramenta, para evitar que ela o traga de volta à região de corte e acabe sendo usinado novamente. (SANDVIK, 1999; BRAGHINI, 2002)

LEE et al (2002), realizando experimentos utilizando como fluido de corte o ar comprimido, ressaltou que uma de suas vantagens é a boa capacidade de remover as impurezas da superfície do rebolo. Conforme IRANI et al. (2005), nos processos de retificação, aplicando-se ar frio, os resultados obtidos são próximos à aplicação com fluidos líquidos para profundidades de corte bem pequenas. Entretanto, aumentando a profundidade de corte, aparecem tensões superficiais e a rugosidade superficial aumenta por causa da falta de lubrificação dos fluidos gasosos na região de corte. Em contrapartida, o ar comprimido não oferece risco algum ao meio ambiente e a saúde dos operadores como os outros fluidos utilizáveis nos testes.

✓ Dióxido de carbono (CO₂)

O dióxido de carbono pode ser comprimido e injetado para gerar a refrigeração, pois tem capacidade de remover grande parte do calor formado durante o corte dos metais em razão do seu ponto de sublimação ser baixo, em torno de -78°C. (SILVA; BIANCHI; OLIVEIRA, 2005)

Conforme TEIXEIRA FILHO (2006) foram reunidos vários testes de usinagem com diferentes gases realizados por diversos pesquisadores e, a partir daí, constatou que em alguns testes o dióxido de carbono pode aumentar a vida da ferramenta em 150%.

Segundo DIAS (2000), o custo do dióxido de carbono (CO₂) é moderadamente alto. Por este motivo, sua aplicação se dá em aplicações especiais, como a altas velocidades e em grande quantidade de remoção de cavacos para justificar a parte econômica.

✓ Outros gases

Outros gases também podem ser utilizados no processo de usinagem como o

nitrogênio, o hélio e o argônio que podem prevenir contra oxidação da peça. Os gases inertes possuem proveito de abranger capacidade de refrigeração, visão clara da operação, eliminação da névoa, nenhuma contaminação da peça, cavaco ou lubrificante da máquina e aumento da vida da ferramenta. (ALVES, 2005; TEIXEIRA FILHO, 2006; MELO, et al., 2010)

4.2.3 Fluidos de corte líquidos

Os fluidos de corte líquidos são os mais importantes e mais empregados nas operações de usinagem, pois são os mais comuns. Podem ser classificados como óleos (puro ou integral), emulsões e soluções. (MACHADO, et al., 2011)

4.2.3.1 Óleos de corte puro ou integrais

Os óleos de corte puros (também chamados de integrais) são aqueles que não são misturados com água para o processo de usinagem e, por conta disso, não são os melhores para remover o calor da zona de corte. Estes óleos podem se classificar em ativos ou inativos, sendo os ativos caracterizados pela adição de cerca de 2% a mais de enxofre ao óleo para reagir quimicamente com a superfície da peça para protegê-la de altas temperaturas e melhorar a usinagem, formando uma película antissoldante que fará suportar altas pressões e altas temperaturas na interface cavaco-ferramenta. Já nos inativos, essa reação não ocorre, pois, o enxofre presente no óleo está ligado fortemente a cadeias de hidrocarbonetos e não reage quimicamente ao longo do corte. Incluem-se na categoria dos óleos inativos, os óleos graxos, compostos de óleos minerais e óleos graxos, e óleos minerais com aditivos inativos extrema-pressão. (EL BARADIE, 1996; MUNIZ, 2008; MAGALHÃES, 2013)

Os óleos são compostos que tem a habilidade de formar películas oleosas, lubrificantes e aderentes. Geralmente tais compostos são de origem vegetal, animal, mineral ou, ainda, de combinação entre esses óleos. Portanto, consistem basicamente de óleos graxos e óleos minerais. Podem ser utilizados no estado puro, ou ainda aditivado com aditivos polares e/ou aditivos químicos ativos ou inativos. (NOVASKI & RIOS, 2004; GONÇALVES, et al., 2010)

De acordo com MELO et al. (2010), como regra geral, os óleos integrais possuem baixa capacidade refrigerante e alta capacidade lubrificante quando são comparados aos fluidos miscíveis em água.

Os óleos puros, além de apresentarem excelentes propriedades lubrificantes, apresentam também um bom controle anti-ferrugem e longa vida útil. (BIANCHI, et al., 2006; BOSSARDI, 2008; LUCHESE, 2011)

Além disso, estes fluidos podem gerar névoas que trazem riscos à saúde do operador e, por serem viscosos, acabam deixando filmes oleosos na ferramenta de corte, máquina-ferramenta e na peça, deixando o processo de limpeza mais caro. (BOSSARDI, 2008)

Segundo MACHADO et al. (2011), por conta do elevado custo, da ineficiência a altas velocidades de corte, do baixo poder de refrigeração, da formação de fumos e de oferecer riscos à saúde do operador, o emprego dos óleos integrais tem diminuído bastante, sendo substituídos pelos óleos emulsionáveis.

Os óleos puros possuem metade do valor do calor específico da água. Quanto mais alta for a viscosidade do óleo puro, menor é o poder de refrigeração e, por isso, óleos com maior viscosidade são indicados para operações com velocidade de corte baixa e com avanço e profundidade mais altos. Já os óleos mais leves são eleitos para operações com altas velocidades de corte que necessita de uma rápida dissipação de calor. (BIANCHI, et al., 2006)

Segundo DINIZ (2001), os óleos puros são tradicionalmente de cor escura ou em tons marrons, por causa da viscosidade e por causa dos seus aditivos. Estes óleos são divididos em óleos minerais puros, óleos graxos, óleos compostos e óleos EP.

✓ Óleos minerais puros

Os óleos minerais são hidrocarbonetos com estruturas complexas (TOLBERT, et al., 1992; BAWA, 2004). Esses hidrocarbonetos são formados a partir do refinamento do petróleo e suas características estão sujeitas ao comprimento da cadeia, ao grau de refino e à estrutura molecular, além de uma desejada inofensividade à pele do operador. (SCANDIFFIO, 2000; DINIZ, et al., 2006; MACHADO, et al., 2011)

Os óleos minerais puros devem ser utilizados em processos de usinagem onde se necessita de maior lubrificação como no caso do brunimento, rosqueamento, brochamento e furação profunda (MICARONI, 2001). São muito utilizados na usinagem de latão, de aço baixo carbono, bronze e ligas leves, pois possuem baixa viscosidade dando melhor capacidade para molhar e infiltrar mais rapidamente nas regiões necessárias. Além disso, estes óleos possuem vantagem de possuir menor valor de compra e estarem menos sujeitos que os óleos graxos e os óleos compostos. Os óleos minerais são a base da maioria dos fluidos de corte

integrais, cujas particularidades são altamente influenciadas pelo tipo de material, pelos aditivos e antioxidantes que podem ser adicionados. (SCANDIFFIO, 2000; DINIZ et al., 2006)

Vale lembrar que os óleos minerais não são corrosivos, mantêm sua estabilidade e, se forem preservados limpos, com uma boa manutenção, podem ter melhor proveito aumentando sua vida útil (QUEIROZ, 2001; MELO et al., 2010).

De acordo com BAWA (2004), a seleção dos óleos minerais depende principalmente do ponto de inflamação, do custo, da viscosidade e dos efeitos lubrificantes. Além disso, estes óleos têm como principais bases constituintes: base parafínica, naftênica e aromática.

Os óleos de base parafínica são provenientes do refinamento do petróleo parafínico de alto teor de parafinas (ceras), que provoca a formação de excelentes fluidos lubrificantes. Possuem menor custo, pois estes óleos são encontrados em mais quantidades. Apresentam alto índice de viscosidade (IV), mantendo-a constante em abundante faixa de temperaturas, apresentam mais estabilidade quanto à oxidação, prejudicam menos a pele e ainda são menos agressivos à borracha e ao plástico. Já os óleos de base naftênica são oriundos do refinamento do petróleo cru naftênico. Estes óleos fornecem uma mistura mais homogênea, possuem mais estabilidade que os parafínicos e suportam cargas mais elevadas. A utilização dos óleos naftênicos básicos para fluido de corte tem decrescido devido aos problemas que causam a saúde humana. E os óleos minerais de base aromáticas não são utilizados na formulação dos fluidos de corte. São óleos excessivamente oxidantes, porém, quando são encontrados presentes em grandes quantidades em óleos parafínicos, podem melhorar a resistência ao desgaste e apresentar boas propriedades de extrema pressão EP. (ALVES, 2005; MACHADO, 2011)

Segundo SCANDIFFIO (2000), a seleção do óleo mineral mais adequado depende diretamente do tipo de operação de usinagem, do calor transformado na usinagem e da velocidade de corte. A tabela 1 exibe uma comparação das características principais dos óleos parafínicos e óleos naftênicos.

Tabela 1: Comparação das características principais dos óleos parafínicos e óleos naftênicos.

Parafínicos	Naftênicos
Alto ponto de fluidez	Baixo ponto de fluidez
Alto índice de viscosidade	Baixo índice de viscosidade
Maior resistência à oxidação	Menor resistência à oxidação
Menor resíduo de carbono	Maior resíduo de carbono
Menor oleosidade ou poder lubrificante	Maior oleosidade ou poder lubrificante
Menor emulgabilidade	Maior emulgabilidade

Fonte: adaptado de Muniz (2008)

✓ Óleos graxos

Os óleos graxos são óleos de origem animal e vegetal, e foram os primeiros fluidos lubrificantes utilizados como óleos integrais, entretanto, por causa de se tornarem viscosos e devido a sua acelerada deterioração com o tempo e elevado custo, o seu uso acabou se tornando inviável e os óleos graxos têm sido amplamente trocados pelos óleos compostos e óleos EP. (RUNGE; DUARTE, 1990; DINIZ, 1999; SCANDIFFIO, 2000; BOSSARDI, 2008).

Os tipos mais comuns de fluidos como gorduras ou materiais graxos são a banha e os óleos vegetais (BAWA, 2004). Segundo RAEL (2004), os óleos graxos mais comuns são: o óleo de tocinho (derivado de gordura animal), óleo de semente de colza (origem vegetal), óleo de semente de mamona (origem vegetal) e o óleo de baleia (origem animal).

Segundo SCANDIFFIO (2000) e DINIZ et al. (2006), os óleos graxos têm boa capacidade de molhabilidade do material da ferramenta e da peça, boa capacidade lubrificante, além de possuir facilidade para conseguir peças com bom acabamento superficial e obter média capacidade refrigerante. Porém, os óleos graxos têm propriedades antissoldantes fracas.

Outras desvantagens destes óleos são a propensão de emitir fumaça e odores desagradáveis durante a usinagem e a grande facilidade à oxidação, possuem baixa condutividade térmica e baixo calor específico que os deixam inoperantes na condução do calor para fora da região de corte e, além disso, o uso prolongado destes óleos e sua exposição ao ar contribuem para o desenvolvimento de bactérias e fungos. (MARTINS, 2008; MUNIZ, 2008; MACHADO, et al., 2011)

O óleo graxo mesmo sendo mais caro do que o óleo a base de petróleo, é mais apropriado para o atendimento dos rígidos requisitos ambientais por causa de sua biodegradabilidade, entretanto, esta mesma particularidade dar aos óleos vegetais maior propensão a degradação microbiológica do que os óleos derivados de petróleo. (SHENG, et al., 1997)

Conforme MACHADO et al. (2011), embora o uso dos óleos graxos tenha diminuído, os mesmos ainda são utilizados como aditivos nos fluidos minerais para melhorar suas propriedades de lubrificação.

✓ Óleos compostos

Segundo RAEL (2004), os óleos compostos são uma combinação de um ou mais óleos graxos com óleos minerais puros. Estes óleos adquirem vantagens dos óleos graxos e maior estabilidade química (não sofrem deterioração ou se tornam mais viscosos com o tempo) e, além disso, sua viscosidade pode ser ajustada pelo óleo mineral.

A concentração do óleo graxo varia entre 10 a 30% e depende da velocidade de corte, do tipo de cavaco e da profundidade do corte e do avanço. (FERRARESI, 1977; DINIZ, et al., 2006)

Em temperaturas acima de 150°C, esses óleos perdem seu efeito lubrificante. Por isso são indicados para operações de difícil usinagem de baixas velocidade e temperatura, onde se exige bom acabamento superficial como na usinagem, de tipos duros de latão, aço doce, cobre e suas ligas e também para a furação e o fresamento. Pelo fato de não ser corrosivo, os óleos compostos são empregados para usinagem tanto de materiais ferrosos quanto para materiais não-ferrosos. (MARTINS 2008; MELO, et al., 2010)

✓ Óleos de extrema pressão

De acordo com DINIZ et al. (2006), os óleos que, na sua composição, tem inclusos elementos que fazem com que eles tolerem grandes pressões sem vaporizar, são chamados de óleos de extrema pressão. Esta particularidade é importante em processos com elevadas velocidades e profundidades de usinagem de materiais que geram altas forças de corte.

Para isso, é preciso que aditivos estejam presentes e sejam capazes de suportar grandes pressões sem vaporizar, impedindo a ruptura da película de óleo que há entre a peça e

a ferramenta e, como consequência, evitando o contato metal com metal. Os aditivos reagem com a superfície metálica quimicamente de modo a formar um composto que possui menor resistência ao cisalhamento do que o metal, diminuindo o atrito e, portanto, impedindo a soldagem e o surgimento da aresta postiça de corte. (SCANDIFFIO, 2000)

É importante incluir aos óleos EP óleos graxos sulfurizados ou não, no intuito de aprimorar o acabamento superficial da peça. Pode-se citar o enxofre e o cloro como aditivos tradicionais de extrema pressão. Conforme já foi mencionado, os óleos podem ser classificados em ativos ou inativos, isso dependerá da ação dos aditivos nesses óleos. Os óleos ativos geralmente possuem enxofre livre ou combinado e reagem com os materiais envolvidos quimicamente para suportar extremas pressões e fixar-se às superfícies em contato, constituindo um composto que possui resistência ao corte bem inferior àquela do metal em trabalho. Os óleos EP ativos não podem ser utilizados na usinagem do cobre e suas ligas, em vista de serem corroídos pelo enxofre. (DINIZ, et al., 1999)

Os aditivos que mais se destacam entre os tipos de agentes EP são o enxofre, a matéria graxa, o cloro e o fósforo. (SCANDIFFIO, 2000)

-Enxofre

Segundo SCANDIFFIO (2000) e RAEL (2004), quando se dissolve enxofre puro em óleo mineral, forma-se um composto denominado óleo sulfurado. Portanto, óleos sulfurados são óleos minerais que tem como aditivo o enxofre. O óleo mineral, tendo enxofre como aditivo, passa a ter melhor poder lubrificante e melhores propriedades antissoldantes. Estes óleos são adequados para usinar aços comuns, aços de baixo carbono e outros metais altamente dúcteis com baixa usinabilidade e não são apropriados para usinar o cobre e suas ligas e as ligas de níquel, já que podem manchar as ligas de cobre e podem formar eutéticos de baixo ponto de fusão em relação às ligas de níquel.

-Matéria graxa

Neste caso, os óleos são formados em sua maioria pelos ácidos graxos, que podem ser de origem vegetal ou animal. Formam películas que colaboram para um bom acabamento superficial e são ótimos lubrificantes. São usadas para operações moderadamente leves porque as películas não suportam cargas elevadas. (SCANDIFFIO, 2000)

-Cloro

O cloro é acrescentado na forma de parafina clorada ao óleo. Este agente de alta pressão tem sua aplicação limitada por causa dos problemas ambientais e humanos que provoca senão for descartado de modo correto. (SCANDIFFIO, 2000; SOKOVIC; MIJANOVIC, 2001)

O fluido a base de cloro pode causar manchas nas partes das máquinas por causa de sua reação com as partes brilhantes do equipamento, caso não seja mantido circulando a baixa temperatura. (RAEL, 2004)

- Fósforo

O fósforo pode ser exibido de diversas maneiras e pode ser combinado com ésteres e com ditiodifosfato de zinco para agir como antioxidantes e especialmente como antidesgastante. (DINIZ, et al., 2001)

4.2.3.2. Emulsões

✓ Óleos emulsionáveis (óleos solúveis)

Para realizar um bom papel refrigerante, é necessário que o fluido de corte tenha alto calor específico, alto calor de vaporização e alta condutibilidade térmica. O óleo puro ou seus compostos não são apropriados para realizar essa função. A água é um caminho mais efetivo para refrigeração, é eficiente em conduzir calor, ideal para operações de altas temperaturas e velocidades, porém, apresenta baixo poder umectante (molhabilidade) nos metais, promove a corrosão de metais ferrosos e possui baixo poder lubrificante. Entretanto, essas desvantagens da água podem ser extraídas se forem acrescentados aditivos. Assim, haverá uma combinação das boas propriedades de refrigeração da água com propriedades lubrificantes e antioxidantes dos aditivos. O resultado dessa combinação é chamado de óleo emulsionável ou óleo solúvel. (DINIZ, et al., 2003; MELO, et al., 2010)

Segundo DAMASCENO (2010) e GONÇALVES et al. (2010), as emulsões são compostas de água e óleos. Consiste de água com partículas de óleo em seu interior pois estas duas substâncias são imiscíveis. Porém, esse estado só é atingido quando são adicionados emulsificadores. Conforme BIANCHI et al. (2006) e MARTINS (2008), estes óleos ficam dispersos em pequenas gotículas na água e quanto mais alto for o teor do agente emulsificante de um óleo emulsionável, menor será o tamanho das gotículas. Os emulgadores estabilizam a mistura.

Assim, emulsões são compostos de óleos minerais misturados com emulsificadores, isto é, são óleos convencionais que formam emulsões em água, sendo que o teor de óleo mineral varia entre 50% e 85%, geralmente misturado à água na proporção de 5 a 60 partes de água para uma de óleo. Portanto, estes fluidos são misturados com água em diferentes proporções formando misturas de emulsões, e a relação da quantidade de água e óleo depende da operação de usinagem executada. (TEIXEIRA FILHO, 2006)

Devido à combinação das propriedades lubrificantes com as propriedades refrigerantes da água, os óleos emulsionáveis são mais eficazes em praticamente todos os processos de usinagem, pois podem ser aplicados a alta velocidade, baixa pressão de corte e elevada geração de calor. As emulsões são compostas pela suspensão de gotículas de óleo em água, que ocorre através da mistura do óleo com agentes emulsificantes ou surfactantes e outros materiais. Esses emulsificantes são tensoativos polares que diminuem a tensão superficial da água e quebram as partículas do óleo, facilitando a dispersão do mesmo na água por longos períodos de tempo, constituindo uma película monomolecular relativamente estável na interface óleo/água. Esses agentes tensoativos diminuem o tamanho das partículas de óleo, deixando-as em pequenas gotículas e mantendo as mesmas dispersas de modo a evitar sua coalescência. Por conseguinte, os óleos emulsionáveis não são uma solução de óleo em água, pois óleo e água não se misturam, entretanto, nas emulsões as partículas de óleos ficam dispersas dentro da água, o que significa que o nome óleo solúvel designado para esse material é incorreto. (DINIZ, et al., 2003; MACHADO, et al., 2011; LIMA, 2013)

Para entender melhor, a figura 8 esboça uma representação gráfica do processo de formação do óleo emulsionável. Na parte (a), a mistura entre a água e o óleo gera duas fases diferentes. Na parte (b), a adição de um agente emulsificante faz o óleo se dispersar em forma de gotículas na água. A parte (c) mostra o agente emulsificante que gera uma repulsão. Na parte (d), o efeito da dispersão do óleo ocorre na água devido à repulsão das cargas elétricas negativas provocadas pelo emulsificador em todas as gotículas. A molécula de um emulsificador e sua polaridade negativa são mostradas na parte (e). (BOSSARDI, 2008)

de reduzir o atrito de forma eficaz entre peça e ferramenta. Além disso, os custos com controle, manutenção e descarte são maiores. (STEMMER, 2005; GONÇALVES, 2010)

Os óleos emulsionáveis são adequados para operações que necessitam tanto do poder refrigerante quanto do poder lubrificante, porém, a refrigeração é a exigência principal enquanto que a lubrificação é moderada. As emulsões menos concentradas (mais fracas) são adequadas quando a necessidade de refrigeração é maior em relação à lubrificação. Agora, quando a necessidade de propriedades lubrificantes e antioxidantes são mais necessárias do que as propriedades refrigerantes, a emulsão deve ser mais concentrada (mais rica). (DINIZ, et al., 1999; MAGALHÃES, 2013)

Um problema das emulsões é o fato desta requerer enorme esforço para a sua recuperação. Além disso, outro grande problema está relacionado à estabilidade biológica, pois os agentes emulsificantes acabam sendo uma fonte de alimento para bactérias aeróbias e anaeróbias, as quais deterioram o fluido em grande quantidade, o que faz com que suas propriedades de refrigeração e lubrificação sejam aniquiladas, resultando em sua inutilização. Portanto, são aplicados biocidas ao fluido impedindo o crescimento de bactérias e fungos, entretanto, os biocidas utilizados têm de ser conciliáveis com a pele humana e não pode ser tóxica. (MIRACONI, 2001; IOWA, 2003; NOVASKI & RIOS, 2004; BIANCHI, et al., 2006; MACHADO, et al., 2011)

Conforme MUNIZ (2008), as emulsões podem ser brancas como mostra a figura 9, além de opacas, e, em alguns casos, podem ser transparentes. As emulsões leitosas (maior teor de óleo) são empregadas constantemente em operações cuja necessidade de lubrificação é a que prevalece. Enquanto as emulsões translúcidas são normalmente apropriadas para operações nas quais prevalece a necessidade de refrigeração, entretanto, estas emulsões possuem altos custos.

Figura 9: Aplicação de uma emulsão em processo de furação.



Fonte: Melo et al. (2010)

A emulsão dos óleos solúveis nunca deverá ser do tipo água em óleo, deverá ser sempre do tipo óleo em água. Portanto, o óleo tem que ser colocado na água (fase contínua) e jamais o contrário. (MUNIZ, 2008)

✓ Óleos semissintéticos (microemulsões)

Segundo MELO et al. (2010) e MACHADO et al. (2011), são considerados na classe de emulsões não apenas os fluidos emulsionáveis (óleos emulsionáveis ou óleos solúveis), mas também são considerados os fluidos semissintéticos que possuem em sua composição quantidade de óleo muito inferior que nos óleos emulsionáveis.

Este fluido é uma combinação de fluidos sintéticos e emulsões de óleo em água. Eles são caracterizados por se constituírem em sua maioria de compostos sintéticos, acrescentados de óleos emulsionáveis numa proporção que varia entre 5 e 30% do total do fluido, ou seja, contêm apenas uma pequena porcentagem de óleo mineral emulsionável. Desta maneira, tem-se uma emulsão translúcida e estável, formada por minúsculas partículas de óleo. O restante do composto é formado de emulsificadores e água. (LUCHESEI, 2011)

Segundo MELO et al. (2010), os fluidos semissintéticos podem sofrer variação de quase opacos até quase transparentes devido aos pequenos glóbulos de óleos que ficam suspensos e que modificam a quantidade de luz refletida e refratada. A maioria destes fluidos são sensíveis ao calor e as moléculas de óleo tem tendência de se agrupar ao redor da peça ao longo do processo de usinagem, promovendo maior lubrificação.

Conforme IOWA (2003), estes fluidos possuem algumas das melhores propriedades dos fluidos sintéticos e dos óleos emulsionáveis. São menos viscosos e mais fáceis de cuidar que os óleos solúveis, e suas propriedades de resfriamento também são superiores, o que fornece ao usuário o corte em maiores velocidades. Da mesma maneira que os fluidos sintéticos, os semissintéticos são indicados para diversos tipos de operações de usinagem como no processo de retificação, conforme mostra a figura 10. Possuem maior vida útil, melhor controle de oxidação, são eficientes contra o crescimento de bactérias, possuem boas propriedades de limpeza e geram menos névoa quando comparados com as emulsões convencionais. Entretanto, nos semissintéticos, a dureza da água atinge sua estabilidade, provocando a formação de depósitos de água dura. Além disso, esses fluidos possuem menos lubrificação do que os óleos solúveis e espumam facilmente em virtude de seus aditivos de limpeza.

Figura 10: Aplicação de fluido de corte semissintético.



Fonte: Melo et al. (2010)

O fluido semissintético pode ser composto por aditivos como, por exemplo, os aditivos umectantes, anticorrosivos e biocidas. A presença dos biocidas e a quantidade pequena de óleo mineral ampliam a vida do fluido de corte e diminuem os riscos à saúde. Além disso, os fluidos semissintéticos podem ser formados por aditivos de extrema pressão quando empregados em atividades mais severas e ainda podem permitir que ele desempenhe sua função de lubrificação mesmo possuindo baixa quantidade de óleo em sua composição. Em relação ao fluido sintético, essa grande quantidade de emulgadores presentes nos fluidos semissintéticos proporciona ao fluido uma coloração menos leitosa e mais transparente. Também podem ser adicionados corantes que dão uma cor mais viva e mais aceita pelo

operador da máquina. (SCANDIFFIO, 2000; NOVASKI & RIOS, 2004; MACHADO, et al., 2011)

4.2.3.3. Soluções (fluidos sintéticos)

As soluções químicas são os fluidos que não possuem óleo mineral em sua composição, sendo formados apenas por agentes químicos em água, ou seja, consistem de materiais inorgânicos e orgânicos dissolvidos em água. Foram introduzidos no final dos anos 50. Todos estes fluidos são considerados refrigerantes e alguns também possuem moderado poder lubrificante. (LIMA, 2013; MAGALHÃES, 2013)

Os fluidos sintéticos são desprovidos de qualquer tipo de óleo (mineral, animal ou vegetal) e não exigem a presença de agentes emulsificantes porque os compostos formam uma solução homogênea quando são adicionados à água. Isso acarreta na impossibilidade de separação da solução depois de misturado. (DINIZ, et al., 2003; NOVASKI & RIOS, 2004; MACHADO, et al., 2011)

Além de materiais inorgânicos e orgânicos, os fluidos sintéticos possuem em sua composição aditivos de lubricidade, biocidas, inibidores de corrosão e outros acrescentados à água. Formam soluções transparentes, o que garante boa visibilidade durante o corte. Essas soluções são estáveis mesmo em água dura e possuem agentes umectantes que aprimoram muito mais as propriedades de refrigeração da solução. (TEIXEIRA FILHO, 2006; BENITO, et al., 2009)

De acordo com BOSSARDI (2008), o fluido sintético pode obter, em sua composição, os seguintes agentes químicos:

- Aminas e nitritos que impedem a corrosão;
- Nitratos que estabilizam os nitritos;
- Fosfato e boratos que diminuem a dureza da água;
- Sabões e agentes de molhabilidade para lubrificar e diminuir a tensão superficial;
- Compostos de enxofre, fósforo e cloro para lubrificação;
- Glicóis que servem de agente umidificante e aglomerante;
- Germicidas que controlem o crescimento das bactérias.

As principais vantagens destes fluidos são: a alta capacidade de refrigeração; a larga vida útil em relação às emulsões, uma vez que são menos propícios aos ataques de bactérias, reduzindo a necessidade de ser periodicamente descartado, aliás, esta vantagem

ainda reduz o tempo de parada para limpeza da máquina e reabastecimento do reservatório; o excelente poder detergente que faz a limpeza das canalizações mantendo as tubulações sempre limpas e evitando as naturais obstruções; a facilidade em preparar a solução; e a alta resistência à oxidação do fluido e à corrosão. (FERRARESI, 1977; DINIZ, et al., 2003; MIRANDA, 2003).

A baixa tensão superficial também é um ponto positivo dos fluidos sintéticos, pois com essa baixa tensão, o fluido alcança de forma mais rápida à aresta de corte e com maior poder de penetração. Além disso, os fluidos evaporam sem deixar resíduos, facilitando sua remoção das peças quando alcançam elevadas temperaturas. (BERSENKOWITSCH, 2000)

Os pontos negativos na aplicação dos fluidos sintéticos são a formação de espuma e compostos insolúveis para determinados processos de usinagem e o baixo poder de lubrificação, porém, essas desvantagens podem ser reduzidas se forem acrescentados aditivos lubrificantes e antiespumantes. (BIANCHI, et. al., 2006; MICARONI, 2006)

Uma das limitações dos óleos sintéticos implica na necessidade de controlar sua concentração, que pode ser modificada por fatores como evaporação de água e formação de resíduos. (STANFORD & LISTER, 2002)

Segundo MICARONI (2006), o emprego dos fluidos sintéticos vem aumentando devido ao alto custo e à dificuldade de descarte dos óleos integrais bem como suas restrições quanto ao seu uso.

Conforme MELO et al. (2010), os fluidos sintéticos são favoritos para atuar em situações que envolvam grandes temperaturas e altas velocidades devido à sua capacidade de resfriamento. Além do mais, com o crescimento da tecnologia dos fluidos de corte, estes óleos sintéticos podem ser empregados na maioria das operações de corte como, por exemplo, na operação com serra fita, conforme a figura 11.

Figura 11: Aplicação de fluido sintético operação com serra fita.



Fonte: Melo et al. (2010)

Segundo MARTINS (2008), as soluções sintéticas são divididas em soluções verdadeiras (sem agente umectante) e soluções tensoativas (com agente umectante).

As soluções verdadeiras, isto é, sem agentes umectantes, são as soluções químicas ou fluidos químicos e são compostas a partir da mistura da água com inibidores de corrosão. A refrigeração e a inibição à corrosão são consideradas como as funções mais importantes destas soluções. (RUNGE; DUARTE, 1990)

Já nas soluções tensoativas, há aditivos que colaboram para que as substâncias orgânicas e inorgânicas sejam dissolvidas de melhor forma na água. Os aditivos tensoativos promovem melhor contato da solução com as superfícies que necessitam de lubrificação e/ou refrigeração pois diminuem a tensão superficial dos fluidos de corte, aumentando, conseqüentemente, o rendimento dessas funções. Pode-se aperfeiçoar as propriedades lubrificantes dos sintéticos através da adição de determinados aditivos que causam efeitos de extrema pressão (EP) como o cloro, o fósforo e o enxofre. (MARTINS, 2008)

4.3 Aditivos aplicados nos fluidos de corte

Aditivo é a adição de produtos químicos aos fluidos de corte a fim de aprimorar suas propriedades ou incorporar novas características aos fluidos que são necessárias às exigências das máquinas modernas. (CATAI, 2004; DAMASCENO, 2010)

Os aditivos são acrescentados à composição dos fluidos de corte para aumentar sua eficiência e realizar satisfatoriamente suas funções que já foram mencionadas. Os principais aditivos empregados nos fluidos de corte são: antiespumantes; anticorrosivos; antioxidantes; aditivos de extrema pressão (EP); detergentes; emulgadores; surfactantes;

aditivos umectantes; e biocidas. (TEIXEIRA FILHO, 2006; MUNIZ, 2008; MACHADO, et al., 2011; LIMA, 2013)

✓ Antiespumantes

Evitam a formação de espumas que quando presente pode comprometer a ação refrigerante do fluido e a visibilidade da região de corte. Os antiespumantes atuam diminuindo a tensão interfacial do óleo de forma que as bolhas menores possam se juntar criando maiores bolhas e também mais instáveis. Normalmente, são empregados óleos de silicone ou ceras especiais para se manter o controle das espumas. (TEIXEIRA FILHO, 2006; MACHADO, et al., 2011)

✓ Anticorrosivos

Os anticorrosivos são produtos à base de nitrito de sódio e são adicionados aos fluidos com o objetivo de proteger a ferramenta, a peça e a máquina-ferramenta contra a corrosão. Evitam o ataque dos contaminantes corrosivos às superfícies metálicas. (MUNIZ, 2008; LIMA, 2013)

✓ Antioxidantes

Os aditivos antioxidantes, quando adicionados aos fluidos de corte, atuam impedindo que o óleo sofra deterioração quando este entra em contato com o oxigênio no ar. (SUAREZ, 2008; GONÇALVES, et al., 2010)

✓ Aditivos de extrema pressão (EP)

Aditivos aplicados na execução de operações mais severas e onde a necessidade de lubrificação é extrema. Atribuem aos fluidos melhores capacidades de lubrificação para que possam suportar as altas temperaturas e altas pressões de corte, diminuindo o atrito peça-ferramenta. Os principais agentes EP são à base de enxofre, cloro e fósforo. Os aditivos EP podem reagir com a superfície usinada, formando compostos relativamente fracos na interface, geralmente são sais como fosfato de ferro, cloreto de ferro e outros, que se fundem a altas temperaturas e são facilmente cisalháveis. (PEGADO, 2004; BONFÁ, 2013)

✓ Detergentes

Os detergentes são compostos organometálicos que contêm em sua composição elementos como magnésio, cálcio, sódio, entre outros. Estes aditivos mantêm as superfícies metálicas livres da deposição do lodo, lamas e borras, reagindo com os resíduos superficiais, tais como lama ou materiais de processos anteriores, neutralizando e mantendo solúveis. (CATAI, 2004; MIRANDA, 2011)

✓ Emulgadores

São aditivos responsáveis pela redução da tensão superficial, formam uma película monomolecular semiestável na interface óleo-água. Estes aditivos são encarregados de formarem emulsões de óleo na água e vice-versa, sendo que os principais tipos de emulgadores são as gorduras sulfatadas, sulfonados de petróleo, sabões de ácidos graxos e emulsificantes não iônicos. (PEGADO, 2004; SUAREZ, 2008; MUNIZ, 2008)

✓ Surfactantes

Semelhantemente aos emulgadores, os surfactantes garantem a uniformidade das emulsões. O que muda é a forma diferente de atuação. Ao ser adicionado a dois fluidos que não se misturam (imiscíveis), os surfactantes são absorvidos na interface entre os dois líquidos. A parte solúvel em água, a qual é a parte hidrófila da molécula, orienta-se para se tomar parte da fase água, e a parte miscível em óleo (parte lipofílica) toma orientação para tomar parte da fase óleo. São utilizados como agentes surfactantes os ésteres fosfatos, sulfonatos e álcoois etoxilados. (MACHADO, et al., 2011)

✓ Biocidas

Biocidas são substâncias que impedem o desenvolvimento de microrganismos como os fungos, bactérias e leveduras. Quando são adicionados aos fluidos, evitam a rápida deterioração do fluido, a quebra da emulsão, a formação de subprodutos e a ocorrência de efeitos maléficos pelo contato do homem com as emulsões contaminadas. (SOARES, 2010; LIMA, 2013)

✓ Aditivos Umectantes

São aditivos cobrem toda a área da peça através de uma película oleosa no momento em que o fluido é aplicado. Glicóis (butil glicol, propileno glicol, dibutil glicol) são considerados como exemplos de aditivos umectantes. (TEIXEIRA FILHO, 2006)

4.4 Seleção dos fluidos de corte

A seleção de um fluido de corte não deve ser direcionada apenas ao custo do produto, mas deve ser focada também no alcance máximo de desempenho e longevidade, pois alto desempenho e longevidade significam exercer eficazmente suas funções, garantindo, portanto, maior produtividade, menores tempos de parada de máquina, maior vida da ferramenta e quantidade reduzida de descarte. (IOWA, 2003; BOSSARDI, 2008)

A seleção apropriada do fluido de corte e de aditivos deve ser baseada em ensaios de laboratórios, mesmo que a maioria dos produtores forneçam tabelas e diagramas que ajudam o consumidor a escolher o fluido. (MACHADO, et al., 2011; SANTOS, 2014).

Alguns critérios utilizados para a seleção dos fluidos de corte envolvem (EL BARADIE, 1996; RAEL, 2004; TEIXEIRA FILHO, 2006; NOGUEIRA, 2014):

- Usinabilidade: é a capacidade do fluido de corte em participar na geração do produto desejado sob forma, tamanho e acabamento da peça, além de também prolongar a vida da ferramenta;
- Compatibilidade: é a aplicação do fluido de corte para uma grande variedade de materiais de peça;
- Aceitabilidade: trata-se da avaliação efetuada pelo operador em relação ao odor, tato, aparência e outros aspectos da saúde;
- Descartabilidade: trata-se da facilidade de manuseio e do custo em relação ao descarte do fluido;
- Retorno financeiro: é a influência que o fluido de corte tem sobre os custos de produção;
- Alta condutividade térmica e alto calor específico;
- Inflamabilidade: trata-se da capacidade do fluido de corte em se inflamar, o que é necessário que não ocorra;

- Facilidade para reciclagem.

São vários os fatores que podem implicar na seleção dos fluidos e dependendo dos autores, alguns fatores são mais importantes que outros no momento da escolha do fluido de corte adequado. Os principais fatores de escolha do fluido adequado são: o material da peça, o material da ferramenta e a operação de usinagem (BAWA, 2004; CAKIR, 2007; MELO et al., 2010; MACHADO et al., 2011). Segundo DINIZ et al. (2001), além destes fatores mencionados, deve ser considerado também a severidade da operação (condições de usinagem).

Conforme LISBOA et al. (2013), os aspectos que mais influenciam na escolha do fluido são a condição de usinagem, o material da peça e da ferramenta, a operação de usinagem, a máquina-ferramenta e produção, os aspectos ecológicos (operadores e meio ambiente) e a análise econômica.

4.4.1 Material da peça

É indispensável conhecer o tipo de material da peça a ser usinada. O comportamento desse material durante a usinagem é decisivo para a escolha correta de um fluido de corte. Desta maneira, surge o conceito de usinabilidade, que é a capacidade que os materiais têm de se deixarem usinar, ou seja, é a facilidade com que o material pode ser cortado. (FERRARESI, 2003; LISBOA, et al., 2013; CIMM, 2015)

Normalmente, os materiais da peça são ferro fundido, aços, alumínio e suas ligas, magnésio e suas ligas, cobre e suas ligas, ligas de níquel, titânio e cobalto. (DINIZ, et al., 2001; CAKIR, 2007; AIRES JÚNIOR, 2010)

✓ Ferro Fundido

A usinagem do ferro fundido cinzento provoca a formação de cavacos de ruptura e, geralmente, o ferro fundido cinzento é usinado a seco. (COSTA, 2004; TEIXEIRA FILHO, 2006; CAKIR, 2007; CIMM, 2015)

O ferro fundido cinzento tem como vantagem sua alta capacidade de amortecimento de vibrações e os veios de grafite que propiciam a quebra de cavacos e boas características de deslizamento a seco. (MELO, et al., 2010)

Segundo DINIZ et al. (2001) e MACHADO et al. (2011), na usinagem do ferro fundido cinzento, pode-se usar ar comprimido para auxiliar na remoção dos cavacos em certos casos como no fresamento de cavidades.

O ferro fundido maleável também é normalmente usinado a seco, porém, caso seja necessário utilizar fluido de corte, recomenda-se um óleo integral ou algum tipo especial de emulsão. É necessário ter cuidados para os cavacos não reagirem quimicamente com as emulsões. (MELO, et al., 2010; MACHADO, et al., 2011; SANTOS, 2014)

No caso do ferro fundido branco, a usinabilidade é considerada difícil pois possui baixo teor de silício, alta porcentagem de carvão de ferro e pouco grafite livre, o que resulta no emprego de aditivos EP nas emulsões para a operação a fim de que a ferramenta tenha uma vida útil maior. (FERRARESI, 2003; AMORIM, 2010)

✓ Aços

No caso dos aços, todos os tipos de fluidos podem ser usados, pois o aço e suas variações, incluindo aqui os do tipo inoxidável, formam a maior concentração de volume de material utilizado na indústria. A escolha estará sujeita à condição de usinagem (severidade da operação) e da resistência do aço. (DINIZ, 2001; TEIXEIRA FILHO, 2006; MACHADO, et al., 2011; CIMM, 2015)

Para o corte de aços de usinabilidade normal como aços de cementação, de beneficiamento e de construção, é indicado o emprego de emulsões e soluções. Já para o corte de aços de difícil usinabilidade como é o caso do aço inox e aço fundido, é apropriado que se use emulsões com aditivos de extrema pressão e óleos altamente aditivados para evitar o empastamento do material na ferramenta (BELLUCO; DE CHIFFRE, 2002; AMORIM, 2010; MELO, et al., 2010; SANTOS, 2013).

Para aços com um grau difícilimo de usinagem como aço manganês, aços CrMo e aços silício, é indispensável o emprego de óleos de extrema pressão. (MELO, et al., 2010)

Segundo DINIZ et al. (2001) e SANTOS (2014), para usinar aço inoxidável austenítico, é favorável o uso de óleos do tipo EP a fim de dificultar o empastamento do cavaco na ferramenta.

✓ Alumínio e suas ligas

Esse material normalmente é de fácil usinabilidade, o que possibilita a usinagem em altas velocidades de corte, de avanço e grande produção de cavaco. Devido a sua boa condutividade térmica, o calor formado ao longo do processo rapidamente é dissipado. No alumínio puro ou com baixas percentagens de liga, há grande tendência para formação de gumes postiços. Se houver altas percentagens de silício, pode ocorrer forte desgaste abrasivo das ferramentas. (FERRARESI, 2003; AIRES JÚNIOR, 2010; AMORIM, 2010)

As ligas de alumínio geralmente são usinadas à seco, entretanto, no caso das ligas de alumínio com alto teor de cobre, conformadas, deve-se utilizar um fluido com boa capacidade de refrigeração. Quando são produzidos cavacos longos, maior será a área de contato e isto exige uma boa lubrificação, portanto, são usados óleos leves. (BATISTA, 2010; CIMM, 2015)

As ligas de alumínio e silício também precisam de uma lubrificação adequada. Caso seja considerada importante a precisão dimensional, é recomendado o emprego de um bom fluido refrigerante, devido ao alto valor de coeficiente térmico de expansão. A mistura de óleo mineral e gordura e a grande parte das emulsões solúveis são uma boa escolha. (STEMMER, 2005; BATISTA 2010; MACHADO, et al., 2011)

Para ligas de alumínio com alto teor de zinco não se deve utilizar soluções aquosas pelo fato destas soluções reagirem com o zinco formando hidrogênio e amoníaco, o que pode causar sério risco de explosões e incêndios. (DINIZ, et al, 2001; STEMMER, 2005; MELO, et al., 2010)

O alumínio não necessita de aditivos EP e o enxofre livre ataca o metal instantaneamente. (BATISTA 2010; MACHADO, et al., 2011)

✓ Magnésio e suas ligas

Praticamente todas as ligas de magnésio são de corte fácil, muitas vezes são usinados a seco, entretanto, sob elevadas velocidades de corte, pode-se aplicar um fluido refrigerante (Batista, 2010; Aires Júnior, 2010; Melo et al., 2010; Machado et al., 2011; Bonfá, 2013). Não se deve utilizar as emulsões pois o magnésio oxida facilmente, decompondo a água, gerando calor e hidrogênio, o que leva muitas vezes à combustão. (FERRARESI, 1977; STEMMER, 2005; AMORIM, 2010; CIMM, 2015)

Segundo COSTA (2004) e BONFÁ (2013), é aplicado normalmente para este tipo de usinagem óleo mineral ou misturas de óleo mineral com gorduras. Além disso, o enxofre ataca o metal assim como no alumínio.

✓ Cobre e suas ligas

Segundo MELO et al. (2010), a usinabilidade das ligas de cobre varia de acordo com a quantidade e os elementos envolvidos na liga. Nas operações de usinagem, as ligas de cobre podem ser classificadas em três classes de acordo com sua usinabilidade, são elas: ligas de fácil usinagem, ligas de usinabilidade moderada e ligas de difícil usinagem. (FERRARESI, 1977)

São incluídos nas ligas de fácil usinagem grande parte dos latões e alguns bronzes ao fósforo fundidos que possuem geralmente elementos que facilitam o corte como o chumbo, selênio e telúrio. Têm resistência à tração adequada e baixa ductilidade. Em todas as situações aproximadamente, é utilizada uma emulsão de óleo mineral para essas operações. (EBBRELL, et al., 2000; CAKIR, 2007; MACHADO, et al., 2011; BONFÁ, 2013)

As ligas de usinabilidade moderada obtêm de elevada ductilidade que ocasiona um alto consumo de potência e complica a aquisição de um bom acabamento superficial. Encontram-se nessa classe os latões sem chumbo, alguns bronzes ao fósforo e bronzes ao silício. Neste caso, para atender as funções, é mais utilizada uma emulsão de óleo mineral ou uma mistura leve de óleo mineral com gordura. (CAKIR, 2007; BATISTA, 2010)

Por fim, as ligas de difícil usinagem, que compreendem as ligas de chumbo, as ligas níquel-prata e os bronzes ao fósforo, têm baixa resistência e grande tendência ao arrancamento. Além disso, geralmente, formam cavacos longos. Para suprir as necessidades é usado neste caso uma forte mistura de óleo mineral com gordura. É importante destacar que todos os metais amarelos são manchados por qualquer óleo que obtenha enxofre livre. (MELO, et al., 2010; MACHADO, et al., 2011; BONFÁ, 2013)

✓ Ligas de níquel, titânio e cobalto

São chamadas constantemente de superligas pois são ligas altamente resistentes ao calor. São de difícil usinabilidade e têm altas tendências de encruarem, principalmente as ligas de níquel. A seleção do fluido está subordinada à operação de corte e à tenacidade da liga, além de ter que possuir tanto características de refrigeração quanto de lubrificação. O fator de

refrigeração do fluido de corte é mais importante no processamento desse tipo de ligas. Para situações severas, os aditivos são aplicados constantemente. Porém, enxofre livre pode causar descoloração da peça. Podem ser utilizados óleos leves que tenham como aditivo de extrema pressão o cloro. (EZUGWU, 2003; CAKIR, 2007; BATISTA, 2010; MACHADO, et al., 2011)

4.4.2 Material da ferramenta

Escolher o tipo de material para a ferramenta usada na operação de usinagem é parte essencial para se ter sucesso na operação e implica diretamente no processo de escolha do fluido de corte, pois a seleção do material da ferramenta para determinada operação apontará o potencial da taxa de remoção de material, e essa taxa de remoção de material indicará as temperaturas de corte e as tensões na ferramenta que provavelmente serão encontradas. (TEIXEIRA FILHO, 2006; MACHADO, et al., 2011; LISBOA, et al., 2013)

Normalmente o aço rápido, o metal duro, a cerâmica e o diamante são alguns materiais utilizados para ferramenta de corte. (FERRARESI, 1977; DINIZ, et al., 1999; MELO, et al., 2010; MACHADO, et al., 2011; LISBOA, et al., 2013)

✓ Aço rápido, aço-carbono e aço-liga

Segundo MACHADO et al (2011) e SANTOS (2014), tanto a ferramenta de aço-carbono quanto a de aço-liga precisam atuar à baixas temperaturas, e, portanto, é imprescindível que a exigência seja uma refrigeração apropriada.

Ferramentas de aço rápido também necessitam de uma boa refrigeração, e em se tratando de usinagem de materiais tenazes, devem ser empregados aditivos antissolda (MACHADO et al., 2011; SANTOS, 2014; CIMM, 2015).

Segundo DINIZ et al. (1999) e SANTOS (2014), as ferramentas de aço rápido quando expostas à água, acabam sofrendo corrosão e, por isso, quando se utiliza uma ferramenta de aço rápido, é necessário que as emulsões possuam aditivos antiferruginosos eficazes.

De acordo com LISBOA et al. (2013), o aço rápido mantém sua dureza até elevadas temperaturas, em torno de 600°C, o que faz com que sua resistência à abrasão seja alta.

✓ Ligas fundidas, metais duros e cermets

Estes materiais apresentam durezas maiores que as ferramentas de aço e, por conseguinte, conseguem suportar temperaturas mais altas. Quando se usa um desses tipos de materiais para ferramenta significa que a taxa de remoção de material é alta. Deve-se usar, portanto, um fluido refrigerante com a finalidade de aumentar a vida da ferramenta de corte. A escolha correta do fluido de corte varia segundo a severidade da operação, entretanto são usados frequentemente os óleos emulsionáveis. (MACHADO, et al., 2011; LISBOA et al, 2013; SANTOS, 2014; CIMM, 2015)

O metal duro apresenta certos infortúnios em relação à sensibilidade aos choques térmicos. Para diminuir esse problema, pode-se tomar os seguintes cuidados: ligar o fluxo de fluido de corte antes do início da operação; manter o fluxo do fluido de corte por algum tempo após o término do processo; e usar óleos de baixa transferência de calor quando o fluxo do fluido refrigerante não for absolutamente constante. (STEMMER, 2005; AIRES JÚNIOR, 2010)

✓ Cerâmica

Para este material é importante ressaltar que alterações bruscas de temperatura são prejudiciais para as ferramentas cerâmicas pois choques térmicos podem ocasionar trincas superficiais. Portanto, requer muita atenção quando se utiliza fluido refrigerante neste tipo de ferramenta para evitar tais prejuízos. O fluido de corte que for eficiente em diminuir temperatura, sem provocar trincas superficiais, será sempre indicado para expandir a vida da ferramenta. As cerâmicas à base de nitreto de silício são menos sensíveis a este tipo de problema que envolve trincas superficiais. (STEMMER, 2005; TEIXEIRA FILHO, 2006; MACHADO, et al., 2011; SANTOS, 2014; CIMM, 2015)

✓ À base de diamante

De acordo com Machado et al. (2011), os fluidos de corte não possuem nenhum efeito sobre a ferramenta de corte quando esta é à base de diamante. O emprego dos fluidos de corte nas operações que envolvem ferramentas deste tipo serve apenas para melhorar a

qualidade da superfície usinada. São ferramentas duras e resistentes suficientemente capazes de causar choques térmicos.

4.4.3 Operação de usinagem

O rigor dos processos de usinagem está em função desde os mais pesados cortes como o de brochamento até os mais leves como o de retífica. Este rigor do processo de usinagem juntamente com as condições da máquina conduzem a seleção do melhor tipo de fluido de corte para ser utilizado. Por conseguinte, cada processo de corte tem objetivos e parâmetros de usinagem distintos entre si e cada processo tem o fluido de corte que mais é apropriado para ele, podendo ser desde o mais predominantemente lubrificante (tipos de óleo integral) até o mais fortemente refrigerante (óleos emulsionáveis de baixa concentração). (TEIXEIRA FILHO, 2006; MACHADO, et al., 2011; LISBOA, et al., 2013; SANTOS, 2014)

Em operações com baixa velocidade de corte, de difícil usinagem difícil, o indicado é que se use fluidos lubrificantes. Em operações com altas velocidades de corte, de fácil usinagem, o recomendável é o uso de fluido refrigerante como as emulsões ou soluções. (AIRES JÚNIOR, 2010; MELO, et al., 2010)

A tabela 2 exibe uma distribuição dos principais processos de usinagem referente à severidade. (FERRARESI, 1977; MACHADO, et al., 2011)

Tabela 2: Distribuição dos principais processos de usinagem referente à severidade

Retificação	 Severidade
Serramento	
Torneamento	
Aplainamento	
Furação	
Fresamento	
Roscamento com ferramenta de perfil	
Mandrilamento	
Furação profunda	
Geração de dentes de engrenagem	
Roscamento externo com cossinete	
Roscamento interno com macho	
Brochamento externo	
Brochamento interno	

Fonte: Machado et al. (2011)

Fluidos de corte com alta capacidade lubrificante são recomendados para operações severas como o brochamento, e fluidos de corte intensamente refrigerantes são recomendados para operações em alta velocidade ou com alta geração de calor como na retificação. (TEIXEIRA FILHO, 2006)

Na retificação há fortes aquecimentos que acarretam marcas de superaquecimento, endurecimento de certos pontos, camadas macias por recristalização, trincas e outros. Portanto, a temperatura na zona de retificação deve ser reduzida, e pode ser reduzida através do emprego de um fluido de corte refrigerante, geralmente é utilizado emulsão. Em operações leves de retificação (retificação sem centros, retificação plana) são utilizados geralmente fluidos de corte miscíveis em água. A proteção do conjunto peça-ferramenta contra corrosão e a redução do atrito e do desgaste são realizadas por meios de aditivos. Na retificação com rebolos perfilados (roscas, engrenagens), há a formação de muito calor devido ao atrito e, além disso, há enormes exigências quanto à precisão de formas e de medidas e de qualidade do acabamento, resultando, portanto, no uso de óleos com aditivos redutores do atrito. (MELO, et al., 2010; SANTOS, 2014)

Segundo SANTOS (2014), na furação profunda, a exigência predominante é de lubrificação. É preciso de baixa viscosidade para o cavaco ser removido sem dificuldade. Por isso, são empregados óleo mineral composto ou óleo sulfurado com baixa viscosidade. Conforme MACHADO et al. (2011), no caso da furação, sempre que possível é necessário ter o uso de ferramentas com canais internos para a aplicação de fluido devido ao contato sucessivo entre a ferramenta e a peça unido com a dificuldade de acesso do fluido de corte. São aplicadas emulsões e soluções com aditivos à base de enxofre e cloro para cumprir as exigências. De acordo com TEIXEIRA FILHO (2006), na operação de furação profunda, o fluido de corte é introduzido por um canal interno à broca e despejado com alta pressão na superfície de folga da ferramenta, ele precisa de baixa viscosidade para remover o cavaco de dentro do furo e também alguma capacidade de lubrificação. Para isso, são recomendados fluidos aquosos com aditivos de extrema pressão.

A tabela 3 mostra alguns tipos de processos, o tipo de material e o tipo de fluido de corte que deve ser aplicado.

No torneamento, recomenda-se o uso de soluções e emulsões de baixo peso molecular devido ao contato contínuo entre ferramenta e peça e, conseqüentemente, do acesso restrito à interface. Em se tratando de fresamento, é mais exigido do fluido o poder lubrificante e o seu acesso é facilitado pela intermitência da operação, sendo utilizados, por

consequente, óleos e emulsões concentrados, porém, há um risco de se intensificar o gradiente térmico e causar trincas de origem térmica na ferramenta de corte. (MACHADO, et al., 2011)

Tabela 3: Fluidos de corte recomendados para algumas operações de usinagem.

Material	Torneamento	Fresamento de topo	Perfuração	Abertura de roscas
Aço de baixo C	Compostos sintéticos ou óleos solúveis 1:20. Óleos clorinados ou sulfurizados para aços mais duros. Com ferramentas de metal duro, pode-se prescindir de fluidos	Óleo mineral sulfurizado ou óleo solúvel para serviço pesado 1:20. Com metal duro prefere-se compostos sintéticos.	Fluidos sintéticos (químicos). Óleo de gordura. Óleo solúvel 1:10 de serviço pesado em corte com metal duro.	Óleos sulfurizados. Óleos minerais sulfuclorinados. Óleo de gordura. Óleos para serviço leve e pesado.
Ferro fundido	Corte seco, quando usinados com metal duro. Óleo solúvel 1:20 para garantir pequena quantidade de pó, pode auxiliar em usinagem de acabamento. Óleo solúvel para serviço pesado ou óleos sulfuclorinados para peças mais duras	Corte seco com metal duro. Maior quantidade de lubrificante que no torneamento. Óleo solúvel para serviço pesado ou aditivos sulfuclorinados.	Corte a seco ou óleos solúveis. Óleos de pressão extrema para grandes avanços.	Corte seco ou fluidos sintéticos (químicos) para serviço pesado. Óleos solúveis clorinados-sulfurizados de serviço médio a pesado.
Aço inoxidável	Óleos minerais sulfuclorinados. Óleo solúvel para serviço médio a pesado 1:5. Com metal duro, às vezes de corte seco.	Óleos solúveis para serviço médio e pesado 1:5. Para cortes de acabamento, os óleos sintéticos para serviço leve podem ser melhores.	Óleo mineral sulfuclorinado ou óleo mineral-gordura. Para serviço médio a pesado. Óleos solúveis, com S e Cl para brocas de metal duro.	Para aços inoxidáveis de usinagem fácil; óleo solúvel para serviço médio a pesado. Outros aços inoxidáveis: óleo mineral, sulfuclorinado ou mistura de óleo de gordura
Ligas de alumínio	Corte a seco ou óleos solúveis leves 1:15 a 1:30 ou querosene	O mesmo para o torneamento.	Óleo solúvel 1:15 para brocas de metal duro, corte leve,	Óleo solúvel sulfuclorinado para vida mais longa das

	preferivelmente com óleo. Há vários óleos e fluidos sintéticos (químicos) produzidos especialmente para usinagem de alumínio.		eventualmente com enxofre e cloro. Compostos especiais.	ferramentas. Para ferramentas maiores e altas velocidades, óleo para serviço pesado. Óleo de gordura.
Ligas à base de níquel	Óleo mineral-gordura sulfluorinados para serviço pesado. Óleos solúveis para serviço pesado e óleos solúveis sulfluorinados	O mesmo para o torneamento.	Óleos minerais ou de gordura sulfluorinados para serviço médio ou pressão extrema ou combinações.	O mesmo para perfuração.
Cobre e latão	Óleo solúvel comum ou óleo comum clorinado. Ter cuidado com manchas	Óleo solúvel comum 1:30 ou mistura de óleo mineral-gordura.	Óleo solúvel 1:20 ou clorinado. Óleo mineral-gordura leve.	Óleo mineral-gordura leve. Para cortes maiores, óleo sulfurizado ou clorinado.
NOTAS	Óleos solúveis – água é o melhor meio de resfriamento, mas não lubrifica e enferruja. Mistura com óleo e sabão ou sulfonados são adicionadas. Óleo solúvel é misturado com água nas proporções indicadas.			
	Óleos comuns – os mais comuns são os minerais, porque são de baixo custo, bons lubrificantes e sem cheiro.			
	Óleos gordos – como os de gordura são misturados (5-10%) com os minerais porque lubrificam melhor, sobretudo sob pressão.			
	Enxofre e cloro – um ou outro ou ambos podem ser adicionados aos óleos básicos acima citados, resultando numa película lubrificante, entre o cavaco e a ferramenta, mais estável e mais tenaz.			
	Óleos sulfurados – são usados principalmente na usinagem do aço, para a abertura de roscas e brochamento, pois não mancham. Como eles mancham o cobre, os óleos clorinados ou comuns são melhores para usinagem desse metal.			
<p>FLUIDOS DE CORTE – Com exceção do ferro fundido, que pode ser cortado “a seco”, a maioria dos metais e das ligas é usinada com o emprego de fluidos de corte, que permitem a usinagem mais eficiente, mais rápida e de melhor acabamento, por que a presença desses fluidos promove não só o resfriamento da peça e das ferramentas, como igualmente a lubrificação da ferramenta e da superfície das peças, além de formar uma película sobre a superfície da ferramenta, atuando como agente que impede a soldagem da ferramenta com o cavaco e a corrosão (enferrujamento) da ferramenta, da peça e da própria máquina operatriz.</p>				

Fonte: Santos (2014)

4.4.4 Condições de usinagem

Quando as condições de um processo de usinagem são severas, isto é, quando predominam alto avanço e profundidade e baixa velocidade de corte, e quando as forças de corte são elevadas, utiliza-se como fluido de corte com características lubrificantes o óleo puro, aplicado nas partes que entram em contato. Quando a velocidade de corte é baixa, a mesma torna mais fácil a entrada do fluido de corte até as interfaces cavaco-ferramenta e ferramenta-peça. Na usinagem mais leve ou branda, que se caracteriza por ter altas velocidades de corte, é aplicado emulsão, tendo em vista que a necessidade de refrigeração é extremamente importante. (LISBOA, et al., 2013; NOGUEIRA, 2014)

4.4.5 Máquina-ferramenta e produção

É necessário, antes de originar o produto final, que um corpo ou peça sofram várias transformações físicas. Essas contínuas transformações, ou ciclo de fabricação, são complicadas, e combinadas com o tipo de produção (variedade de produtos e volume de produção) influenciam na determinação da máquina-ferramenta adequada ao processo e, dessa maneira, acabam também influenciando o fluido de corte correto. (RAEL, 2004; LISBOA, et al., 2013; NOGUEIRA, 2014; CIMM, 2015)

- ✓ Operações específicas e exigentes podem ser facilmente realizadas por máquinas-ferramentas clássicas, utilizando-se fluidos especiais aditivados. Pode-se citar como exemplos as brochadeiras, rosqueadeiras, superacabadoras e outras;
- ✓ Operações variadas e perfis mais complexos podem ser obtidos por máquinas-ferramentas de reprodução, empregando-se fluidos de uso geral, de grande compatibilidade, como no caso dos centros de usinagem.

4.4.6 Aspectos ecológicos

Os fluidos de corte são compostos por óleos e agentes químicos que podem trazer danos ao meio ambiente como no solo, na água e no ar. Para minimizar estes impactos, é preciso que os fluidos de corte sejam descartados corretamente conforme às exigências da legislação ambiental existente. (LISBOA, et al., 2013; NOGUEIRA, 2014)

Além do impacto ambiental, a maioria dos fluidos de corte possuem elementos que podem provocar doenças ao ser humano. Os operadores podem ter problemas de saúde como problemas de pele, câncer, ou doenças pulmonares, ao entrarem em contato com o fluido seja de maneira direta ou então por meio de vapores, névoa ou subprodutos gerados ao longo do processo de usinagem. Pode-se tomar como medidas preventivas, o uso de cremes protetores e a adoção de EPIs adequados que podem reduzir ou até eliminar o risco de contaminação do operador. (GONÇALVES, et al., 2010; SOUZA 2011; NOGUEIRA, 2014)

Portanto, os aspectos ecológicos também podem ser fatores determinantes para a seleção dos fluidos de corte.

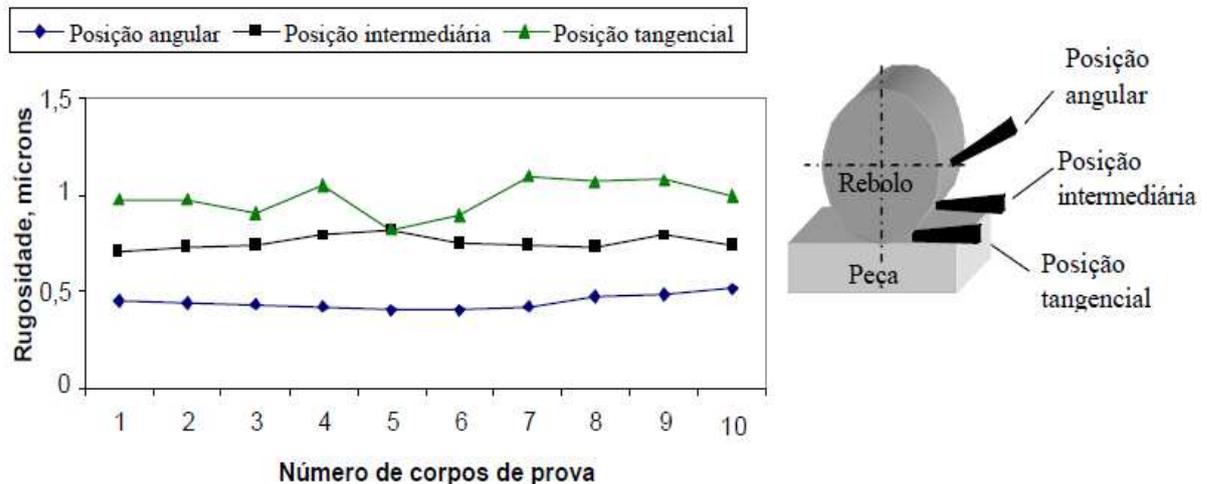
4.4.7 Análise econômica

A análise econômica também pode influenciar na seleção dos fluidos de corte pois ela trata da relação custo-benefício referente à aquisição, armazenamento, preparo, controle em serviço e o descarte do fluido de corte. Estas despesas correspondem a cerca de 16% do custo de produção por peça. (SOUZA, 2011; LISBOA, et al., 2013)

4.5 Direções e métodos de aplicação dos fluidos de corte

Muitas vezes, a utilização dos fluidos de corte é realizada de maneira inadequada. A dispersão de fluido no momento da usinagem é um exemplo de utilização incorreta, e dela provém grandes perdas como a lubrificação e a refrigeração que dependem da efetiva entrada do fluido na região de corte, não havendo a necessidade de volumes elevados de fluido, mesmo que parte deste não esteja penetrando na região de corte efetivamente. Portanto, a aplicação adequada gera menor dispersão do fluido na região de corte. Para isso, é necessário levar em consideração o tipo do bocal e o seu posicionamento pois exercem grande influência no processo de corte. É ilustrado no gráfico da figura 12 o poder do posicionamento do bocal em relação à ferramenta e à peça que pode ser percebido pela rugosidade média da peça (R_a) em um processo de retificação. (EBBRELL, et al., 2000; MONICI, et al., 2001; MUNIZ, 2008)

Figura 12: Efeito do posicionamento do bocal com relação à rugosidade



Fonte: Ebbrell et al., 2000 – adaptada

Por meio do gráfico, percebe-se o efeito do posicionamento do bocal em relação à rugosidade média da peça. A posição angular gera menor rugosidade por causa da não lubrificação/refrigeração efetiva dos grãos abrasivos da ferramenta, os quais se renovam constantemente por grãos abrasivos afiados e, assim, permite melhor acabamento superficial, resultando em maior desgaste diametral da ferramenta. Se for analisado o posicionamento do bocal de forma tangencial, o fenômeno passa a ser o contrário, pois houve uma melhor lubrificação/refrigeração, o que contribuiu para que os grãos abrasivos permanecessem por mais tempo preso ao ligante, promovendo, portanto, menor desgaste da ferramenta, solicitação térmica e valores de tensão residual. (EBBRELL, et al., 2000; MONICI, et al., 2001; CATAI, 2003; SANTOS, et al., 2003; BIANCHI, et al., 2006; MUNIZ, 2008)

Um fator fundamental na aplicação dos fluidos de corte nos processos de usinagem é a direção de aplicação. Tem sido utilizada diferentes métodos e direções de aplicação para transportar o fluido o mais próximo possível da aresta de corte na interface cavaco/ferramenta, para que ele possa cumprir adequadamente suas funções. (MACHADO, et al., 2011; LISBOA, et al., 2013; NOGUEIRA, 2014)

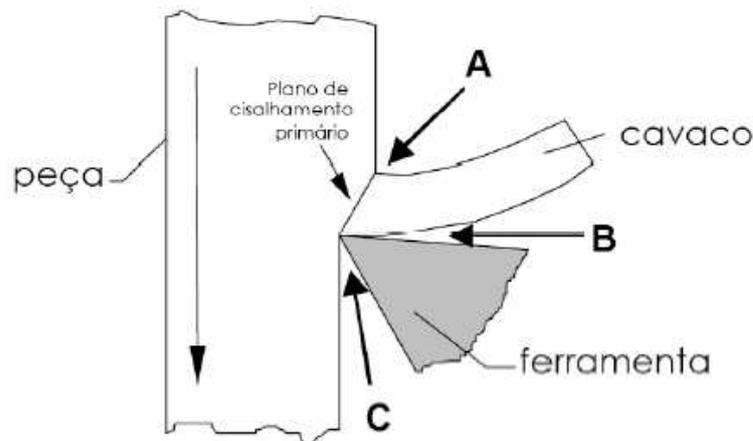
4.5.1 Direções de aplicação do fluido de corte

Nos processos de usinagem, pode-se dizer que existem três direções referentes à

aplicação dos fluidos de corte que são representadas por A, B e C, segundo a figura 13. (MICARONI, 2006; GONÇALVES, et al., 2010; MACHADO, et al., 2011)

A melhor escolha da direção de aplicação do fluido de corte depende de um conjunto de fatores relacionados ao processo como o tipo de material a ser usinado. (NOGUEIRA, 2014; SANTOS, 2014)

Figura 13: As três direções possíveis de aplicação do fluido de corte.



Fonte: Teixeira Filho (2006)

Não há um consenso referente à melhor direção de aplicação do fluido de corte. (DINIZ, et al, 2006; MACHADO, et al., 2011; LISBOA, et al., 2013; NEVES, 2013)

Segundo GONÇALVES et al. (2010), a direção A é de aplicação convencional de fluido na forma de jorro à baixa pressão (sobre cabeça), enquanto a direção B é de aplicação de fluido entre a superfície de saída da ferramenta e a parte inferior do cavaco. Algumas pesquisas apontam que a forma de aplicação do fluido é sob elevada pressão. Já a direção C é de aplicação do fluido entre a superfície de folga da ferramenta e a peça.

Segundo GRUB (2013), a direção A (sobrecavaco) é a mais clássica, certamente devido aos primeiros sistemas de aplicação serem rígidos e possuírem poucos graus de liberdade, impondo, portanto, resistência a aplicação em outras direções. A desvantagem dessa direção é que quando cavacos emaranhados são produzidos, os mesmos se tornam uma barreira evitando que o fluido de corte tenha acesso à interface ferramenta/cavaco. Já a direção B tem como desvantagem a aplicação do fluido de corte no sentido oposto ao do movimento imposto pelo cavaco, o que faz com que essa direção seja indicada apenas quando o fluido é aplicado sob alta pressão.

A aplicação do fluido de corte na direção C se caracteriza pela vantagem de atingir diretamente a interface ferramenta/peça, o que faz diminuir conseqüentemente o desgaste de flanco e ainda auxilia na qualidade da superfície usinada. Além disso, essa posição está relativamente protegida dos cavacos. (MACHADO, et al., 2011; NEVES, 2013)

4.5.2 Métodos de aplicação dos fluidos de corte

A aplicação dos fluidos de corte sólidos se dá diretamente na superfície de saída da ferramenta, antes da operação de usinagem, ou como aditivo metalúrgico. Já a aplicação dos fluidos de corte líquidos e gasosos se dá diretamente sobre região de corte. (FERRARESI, 1977; LISBOA, et al., 2013)

Os principais fatores que afetam a forma de aplicação dos fluidos de corte são o volume, a pressão, a velocidade dos jatos, o ângulo de impacto, a forma e o número de bocais. (IGNÁCIO, 1998; STEMMER, 2005; AIRES JÚNIOR, 2010; MELO, et al., 2010)

Basicamente, são três os métodos pelos quais os fluidos de corte são aplicados: jorro de fluido à baixa pressão (torneira à pressão normal); pulverização; e sistema à alta pressão. (PEGADO, 2004; GONÇALVES, ET AL., 2010; MACHADO, et al., 2011; BONFÁ, 2013)

✓ Jorro de fluido a baixa pressão

A figura 14 mostra um exemplo de aplicação de fluido de corte por jorro a baixa pressão. (GONÇALVES, et al., 2010)

Devido a sua simplicidade o jorro de fluido à baixa pressão é o método mais empregado. Neste sistema, o fluido é jorrado contra a superfície do cavaco (posição A da figura 13) ou ainda na superfície de saída da ferramenta (posição B da figura 13). Em consequência disso, uma grande quantidade de fluido é utilizada para atuar em uma região muito pequena e esta grande quantidade de fluido pode ser justificada por sua ação refrigerante. Já como lubrificante não se justifica, pois, apesar da grande quantidade, o fluido à baixa pressão não é capaz de penetrar na interface, sendo levado para fora desta região. (REIS, 2000; GONÇALVES, et al., 2010; NEVES, 2013)

Figura 14: Aplicação por jorro do fluido de corte semissintético, vazão total de 1230 l/h.



Fonte: Gonçalves et al. (2010)

✓ Sistema a alta pressão

O sistema a alta pressão requer o uso de materiais mais complexos tais como bombas de múltiplos estágios, encapsulamento da máquina-ferramenta e reservatório com alta capacidade. Este sistema possui maior poder de penetração, velocidade do fluido e economia em relação ao jorro a baixa pressão. (GONÇALVES, et al., 2010; MACHADO, et al., 2011; BONFÁ, 2013)

O sistema a alta pressão apresenta bastante eficiência no que diz respeito à função de quebra-cavaco. (NEVES, 2013)

✓ Pulverização (Atomização)

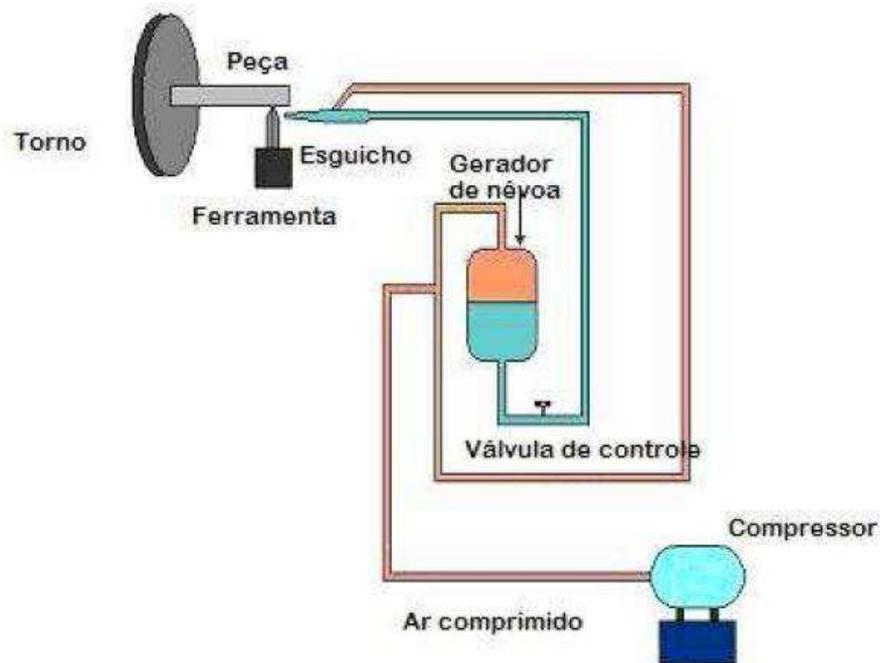
A pulverização (também chamada de névoa, atomização ou MQF “mínima quantidade de fluido”) é o método mais engenhoso e já foram obtidos bons resultados com a sua utilização. (GONÇALVES, et al., 2010; BONFÁ, 2013)

Esta aplicação consiste de uma pequena quantidade de fluido conduzida com o auxílio de ar comprimido até a região de corte. É empregada em processos que envolvem altas velocidades de corte. Um problema dessa aplicação é a inalação de gotas bem pequenas por parte do operador, o que pode comprometer a sua saúde. Por isso, é exigida uma boa ventilação da máquina. (TEIXEIRA FILHO, 2006; LUCHESI, 2011)

Segundo IOWA (2003) e MELO et al. (2010), para proteger o operador da

máquina-ferramenta, é necessário que esta aplicação tenha uma ventilação apropriada e uma correta elaboração para se aplicar o fluido, conforme a figura 15. A pressão e a direção da corrente de névoa também são fundamentais para o êxito da aplicação.

Figura 15: Esquema de um sistema de aplicação de fluido de corte por atomização.



Fonte: Melo et al. 2010

A característica mais importante por trás da atomização (pulverização através de névoa) é a diminuição de resíduos. Nesta aplicação, o fluido é atomizado, geralmente com ar comprimido, e é direcionado à interface de corte por meio de esguichos. Devido ao fato de o fluido ser aplicado em baixíssimas taxas, boa parte ou quase a totalidade do fluido utilizado é levado junto com a parte, o que provoca a eliminação da necessidade de coletar o fluido enquanto se está aplicando fluido para lubrificação, prevenção contra corrosão e uma limitada quantidade de refrigeração. Alguns métodos devem ser estabelecidos para a retirada de cavaco, pois o refrigerante não pode ser utilizado para transportar cavacos devido à baixa taxa de aplicação. (MELO, et al., 2010)

A procura pela diminuição do uso dos fluidos de corte para reduzir custos tanto de caráter econômico quanto ambiental, fez com que a técnica de baixos volumes de fluidos virasse objeto intenso de estudo. O fluido é aplicado em volumes baixíssimos numa faixa entre 10 ml/h e 200 ml/h, e geralmente nas direções contra a saída do cavaco (direção B da figura 13) ou entre a superfície de folga da ferramenta e a peça (direção C da figura 13)

juntamente com um fluxo de ar (método de pulverização). Esta técnica é chamada de MQF (Minimum Quantify of Fluid) e também é chamada por alguns autores de MQL (Minimum Quantify of Lubricant). Estas mínimas quantidades de fluido são o suficiente para diminuir o atrito da ferramenta e suficiente para evitar aderências de materiais e o volume do fluido vai variar de acordo com o processo de usinagem e com o volume de cavacos. (DORR; SAHM, 2000; VARADARAJAN, et al., 2002; MACHADO, et al., 2011; BONFÁ, 2013; SANTOS, 2014)

Usando-se a técnica de MQL, as componentes da força de corte reduzem notavelmente quando comparados com o corte a seco. Em relação á usinagem com fluido abundante, a técnica de MQL possui as vantagens de produção de peças e cavacos mais limpos, diminuição dos custos de processamento, limpeza, acondicionamento e diminuição do volume de descarte. Entretanto, possui as desvantagens de formar névoa durante sua aplicação que pode torna-se fator preocupante pois pode ser considerada como subproduto indesejável se colaborar para o aumento do índice de poluentes em suspensão do ar. (RAHMAN, KUMAR E SALAM, 2002)

A técnica de MQL não necessita de cuidados para com o descarte e reciclagem de óleo, porém, necessita-se de um controle de emissões por meio de encapsulamento da máquina-ferramenta e de um sistema de exaustão suficiente e necessidade de controle do ruído gerado pela linha de ar comprimido em funcionamento sucessivo. (RAHMAN, KUMAR; SALAM, 2002; MACHADO, et al., 2011)

4.6 Aspectos de manutenção e controle dos fluidos de corte

A manutenção e o controle dos fluidos de corte são processos que atuam para que a quantidade de descarte de fluido e a frequência com que é descartado sejam as menores possíveis, pois o descarte sempre é motivo de custo seja ele feito pelo próprio usuário ou por outra empresa. Por este motivo, é necessário que na composição dos fluidos de corte, estejam presentes elementos que possam facilitar o descarte e diminuir o seu custo. (RUNGE; DUARTE, 1990; LUKAS, 1994; LIMA, 2013)

Segundo BIANCHI et. al. (2006) e DAMASCENO (2010), os fluidos de corte precisam receber a mesma atenção que as máquinas, os equipamentos elétricos, instalações, e outros recebem. Os sistemas de refrigeração devem sempre está limpo para cada nova carga de fluido de corte. Em caso de contaminações bacterianas, os procedimentos padrões de limpeza precisam ser tomados antes, durante e depois da colocação da nova carga de fluido de

corte, que podem ser realizados por meio do uso de biocidas e produtos de limpeza adequados. Conforme LISBOA et al. (2013), é preciso de tratamentos especiais de estocagem e manuseio para os fluidos de corte e, além disso, a remoção da camada de óleo sobrenadante é fundamental, pois evita o desenvolvimento de bactérias anaeróbicas que causam os odores típicos de emulsões contaminadas. Para prevenir o desenvolvimento de microrganismos, uma remoção dos cavacos é importante pois evita a formação de pontos de estagnação no reservatório que contribui para a proliferação destes microrganismos. Além disso, é desejável que se evite a mistura de fluidos de corte de bases diferentes, pela possibilidade de não combinação, isto é, incompatibilidade entre os mesmos.

A manutenção também é fundamental quando se trata de riscos à saúde dos trabalhadores, pois, os fluidos ainda novos já são uma ameaça à saúde dos operadores e, passado algum tempo depois de sofrerem reações com contaminantes, bactérias e outros produtos, passam a ser ainda mais prejudiciais à saúde destes operadores. (SOKOVIC; MIJANOVIC, 2001)

4.6.1 Manutenção dos fluidos de corte

A manutenção tem como finalidade impedir que os fluidos de corte se deteriorem prematuramente e, portanto, ela traz alguns cuidados que são necessários desde o armazenamento até a aplicação na região de corte. (FERRARESI, 1977; MARTINS, 2008; LISBOA, et al., 2013; MAGALHÃES, 2013)

A seguir serão explicados alguns cuidados que devem ser praticados em relação aos tipos de fluidos de corte.

✓ Óleos de corte puros

Os fluidos de corte integrais podem ser utilizados indefinidamente quando estão isentos de contaminantes. Entretanto, o acúmulo de contaminação pode ocasionar a deterioração dos aditivos e das propriedades dos fluidos integrais, o que torna mais curta a vida útil dos fluidos de corte. Os fluidos de corte podem perder a eficiência em executar aquilo para o qual foram fabricados, entretanto, podem ser aproveitados em operações de lubrificação de menor exigência. (QUEIROZ, 2001; FOGO, 2008)

Os óleos se contaminam com cavacos e impurezas de maneira bem rápida e, conseqüentemente, por este motivo precisam ser constantemente removidos da máquina para

que seja realizado o processo de limpeza. Os processos de limpeza podem ser filtração, centrifugação ou então processos similares. Quando o óleo é retirado para limpeza, é necessário também que haja a higienização completa do sistema de óleo de corte, abrangendo o tanque da máquina e as tubulações. Depois de limpo ou então quando é novo, o óleo tem que ser colocado novamente no sistema. A frequência da operação de limpeza depende de cada processo e deve ser estudada para cada caso particular. Em certos casos, determinadas máquinas operatrizes podem fazer a filtração do óleo, isso se houver tubulações e espaços necessários para uma filtração apropriada em seu projeto. Para estes casos é fundamental saber se a filtração está sendo eficientemente realizada e necessita-se efetuar a limpeza do filtro. (FERRARESI, 1977; MARTINS, 2008; LISBOA, et al., 2013; MAGALHÃES, 2013)

Em relação as operações de limpeza, a filtração pode ser feita de diversos modos, desde a mecânica até a magnética. Já a centrifugação do óleo normalmente é realizada em conjunto com uma unidade de aquecimento que tem a finalidade retirar o máximo possível o óleo aderente aos cavacos. (FERRARESI, 1977)

Quando a reciclagem ou a reutilização do óleo não for possível, o mesmo pode ainda servir de combustível, contanto que o forno e o fluido atendam às exigências da legislação específica para a queima de compostos de hidrocarbonetos que, entre outras exigências, não devem conter na sua constituição nenhum composto com cloro. (QUEIROZ, 2001; FOGO, 2008)

✓ Óleos emulsionáveis e fluidos químicos

Os óleos emulsionáveis e fluidos químicos precisam de mais atenção e cuidado no processo de limpeza do que os óleos de corte puros e, além disso, assim como os óleos integrais também são contaminados pelo cavaco e por impurezas. (MARTINS, 2008; MAGALHÃES, 2013)

Toda emulsão deve ser preparada misturando-se o óleo na água. A emulsão invertida (água em óleo) resultará em uma mistura instável. O primeiro passo tem início na preparação da emulsão. Tanto a quantidade de água como a de óleo (ou agentes químicos para o caso dos fluidos químicos) devem ser precisamente medidos e misturados em um tanque bem limpo (Magalhães, 2013). Primeiro é medida a quantidade de água que é colocada em um reservatório bem limpo. Logo depois, é medida a quantidade de óleo que também será colocado no reservatório onde já está a água. À medida que o óleo é colocado no reservatório, deve-se agitar a água para que a emulsão aconteça. (SÁ, 2010; LISBOA, et al., 2013).

Conforme MAGALHÃES (2013), a água que deverá ser usada na mistura precisa ser devidamente tratada e para isso é preciso controlar dois fatores que são a dureza e a presença de microrganismos na água. Deve-se controlar rigidamente sua dureza a fim de impedir que os minerais e sais presentes na água impossibilitem a operação de emulsificação. Conforme FERRARESI (1977) e LISBOA et al. (2013), deve-se utilizar sempre preferencialmente água sem dureza e se for constatado a presença de dureza, é preciso primeiro que a água seja tratada antes de ser empregada na preparação do fluido.

A presença de microrganismos na água também precisa de monitoramento em virtude de diminuir drasticamente a vida das emulsões pois os microrganismos (bactérias e fungos) podem tirar a estabilidade das emulsões. Por isso, usa-se bastante agentes bactericidas na composição dos óleos solúveis para evitar a proliferação de microrganismos. (MARTINS, 2008; MAGALHÃES, 2013)

Se o processo de limpeza não for devidamente realizado, algumas características desagradáveis podem ser aceleradas, tais como a proliferação de bactérias, mau cheiro, a emulsão fica rançosa e perde suas qualidades necessárias ao processo. (MARTINS, 2008; LISBOA et al., 2013)

Outro fator relevante é a frequente averiguação da quantidade de água e óleo presentes na emulsão, pois, em operações cuja geração de calor é muito grande, a água pode evaporar e isso faz com que as propriedades refrigerantes da emulsão sejam perdidas. Porém, pode ocorrer o oposto como no caso da retificação, onde o óleo é consumido mais rapidamente, deixando a emulsão mais fraca, e, por isso, as propriedades lubrificantes e antioxidantes acabam sendo perdidas. Os cuidados com a manutenção dos óleos emulsionáveis e fluidos químicos são tão importantes que a vida destes pode variar de uma semana a seis meses, dependendo de como os cuidados forem realizados. (FERRARESI, 1977; LISBOA, et al., 2013; MAGALHÃES, 2013)

4.6.2 Aspectos de controle de manutenção

De acordo com IOWA (2003), quando ocorrer alterações da qualidade dos fluidos, elas devem ser corrigidas adequadamente como, por exemplo, por meio do ajustamento na concentração do fluido, ou pela adição de biocidas, além do controle do pH. Além disso, é preciso descobrir qual o tipo de alteração e o que levou a ela.

Para conservar os fluidos de corte e manter suas propriedades, deve-se realizar constantemente o controle de determinados itens como pH, proteção anticorrosiva,

concentração, e, eventualmente, a contagem microbiológica. É necessário também destacar a importância da introdução do controle da qualidade da água que pode influenciar na estabilidade das emulsões. (RUNGE E DUARTE, 1990; CATAI, 2004; LIMA, 2013)

- Valor do pH

O pH é uma forma de medição da acidez ou alcalinidade de uma solução aquosa, sendo que a água destilada tem pH 7,0; substâncias ácidas têm pH < 7,0 e alcalinas têm pH > 7,0. (RUNGE; DUARTE, 1990; BOSSARDI, 2008; LIMA, 2013)

Os valores do pH de soluções recém preparadas devem diminuir nas primeiras horas de uso ou até mesmo em alguns dias, pela absorção do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, formando ácido carbônico neste processo. A redução típica é de 0,5 no valor do pH. (BOSSARDI, 2008; GONÇALVES, 2008; LIMA, 2013)

O valor do pH é um forte anunciante do nível de ataque bacteriano presente na emulsão e da queda das propriedades anticorrosivas da mesma, já que que a acidulação gradual da emulsão ocorre, principalmente, porque as bactérias produzem subprodutos ácidos provenientes do metabolismo de seus nutrientes. As bactérias produzem esses subprodutos ácidos que diminuem o pH da emulsão e também sua proteção anticorrosiva, e, além disso, a presença de fungos nos fluidos podem criar uma coloração avermelhada como mostra a figura 16. Para que isso não ocorra, o fluido deve ter o valor de pH em nível aceitável. (SILVA, 2000; MELO, et al., (2010)

Figura 16: Cultura de bactérias em fluido de corte (a coloração avermelhada é devido à presença de fungos).



Fonte: Melo et al. (2010)

O valor de pH para a pele humana tem valor geralmente entre 5,5 e 5,6. Portanto, soluções que possuam valores de pH maiores ou menores a estes valores podem provocar irritações na pele do operador, contudo o grau de irritação vai depender da sensibilidade de cada pessoa. Caso o pH do fluido estiver em um valor inferior a 8,5, o fluido perde eficiência, a probabilidade de oxidação e a atividade biológica aumentam, ocasionando odores desagradáveis e quebra da emulsão. Em contrapartida, se o aumento do pH ultrapassar 9,3, o risco de irritações na pele seria maior. O mais perfeito seria um pH em torno de 9 e 9,3 para a emulsão, porém, na prática o valor mais usual está entre 8,5 e 9,3 (EL BARADIE, 1996; LIMA, 2013). Pelo fato do crescimento bacteriano ser causado pelo calor, nas regiões que se caracterizam por altas temperaturas é recomendável utilizar pH com valores mais altos. (BIENKOWSKI, 1993; GONÇALVES, 2008)

- Concentração do fluido

A manutenção da concentração dos fluidos é essencial para testificar sua qualidade, controlar taxas de desenvolvimento das bactérias e elevar a vida útil da ferramenta, pois é uma forma de medição da quantidade de óleo presente na emulsão e que pode variar conforme o tipo de produto e especificações de produção. (MUNIZ, 2008)

A alta concentração eleva os gastos com desperdícios, diminui a dissipação de calor e lubrificação, colabora com a formação de resíduos e espumas, além de manchar a máquina-ferramenta ou as peças. A alta concentração também aumenta o risco de saúde do operador em virtude de ser mais tóxica, provoca aumento dos sintomas de irritação de pele e um indesejável ambiente de trabalho para o operador. Do outro lado, a baixa concentração pode diminuir a lubricidade, diminuir a vida útil da ferramenta, aumentar a atividade biológica e propiciar a oxidação das peças. (BIENKOWSKI, 1993; TUHOLSKI, 1993; GOMES, 2005; BOSSARDI, 2008; GONÇALVES, 2008; LIMA, 2013)

As perdas do concentrado e da água acontecem por causa dos espirros e da formação de névoa. Por este motivo, é preciso que haja o monitoramento da concentração do fluido e este monitoramento deve ser feito regularmente por meio de refratômetros que está ilustrado na Figura 17. (GOMES, 2005)

Figura 17: Refratômetro utilizado para manutenção da concentração do fluido



Fonte: Gomes, 2005

Além da refratometria, os métodos de monitoramento para determinar a concentração são a titulação, a quebra ácida e outros. (RUNGE; DUARTE, 1990; ROSSMORE, 1995; GONÇALVES, 2008)

- Qualidade da água

A qualidade de água é de caráter primordial para a formulação de emulsões. A dureza e a quantidade de sólidos dissolvidos são indicadores que devem ser monitorados e controlados para a obtenção de melhor desempenho e para aumentar a vida útil do fluido. (BOSSARDI, 2008; LIMA, 2013)

A qualidade da água é extremamente essencial para a utilização eficaz dos fluidos de corte aquosos, pois a vida útil do sistema, a eficiência da filtração, as características da espuma formada, e até mesmo a vida da ferramenta e o acabamento final da peça sofrem influência da qualidade da água. A dureza total e os sólidos totais dissolvidos (STD) são elementos de monitoramento muito importantes para garantir a qualidade da água de preparação dos fluidos de corte. (BIENKOWSKI, 1993; EL BARADIE, 1996; GONÇALVES, 2008)

A “água dura” pode levar a formação de compostos insolúveis, devido à combinação dos elementos cátions de cálcio, magnésio e ferro com sabões, agentes umectantes e emulgadores. Alumínio e eventualmente o zinco, também podem estar presentes em menores quantidades, podendo produzir efeitos indesejáveis. Além disso, esses compostos insolúveis podem diminuir a reserva de inibidores de corrosão e biocidas, gerar depósitos pegajosos na máquina-ferramenta e obstruir tubulações. (MUNIZ, 2008; GONÇALVES, 2008)

A quantidade de sólidos dissolvidos também é um elemento importante de avaliação da qualidade da água para controlar o desenvolvimento de bactérias que fazem com que o fluido se torne rançoso. (IOWA, 2003)

- Aspecto microbiológico das emulsões

Comumente todos os tipos existentes de bactérias (aeróbicas, anaeróbicas e anaeróbicas facultativas) podem estar presentes nas emulsões ao longo dos processos de usinagem e estas podem ter boa resistência ao calor. Portanto, em fábricas ou indústrias, fontes de contaminação sempre irão surgir, porém, pode-se manter um controle através de determinadas técnicas como a aplicação de biocidas que possuem bastante eficiência e são largamente utilizados além de conhecidos. (RUNGE; DUARTE 1990; LIMA, 2013)

A grande quantidade de água presente nos fluidos emulsionáveis é o principal elemento causador da biodegradação, sendo que os agentes químicos antimicrobiológicos tornaram-se parte integrante dos fluidos de corte desde as primeiras notícias sobre a atividade microbiológica. (ROSSMORE, 1995)

As cadeias de hidrocarboneto e as águas presentes na composição dos fluidos de corte são elementos nutritivos para os microrganismos, o que faz com que os fluidos de corte fiquem susceptível à contaminação microbiológica. (CAPELLETTI, 2006; GONÇALVES, 2008)

Conforme ROSSMORE (1995), a biodeterioração dos fluidos de corte solúveis em água ocorre devido ao desenvolvimento de bactérias sulfato-redutoras e pseudomonas oleovorans, sendo que a produção de H₂S (sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico) e a separação/quebra da emulsão do óleo solúvel por esses microrganismos colabora para a subsequente corrosão da peça usinada e da máquina ferramenta. De acordo com GONÇALVES (2008), além de provocar elevação com custos, tais como a perda de tempo produtivo e a diminuição da vida útil do fluido que requer reposição e reclamação dos trabalhadores, a biodeterioração também causa problemas ambientais com o descarte e disposição final.

Não só as bactérias aeróbicas e anaeróbicas podem deteriorar as soluções, mas os fungos também são capazes de degradar os fluidos. Os fungos proliferam de forma mais rápida quando o crescimento das bactérias é totalmente inibido, e o seu crescimento descontrolado provoca problemas maiores do que as bactérias, pois podem provocar obstrução completa das tubulações e filtros, e também podem formar uma camada

sobrenadante de material viscoso nas emulsões e também serem mais difíceis de remover e eliminar. (RUNGE; DUARTE, 1990; GONÇALVES, 2008)

A progressiva procura por fluidos de corte bioresistentes tem resultado em melhor controle da população microbiológica com biocidas ou os chamados fluidos de corte com bioestabilidade, sendo que, em ambos os casos, este processo está associado com perigos e doenças ocupacionais, tais como dermatites devidos ao pH alto ou aos biocidas, assim como, a síndrome respiratória aguda causada por endotoxinas e as discussões a respeito do potencial carcinogênico. (ROSSMORE, 1995)

Para que as emulsões não sofram com os diversos tipos de contaminações, o controle microbiológico das emulsões é essencial. A contaminação por bactérias aeróbias e anaeróbias ocasiona irritação na pele, diminuição do pH, corrosão e odor desagradável podendo levar a quebra da emulsão com a formação de camadas de óleo sobrenadante. Já a contaminação por fungos provoca formação de camadas sobrenadante de óleo, entupimento de filtros e tubulações. (GONÇALVES, 2008; PIUBELI, et al., 2008)

- Teste de corrosão

O poder anticorrosivo dos fluidos é diretamente afetado pelo seu nível de contaminação que também resulta na redução de seu pH. Quando o fluido de corte está com pH muito baixo, o teor de material anticorrosivo fica debilitado, diminuindo, portanto, a proteção dada pelo fluido às ferramentas, peças e componentes da máquina. Para que isto não ocorra, pode-se acrescentar materiais para causar o aumento do pH até um valor plausível quando este estiver abaixo do nível adequado. Além disso, também podem ser acrescentados materiais anticorrosivos que possam recuperar esta propriedade. (RUNGE; DUARTE 1990; LIMA, 2013)

Conforme a norma DIN 51.360, através de testes com cavacos de ferro fundido, pode-se avaliar as propriedades anticorrosivas dos fluidos. Estes testes avaliam a capacidade de inibição de corrosão dos anticorrosivos presentes nos fluidos, tendo em vista que o ataque de bactérias promove consumo de compostos anticorrosivos. (RUNGE; DUARTE 1990; LIMA, 2013)

4.6.3 Descarte dos fluidos de corte

Quando perdem sua utilidade os fluidos de corte precisam ser substituídos. Essa

substituição precisa estar dentro de rigorosos regulamentos que tratam sobre a eliminação dos resíduos oleosos (considerados como resíduos perigosos). A reciclagem dos fluidos de corte seria uma saída, porém se não for possível, o seu descarte deve ser realizado. Além disso, é preciso que este processo seja feito rigorosamente da melhor maneira possível. (EL BARADIE, 1996; MATTOS, et al., 2008; LIMA, 2013)

Os fluidos de corte solúveis em água não podem ser descartados diretamente no sistema de esgoto. É preciso fazer a separação do óleo e dos produtos químicos dissolvidos na água, isto é, faz-se necessário separar o óleo da água (no caso de emulsões) e dos demais produtos químicos da água (no caso de soluções) antes do descarte. (BIANCHI, et al., 2006; TESSARO, 2008; DAMASCENO, 2010; GONÇALVES, et al., 2010)

Todo fluido de corte solúvel em água precisa ser primeiro tratado antes de ser descartado, pois os elementos químicos contidos nesses fluidos, tais como óleos, nitritos, fenóis, fosfatos e metais pesados são excessivamente poluentes. Entretanto, o conteúdo do óleo de corte pode ser quebrado e separado da emulsão por um tratamento, utilizando ácido ou sulfato de alumínio, de tal forma que seja possível o tratamento da fase aquosa. (EL BARADIE, 1996; CATAI E BIANCHI, 2007; MATTOS, et al., 2008; LIMA, 2013)

Segundo SCANDIFFIO (2000), os restos de emulsões que contêm óleo precisam ser tratados pois não podem ser descartados em sistemas de esgoto ou de água. A seleção correta do método para o tratamento de efluentes deve-se basear nos propósitos pretendidos e possui os seguintes parâmetros: custo por litro; classe de água a qual o despejo se destina; contaminantes específicos que se deseja remover; e planejamento e execução do sistema de tratamento de acordo com o órgão normativo.

Ainda de acordo com SCANDIFFIO (2000), alguns processos de descarte dos fluidos de corte podem se dá por meio da reciclagem, do aterro sanitário e da queima. A reciclagem abrange a limpeza química e física para que seja possível a readitivação e, assim, se tornem um produto próprio para uso. Já o aterro sanitário é o local que deve estar longe do alcance da área urbana. Todavia, o espaço ocupado pelos resíduos tem crescido e as áreas para aterro sanitário tem diminuído em virtude da enorme demanda de óleo nas indústrias. Há ainda o risco de vazamento e contaminação do solo, o que resultaria em um grande desastro.

Pode-se dividir o processo de descarte das emulsões em três tipos: químico, físico e físico-químico. A seleção do procedimento de descarte vai depender do estado da emulsão, de sua composição, além do custo envolvido. Todos os processos de descarte possuem os determinados estágios em comum: a quebra da emulsão, a separação do óleo e o tratamento da água separada. Depois da sua neutralização, a fase aquosa resultante deve estar segundo a

legislação para o posterior descarte. Já a fase oleosa depois de separada é extraída e tratada como um fluido integral. (BIANCHI, et. al., 2006; MARTINS, 2008; DAMASCENO, 2010; GONÇALVES, et al., 2010)

A ultrafiltração e a quebra térmica são os processos físicos mais empregados para o processo de descarte das emulsões. No processo de ultrafiltração, a emulsão se move por meio de permeadores que contêm membranas tubulares, cujos poros controlados evitam a passagem das moléculas de óleo e realizam a quebra da emulsão. No processo de quebra térmica, o aquecimento da emulsão é a responsável pela separação da fase aquosa e oleosa, este aquecimento provoca a evaporação da fase aquosa. (BIANCHI et. al., 2006; DAMASCENO, 2010)

Já nos processos químicos, para que a separação ocorra, são adicionados sais para quebrar as emulsões devido à degradação dos emulgadores. Essa reação química pode ser ajudada por sais metálicos quando estes são adicionados. O óleo demulgado é removido da superfície do fluido no reservatório de tratamento. (BIANCHI, et. al., 2006; GONÇALVES, et al., 2010)

E por fim nos processos físico-químicos, ocorre a quebra ácida com adsorção a quente, com ou sem estágio de separação mecânica. Além disso, a reação química é aumentada pelo aquecimento da emulsão. A água separada é neutralizada, e, por isso, ocorre a precipitação dos sais utilizados para quebrar a emulsão em forma de hidróxidos metálicos que adsorvem o óleo remanescente na água. A borra formada deve ser desidratada antes do descarte, podendo ser descartada em depósitos especiais ou queimadas em instalações especializadas. (DAMASCENO, 2010; GONÇALVES, et al., 2010)

Quando se fala de óleos integrais, os mesmos podem ser vendidos para nova refinação ou podem ainda ser regenerados pelo fabricante do fluido ou por companhias especializadas. Além disso, os óleos integrais podem ser queimados em caldeira, contanto que estejam de acordo com as leis ambientais, ou seja, os óleos precisam estar no estado seco e livre de impurezas, possuindo pouca concentração de enxofre e sem cloro. (QUEIROZ, 2001; FOGO, 2008; MARTINS, 2008; TESSARO, 2008; MELO et al., 2010; LIMA, 2013)

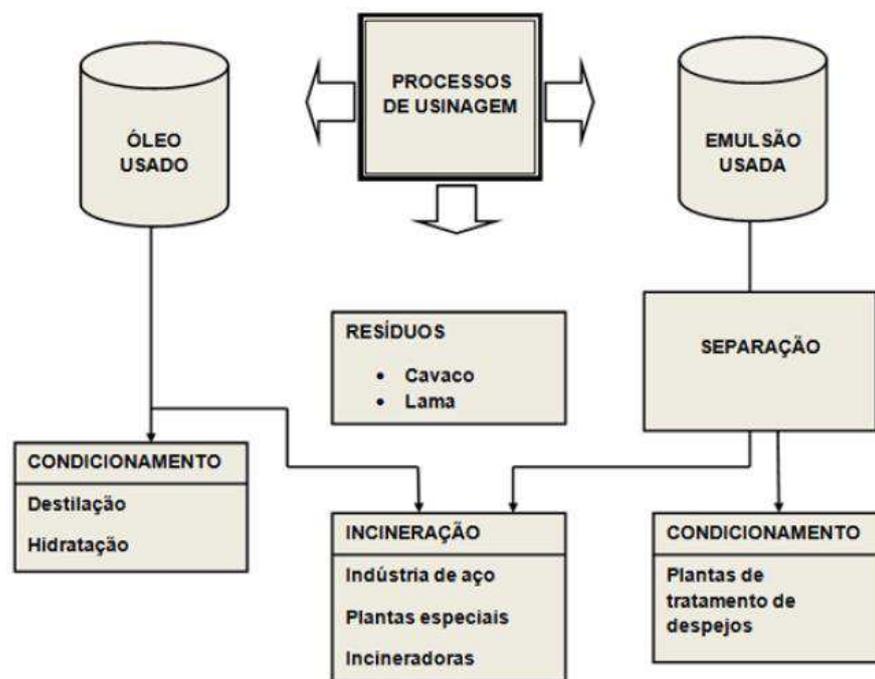
A queima é processo de descarte mais apropriado para os óleos integrais e também é o mais comum. Entretanto, para que não ocorra a formação de dioxinas, alguns óleos que possuem aditivos EP precisam ser queimados a temperaturas bastante altas chegando a valores acima de 1100° C. (SILVA, 2000)

Segundo SCANDIFFIO (2000) e BIANCHI et al. (2006), há um determinado tipo de tratamento para cada tipo de óleo a qual se deseja descartar e para cada tipo de emulsão a

qual se deseja descartar, são utilizados parâmetros específicos em relação aos tipos e as quantidades de produtos químicos a serem empregados nos processos de separação. Segundo BIANCHI et al. (2006), a escolha do processo que deverá ser utilizado depende de uma análise econômica, na qual o volume de material a ser descartado é um fator preponderante.

A figura 18 ilustra um esquema apropriado para o descarte de fluidos de corte. (SOKOVIC E MIJANOVIC, 2001; DAMASCENO, 2010)

Figura 18: Esquemática de descarte do fluido de corte



Fonte: Sokovic e Mijanovic, 2001 (adaptada)

Para que se tenha uma adequada disposição de óleos e emulsões que se torna cada vez mais importante, é preciso de uma correta avaliação dos parâmetros ecológicos dos fluidos de corte, informações obtidas a partir da análise do ciclo de vida do fluido. (SOKOVIC E MIJANOVIC, 2001)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fluidos de corte são imprescindíveis nos processos de usinagem devido às funções que desempenham, tendo como principais a refrigeração utilizada preferencialmente à altas velocidades de corte e a lubrificação indicada para baixas velocidades de corte.

A aplicação dos fluidos pode gerar grandes vantagens no aumento da taxa de produção por meio de benefícios tais como o aumento da vida útil da ferramenta, melhor acabamento superficial da peça, entre outros.

Porém, para que os fluidos atuem com máximo desempenho, é necessário que a sua escolha seja a mais apropriada possível para a aplicação no processo. Essa seleção vai variar de acordo com vários fatores como o tipo de material da peça e da ferramenta, a saúde do trabalhador, mínimo impacto ao meio ambiente, etc.

A seleção se torna complexa devido à vasta gama de fluidos de corte que se encontram no mercado. São encontrados vários tipos de fluidos e não há uma classificação padrão para estes, entretanto, de modo geral, pode-se dizer que são encontrados na forma sólida, líquida e gasosa. Há, então, uma grande variedade de fluidos de corte com várias finalidades.

A direção de aplicação é fundamental no método de aplicação do fluido de corte. Normalmente, são três os tipos de direção assim como os métodos de aplicação que se dá por meio do jorro de fluido a baixa pressão, pulverização e sistema à alta pressão. Caso não seja aplicado corretamente, o fluido de corte pode perder sua eficiência.

O descarte dos fluidos de corte é algo que sempre traz custos para empresa, e, por isso, a frequência com que é descartado deve ser a menor possível. Neste cenário, entram os processos de manutenção e controle que tratam de diminuir no máximo possível o descarte dos fluidos.

A manutenção e o controle dos fluidos são essenciais, pois podem impedir a proliferação de bactérias e fungos ou a contaminação por cavacos e impurezas, aumentando, assim, a vida útil do fluido e evitando seu descarte de forma precoce.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Estudar a otimização do controle da vazão do fluido de corte e das partículas em suspensão.
- ✓ Estudar a manutenção e o controle dos fluidos de corte, especialmente, no manuseio e armazenagem para o prolongamento de sua vida útil.
- ✓ Estudar mais especificamente o tratamento e a reciclagem dos fluidos de corte para minimizar os impactos ambientais causados por estes.

REFERÊNCIAS

- AIRES JUNIOR, Roberta de Melo. **Tendência, aplicação e aspectos ecológicos dos fluidos de corte nos processos de usinagem convencional**. 2010, p.23. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2010.
- ALVES, S.M. **Adequação ambiental do processo de retificação através de um novo conceito de fluido de corte**. 2005, 185 f., Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- ATTANASIO, A. et al. **Minimal quantity lubrication in turning: effect on tool wear**. Wear. Italy: Elsevier B. V. Abr 2005.
- AVILA, R. F; ABRÃO, A.M. The effect of cutting fluids on the machining of AISI 4340 steel. **Journal of Materials Processing Technology**, n.119. p. 21-26, 2001.
- BATISTA, Ricardo Augusto Bastos. **Tendências do corte por arranque de aparmaquinagem**. 2010. Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2010.
- BAWA, H.S. **Manufacturing processes – I**. New Delhi: The McGraw-Hill Companies, 2004. Disponível em: <<https://books.google.com.au/books?id=r:%22H+S+Bawa>>. Acesso em: 22 out. 2015.
- BENITO, J. M., COCA, J., PAZOS, **Formulation, Characterization and Treatment of Metalworking Oil-in-Water Emulsions**. Original Paper. 2009.
- BERSENKOWITSCH, H. Medidas de segurança no manuseio de agentes refrigerantes. **Maquinas e Metais: Saúde ambiental**, Florianópolis, v. 409, p. 24-34, fev., 2000.
- BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R.; SERNI, P. J. A.; DOTTO, F. R. L. In-process grinding monitoring through acoustic emission. **Journal of Brazilian Society of Mechanic Science & Engineering**. v.28, n.1, p. 118-124, 2006.
- BIENKOWSKI, K. Coolants & Lubricants - The Truth. **Manufacturing Engineering**. p. 90-96, mar. 1993.
- BONFÁ, Miguel Mandú. **Torneamento do aço endurecido AISI D6 utilizando mínima quantidade de fluido de corte**. 2013, 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Urbelândia, 2013.
- BOSSARDI, Júlio Celso dos Santos. **Análise comparativa dos meios lubri-refrigerantes na furação do ferro fundido vermicular com brocas helicoidais de metal duro revestidas com TiAIN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.
- BRAGHINI, A. J. **Metodologia para escolha de fluidos de corte não agressivos ao meio ambiente para aplicação em usinagem de metais**. 230f. Tese (Doutorado em Engenharia

Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

CAKIR, O; YARDIMEDEN, A; OZBEN, T.; KILICKAP, E., Selection of Cutting Fluids in Machining Processes. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**. 25(2), p. 99-102, 2007.

CAPELLETTI, R. V. **Avaliação da atividade de biocidas em biofilmes formados a partir de fluido de corte utilizado na usinagem de metais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Faculdade de Engenharia Química, Universidade de Campinas, 2006. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/doct/?cod>> Acesso em: 26 out de 2008.

CASTROL, Industrial S. A. **Fluidos de corte**: manual de treinamento, 124 p., 1999.

CATAI, Rodrigo Eduardo et al. Estudo dos Métodos Otimizados de Aplicação de Fluidos de Corte no Processo de Retificação. **Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 22, p. 7-18, 2003.

_____, Rodrigo Eduardo. **Otimização das condições de refrigeração/lubrificação no processo de retificação cilíndrica de mergulho**. 2004. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2004.

_____, R. E; BIANCHI, E. C. **Principais problemas causados pelos fluidos de corte**. Máquinas e Metais. p. 136-138, 2007.

CIMM. **Material Didático**: os fluidos de Corte. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4757#.VGVw8zTF96w>. Acesso em: 18 out. 2015.

COSTA, E. S., 2004, **Furação de aços microligados com aplicação de mínima quantidade de fluido de corte – MQF**. 2004. 311 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais. 2004.

DAMASCENO, Ricardo Fernando. **Análise da influência da profundidade de corte e de diferentes métodos de lubri-refrigeração na retificação plana de aço ABNT 4340**. 2010. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia da UNESP, Bauru, 2010.

DE CHIFFRE, W. Belluco L. Surface integrity and part accuracy in reaming and tapping stainless steel with new vegetable based cutting foils. **Tribology International**. v. 35, p. 865-870, 2002.

DIAS, Alexandre Magno de Paula. **Avaliação ambiental de fluidos de corte utilizados em processos convencionais de usinagem**. 2000. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2000.

DINIZ, A., E.; MARCONDES, F., C.; COPPINI, N., L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: MM editora, 1999, 242 p.

_____, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Art Líber Editora, 2000.

_____, A. E., Coppini, N. L., Marcondes, F. C. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: MM Editora, 2001. 244 p.

_____, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. Artiliber Editora Ltda: Campinas, SP. 4 ed. 2003. p. 230-248.

_____, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artiliber Editora, 2006.

DORR, J., SAHM, A. A mínima quantidade de lubrificante avaliada pelos usuários. **Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 418. p. 20-39. nov. 2000.

DROZDA, T., J.; WICK, C. (Ed.) **Tool and Manufacturing Engineers Handbook - Machining**. 4.ed. v.1. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1983, p. 4.1 -4.5 3.

EBBRELL, S. et al. The effects of cutting fluid application methods on the grinding process. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, School of Engineering, Liverpool John Moores University, Liverpool, v. 40, n. 2, p. 209-223, 2000.

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

EZUGWU, E.O. An overview of the machinability of aerospace alloys. **Journal of Materials Processing Technology**. v. 134, p. 233-253, 2003.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 11 ed. São Paulo: Edgard Blucher. 1977. 751p.

_____, D., 1981, **Fundamentos da Usinagem dos Metais**, Editora Edgard Blucher Ltda, vol 1, SP, 751 pags.

_____, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Editora Blucher, 2003.

FOGO, Fabiane Capraro. **Avaliação e critérios de eficiência nos processos de tratamento do fluido de corte por eletroflotação**. 2008. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências)- Instituto de Química São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

FRANÇA, V. T. **Estudo da perda da circularidade e rugosidade de peças retificadas utilizando as redes neurais artificiais**. 2005. 190f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.

GOMES, J., O.; Carvalho, M., V.; Fernandes, D.; F. **Manual de Gerenciamento de Fluidos de Corte**. São José dos Campos, Abril de 2005.

GONÇALVES, Bruno Bastos. YAGINUMA, Gabriel Fernando. YAMAMOTO, Marcelo Kazuo. **Óleo de usinagem: Tipos, Classificação e Desempenho.** Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, 2010. 13 p. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_18.pdf>. Acesso em: 16/10/2015.

GONÇALVES, Penha Suely de Castro. **Boas práticas ambientais na utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem.** 2008. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da UNESP, Bauru, 2008.

GRUB, André Mangetti. **Avaliação do desempenho de fluidos de corte contaminados no processo de torneamento do aço inoxidável austenítico V304UF.** 2013. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2013.

HUMMEL, P. M.; LILLA, A.; Berky, E. **A usinagem do alumínio sem fluido de refrigerante.** Revista Máquinas e Metais, v. 421, p. 22-31. 2001

IGNÁCIO, Elcio Antônio **Caracterização da legislação ambiental brasileira voltada para a utilização de fluidos de corte na indústria metal-mecânica.** Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

IOWA, Waste Reduction Center. University Of Northern Iowa. **Cutting Fluid Management for Small Operations: a Practical Pollution Prevention Guide.** 3 ed. dez. 2003.

IRANI, R. A.; BAUER, R. J.; WARKENTIN, A. A review of cutting fluid application in the grinding process. **International Journal of Machine Tools & Manufacture: Design, Research and Application.** v. 45, p. 1696-1705, 2005.

KLUIJSZO, L. A. C.; SOARES, R. B. Elementos que melhoram a usinabilidade de aços. **Revista Máquinas e Metais,** n. 471, p. 76-99, abr. 2005.

KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren, Band 1:** Drehen, Fräsen, Bohren. 6.Auflage. Berlin: Springer, 1999. 471 p.

Kustas, F. M.; Fehrebnbacher, L. L.; Komanduri, R.. Nanocoatings on cutting tools for dry machining. **CIRP Annals,** v. 46(1), p. 39-42, 1997.

LEE, S. W.; LEE, Y. C.; JEONG, H. D.; CHOI, H. Z. The effect of high pressure air jet on form accuracy in slot grinding. **Journal of Materials Processing Technology.** v. 128, p. 67-72. 2002.

LI, M. et. al. **Development of high water-content cutting fluids with a new concept fire prevention and environmental protection.** Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology. p. 231-236, 2000.

LIMA, Hugo Vilaça. **Análise do Comportamento do Fluido de Corte Recuperado/Reformulado no Processo de Retificação.** 2013. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Departamento de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

LISBOA, Fabio de Cordeiro. MORAES, Jessyca Jordanna Barroso de. HIRASHITA, Massako de Almeida. **Fluidos de corte: uma abordagem geral e novas tendências**. In: Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 33, 2013, Salvador. Anais... Salvador 16 p.

LUCHESI, Vanda Maria. **Estudo teórico da condução de calor e desenvolvimento de um sistema para a avaliação de fluidos de corte em usinagem**. 2011. Tese (Doutorado em Manufatura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18145/tde-22072011-152531/>>. Acesso em: 21 out. 2015.

LUKAS, J. Fluids Getting More Attention from Management. **Lubricants World**. v. 26, Jul. 1994.

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

MAGALHÃES, Sávio Borba. **Análise econômica da influência do fluido de corte no torneamento cilíndrico externo do aço inox 304L**. 2013. 52 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013.

MARTINS, Moacir José. **Análise da utilização e descarte do fluido de corte na região de Joinville – SC**. 2008. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Instituto Superior Tupy, Joinville, 2008.

MATTOS, M. et al. **Recycling of oily ultrafiltration permeates to reformulate O/Wemulsion**. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, n.331, p. 8-5, 2008.

MELO, Douglas S. BÄTZNER, Louise Novello. SALATI, Marcelo Reami. **Fluidos de corte**, set. 2010. Disponível em <<http://docslide.com.br/documents/01-fluidos-de-corte-55a821c15dbe8.html>>. Acesso em: 25/08/2015.

MICARONI, Ricardo. **Influência do fluido de corte sob pressão no torneamento do aço ABNT 1045**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP, 2006.

MIRANDA, Clayton Toledo. **Nova formulação de óleo solúvel para usinagem de metais ferrosos e não ferrosos**. Lorena, 2011. 65 f. Monografia (Graduação do curso de Engenharia Industrial Química)– Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2011.

MONICI, Rodrigo Daun et al. **Estudo do método de aplicação de fluidos de corte no processo de retificação**. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. 8 pgs. Curitiba, 2001.

MUNIZ, C. A. et al. **Estudo do comportamento de propriedades físico-química de novas formulações de fluido de corte utilizando uma metodologia experimental**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), p.9, p. 6-7, 2007.

_____, Cláudia Alves de Sousa. **Novas Formulações de Fluidos de Corte: Otimização, Propriedade e Recuperação do Óleo Usado.** 2008. Dissertação (Doutorado em Química) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Departamento de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2008.

NEVES, Tiago do Espírito Santo Baldez. **Investigação da influência da aplicação de óleos vegetais comestíveis como fluido de corte no processo de furação do aço ABNT 1045.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia. 2013.

NOGUEIRA, André G. Amorim. **Fluidos de Corte: aspectos gerais, tendências tecnológicas e impactos gerados a saúde humana e ao meio ambiente.** 2014. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís - MA, 2014.

NOVASKI, O; RIOS, M. Introdução teórica e vantagens de uso na usinagem de aços-liga. **Revista Máquinas e Metais**, ano XL, n 460, p. 214-223, maio 2004.

OLIVEIRA, J. D de; et al. **Aprimoramento das condições de lubri-refrigeração na retificação de aços endurecidos.** In: Congresso Brasileiro De Engenharia De Fabricação, 6., Caxias do Sul: ABCM, 2011. p. 1-13.

PAWLAK ET AL., Z. **The tribochemical and micellar aspects of cutting fluids.** Tribology International. v. 38, p. 1–4. 2005.

PEGADO, Roberta de Melo. **Novas Formulações de Lubrificantes a partir de Óleos Básicos Regionais.** 2004. 35 p. Monografia (Graduação do curso de Engenharia Química)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia, Natal, 2004.

PIUBELI, F. A. et al. **Caracterização microbiológica de uma emulsão mineral utilizada como fluido de corte nos processos de usinagem.** Revista Iberoamericana de Ingenieria Mecanica, v.12, n.1, p.35-41. Dez 2008.

QUEIROZ, J. L.L. **Desenvolvimento de um protótipo de software para controle da variável ambiental na utilização do fluido de corte.** 2001. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)- Faculdade de Engenharia de Produção, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/1940.pdf>> Acesso em: 26 de set. 2015.

RAEL, VALMIR APARECIDO, **Ciclo de Melhoria Aplicado na Avaliação do Comportamento de Diferentes Condições de Refrigeração em Fresamento em Alta Velocidade de Corte.** 2004. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

RAHMAN, M., KUMAR, A. S., SALAM, M. **Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling.** International Journal of Machine Tools e Manufacture, v. 42, p. 539-547, 2002.

RAO, Damera Nageswara; SRIKANT, Revuru Rukmini; RAO, Posinasetti Nageswara. **Effect of emulsifier content on microbial contamination of cutting fluids.** International Journal of Machining and Machinability of Materials, v. 2, n. 3-4, p. 469-477, , 2007.

REIS, Alexandre Martins. **Influência do ângulo de posição secundário da ferramenta, raio de ponta e lubrificação na usinagem em presença de aresta postiça de corte**, 2000. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2000.

ROSSMORE, H.W. **Microbiology of metalworking fluids: deterioration, disease and disposal**. Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers. 1995. p. 113-118.

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

SÁ, Napoleão Armstrong. **Fluidos de Corte**. Escola Politécnica de Pernambuco, 2010, 16p. Disponível em: <<http://www.poli.br/~afcm/PROCESSOS%DE%20USINAGEM%20MOTA/PROC.0USINAGEM/Fluido%20de%20corte.doc>>. Acesso em: 22 out. 2015.

SANDVIK COROMANT. **Application Guide: Die and Mould Making**. Sandvik Coromant, 1999. Disponível em: <http://cnc.fme.vutbr.cz/Articles/die_mold.pdf>. Acesso: 13/10/2015.

SANTOS, Leonardo H. **Apostila de Usinagem**. Canoas, RS: Universidade Luterana do Brasil, 2013.

SANTOS, Thiago Aguiar. **Estudo dos tipos de refrigeração utilizados nos processos de usinagem: refrigeração abundante, refrigeração mql e sem refrigeração**. São Luís, 2014. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luis, 2014.

SCANDIFFIO, Innocenzo. **Uma contribuição ao Estudo do corte a Seco e ao Corte com a Mínima Quantidade de Lubrificante em Torneamento de Aço**. 2000. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

SCHAMISSO, A. Os cavacos contaminados podem até se tornar sucata rentável. **Maquinas e Metais**, São Paulo, n. 314, p. 28-31, mar. 1992.

SHAJI, S.; RADHAKRISHNAN, V. **An investigation on solid lubricant moulded grinding wheels**. International Journal of Machine Tools & Manufacture: Design, Research and Application. v. 43, p. 965-972, 2003.

SHAW, Milton C. Metal Cutting Principles. **Oxford series on advanced manufacturing**. 1984. p. 293-331.

SHENG, P. S.; OBERWALLENEY, S. **Life – cycle planning of cutting fluids – a review**. Journal of Manufacturing Science and Engineering, v. 119, n. 4 (b), 1997, p. 791-800.

SILVA, E. J. **Análise da influência dos tipos de fluido de corte e rebolo na retificação do aço SAE HVN-3**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, 2000, p. 35-44.

_____. E. J., BIANCHI, E. C., OLIVEIRA, J.F.G., **Uma contribuição para a determinação de procedimentos padrão para a seleção, aplicação, manutenção e descarte de diferentes tipos de fluidos de corte utilizados em retificação.** Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. 10 pgs. UNESP - Bauru, 2005.

SOARES, Ana Paula Justino. **Obtenção e estudo das propriedades de novas formulações de fluidos de corte microemulsionados.** 2010. 43 f. Monografia (Graduação do curso de Engenharia Química) – Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

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

SOUZA, André João de. **Processos de fabricação por usinagem – Parte 1.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011, 89 p. Disponível em: <https://chasqueweb.ufrgs.br/~ajsouza/ApostilaUsinagem_Parte1.pdf>. Acesso em: 29 out. 2015.

STANFORD, Mark; LISTER, Paul M. **The future role of metalworking fluids in metal cutting operations.** Industrial Lubrication and Tribology, v. 54, n. 1, p. 11-19, 2002.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte I.** 4.ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995, 249p.

_____, C.E. **Ferramentasde Corte I.** 6 ed. rev. e ampl. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Fluidos de Corte e Revestimentos de ferramentas.** Universidade Federal de Santa Catarina. 2007. Disponível em: <<http://www.imp.ufsc.br/disciplinas/emc5240/Aula-11-U-2007-1-Fluidos.pdf>>. Acesso em: 26/09/2015.

SUAREZ, M. P. **Fresamento de canais da liga de alumínio aeronáutico 7075-T7.** 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia, MG, 2008.

TEIXEIRA, C. R. **Redução e Eliminação de Fluidos de Corte nos Processos de Usinagem com Ferramentas de Corte de Geometria Definida.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2001.

TEIXEIRA, C. R., SCHROETER, R.B., WEINGAERTNER, W.L. **Aspectos Ecológicos nos processos de Usinagem.** Revista Metal-Mecânica (1999): 68-76.

TEIXEIRA FILHO, F. **A utilização de fluido de corte no fresamento do aço inoxidável 15-5PH.** 2006. 206 f. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006

_____, F.; et. al. **Characteristics of the Minimum Lubrication Application When Turning Hard Steel – ABNT 52100,** Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 16. Uberlândia, MG, 2001.

TESSARO, E. P. **Avaliação de processos oxidativos para o tratamento ambientalmente adequado de fluidos de corte.** 2008. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

TOLBERT, P. E.; et. al. **Mortality studies of machining-fluid exposure in the automobile industry – II risks associated with specific fluid types.** Scandinavian Journal Work Environment Health, v.18, p. 351-360, 1992.

TRENT, E. M. **Metal cutting.** 3. ed. London: Butterworth – Heinemann, 1991.

TRENT, E.M., WRIGHT, P.K. **Metal Cutting.** 4 ed. London: Butterworth-Heinemann, 2000.

TUHOLSKI, R. J. **Don't Forget the Cutting Fluid.** Journal of Industrial Technology. p. 2-5, 1993.

VARADARAJAN, A. S., PHILIP, P. K., RAMAMOORTHY, B. **Investigations on hard turning with minimal cutting fluid application (HTMF) and its comparison with dry and wet turning.** International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 42, p. 193-200. 2002.