Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana
n. 11 (2020) pp. 20-39

http://www.fsma.edu.br/RESA

Aspectos Técnicos e Ambientais dos Óleos Lubrificantes Minerais *versus* Vegetais em Aplicações de *Metal Working* com Ênfase em Usinagem

Yasmim Monteiro Cordeiro[1], Camila dos Santos Silva Franco[1], Rogério Manhães Soares[1], Warlley Ligório Antunes[1], Larissa Santos de Paula[1], Anna Sophia Nunes Galante[1] e Gisiane de Oliveira Aguiar[1]

[1]Faculdade Católica Salesiana, Macaé, RJ, Brasil.

Resumo **- Este trabalho descreve e analisa os aspectos técnicos e ambientais dos óleos lubrificantes minerais e vegetais utilizados como fluidos para *metal working* (MWFs) em operações de usinagem, dando ênfase aos parâmetros de viscosidade, biodegradabilidade e toxicidade. Através de uma compilação de dados bibliográficos e de entrevista, verificou-se que os biolubrificantes, óleos oriundos de fonte vegetal, têm sido uma opção consistente para a substituição dos óleos convencionais. Quando comparados aos óleos convencionais, os biolubrificantes apresentam uma viscosidade superior, que é interessante para as operações de usinagem, além de uma biodegradabilidade cerca de 70% maior. Ademais, apresentam uma baixa toxicidade, o que reduz os riscos para a saúde dos operadores, visto que somente nos EUA aproximadamente 700000 a 1 milhão são expostos aos MWFs, diferentemente dos óleos convencionais, não possuem elevado poder de agressividade ao meio ambiente. Embora os biolubrificantes sejam 4 a 5 vezes mais caros que os convencionais, os mesmos reduzem os custos de tratamento de resíduos.**

Palavras–chave: **Óleos Lubrificantes;** ***Metal Working*****; Usinagem.**

Technical and Environmental Aspects of Mineral versus Vegetable Lubricating Oils in Metal Working Applications with Emphasis on Machining

Abstract **- This work describes and analyzes the technical and environmental aspects of mineral and vegetable lubricating oils used as fluids for metal working (MWFs) in machining operations, emphasizing the parameters of viscosity, biodegradability and toxicity. Through a compilation of bibliographic data and interviews, it was found that biolubricants, oils from vegetable sources, have been a consistent option for replacing conventional oils. When compared to conventional oils, biolubricants have a higher viscosity, which is interesting for machining operations, in addition to about 70% greater biodegradability. In addition, they have a low toxicity, which reduces the risks to the health of operators, since only in the USA approximately 700000 to 1 million are exposed to MWFs, unlike conventional oils, they do not have a high power of aggressiveness to the environment. Although biolubricants are 4 to 5 times more expensive than conventional ones, they reduce waste treatment costs.**

Keywords: Lubricating Oils; Metal Working; Machining.

I. Introdução

O petróleo, também conhecido como óleo cru, é a fundamental matéria-prima para a maioria dos óleos lubrificantes e de outros produtos [1]. De acordo com a ASTM, a definição de petróleo consiste em uma mistura de hidrocarbonetos, normalmente no estado líquido, incluindo ainda compostos como o enxofre, nitrogênio, oxigênio, metais e outros elementos. Geralmente, o petróleo bruto está acompanhado de água, gases dissolvidos e outras substâncias.

Quanto à origem, os óleos lubrificantes podem ser classificados nos seguintes tipos: óleos graxos (extraídos de gorduras animais ou de óleos vegetais), óleos minerais (obtidos do petróleo), óleos sintéticos (produzidos em laboratório) ou, ainda, óleos compostos (constituídos de misturas de óleos minerais e graxos). Sendo que o óleo mineral é o mais empregado atualmente nas indústrias.

Os óleos lubrificantes minerais são originados a partir da destilação do petróleo, a partir da qual são retirados os óleos básicos, que posteriormente recebem os aditivos químicos específicos a cada tipo de óleo, aditivos estes que são considerados essenciais à sua formação. Representam cerca de 2% do total do petróleo extraído e, na sua maioria, são utilizados para fins industriais, em motores, turbinas, ferramentas de corte, dentre outros. Os óleos lubrificantes são um dos poucos produtos que não são completamente consumidos no decorrer da sua utilização [2].

Por outro lado, os óleos vegetais podem ser encontrados geralmente em sementes das plantas e eventualmente na polpa de frutos, e têm, em sua composição, os glicerídeos, contendo outros lipídeos em pequenas quantidades. Na maioria das vezes, os ácidos graxos, que esterificam o glicerol, possuem cadeia longa de hidrocarbonetos em um grupo terminal carboxila, porém, frequentemente, cadeias insaturadas estão presentes [3], ou seja, são cadeias em que há, no mínimo, uma ligação dupla ou tripla entre os carbonos.

O glicerol (ou glicerina), mencionado anteriormente, é um composto orgânico que está presente em todos os óleos e gorduras de origem animal e vegetal, como é o presente caso. O mesmo precisa ser esterificado a fim de obter o triglicerídio, que é de suma importância para a produção do óleo vegetal.

Os óleos vegetais representam uma das fontes renováveis mais promissoras para obtenção de combustíveis líquidos e lubrificantes. Além do elevado poder calorífico e da alta viscosidade, os óleos vegetais apresentam qualidades normalmente não encontradas em outras formas alternativas de combustíveis e lubrificantes, já que não há presença de enxofre na mistura de glicerídeos. E, ainda, sua produção industrial não gera substâncias nocivas ao ambiente [4]. Em contrapartida a estes benefícios ambientais, eles possuem, atualmente, um custo de 4 a 5 vezes superior ao óleo mineral de origem parafínica e/ou naftênica.

Os óleos lubrificantes influenciam grandemente a qualidade de um dos processos mais empregados na manufatura, a usinagem [5]. A usinagem, de forma breve, consiste na combinação de todo o procedimento compreendido na retirada do material de qualquer peça de trabalho. Segundo Souza *et al*. (2019) [6], a escolha dos fluidos para *metal working*, como também são conhecidos, torna-se um fator importante em tal processo.

Metal working consiste no trabalho com metais para criar peças individuais adornadas, com pequena ou grande estrutura [7]. *O metal working* evoluiu a partir da descoberta de fundição de minérios diferentes, produzindo metal maleável e dúctil, utilizável para ferramentas e adornos. Nos processos de usinagem, os fluidos para *metal working* (MWFs) são fundamentais para garantir a qualidade da peça, proporcionar uma película entre as superfícies e, desse modo, reduzir o atrito, diminuindo o desgaste e evitando perda de força nas máquinas, viabilizando às mesmas uma maior vida útil com menor custo de manutenção [8] [9].

O uso de fluido de corte convencional no processo de usinagem faz da indústria metalúrgica uma enorme agressora ao meio ambiente. São inúmeros problemas decorrentes dessa utilização, que vão desde a geração de efeitos nocivos aos trabalhadores até a degradação do meio ambiente, com o descarte de produtos de alto índice de poluição [10].

Diante de tais fatos, qual tipo de óleo lubrificante seria adequado para atender as características necessárias para uma aplicação em usinagem, especificamente em operações de *metal working*, que seja segura ao ambiente dos trabalhadores, favorável economicamente e capaz de reduzir os impactos ambientais?

De forma a responder esta pergunta, o objetivo geral deste artigo é verificar os aspectos técnicos e ambientais dos óleos lubrificantes convencionais e dos biolubrificantes *no metal working* com ênfase em usinagem.

Para tanto, a Seção II aborda o conceito de óleo lubrificante básico, apresentando os três tipos existentes: minerais, sintéticos e vegetais; a Seção III apresenta as principais classificações de óleos lubrificantes: API, ACEA e SAE; a Seção VI descreve algumas das características dos óleos lubrificantes; a Seção V apresenta os principais aditivos empregados na formulação dos óleos lubrificantes; a Seção VI aborda o *metal working*, dando ênfase ao processo de usinagem e os seus principais tipos; na Seção VII é apresentado um estudo comparativo dos óleos lurificantes; e, finalmente, na Seção VIII são sumarizadas as principais conclusões.

II. Conceito de Óleo Lubrificante Básico

O óleo lubrificante básico é o elemento mais importante na formulação de um óleo lubrificante, sendo a matéria-prima principal para a produção dos diversos tipos de lubrificantes. De acordo com a sua origem, o óleo lubrificante básico pode ser mineral, sintético ou vegetal.

A. ÓLEOS MINERAIS

Os óleos lubrificantes minerais são elaborados com óleos básicos oriundos do refino do petróleo. São compostos de frações de hidrocarbonetos que podem ser classificados, de acordo com a composição química, origem do petróleo e com os processos de refino, em dois tipos: parafínico e naftênicos [11]. A principal diferença entre estes tipos é que as substâncias parafínicas contêm alcanos, enquanto as substâncias naftênicas contêm alcenos.

Na composição do petróleo, há ainda frações de hidrocarbonetos aromáticos que não são apropriados para o uso em óleos lubrificantes e são removidos no processo de refino com a finalidade de modificar as características do óleo, tornando-se possível, por exemplo, melhorar a resistência à oxidação do lubrificante, elevar o índice de viscosidade e clarear o mesmo [12].

No que tange à viscosidade, os óleos minerais possuem uma variedade, visto que os óleos derivados de diferentes fontes de petróleo possuem características distintas. Uma desvantagem seria a volatização de componentes de baixo peso molecular, o que ocasiona um aumento de viscosidade durante o uso. A presença de componentes de baixo peso molecular também diminui o ponto de fulgor dos óleos minerais em comparação aos óleos naturais de mesma viscosidade [13].

Tanto este aumento de viscosidade quanto o baixo ponto de fulgor são condições que tornam o processo de usinagem inseguro, já que aumenta a emissão de vapores orgânicos, que são nocivos aos trabalhadores. Mesmo que não haja uma viscosidade ótima, é necessário que a mesma possua uma ampla faixa.

A Tabela 1 apresenta o índice de viscosidade para algumas bases lubrificantes, como minerais naftênicos, parafínicos, além dos óleos Índice de Viscosidade Muito Alto (*Very High Viscosity Index* - VHVI), Gás para Líquidos (*Gas-to-Liquids* – GTL) e Polialfaolefinas (PAOs), diésteres e silicones, tendo-se uma ideia dos diferentes tipos de bases empregadas em lubrificantes.

Tabela 1. Índice de viscosidade para algumas bases lubrificantes. Adaptado de [12] e [14].

BASES LUBRIFICANTES	ÍNDICES DE VISCOSIDADE
Minerais Naftalênicos	50-60
Minerais Parafínicos	80-120
Óleos VHVI (Grupo III)	120-150
Óleos de GTL	120-144
PAOs	120-170
Diésteres	120-180
Silicones	80-400

Na Tabela 1, pode-se observar que os óleos minerais do tipo naftênicos apresentam os menores valores de índice de viscosidade, devido aos seus hidrocarbonetos saturados de cadeia fechada contendo um ou mais anéis com as duplas ligações, não sendo recomendada sua utilização como óleos de motor, por causa de sua baixa resistência à variação de temperatura.

Por outro lado, os silicones apresentam maior índice de viscosidade, sendo, portanto, recomendada seu uso na aplicação citada acima, e se sobressaem pela altíssima resistência contra temperaturas baixas, altas e envelhecimento, assim como pelo seu comportamento favorável quanto ao índice de viscosidade.

No entanto, os óleos silicones possuem alto valor de aquisição, por esse motivo, pode ser substituído pelas PAOs, cujas estruturas são ideais para lubrificação, uma vez que suas cadeias parafínicas lineares, saturadas e não tão longas proporcionam fluidez muito baixa, altos índices de viscosidade e de estabilidade térmica. As faixas do índice de viscosidade apresentadas na Tabela 1 mostram que a qualidade de um óleo básico pode variar dentro do mesmo grupo de bases, isto é, um mesmo tipo de base pode apresentar distintos índices de viscosidade dependendo do seu grau de refino.

O API, nos Estados Unidos, e a ATIEL, na Europa, definiram um sistema de classificação, com o objetivo de padronizar mundialmente as especificações dos óleos básicos. Dessa forma, três parâmetros foram adotados como referência, sendo eles: teor de enxofre, teor de saturados e índice de viscosidade e os grupos de óleos lubrificantes foram classificados da seguinte maneira [12]:

Grupo I – Apresentam teor de enxofre (% peso) ≥ 0,03, teor de saturados (% peso) ≤ 90 e o índice de viscosidade situado entre 80 e 119. Os óleos deste grupo são fabricados usualmente pelos processos de extração de aromáticos e desparafinização por solvente, seguidos ou não do processo de hidroacabamento. São os óleos menos refinados e geralmente empregados para a formulação da maioria dos óleos automotivos [12].

Grupo II – Possuem o teor de enxofre (% peso) < 0,03 e o teor de saturados (% peso) > 90. No entanto, o índice de viscosidade mantém-se entre 80 e 119. Os óleos deste grupo são gerados através do processo de hidrorrefino e geralmente são empregados na formulação de óleos de motores, por apresentarem boa estabilidade à oxidação, baixa volatilidade e alto ponto de fulgor. Entretanto, apresenta um desempenho regular em relação ao ponto de fluidez e à viscosidade em baixas temperaturas [12].

Grupo III – São produzidos a partir de um tratamento mais rígido com hidrogênio e um processo de isomerização. O índice de viscosidade é elevado (maior ou igual a 120), permanecendo o teor de enxofre (% peso) < 0,03 e o teor de saturados (% peso) > 90. Possuem uma ótima estabilidade e uniformidade molecular e são usados para fabricação de lubrificantes sintéticos e semi- sintéticos [12].

Nos próximos grupos IV e V apresentados a seguir, vale ressaltar que não são considerados os três parâmetros: teor de enxofre, teor de saturados e índice de viscosidade [15].

Grupo IV – São obtidos por meio de reações químicas das matérias-primas sintéticas, como Polialfaolefinas (PAOs). Quando combinados com aditivos, apresentam um excelente desempenho no que tange à lubrificação. Têm uma composição química estável e cadeias moleculares uniformes [12]. São utilizados em aplicações de lubrificantes sintéticos [16].

Grupo V – São os óleos sintéticos que não estão inseridos nos outros grupos, como os ésteres, poliglicóis, etc. Comumente são usados para o desenvolvimento de aditivos em processos petroquímicos [12].

Grupo VI – Foi criado exclusivamente para inserir um tipo de oligômero de olefina produzido na Europa, denominado de PIOs, com o objetivo de simplificar sua regulamentação. Neste grupo, há três categorias: I^+, II^+ e III^+, que não são oficiais, mas possuem uma significativa aceitação pelo mercado. A categoria I^+ apresenta índice de viscosidade entre 100 e 105. Na categoria II^+, varia entre 110 e 120 e, por fim, na categoria III^+, o índice de viscosidade está acima de 140 [12] [17].

B. ÓLEOS SINTÉTICOS

Os óleos sintéticos não são derivados do petróleo, mas sim elaborados em laboratório a partir de testes em condições críticas [18]. Os lubrificantes de base sintética são fluidos de alto desempenho, feitos sob medida para fornecer características especiais, sendo fabricados com a finalidade de oferecer características de desempenho superiores aos dos óleos de base mineral [19].

Devido à dificuldade de controle químico de alguns materiais, os óleos básicos sintéticos vêm sendo cada vez mais utilizados. O aumento da demanda de lubrificantes de elevado desempenho nos últimos anos, principalmente na indústria aeronáutica que utiliza os mais modernos motores, proporcionou o desenvolvimento dos lubrificantes sintéticos, que podem se manter a altas temperaturas por tempos relativamente longos, sem se decompor e, ao mesmo tempo, terem um baixo risco de combustão [18].

C. ÓLEOS VEGETAIS

Os óleos de origem vegetal são formados predominantemente por ésteres de triacilgliceróis (triglicerídeos) (> 95%), produtos resultantes da esterificação entre o glicerol [$C_3H_5(OH)_3$] e ácidos graxos (R-COOH) [20]

[21]. Além dos triglicerídeos, os óleos vegetais apresentam em sua composição os chamados não glicerídeos, como os fosfatídeos, esteroides, dentre outros [22].

Os trigliceróis são constituídos essencialmente de três ácidos unidos por ligações éster a uma molécula de glicerol. A representação estrutural dos trigliceróis e de seus componentes constituintes é demonstrada na Figura 1. As propriedades físicas e químicas dos óleos e gorduras variam de acordo com os tipos e proporções dos ácidos graxos que os constituem, bem como o modo em que se distribuem na molécula de glicerol. Os ácidos graxos mais comuns são cadeias alifáticas saturadas ou insaturadas com um número par de átomos de carbono e um grupo carboxílico, mas possuem ainda, em número reduzido, os ácidos graxos de cadeia ramificada, cíclica ou com um número ímpar de átomos de carbono [23].

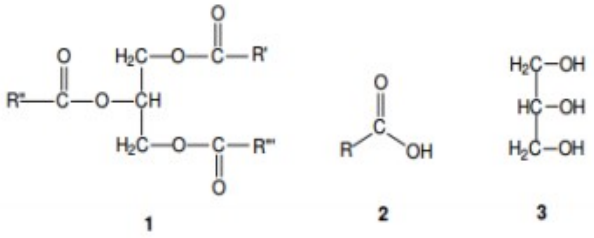


Figura 1. Estrutura química dos óleos vegetais: triglicerídeo (1), ácido graxo (2) e glicerol (3) [24].

A diferença entre os vários óleos vegetais é a composição de ácidos graxos dos triglicerídeos. Esses ácidos graxos possuem diferentes comprimentos e números de ligações duplas nas cadeias. A Tabela 2 (anexo) mostra a quantidade de alguns ácidos graxos encontrados nos óleos. As duplas ligações presentes nas cadeias influenciam principalmente nas propriedades de estabilidade termo-oxidativa e no ponto de fluidez do óleo ou de seus derivados [25].

Diversas funcionalidades na estrutura química dos triglicerídeos concedem ao composto versatilidade reacional, a fim de produzir diversos compostos [26].

Os ácidos graxos, constituintes dos triglicerídeos, mais comuns apresentam 12, 14, 16 ou 18 átomos de carbono, embora ácidos com menor ou maior número de átomos de carbono possam ser encontrados em vários óleos e gorduras [24]. Devido à enorme variedade de ácidos graxos, fica evidente que os óleos e gorduras são compostos de muitos tipos de triglicerídeos com diferentes graus de insaturação [22], como mostra a Tabela 2 (Anexo).

Entre os benefícios e desvantagens do uso de óleos vegetais como lubrificantes, a principal desvantagem dos óleos vegetais é a baixa estabilidade oxidativa em comparação a alguns óleos minerais utilizados [27]. Essa baixa estabilidade é devida às suas duplas ligações, gerando compostos insolúveis, o que aumenta a viscosidade e acidez do produto [28]. Por outro lado, os óleos vegetais possuem boa lubrificação, capacidade de aderência em superfícies metálicas, baixa volatilidade, pequena dependência viscosidade-temperatura, atoxicidade e alta biodegradabilidade, o que o torna uma alternativa muito interessante em situações que requerem a redução do risco de contaminação [27].

III. Classificação De Óleos Lubrificantes

A fim de facilitar a escolha do desempenho adequado do óleo lubrificante, são utilizadas as principais classificações: API, ACEA e SAE.

A. CLASSIFICAÇÃO API

A classificação API desenvolveu-se, nos Estados Unidos, em conjunto com a ASTM, onde foram criadas especificações baseadas nos níveis de desempenho dos óleos lubrificantes, ou seja, no tipo de serviço ao qual a máquina estará submetida [29].

As especificações são obtidas por intermédio de vários testes, onde os motores recebem os lubrificantes que são avaliados em condições controladas. Após os testes, os componentes do motor são avaliados e ocorre a verificação dos níveis de proteção dos lubrificantes, do desgaste dos componentes, da limpeza, de contaminação, dentre outros [30].

Há duas letras que caracteriza a classificação do API, a primeira indica o tipo de combustível do motor S (*Spark Ignition*) ou C (*Compression Ignition*) e a segunda letra o tipo de serviço. A segunda letra é sempre acompanhada da primeira letra (S ou C) e significa um aperfeiçoamento no lubrificante à medida que a letra avança. Quanto mais avançada a letra, melhor é a ativação do lubrificante. Ou seja, pode-se dizer que um lubrificante API SD é pior que um API SN e é melhor que um API SB [30].

B. CLASSIFICAÇÃO ACEA

A ACEA consiste em um sistema de classificação de desempenho dos lubrificantes para motores análogo ao do API, porém adaptado aos automóveis oriundos da Europa [31].

Cada especificação ACEA é composta por uma letra e por um número. A letra indica a classe e o número indica a categoria. Sua classificação possui três grupos principais, são eles: A/B, para motores de carros de passeio movidos a diesel e a gasolina; o grupo C, para motores gasolina e diesel leve com sistemas de pós-tratamento de gases, e o grupo E, para os motores pesados movidos a diesel [32].

Lubrificantes para motores de classe A/B podem ser categorizados como: ACEA A1/B1; A3/B3; A3/B4 ou A5/B5. Os Lubrificantes do grupo C as categorias são: ACEA C1, C2, C3 ou C4. E os Lubrificantes para motores diesel pesados, grupo E, são classificados como ACEA E4, E5, E6, E7 e E9 [32].

As sequências ACEA descritas acima indicam os mínimos requisitos de desempenho para os óleos lubrificantes de acordo com a necessidade de cada motor, mas não obrigatoriamente seguem uma lógica de aumento de desempenho e qualidade de acordo com suas classificações e categorias [32].

C. CLASSIFICAÇÃO SAE

A SAE fundamenta-se somente na viscosidade, não considerando fatores de qualidade ou performance [30].

Os graus SAE podem ser seguidos ou não pela letra “W”, que significa “*Winter*”. Os graus de 0W até 25W são utilizados em faixa de baixas temperaturas (de -5ºC a -40ºC),

são especificados para temperaturas limites de bombeamento, fornecem uma lubrificação adequada durante a partida e aquecimento do motor, operando em regiões frias. Nos graus denominados sem o "W", classificados de 20 até 60, são utilizados para temperaturas mais altas. De acordo com a classificação SAE, o mesmo óleo de motor pode atender a dois graus de viscosidade, sendo denominado multiviscoso [30] [31].

IV. Características Dos Óleos Lubrificantes

Sabe-se que as características físico-químicas dos óleos básicos influenciam o seu desempenho de lubrificação, sendo que vários óleos não são adequados para tal tarefa [33]. Para que um óleo atue como lubrificante, é essencial que ele possua características físico-químicas bem definidas, como viscosidade cinemática, índice de viscosidade, ponto de fulgor, volatilidade e estabilidade oxidativa [28]. Serão detalhadas a seguir algumas dessas características fundamentais dos óleos lubrificantes em geral.

A. VISCOSIDADE

Podendo ser compreendida como a propriedade de um fluido resistir ao cisalhamento ou, ainda, como a medida de atrito interno de um fluido, a viscosidade é uma propriedade essencial para a eficácia da lubrificação e da utilização de um óleo de motor [34]. De acordo com diferentes métodos de medição, a ASTM define dois tipos de viscosidade.

- **Dinâmica ou Absoluta** – representada pela letra grega μ, é comumente especificada pela unidade Poise (P), que possui as dimensões g/cm^3.s (gramas por centímetro cúbico por segundo). A unidade mais empregada para esse tipo de viscosidade é o centipoise (cP), que corresponde a 0,01P. É utilizado o Pascal.segundo (Pa.s), no Sistema Internacional de Unidades (SI), que equivale a 10P [35].
- **Cinemática** - está associada à capacidade que um líquido possui de fluir [33], sendo o quociente da divisão da viscosidade dinâmica pela densidade (μ/d), ambas na mesma temperatura. O *Stoke*, cujas dimensões são expressas em cm^2/s (centímetro quadrado por segundo), é a unidade de viscosidade cinemática mais empregada. Na indústria do petróleo, o mais comum é exprimir a viscosidade cinemática em centistokes (cSt), unidade esta que é apresentada em milímetro quadrado por segundo (mm^2/s): 1mm^2/s = 1cSt [35], no Sistema Internacional de Unidades (SI).

B. ÍNDICE DE VISCOSIDADE

O índice de viscosidade é uma medida da variação na viscosidade cinemática de produtos de petróleo e tem seu cálculo fundamentado na temperatura entre 40 e 100°C. Na aplicação, é um número que indica a variação da viscosidade cinemática com a temperatura. Quanto maior o índice de viscosidade, menor a redução na viscosidade cinemática com o aumento da temperatura de um óleo lubrificante [33].

Os óleos minerais parafínicos possuem índices de viscosidade mais altos que os naftênicos, devido ao fato de apresentarem menor variação da viscosidade quando varia a temperatura [36].

A metodologia para obtenção do índice de viscosidade de um produto é designada pelas NBR 14358 de 2005, fundamentadas no método ASTM 2270, a partir de tabelas padronizadas que exibem os critérios adotados pelo método utilizado [35].

C. PONTO DE FLUIDEZ

O ponto de fluidez do óleo, também conhecido como ponto de gota ou ponto de congelação, é a menor temperatura na qual este óleo ainda flui. Essa propriedade é empregada para analisar a capacidade de escoamento de um óleo a baixa temperature, pois, para que este lubrifique apropriadamente, deve estar fluido [33] [37].

Esta temperatura é determinada conforme o Ensaio Padrão D 97-47 da ASTM, através de resfriamentos realizados sucessivamente da amostra de óleo inserida em um frasco de vidro. O teste consiste em abaixar a sua temperatura em cada intervalo de 5 em 5ºF e averiguar se o óleo ainda é capaz de fluir [37].

D. PONTO DE FULGOR

O ponto de fulgor é um critério para determinar materiais inflamáveis e combustíveis [33]. Pode ser caracterizado como a menor temperatura na qual o vapor desprendido pelo óleo, em presença do ar, inflama-se, instantaneamente, ao se aplicar uma chama [37]. Em óleos de uma mesma série, isto é, provenientes do mesmo tipo de óleo cru, refinados pelo mesmo procedimento e aditivados do mesmo modo, o mais viscoso possui ponto de fulgor mais alto [38].

O ponto de fulgor pode indicar a possível presença de produtos altamente inflamáveis e voláteis em um material não volátil ou não inflamável, como o óleo básico. O método deve ser usado para medir e descrever as características de materiais, produtos e peças em resposta ao calor e à chama de ensaio, em condições laboratoriais controladas [33].

O conhecimento do ponto de fulgor permite avaliar as temperaturas que um óleo lubrificante pode sujeitar-se com absoluta segurança. Óleos com ponto de fulgor inferior a 150°C não devem ser utilizados para fins de lubrificação [37].

E. ESTABILIDADE À OXIDAÇÃO

A estabilidade à oxidação de um óleo é um critério que resulta de uma série de fatores, como a maior ou menor presença de moléculas aromáticas, de enxofre e de nitrogênio, teor de saturados, entre outros. De modo geral, a estabilidade à oxidação aumenta de acordo com o rigor da técnica de refino para a produção do óleo básico e com a correta utilização dos aditivos antioxidantes. A presença de insaturações apresenta algumas desvantagens, como o aumento da propensão ao ataque do oxigênio, diminuindo a estabilidade oxidativa, que está diretamente associada à vida útil do lubrificante e sua atuação em altas temperaturas [39].

F. BIODEGRADABILIDADE

Segundo Luna *et al*. (2015) [40], a biodegradabilidade consiste em uma característica relevante para a maior parte dos produtos oriundos da indústria química, representando a medida da decomposição de um produto químico ou, ainda, de

uma mistura química, por meio de ação microbiana [41]. A biodegradação é um dos tipos de processos responsáveis por transformar ou decompor tais materiais que entram em contato com o meio ambiente, podendo ser classificada como primária e final [42].

A biodegradação primária refere-se à perda de um ou mais grupos ativos em um composto químico, tornando-o inativo em relação a uma função específica. A conversão de um composto tóxico em um composto menos tóxico, ou até atóxico, pode ser resultado dessa biodegradação. Já a biodegradação final, ou também conhecida como mineralização, está relacionada à conversão do composto químico em dióxido de carbono, água e sais minerais [41].

No processo de formulação de óleos lubrificantes, a biodegrabilidade é um dos principais parâmetros que sugere a compatibilidade deste com o meio ambiente e depende fortemente do óleo básico utilizado. É um critério que mede o destino final dos óleos lubrificantes, seus mecanismos de degradação e o potencial dos impactos gerados ao meio ambiente no decorrer da decomposição [43].

G. TOXICIDADE

A toxicidade é outro critério que deve ser levado em consideração na formulação de óleos lubrificantes, com o intuito de desenvolver produtos ambientalmente aceitáveis tanto para áreas aquáticas quanto terrestres. Consiste na propensão de produzir efeitos bioquímicos ou fisiológicos diversos em organismos vivos [44]. Conforme Singh *et al.* (2017) [45], a toxicidade dos óleos lubrificantes depende dos óleos básicos e aditivos empregados em sua produção, com o objetivo expresso de diminuir seus efeitos deletérios nos seres vivos.

V. ADITIVOS EM ÓLEOS LUBRIFICANTES

Os óleos lubrificantes possuem misturas complexas de aditivos, produtos químicos normalmente orgânicos ou organometálicos, que são dissolvidos em um óleo base, com o intuito de melhorar a capacidade de desempenho da formulação e a durabilidade do óleo. Os aditivos químicos têm propriedades distintas como antioxidantes, inibidores de corrosão e modificadores de atrito, que definem a natureza química e física da formulação [46] [47]. Neste tópico, serão abordados os principais aditivos presentes nos óleos lubrificantes.

A. ANTIOXIDANTES

Os aditivos antioxidantes tornaram-se bastante solicitados com o intuito de reduzir a oxidação do óleo lubrificante. Entre as várias características desejáveis para o óleo lubrificante, uma das principais é a alta estabilidade à oxidação, visto que este processo é apontado como responsável pelo envelhecimento do óleo e perda de lubrificação [48] [49].

Os hidrocarbonetos são oxidados em temperaturas mais altas e geram ácidos, álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres e peróxidos. Esses compostos produzem os indesejáveis sólidos asfálticos. Por esse motivo, a adição de antioxidantes se faz necessária a todos os óleos lubrificantes para minimizar a formação de tais compostos e, consequentemente, aumentar a vida útil do óleo [50]. A Figura 2 mostra, de forma breve, como um aditivo antioxidante atua.

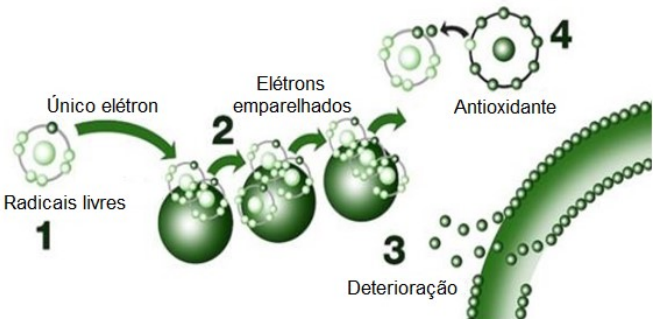


Figura 2. Ação de um antioxidante. Adaptado de [51].

B. ANTIDESGASTES E DE EXTREMA PRESSÃO

Os aditivos antidesgaste e de extrema pressão são empregados com o intuito de eliminar o atrito entre metal-metal, por meio da adição de agentes formadores do filme lubrificante, que são responsáveis por proteger, por contato direto, as superfícies e amenizar o desgaste. A adição de tais aditivos é utilizada com a finalidade de melhorar as propriedades antifricção e antidesgaste dos óleos lubrificantes [52].

Os aditivos antidesgaste são capazes de prolongar a duração do contato tribológico, que consiste no atrito entre superfícies, modificando a superfície metálica e, dessa maneira, diminuindo o desgaste no regime de lubrificação mista, este tipo de regime ocorre quando a espessura do filme lubrificante compreende a uma e três vezes mais a rugosidade total das duas superfícies [53].

Os aditivos de extrema pressão são utilizados para operações mais rígidas de corte, pois fornecem aos fluidos de corte uma melhor lubricidade para suportarem altas temperaturas e pressões de corte, diminuindo o contato da ferramenta com o material. Os principais aditivos de extrema pressão são à base de enxofre, cloro e fósforo [8].

A Figura 3 mostra que os aditivos redutores de atrito viabiliza a separação de superfícies através da adsorção, que consiste na formação de uma ou mais camadas na superfície, conferindo baixa fricção e consequentemente maior facilidade no corte [53].

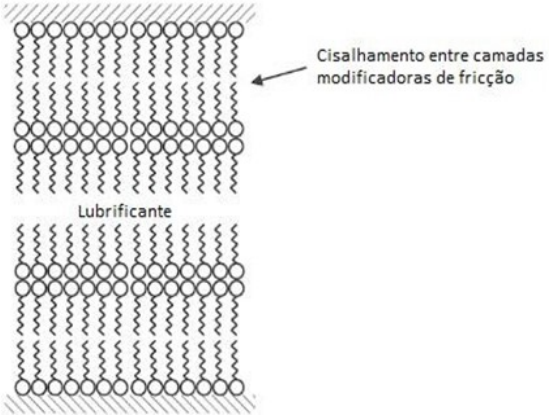


Figura 3. Separação de superfícies promovida pelos aditivos redutores de atrito. Adaptado de [53].

C. INIBIDORES DE CORROSÃO

Em diferentes ambientes corrosivos, a utilização de inibidores tem se tornado um dos melhores procedimentos práticos disponíveis para a proteção de metais contra a corrosão. Um inibidor consiste em uma substância que é incorporada em pequena concentração a uma solução corrosiva, a fim de reduzir a sua taxa de corrosão. Tal efeito é conferido através da adsorção de partículas inibidoras na superfície do metal, levando ao desenvolvimento de uma película protetora coerente [54], que impede que os materiais corrosivos atinjam ou ataquem o metal. O filme pode estar no metal ou ligado a ele quimicamente [55].

Conforme visto na Figura 4, o inibidor de corrosão adere à superfície do aço, não permitindo que a água e o oxigênio cheguem à superfície [53].

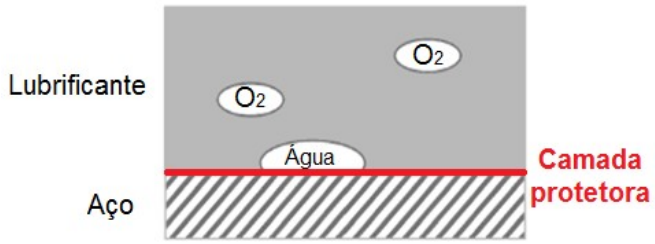


Figura 4. Camada protetora gerada por inibidores de corrosão. Adaptado de [53].

D. DETERGENTES-DISPERSANTES

Os aditivos detergentes-dispersantes geralmente são utilizados em motores à gasolina. Os detergentes agem a partir de grupos terminais polares, gerando um filme, impedindo a deposição de resíduos de fase líquida na parte interna dos motores. Os dispersantes têm por finalidade afastar as partículas sólidas que entram no motor através do ar, combustível e lubrificante, mantendo-os suspensos, impedindo o acúmulo de depósitos [56]. O mecanismo de tais aditivos é demonstrado na Figura 5.

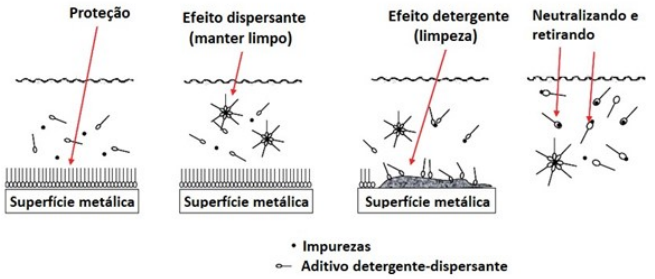


Figura 5. Mecanismo do aditivo detergente-dispersante. Adaptado de [57].

E. AUMENTADORES DO ÍNDICE DE VISCOSIDADE

O índice de viscosidade é um indicador da mudança na viscosidade à medida que a temperatura é modificada. Quanto maior o índice de viscosidade, menor a viscosidade de um óleo para uma dada alteração de temperatura. São utilizados para evitar a diminuição brusca da viscosidade do óleo quando exposto a altas temperaturas, permite que a viscosidade aumente dentro do intervalo limitado permitido pelo tipo e concentração do aditivo. Tais melhoradores do índice de viscosidade possuem pouco efeito sobre a viscosidade à baixa temperatura [47].

Os aditivos melhoradores do índice de viscosidade crescem à medida que a temperatura do óleo aumenta. Sua massa expandida aumenta o atrito interno no fluido, causando um aumento na viscosidade (Figura 6).

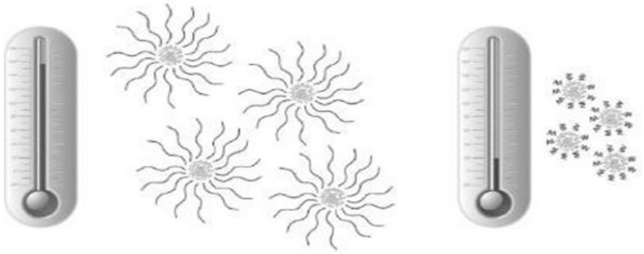


Figura 6. Alteração da viscosidade em relação à temperatura [58].

F. ADITIVOS ABAIXADORES DO PONTO DE FLUIDEZ

Os abaixadores do ponto de fluidez, também conhecidos como PPD, consistem em polímeros que são projetados com a finalidade de reduzir a temperatura do ponto de fluidez e controlar a formação de cristais de cera em lubrificantes, evitando, dessa forma, o congelamento do óleo a baixas temperaturas [59], conforme a Figura 7.

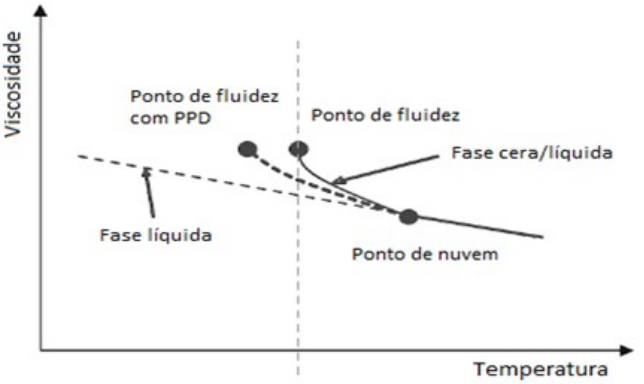


Figura 7. Redução do ponto de fluidez pelo PPD. Fonte: Adaptado de [53].

G. ANTIESPUMANTES

A formação de espuma de lubrificantes é uma consequência indesejável que pode gerar a oxidação pela combinação intensiva com ar, danos por cavitação e transporte insuficiente em sistemas de lubrificação circulatória, causando em falta de lubrificação [60].

A espuma pode ser controlada por aditivos inibidores de espuma. A função dos inibidores de espuma é desestabilizar a espuma produzida no decorrer do ciclo de operação dos lubrificantes. Os inibidores são capazes de fornecer uma tensão superficial mais baixa em comparação com o óleo base lubrificante que, normalmente, não são solúveis no óleo base [60].

De acordo com a Figura 8, o antiespumante age afinando o filme de lubrificante, ocasionando, assim, o rompimento da bolha de ar [53].

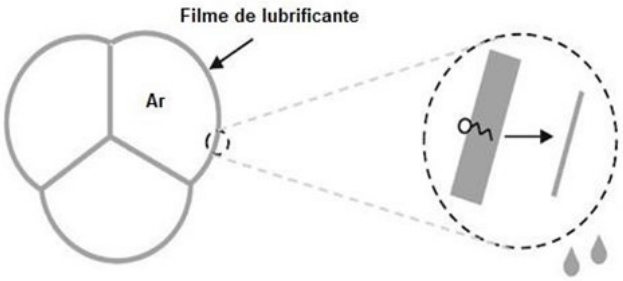


Figura 8. Ação de um antiespumante. Fonte: Adaptado de [53].

H. REDUTORES DE ATRITO

Devido à escassez de recursos naturais e alta demanda de baixa emissão de gases para resguardar o meio ambiente e a saúde das pessoas, a redução do atrito de peças de máquinas se torna cada vez mais importante [61].

Os aditivos são adicionados ao lubrificante para reduzir o atrito superficial das peças. Estes aditivos são normalmente utilizados quando existem regimes de lubrificação de contorno, tendo, por exemplo, os motores e engrenagens [62], promovendo, ainda, a redução dos gases poluentes emitidos para atmosfera [63].

VI. METAL WORKING

A indústria metalúrgica lida com todos os aspectos do trabalho com metais para a criação de peças individuais, conjuntos ou estruturas de larga escala. Comumente, o *metal working* é dividido em três categorias: conformação, junção e corte, cada uma das quais possui diversos processos envolvidos [64].

Serão apresentados a seguir os processos do *metal working* supracitados.

A. PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

A conformação mecânica é um processo em que ocorre a modificação das dimensões e formas da peça, devido à utilização de tensões que provocam deformação plástica sem que haja retirada de material, permitindo a produção de peças no estado sólido com características controladas. Esse processo objetiva a obtenção de produtos finais com dimensão, formas, propriedades mecânicas e condições superficiais especificadas [65] [66].

O processo de conformação pode ser subdividido em processos com região de deformação localizada (laminação, trefilação e extrusão) e processos com região de deformação generalizada (processos de estampagem profunda e forjamento) [65].

O forjamento é um método de conformação pelo qual se obtém o formato desejado de uma peça por martelamento ou utilização gradativa de pressão. A laminação consiste na transformação mecânica por compressão do metal, através da passagem por dois cilindros. A trefilação é um método de transformação pela deformação mecânica a frio que possibilita a redução da seção transversal de uma peça pela passagem através de uma matriz, por aplicação de tração. A extrusão é um processo de transformação termomecânica no qual um pedaço de metal é reduzido em sua seção transversal quando forçado a fluir por dentro do orifício de uma matriz, através de elevadas pressões e temperatura [67].

O desenho esquemático das operações de conformação explicadas acima será apresentado na Figura 9.

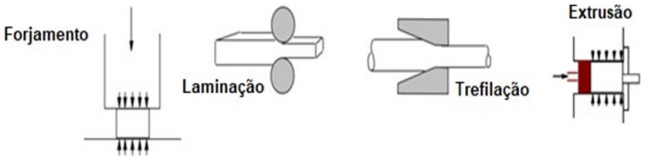


Figura 9. Operações típicas de conformação. Modificado de [68].

Nos processos de conformação, o óleo lubrificante possui três funções principais [69]:

- Mostrar os efeitos favoráveis quanto ao atrito, ao desgaste e ao acabamento final.
- Permitir o escoamento plástico aerodinâmico.
- Promover ou adicionar propriedades desejáveis ao material gerado.

B. PROCESSOS DE JUNÇÃO

O processo de junção é a ligação permanente ou uma colocação em contato de duas ou mais peças com uma forma geométrica definida ou, até mesmo, de peças com material sem forma determinada. É usado para fixar um conjunto de peças, visto que não é possível fabricar alguns produtos em uma única passagem [70].

Os processos de junção podem ser divididos como direto, através de soldagem e brasagem, assim como sob a atuação de elementos adicionais de fixação e junção, como parafusos e rebites [71].

A principal função do óleo lubrificante neste tipo de processo, como na soldagem, é possibilitar um melhor acabamento nas peças soldadas [72].

C. PROCESSOS DE CORTE

O processo de corte é principalmente conduzido por fenômenos físico-químicos-mecânicos bastante complexos e interdependentes, ou seja, há uma série de processos que faz com que o material seja levado à uma configuração geométrica da superfície específica, com precisão e qualidade da superfície. Tal processo está presente em todos os tipos de operações de corte de metal, por exemplo, torneamento, furação e fresamento [73].

No decorrer do processo de corte, certa quantidade de material da peça se transforma em lascas (partículas), que deslizam pelas superfícies frontais da cunha de corte, deixando a área de corte. A natureza deste processo tribológico é muito complexa, em virtude das altas temperaturas e pressões que aparecem na superfície de contato [73].

Nos processos de corte, o óleo lubrificante possui duas funções principais [74]:

- Diminuir o atrito entre a superfície que está sendo usinada e a ferramenta de corte, tendo a função de lubrificação.
- Reduzir a temperatura na área do corte, tendo a função de refrigeração.

C.1 USINAGEM

Dentro dos processos de corte, há a usinagem, que, segundo a DIN 8580, é aplicada em todos os processos de fabricação onde ocorre a retirada de material sob a forma de cavaco, conferindo à peça: forma, dimensão e acabamento. Dá-se o nome de cavaco à parte do material da peça removida pela ferramenta, sendo caracterizada por apresentar formatos que podem ser helicoidais, espirais, fitas ou, até mesmo, lascas [75].

A Figura 10 ilustra como este processo é aplicado.

Figura 10. Sequência de usinagem [75].

Conforme o material passa pelo processo de usinagem, é gerada uma grande quantidade de calor, devido ao atrito que ocorre entre a ferramenta-peça e cavaco-ferramenta [9]. É uma técnica de deformação plástica severa definida por deformação termomecânica heterogênea do metal a elevadas taxas de deformação, ocasionando a modificação da microestrutura e características do material [76], conforme a Figura 11.

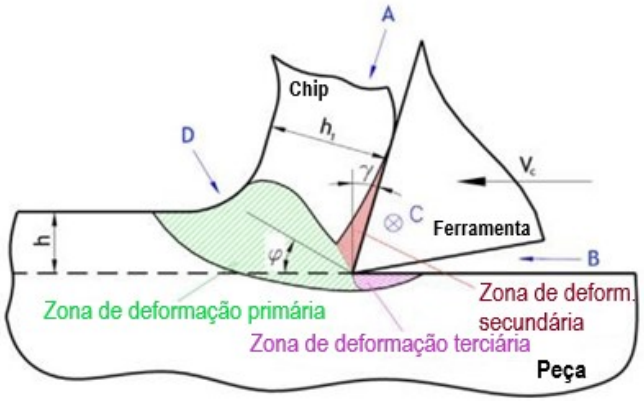


Figura 11. Áreas de deformação no processo de corte de metal [76].

No processo de usinagem, o material é retirado da superfície de um corpo menos resistente por uma ferramenta, através de um deslocamento e emprego de força [77]. Os processos de usinagem são utilizados em larga escala para produzir componentes que demandam grande precisão e acabamento de alta qualidade. Além disso, a usinagem é um processo que pode viabilizar os custos para um grande número de peças [78].

O monitoramento de processos de usinagem pode retratar economia e praticidade, pois auxilia a identificar o desgaste da ferramenta, a rugosidade da superfície e irregularidades durante o corte de metal, o que pode causar desperdício, danos e outras condições prejudiciais nesse processo. O controle do desgaste da ferramenta é complexo e deve fornecer uma recomendação de quanto a ferramenta de corte pode ser modificada, sem variar o acabamento superficial da peça, a integridade da máquina e as especificações do componente fabricado [78].

A Figura 12 apresenta um esquema referente à classificação dos processos de usinagem, com alguns exemplos de cada tipo.

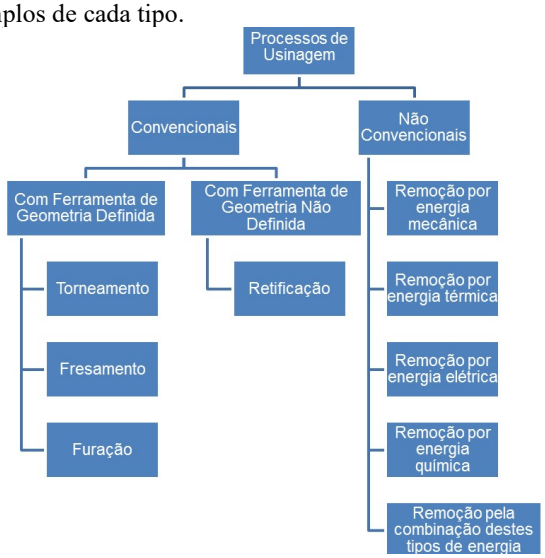


Figura 12. Classificação dos processos de usinagem. Adaptado de [79] e [80].

No que tange à técnica convencional, os materiais são removidos das peças com o auxílio de ferramentas de corte em formato de cunha, e é preciso que o material da ferramenta de corte seja mais duro que o trabalho material [79].

Tal remoção ocorre por cisalhamento entre a ferramenta e a peça. Em suma, neste tipo de processo há o emprego de energia mecânica [80].

Já a técnica não convencional consiste na remoção de materiais indesejados das superfícies da peça, empregando energia mecânica, térmica, elétrica ou química ou uma combinação desses tipos [79].

No tópico seguinte, serão apresentados, de forma descritiva, os principais processos de usinagem que foram citados anteriormente, como torneamento, fresamento, furação e, por fim, retificação.

C.1.A TORNEAMENTO

De acordo com Souza (2011) [81], o torneamento consiste em um processo mecânico de usinagem que visa obter superfícies de revolução, que são, conforme Cattai (2006) [82], superfícies geradas por meio da rotação de uma curva plana (geratriz) em volta de uma linha reta fixa concedida (eixo de revolução).

Ainda, segundo Souza (2011) [81], tal processo é realizado com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para isso, a peça gira ao redor do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta, propiciando um deslocamento simultâneo seguindo uma trajetória coplanar com o referido eixo. Em relação à forma da trajetória, há dois tipos do torneamento, sendo retilíneo ou curvilíneo, conforme a Figura 13.

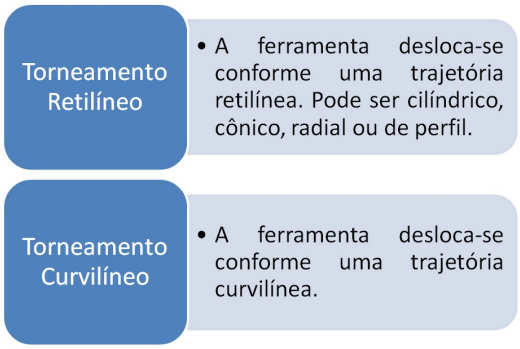


Figura 13. Tipos de torneamento. Elaboração própria a partir dos dados de [81].

Durante este processo, a principal dificuldade enfrentada está relacionada às altas temperaturas envolvidas, pois o calor gerado entre a pastilha (ou inserto), ferramenta colocada em um suporte denominado porta-ferramenta fabricado em aço baixa-liga e fixado no torno para fazer a usinagem, e a peça pode ocasionar alterações no formato do cavaco e deformação plástica na pastilha [83].

A aplicação de lubrificantes ao longo do processo de torneamento é tida como importante, pois o lubrificante promove a redução do atrito do processo de corte e, simultaneamente, esfria a amostra de trabalho e a ferramenta de corte, eliminando o calor gerado durante o processo de corte nas diferentes interfaces [84].

C.1.B FRESAMENTO

É um processo destinado à obtenção de superfícies quaisquer com o auxílio de ferramentas multicortantes, que recebem o nome de fresa. Para tal, a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta são deslocadas conforme uma trajetória qualquer. Neste tipo de processo mecânico de usinagem, há dois grupos principais: periférico ou tangencial, e frontal ou plano [81] [85]. A Figura 14 apresenta a descrição destes tipos de fresamento.

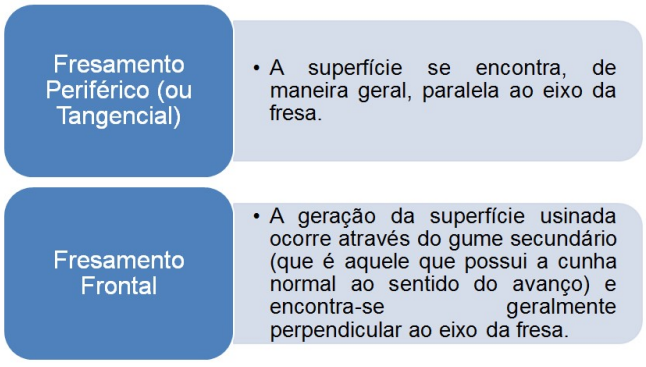


Figura 14. Principais tipos de fresamento. Elaboração própria a partir dos dados de [86].

No que diz respeito à principal dificuldade atrelada a este processo, tem-se a seguinte questão: as variações de temperatura são muito grandes quando a aresta de corte entra e sai do corte. Desse modo, a aresta de corte está sujeita a choques térmicos e tensões cíclicas que podem ocasionar em trincas e, considerando como o pior caso, pode levar a um fim antecipado da vida útil da ferramenta [87].

Quanto mais quente a zona de corte, o emprego de fluidos de corte se torna mais inapropriado. Em operações de acabamento, a utilização de fluido de corte não diminuirá a vida útil da ferramenta tanto quanto no ato de corte, em razão do nível mais baixo de geração de calor [87].

Em suma, no processo de fresamento, a utilização do fluido de corte contribui para a diminuição do calor gerado na interface ferramenta-cavaco, diminuindo a temperatura situada na região de corte. Tal função é de suma importância devido ao fato de que, caso não ocorra tais diminuições de calor gerado e temperatura, é provocada a aderência do material que está sendo usinado na ferramenta de corte, acarretando ao mesmo um desgaste prematuro [88].

No entanto, ressalta-se que, em alguns casos, o emprego do fluido pode influenciar, negativamente, na vida útil da ferramenta, em razão do aparecimento de trincas nos insertos de corte, ocasionada pela flutuação térmica [88].

C.1.C FURAÇÃO

De acordo com Souza (2011) [81], este processo objetiva a fabricação de um furo, normalmente cilíndrico, em uma peça com o auxílio de ferramenta, podendo ser multi ou monocortante, chamada de broca. Para tal, a peça ou a ferramenta giram e, de maneira simultânea, deslocam-se em uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina. A Figura 15 apresenta os tipos de furação.

Figura 15. Principais tipos de furação. Elaboração própria a partir dos dados de [81].

Difícil transporte de cavacos e elevadas taxas de desgaste são consideradas as principais dificuldades deste processo. Tais fatores tornam a furação um dos mais complexos processos de usinagem, em que pequenas alterações nas grandezas de entrada do processo podem significar uma transformação considerável na vida útil da ferramenta [89].

O emprego de óleos lubrificantes adequado, neste processo, é primordial para garantir a segurança e o desempenho das operações, além de ser fundamental para assegurar a trabalhabilidade do material e as condições de trabalho para os operadores, quando se refere à propriedade função refrigerante do fluido [90].

Em suma, o lubrificante deve ter a função de refrigerar e limpar a peça, removendo os cavacos e mantendo a temperatura em níveis corretos [90].

C.1.D RETIFICAÇÃO

A retificação, o último processo a ser comentado neste tópico, compreende ao processo se destina à obtenção de superfícies a partir do auxílio de ferramenta abrasiva de revolução. Neste processo, a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta desloca-se conforme uma trajetória definida, fazendo com que a peça gire ou não [81].

A Figura 16 apresenta os tipos de retificação existentes.

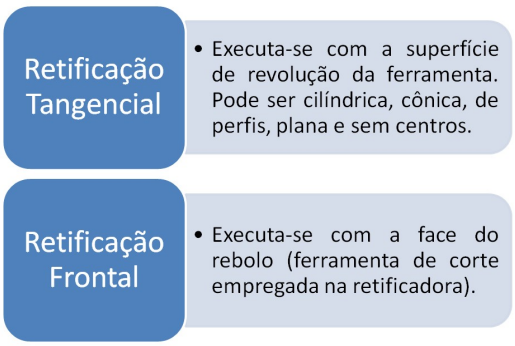


Figura 16. Tipos de retificação. Elaboração própria a partir dos dados de [81].

Há diversos fatores que geram deformações plásticas que dificultam a compreensão e a otimização do presente processo abordado, tais como [91]:

- Rebolo com multiplicidade de arestas de corte e geometria não uniforme;
- Variações de profundidade de corte em cada grão;
- Elevadas temperaturas,
- Esforços e parâmetros de corte difíceis de serem controlados produzem deformações plásticas que dificultam o entendimento e a otimização desse processo.

A retificação consiste em um processo em que as taxas de retirada de cavaco são muito baixas quando comparadas a outros processos [91].

Neste processo, vale ressaltar que o óleo lubrificante tem como principal função minimizar o crescimento exagerado de tensões residuais na superfície da peça usinada, além de diminuir a tendência de obstrução de poros do rebolo no momento da operação de corte e promover uma proteção anticorrosiva [92].

C.2 FLUIDOS PARA METAL WORKING

A utilização de lubrificantes, em processos de usinagem, desempenha um papel de suma importância, pois muitas operações não podem ser realizadas de forma eficiente sem a lubrificação e o resfriamento [93] [94].

O fluido de corte é composto por óleo, água e aditivos, sua concentração pode variar de 1-20% de óleo dependendo do trabalho. No caso dos processos de usinagem, a porcentagem desse óleo é em torno de 8-10% [95].

De acordo com Lawal, Choudhury e Nukman (2013) [93] e Zheng (2019) [94], o fluido de corte é aplicado durante a operação de usinagem, com o objetivo de remover o calor e lubrificar a interface da ferramenta de corte/peça de trabalho e, consequentemente, reduzir o desgaste da ferramenta aumentando a vida útil e obtendo peças com melhores qualidades e acabamentos.

Introduzidos por Taylor, em 1890, os MWFs são largamente empregados em nesta operação [96] [97], que é um dos processos mais utilizados na indústria manufatureira [6].

Primeiramente, utilizou-se a água para resfriar a região ferramenta/peça/cavaco e, logo após, soluções com água e soda ou água e sabão, com o intuito de evitar a oxidação da peça e/ou ferramenta. A água apresenta um elevado poder refrigerante, porém, um baixo poder lubrificante, além de provocar a oxidação. Portanto, outros fluidos de corte foram desenvolvidos [98].

Conforme apresentado na Figura 17, há quatro tipos principais de MWFs, são eles: óleos sintéticos, semissintéticos (mistura de óleo base refinado, água e aditivos), solúveis (30 – 80% de óleo base emulsionado em água) e integrais (100% de óleo base) [99].

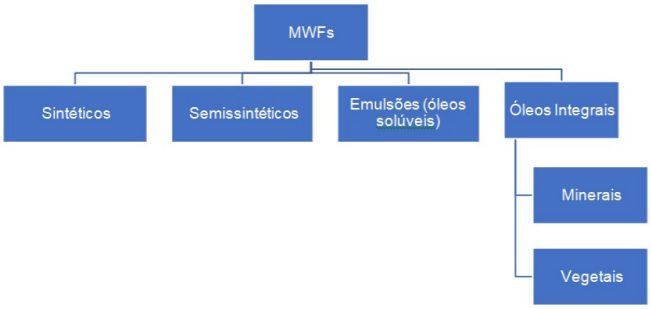


Figura 17. Tipos de fluidos para *metal working* (MWFs). Elaboração própria a partir dos dados de [100].

Vale ressaltar que são tidas como dificuldades do óleo até chegar à àrea de corte os seguintes tópicos [101]:

- A existência de contaminação por água ou por partículas no fluido de corte;
- O manejo inapropriado e risco de incêndio;
- A utilização inadequada dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs);
- A contaminação do solo e da água.

A aplicação de fluidos de corte convencionais tem gerado vários problemas ambientais, como a poluição, decorrente da dissociação química desses fluidos quando expostos a elevadas temperaturas; problemas biológicos para os operadores, poluição da água e contaminação do solo durante o descarte. Diante desses problemas, a substituição de

lubrificantes convencionais por produtos ecologicamente corretos na indústria de processos de usinagem é a necessidade deste século. Os óleos vegetais, por exemplo, têm a eficácia de operar satisfatoriamente como lubrificante na usinagem, ao mesmo tempo em que eliminam as preocupações ambientais e de saúde [5] [93].

VII. Aspectos Técnicos e Ambientais dos Óleos Lubrificantes

Nesta seção, será apresentado um estudo comparativo dos óleos lubrificantes, dando ênfase aos seguintes parâmetros: viscosidade, biodegradabilidade e toxicidade, sendo aplicados como fluidos para *metal working* em operações de usinagem.

- Comparação dos Parâmetros dos Óleos Lubrificantes

A maioria dos MWFs tem como base os óleos minerais que possibilitam um aumento na produtividade e uma qualidade nas operações, por intermédio da lubrificação ao longo dos processos de corte [97].

No entanto, os óleos convencionais apresentam algumas características físico-químicas que colaboram para o encadeamento de impactos associados a efeitos negativos no meio ambiente e na saúde do operador, como já foi mencionado anteriormente. Diante disso, os óleos vegetais estão sendo cada vez mais estudados e valorizados.

A seguir, tem-se um quadro comparativo (Quadro 1) dos dois tipos de óleos analisados, convencional e biolubrificante, sendo pontuados alguns dos parâmetros influenciadores do desempenho do óleo nos processos industriais.

		Lubrificante Convencional	Biolubrificante
Propriedades	Biodregradabilidade	Baixa	Alta
	Estabilidade Oxidativa	Alta	Baixa
	Estabilidade Térmica	Alta	Baixa
	Índice de Viscosidade	Baixo	Alto
	Lubricidade	Baixa	Alta
	Ponto de Fulgor	Baixo	Alto
	Proliferação de Micro-organismos	Baixa	Alta
	Toxicidade	Alta	Baixa
	Volatilidade	Alta	Baixa

Quadro 1. Análise comparativa quanto à propriedade. Elaboração própria a partir dos dados de [43], [102] e [103].

Os óleos vegetais apresentam algumas excelentes propriedades para sua potencial utilização como lubrificantes, como alto índice de viscosidade, alto ponto de fulgor, baixa volatilidade, alta lubricidade e, principalmente, baixa toxicidade e alta biodegradabilidade, conforme o Quadro 1.

O alto índice de viscosidade está relacionado à polaridade da cadeia do óleo vegetal, visto que esta possibilita uma maior aderência ao metal, melhorando a superfície de contato do lubrificante com a peça nas operações de usinagem, garantindo um aumento na produtividade.

O alto ponto de fulgor indica a natureza não volátil dos óleos, e isto se dá devido à presença de ácidos graxos na estrutura dos óleos vegetais. Além disso, os biolubrificantes possuem uma ampla faixa de viscosidade, confirmando que o fluido tem melhor desempenho de lubrificação e é mais seguro para usinagem a altas temperaturas em relação aos óleos convencionais, já que a baixa volatilidade reduz as emissões de vapores orgânicos.

Entretanto, algumas limitações devem ser aprimoradas para viabilizar sua utilização em muitos processos industriais, especialmente aquelas relacionadas à sua baixa estabilidade térmica e oxidativa, devido às suas cadeias insaturadas. Todavia, essas limitações podem ser melhoradas com a utilização de aditivos.

A questão da alta proliferação de micro-organismos nos biolubrificantes também é tida como desvantajosa. Como os óleos vegetais são mais biodegradáveis, os micro-organismos possuem a função de decompositores, porém, ao longo da operação de usinagem, estes podem levar à corrosão e à modificação das propriedades de lubrificação, tornando-as inadequadas e, consequentemente, um lubrificante mais perigoso para o ambiente natural.

Através do Quadro 1 acima e realizando a compilação de dados de outros artigos, foi possível criar o Quadro 2, que apresenta as principais vantagens e desvantagens que os óleos de base vegetal possuem. Sendo alguns desses pontos discutidos anteriormente.

Vantagens	Desvantagens
Lubricidade superior	Baixa Estabilidade Térmica
Resistência ao Desgaste	Baixa Estabilidade Oxidativa
Ampla Faixa de Viscosidade	Má Proteção contra a Corrosão
Índice de Viscosidade superior	
Biodegradabilidade	
Baixa Volatilidade	
Sustentável	

Quadro 2. Vantagens e desvantagens dos biolubrificantes quando comparado aos convencionais. Elaboração própria a partir dos dados de [45], [97], [104], [105] e [106].

Os biolubrificantes são constituídos por moléculas de glicerol com três ácidos graxos de cadeia longa ligados aos grupos hidroxila, através de ligações éster e possuem uma associação complexa de moléculas de ácidos graxos com uma estrutura única de triacilglicerol, estrutura esta que proporciona características necessárias para a lubrificação. E suas cadeias longas e polares de ácidos graxos são responsáveis pela aderência no metal formando filme lubrificante de alta resistência as superfícies metálicas [107]. Por esses motivos, as propriedades de lubricidade e resistência ao desgaste do óleo vegetal são superiores aos óleos minerais.

Além dos aspectos técnicos apresentados, os óleos vegetais possuem vantagens ambientais, sendo inerentemente biodegradáveis, com baixa toxicidade para o meio ambiente e para o trabalhador, além de serem oriundos de fontes renováveis.

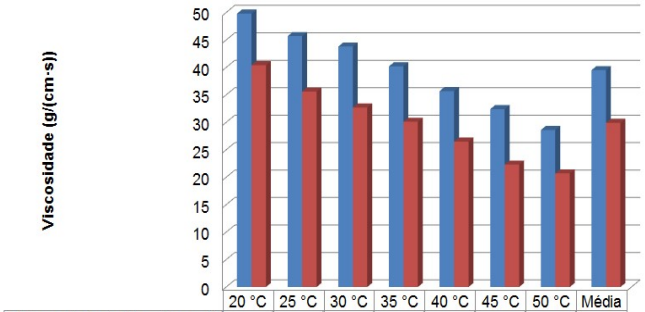
Sabendo-se que a usinagem visa fabricar com um menor custo possível, porém, juntamente, com maior precisão dimensional, além de, simultaneamente, ser ecologicamente correta, limpa e sustentável [108], foram selecionados três parâmetros importantes para serem analisados, que serão apresentados nos tópicos a seguir.

A. VISCOSIDADE

A lubrificação do metal é um item primordial para controlar o desgaste e o atrito na interface entre as superfícies que interagem [5]. A qualidade do filme lubrificante é de suma importância e está diretamente ligada à viscosidade do óleo lubrificante.

A viscosidade está associada à fluidez do óleo lubrificante. Quanto mais elevada a viscosidade do óleo, pior sua fluidez e maior o desempenho do filme de óleo e quanto menos a viscosidade do óleo lubrificante for alterada pela temperatura, melhor será o desempenho [109].

Como pode ser visto no Gráfico 1, o óleo vegetal à base de palma, um dos tipos de vegetal indicado como fluidos para *metal working* de acordo com a literatura, possui uma maior viscosidade quando comparado ao óleo mineral em diferentes temperaturas. Essa viscosidade elevada apresentada pelo óleo vegetal é muito interessante para a indústria metalúrgica, pois garante uma lubrificação mais estável em toda faixa de temperatura. Em operações de usinagem, o atrito metal-metal gera muito calor, sendo necessário trabalhar em altas temperaturas. E, por isso, o mais indicado é a utilização de óleos lubrificantes com viscosidade superior.



	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	Média
Viscosidade do óleo à base de palma	49,8	45,7	43,8	40,2	35,7	32,4	28,6	39,5
Viscosidade do óleo convencional	40,4	35,6	32,7	30,1	26,5	22,3	20,7	29,9

Gráfico 1. Comparação da viscosidade com variação de temperatura em fluidos de corte. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de [104] e [110].

Além do óleo à base de palma, outros óleos vegetais possuem uma elevada viscosidade quando comparado ao óleo convencional, como o óleo de colza, girassol e soja. Tais óleos possuem propriedades relevantes para utilização como fluidos para *metal working* quando comparados ao óleo mineral nas mesmas condições de temperatura.

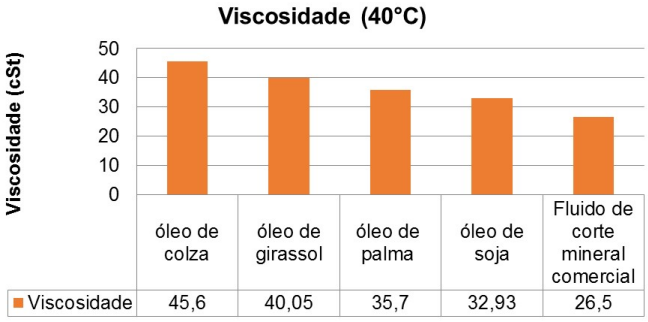


Gráfico 2. Viscosidade em diferentes óleos vegetais e mineral. Elaboração própria a partir dos dados de [104] e [110].

B. BIODEGRADABILIDADE

Segundo Sil (2017) [111], a biodegradabilidade de um óleo lubrificante é medida na quantidade de produto que é convertida naturalmente em dióxido de carbono ao longo da exposição a agentes biológicos durante um determinado período.

Algumas estruturas químicas são mais suscetíveis à degradação dos micro-organismos do que outras. Têm-se, por exemplo, os óleos vegetais e ésteres sintéticos. Geralmente, estes tipos de óleos biodegradam mais rapidamente que os óleos minerais em condições semelhantes [111].

A seguir, o Quadro 3 apresenta as taxas de biodegradação para diferentes óleos lubrificantes básicos.

Óleo Lubrificante Básico	Fonte do Óleo Básico	Biodegradação
Óleo Mineral	Petróleo	Lentamente
Óleos Vegetais	Óleos vegetais naturais	Facilmente

Quadro 3. Taxas de biodegradação para diferentes óleos lubrificantes básicos. Modificado de [43].

Conforme observado no Quadro 3, os lubrificantes à base de óleos vegetais são mais biodegradáveis do que os minerais, e tal discrepância pode ser explicada pela composição química dos biolubrificantes, por possuírem cadeias menores, pelo grupo éster poder ser hidrolisado e pela ligação dupla na cadeia do grupo éster poder ser, espontaneamente, atacada por micro-organismos, resultando em mais oxidação e, consequentemente, maior biodegradação, devido à presença de ácidos graxos.

Sendo assim, a biodegradabilidade dos fluidos de corte é definida, principalmente, pela estrutura química da matéria orgânica [112]. De acordo com o Gráfico 3, o lubrificante à base de óleo vegetal apresenta cerca de 90% do seu volume total degradado pelo meio ambiente quando descartado em, aproximadamente, 21 dias, conforme o método de teste CEC-L-33-T-82 da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) [113]. Já no óleo mineral apenas 20% é deteriorado. Logo, pode-se afirmar que os óleos vegetais são facilmente decompostos por ação de agentes biológicos e se degeneram cerca de 4 vezes a mais do que os minerais quando expostos à mesma situação.

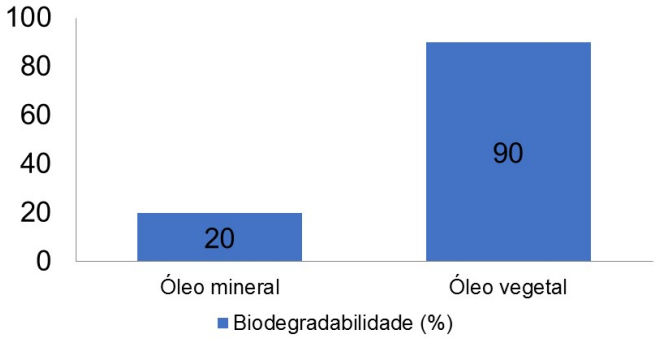


Gráfico 3. Percentual de biodegradabilidade do óleo convencional e biolubrificante. Elaboração própria a partir dos dados de [43].

Sabe-se que a biodegradabilidade é resultado da decomposição por micro-organismos em produtos atóxicos, como dioxido de carbono e água. A facilidade com que os microrganismos podem fazer tal procedimento depende da estrutura química, principalmente da extensão da ramificação da cadeia.

O Quadro 4 apresenta os fatores que afetam a biodegradabilidade e as correlações entre ambos [114].

Propriedade	Peso molecular	Número de grupos éster	Ramificação	Comprimento da cadeia	Diversidade estrutural
Biodegradabilidade	-	+	-	-	0

+: Relação positiva.
-: Relação negativa.
0: Não há relação.

Quadro 4. Relação entre a estrutura e a biodegradabilidade de lubrificantes à base de ester. Elaboração própria a partir dos dados de [114].

Conforme visto no Quadro 4, a biodegradabilidade de um óleo é afetada por diversos fatores como peso molecular, grupos ésteres, ramificação e comprimento da cadeia. Quanto menor for o peso molecular, quantidade de ramificações, comprimento da cadeia e maior for o número de grupos ésteres mais propício esse óleo vai ser para o ataque de micro-organismos e, consequentemente, sofrerá uma maior biodegradação.

C. TOXICIDADE

O óleo lubrificante utilizado no Brasil é classificado como resíduo perigoso pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, em razão da sua elevada toxicidade [115]. A utilização dos óleos lubrificantes oriundos do petróleo traz ameaças tanto no âmbito ambiental quanto na saúde operacional.

No âmbito ambiental, a contaminação pode ocorrer a partir de erro humano, perdas de fluidos de corte nas partes constituintes das máquinas, como peças de fixação e manejo, no sistema de pressurização do ar e na formação de gotas e vazamentos, além do armazenamento e transporte dos mesmos [106] [116].

Segundo Mannekote *et al*. (2018) [43], os MWFs causam danos irreversíveis quando descartados inapropriadamente, derramados no solo e a contaminação atrelada à formação de névoa e evaporação ao longo da sua utilização e aspiração da névoa pelos trabalhadores.

Durante a sua utilização, o óleo lubrificante sofre modificações químicas e perde suas qualidades e acumulam contaminantes, constituídos por compostos como ácidos orgânicos e aromáticos polinucleares, eminentemente cancerígenos. Sua combustão requer que primeiro seja realizado a desmetalização do material, pois a queima indiscriminada permite a liberação de gases residuais que contém metais pesados, como cádmio, níquel e chumbo, entre outros, além das dioxinas, que poluem perigosamente a atmosfera [117].

Na Figura 18, é apresentado o esquema de emissões de resíduos para o ambiente por intermédio da ação dos MWFs.

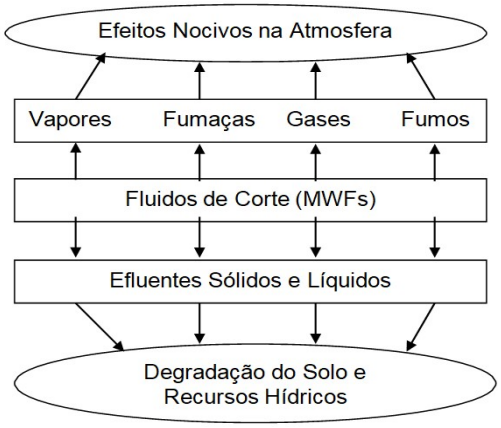


Figura 18. Efeitos nocivos ao ambiente decorrentes das emissões de resíduos de MWFs na atmosfera, no solo e na água. Fonte: Adaptado de [118].

Quando são usados fluidos de corte à base mineral, há a liberação de componentes nocivos para a atmosfera, como vapores, fumaças, gases e fumos, além de efluentes sólidos e líquidos que acarretam a degradação do solo e dos recursos hídricos, o que ocasiona um impacto em todo o ecossistema.

Estimativas apresentam que apenas nos Estados Unidos, aproximadamente, de 700000 a um milhão de trabalhadores estão expostos aos MWFs [97] e a inalação de aerossóis de fluidos metálicos à base de óleo mineral pode ocasionar irritação na garganta, no nariz e no pulmão e tem sido associada a diversas doenças [118], conforme a Figura 19.

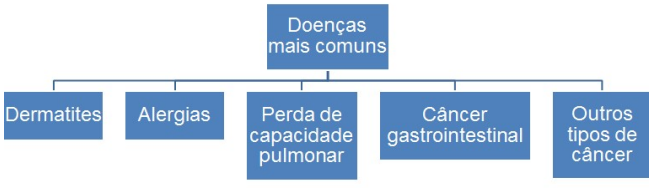


Figura 19. Efeitos nocivos à saúde operacional. Elaboração própria a partir dos dados de [98].

Além dos óleos vegetais serem menos agressivos ao meio ambiente, devido à sua excelente biodegradabilidade, descrita anteriormente, os lubrificantes à base vegetal também são menos agressivos à saúde dos operadores. Conforme listado na Figura 19, o efeito gerado à saúde operacional nas operações

de usinagem é preocupante, em razão de uma série de problemas que podem acarretar para quem fica exposto a tais fluidos de corte.

Os óleos lubrificantes vegetais são menos tóxicos por possuírem um maior peso molecular e um elevado ponto de ebulição, o que diminui a nebulização e vaporização desse óleo durante a sua utilização, fazendo com que o operador aspire menos óleo suspenso no ar.

Posto isto, os biolubrificantes estão evoluindo como fluidos para *metal working* devido à sua menor toxidade, maior biodegradabilidade, capacidade de minimizar os custos de tratamento de resíduos e reduzir os riscos para a saúde dos operadores.

VIII. CONCLUSÕES

Apesar de o óleo convencional ser largamente empregado em aplicações de *metal working* com ênfase em usinagem, atualmente há diversas pesquisas relacionadas à busca de fontes renováveis e sustentáveis de energia, visto que os combustíveis fósseis são limitados e causam grandes impactos ambientais.

No que se refere ao setor de óleos lubrificantes, verificou-se que os óleos de base vegetal apresentam diversas propriedades que os tornam superiores aos óleos oriundos do petróleo para algumas aplicações, dentre elas está o uso em fluidos para *metal working*, uma vez que mantêm as especificações dos lubrificantes comumente usados.

A partir da compilação de dados oriundos, especialmente, de artigos científicos, foi possível realizar uma análise comparativa das propriedades do óleo mineral e vegetal. Constatou-se que os óleos convencionais possuem uma maior estabilidade oxidativa, térmica e uma menor proliferação de micro-organismos quando comparado aos lubrificantes vegetais. E que os óleos vegetais apresentaram baixa toxicidade, alta biodegradabilidade e um índice de viscosidade e lubricidade superiores ao óleo convencional.

No entanto, esses biolubrificantes também apresentam algumas desvantagens, como o alto custo de aquisição, sendo cerca de 4 a 5 vezes mais caros que os óleos convencionais, além de possuírem baixa estabilidade termo-oxidativa, o que poderia ser um problema para as operações de usinagem. Só que tal propriedade, assim como outra do biolubrificante, pode ser melhorada através de aditivos.

Além de o biolubrificante apresentar uma baixa toxicidade e ser ambientalmente seguro, possui fonte renovável, ou seja, ilimitada. Tais óleos são cerca de cinco vezes mais biodegradáveis do que os óleos convencionais, devido à sua estrutura.

Levando em consideração os efeitos negativos gerados pela utilização dos fluidos de corte de base mineral, como danos ao meio ambiente e agressão à saúde do operador, visto que cerca de 700000 a um milhão de trabalhadores estão expostos a MWFs apenas nos EUA, os biolubrificantes se mostraram uma alternativa de substituição atraente para empresas mediante o cenário de sustentabilidade, por garantir menores impactos tanto ambientais quanto operacionais.

Sabe-se que as pesquisas científicas e os trabalhos desenvolvidos no segmento de óleos lubrificantes são raros e quase inexistentes, especialmente em pesquisas nacionais e com a importância de buscar maneiras alternativas promissoras, para serem implantadas nas indústrias em geral, e que promovam a minimização dos impactos, como sugestões para trabalhos futuros têm-se:

- O estudo mais aprofundado de outros parâmetros, além dos apresentados, que influenciam no desempenho de tais óleos na aplicação abordada no presente trabalho.
- Além dos aspectos técnicos, abordar os mercadológicos e analisar as tendências de utilização de tais biolubrificantes no *metal working*, a partir do mapeamento das indústrias que estão fazendo tal substituição.
- Realizar uma análise de custo, com dados consolidados, abordando a viabilidade econômica do emprego de óleos de fontes vegetais.
- E, por fim, realizar um estudo sobre a logística reversa realizada no setor de óleos lubrificantes.

REFERÊNCIAS

[1] QUELHAS, A. D. *et al*. **Processamento de petróleo de gás: petróleo e seus derivados, processamento primário**, **processos de refino, petroquímica, meio ambiente**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

[2] GONÇALVES, J. C. *et al*. **Estratégia e viabilidade econômica no processo de regeneração do óleo lubrificante mineral usado em equipamentos industriais**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte, p.2-15, 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_143_904_19203.pdf >. Acesso em: 6 mar. 2018.

[3] SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B. **Química Orgânica**. v. 1. Ed. GEN/LTC, Rio de Janeiro, 2009.

[4] CETEC. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, 1983. 259 p. Disponível em:<http://bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/consultaDetalheDocumento.php?iCod Documento=73657>. Acesso em: 15 fev. 2018.

[5] CHOUDHURY, S. K.; MUAZ, M. Natural Oils as Green Lubricants in Machining Processes. **Reference Module In Materials Science And Materials Engineering**, [s.l.], 2018. Elsevier.http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.10848-3. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/B9780128035818108483>. Acesso em: 10 nov. 2018.

[6] SOUZA, M. C. de *et al*. Use of jatropha and moringa oils for lubricants: metalworking fluids more environmental-friendly. **Industrial crops and products**, [s.l.], v. 129, p.594-603, mar. 2019. elsevier bv. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.033. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669018310859>. Acesso em 20 mar. 2019.

[7] LAWS, N.; GIL, O. **Handbook of Metalworking and Welding Engineering**. New York: Academic Studio, 2016.

[8] VIEIRA, C. *et al*. **Reaproveitamento de Óleo de Corte em Centros de Usinagem no Setor de Suportes na Metalúrgica Riosulense S.A**. 2012. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/28416236.pdf>. Acesso em: 18 out. 2018.

[9] LISBOA, F. C.; MORAES, J. J. B.; HIRASHITA, M. A. Fluidos de corte: uma abordagem geral e novas tendências. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23, 2013, Salvador – BA. **A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos**. Salvador: ABEPRO, 2013. v. 23, p. 1 - 16. Disponível em: <http://abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_185_056_23095.pdf>. Acesso em: 18 out. 2018.

[10] ALVES, S. M.; OLIVEIRA, J. F. G. de. **Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de**

gestão ambiental. *Prod.* [online]. 2007, v.17, n.1, p.129-138. ISSN 0103-6513. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132007000100009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132007000100009&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 27 mar. 2018.

[11] AUTO VÊNICE. **Diferenças entre óleo Mineral e Sintético**. Disponível em: <http://autovenice.com.br/voce-sabia/diferencas-entre-oleo-mineral-e-sintetico/>. Acesso em: 4 maio 2018.

[12] ZAMBONI, G. E. Óleos básicos. **Lubes em Foco**, n. 5, p. 12-18, 2008. Disponível em: <http://www.lubes.com.br/edicoes/edicao05/index.html>. Acesso em: 4 maio 2018.

[13] ERHAN, S. Z. **Industrial Uses of Vegetable Oils**. Champaign, IL, USA: AOCS Press, 2005.

[14] TOTTEN, E. G. **Fuel and Lubricants handbook: technology, properties, performance and testing**. PO Box C7000. ASTM International, 2003.

[15] BART, J. C. J.; GUCCIARDI, E.; CAVALLARO, S. **Biolubricants: Science and Technology**. [s.l.]: Woodhead Publishing, 2013. 944 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=hoBwAgAAQBAJ&pg=PA35&lpg=PA35&dq=api+e+atiel+classifica%C3%A7%C3%A3o&source=bl&ots=RmB-S4SU1y&sig=ACfU3U3HQUfu8gqLeU5PBFCq4OMTCc7gKw&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjI1bDuh__pAhUMIrkGHcWdC-cQ6AEwDHoECAgQAQ#v=onepage&q=group&f=false. Acesso em: 13 jun. 2020.

[16] CHEEM CEED. **Polyalphaolefin – PAO**. Disponível em: < https://www.chemceed.com/polyalphaolefin-paos/>. Acesso em: 13 jun. 2020.

[17] SILVA, R. J. da. **Avaliação das caracteristicas físico-químicas do óleo lubrificante automotivo usado**. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Petróleo e Gás Natural, Universidade Potiguar, Natal, 2014. Disponível em: <https://www.unp.br/wp-content/uploads/2014/06/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Ricardo-Silva-2014.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2020.

[18] AZEVEDO, J. B.; CARVALHO, L. H. de; FONSECA, V. M. Efeito da degradação em motor automotivo nas propriedades termogravimétricas de óleos lubrificantes minerais e sintéticos. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, **Anais do Congresso Brasileiro P&D em Petróleo e Gás**. Salvador, 2005. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0224_05.pdf>. Acesso em: 9 maio 2018.

[19] MAZZO-SKALSKI, S. Benefícios dos lubrificantes sintéticos: desafios que os proprietários de equipamentos enfrentam. **Lubes em Foco**, n. 18, p. 18-20, 2010. Disponível em: <http://www.lubes.com.br/edicoes/edicao18/index.html>. Acesso em: 9 maio 2018.

[20] RICARDO, F. *et al*. LIPOPEROXIDAÇÃO DOS ÓLEOS ALIMENTARES. **Revista Lusófona de Ciência e Medicina Veterinária**, [s.l.], v. 4, set. 2011. Disponível em: <http://revistas.ulusofona.pt/index.php/rlcmv/article/view/2391>. Acesso em: 18 maio 2018.

[21] FiB. Dossiê: óleos. **FiB – Food Ingredients Brasil**, [S.l.], n. 31, p. 38-55, set. out. nov. 2014. Disponível em: <http://revista-fi.com.br/edicoes/31/fib-edicao-31>. Acesso em: 18 maio 2018.

[22] RINALDI, R. *et al*. Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, [s.l.], v. 30, n. 5, p.1374-1380, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100- 40422007000500054. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000500054>. Acesso em: 18 maio 2018.

[23] JORGE, N. **Química e tecnologia de óleos vegetais**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. v.1. 165 p.

[24] GARCIA, C. M. **Transesterificação de óleos vegetais**. 2006. 120 p. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) – Departamento de Química Inorgânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/vtls000386845.pdf>. Acesso em: 18 maio 2018.

[25] BRITO, D. H. A. de. **Síntese e caracterização de ésteres a partir do diglicerol e triglicerol e avaliação de suas aplicações em lubrificantes**. 2016. 68 f.: il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Química, Fortaleza, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/21521/1/2016_dis_dhabrito.pdf>. Acesso em: 18 maio 2018.

[26] SUAREZ, P. A. Z. *et al*. Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. **Química Nova**, [S.l.], v. 30, n. 3, p.667-676, jun. 2007. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422007000300028. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422007000300028&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 18 maio 2018.

[27] ANTUNES, S. A. **Desenvolvimento de graxas lubrificantes a partir de óleos provenientes do farelo de arroz (Oryza sativa L.)**. 2013. 174 p.: il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis - SC, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/122744/327720.pdf?se quence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 maio 2018.

[28] MATOS, P. R. R.; POLITI, J. R. dos S. Óleos vegetais: utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes. **Lubes em Foco**, n. 20, p. 24-26, 2010. Disponível em: <http://www.lubes.com.br/edicoes/edicao20/index.html>. Acesso em: 14 maio 2018.

[29] SPOHR, R. B. **Manutenção e máquinas agrícolas**. Apostila do curso de Agronomia da Universidade Federal do Pampa, 2008.

[30] SILVA, S. S. A.; DELFINO, A. M. I.; FERREIRA, S. T. M. **Análise de óleos lubrificantes para detectar desgaste em motor a diesel toyama TD100FE**. 2016. 93 f. Dissertação (Graduação em tecnólogo em Manutenção Industrial) - Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes - RJ, 2016. Disponível em: <http://bd.centro.iff.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1378/Documento.pdf? sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 maio 2018.

[31] CARRETEIRO, R. P; BELMIRO, P. N. A. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

[32] 100ATRITO. **Especificações ACEA.** Disponível em: <https://100atrito.wixsite.com/site/especificacoes-acea>. Acesso em: 16 jun. 2020.

[33] ROCCO, C. *et al*. **Panorama dos óleos básicos no Brasil**. Distrito Federal: ANP, 2016. Disponível em: <http://www.simepetro.com.br/wp-content/uploads/ANP- RELATORIO-TECNICO-2-2016-SBQ-CPT-DF-PANORAMA-DOS-OLEOS-BASICOS-NO-BRASIL.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2018.

[34] MATOS, P. R. R. de. **Utilização de Óleos Lubrificantes Vegetais como Bases Lubrificantes.** 2011. 102 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Brasília, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/8755/1/2011_PauloRobertoRodriguesdeMatos.pdf >. Acesso em: 1 jun. 2018.

[35] BELMIRO, P. N. A. Índice de viscosidade. **Lubes em Foco**, n. 7, p. 16-19, 2008. Disponível em: <http://www.lubes.com.br/edicoes/edicao07/index.html>. Acesso em: 1 jun. 2018.

[36] ROLIM, D. G. *et al*. **Lubrificantes Industriais**, Campus de Bauru, p. 1-10. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_16.pdf>. Acesso em: 18 maio 2018.

[37] MOURA, C. R. dos S.; CARRETEIRO, R. P. **Lubrificantes e Lubrificação**. Rio de Janeiro: J R Ed. Técnica, 1987. 469 p. v.1.

[38] SILVA, R. J. **Avaliação das características físico-químicas do óleo lubrificante automotivo usado**. 2014. 83 p. Dissertação (Mestrado profissional em Engenharia do petróleo e gás natural) – Universidade Potiguar, Natal - RN, 2014. Disponível em: <https://unp.br/wp-content/uploads/2014/06/Disserta%C3%A7%C3%A3o- Ricardo-Silva-2014.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2018.

[39] MACHADO, Y. de L. **Avaliação da estabilidade oxidativa e determinação da cinética de oxidação de óleos vegetais, ácido oléico e biodiesel utilizando o método PetroOXY (ASTM D7545)**. 2014. 157 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Natal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21671/1/YguatyaraDeLunaMa chado_TESE.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2018.

[40] LUNA, F. M. T. *et al*. Studies on biodegradability of bio-based lubricants. **Tribology International**, [s.l.], v. 92, p.301-306, dez. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2015.07.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X15002923?via%3Dihub>. Acesso em: 29 maio 2019.

[41] US EPA. **Environmentally Acceptable Lubricants**. 2011. Disponível em:

<https://www3.epa.gov/npdes/pubs/vgp_environmentally_acceptable_lubricants.pdf>. Acesso em: 28 maio 2019.

[42] EXXONMOBIL. **Lubricant Biodegradability and Why It Is Important**. 2006. Disponível em: <https://www.petroliance.com/sites/default/files/PDF/Hydraulic/Lubricant%20Biodegradability.pdf>. Acesso em 28 maio 2019.

[43] MANNEKOTE, J. K. *et al*. Environmentally friendly functional fluids from renewable and sustainable sources-A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 81, p.1787-1801, jan. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.274. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117309255?via%3Dihub>. Acesso em: 28 mar. 2019.

[44] MADANHIRE, I.; MBOHWA, C. **Mitigating Environmental Impact of Petroleum Lubricants Mitigating Environmental Impact of Petroleum Lubricants**. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. 239 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=cAdkDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Mitigating+Environmental+Impact+of+Petroleum+Lubricants+Mitigating+Environmental+Impact+of+Petroleum+Lubricants&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjWwqaah8HiAhWpGLkGHfHuDQkQ6AEIKTAA#v=onepage&q=Mitigating%20Environmental%20Impact%20of%20Petroleum%20Lubricants%20Mitigating%20Environmental%20Impact%20of%20Petroleum%20Lubricants&f=fals e>. Acesso em: 29 maio 2019.

[45] SINGH, Y. *et al*. Sustainability of a non-edible vegetable oil based bio-lubricant for automotive applications: A review. **Process Safety And Environmental Protection**, [s.l.], v. 111, p.701-713, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.041. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017302963?via%3Dihub>. Acesso em: 29 maio 2019.

[46] COSTA, C. *et al.* The qualitative and quantitative analysis of lubricant oil additives by direct analysis in real time-mass spectrometry. **International Journal Of Mass Spectrometry**, [s.l.], v. 405, p.24-31, jul. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijms.2016.05.011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1387380616300525>. Acesso em: 11 out. 2018.

[47] SHARA, S.I.; EISSA, E.A.; BASTA, J.S. Polymers additive for improving the flow properties of lubricating oil. **Egyptian Journal Of Petroleum**, [s.l.], p.1-5, dez. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.12.001. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/S1110062117300673>. Acesso em: 1 jun. 2018.

[48] SINGH, R. K. *et al*. Study of a novel phenolic-ester as antioxidant additive in lube, biodiesel and blended diesel. **Journal Of Industrial And Engineering Chemistry**, [s.l.], v. 37, p.27-31, maio 2016. ElsevierBV.http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2016.03.029. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/S1226086X16300442>. Acesso em: 10 out. 2018.

[49] ASHRY, E. S. H. *et al*. Antioxidant Additives for Lubricating Oils: Synthesis and Evaluation of some Polyfunctionalized Phenols Linked to Heterocycles. **Jordan Journal Of Chemistry**, Cairo, Egypt, v. 4, n. 3, p.223-231, 18 ago. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237590973_Antioxidant_Additives_for_Lubricating_Oils_Synthesis_and_Evaluation_of_some_Polyfunctionalized_Phenols_Lin ked_to_Heterocycles>. Acesso em: 10 out. 2018.

[50] NASSAR, A. M. *et al*. Synthesis and utilization of non-metallic detergent/dispersant and antioxidant additives for lubricating engine oil. **Tribology International**, [s.l.], v. 93, p.297-305, jan. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2015.08.033. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X15003758 >. Acesso em: 10 out. 2018.

[51] AFZOON RAVAN CO. **Antioxidant**: How antioxidants work. 2015. Disponível em: <http://www.afzoonravan.com/en/product/print/76.html>. Acesso em: 11 out.2018.

[52] YADAV, G.; TIWARI, S.; JAIN, M.l. Tribological analysis of extreme pressure and anti-wear properties of engine lubricating oil using four ball tester. **Materials Today: Proceedings**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.248-253, 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.079. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/S2214785317323179>. Acesso em: 10 out. 2018.

[53] TORBACKE, M.; RUDOLPHI, Å. K.; KASSFELDT, E. **Lubricants: Introduction to Properties and Performance**. New Delhi, India: Wiley, 2014. 210 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=viPnAgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Lu bricants:+Introduction+to+Properties+and+Performance&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjr0ZPKxvzdAhVHGJAKHaXHCVIQ6AEIJzAA#v=onepage&q=Lubricants%3A%20Introduction%20to%20Properties%20and%20Performance&f=false>. Acesso em: 10 out. 2018.

[54] HAMADI, L. *et al*. The use of amino acids as corrosion inhibitors for metals: A review. **Egyptian Journal Of Petroleum**, [s.l.], p.1-9, jun. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.04.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062118300485>. Acesso em: 10 out. 2018.

[55] SPEIGHT, J. G.; EXALL, D. I.. **Refining Used Lubricating Oils**. Boca Raton: CRC Press, 2014. 466 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=IHzNBQAAQBAJ&pg=PA33&lpg=PA33&dq=Form+a+protective+film+on+the+bearing+surfaces&source=bl&ots=YGolTtHVCO&si g=PiY313W1-cjBLaQToUJksCiNYyQ&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjBhPD1h_zdAhXEH5AKHYfYAEAQ6AEwAHoECAgQAQ# v=onepage&q=corrosion&f=false>. Acesso em: 10 out. 2018.

[56] SANTOS, A. P. F. *et al*. Quantification of detergent-dispersant additives in gasoline by size-exclusion chromatography and thermogravimetry. **Fuel**, [s.l.], v. 194, p.166- 170, abr. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.009. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/S0016236117300091>. Acesso em: 11 out. 2018.

[57] ABDEL-HAMEED, H. S.; AHMED, N. S.; NASSAR, A. M. **Some Ashless Detergent/Dispersant Additives for Lubricating Engine Oil:** Synthesis and Evaluation of Ashless Detergent/Dispersant and Antioxidant Additives for Lubricating Engine Oil. Alemanha: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 204 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315655246_Some_Ashless_DetergentDis persant_Additives_for_Lubricating_Engine_Oil>. Acesso em: 11 out. 2018.

[58] AMSOIL. What is the difference between synthetic and conventional oil?. Disponível em: <https://www.syntheticoils.us/difference_between_synthetic_and_conventional_oil.ht m>. Acesso em: 11 out. 2018.

[59] LIU, T. *et al*. Preparation of a kind of reactive pour point depressant and its action mechanism. **Fuel**, [s.l.], v. 143, p.448-454, mar. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.11.094. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236114012058>. Acesso em: 11 out. 2018.

[60] MENEZES, P. L. *et al*. **Tribology for Scientists and Engineers: From Basics to Advanced Concepts**. USA: Springer, 2013. 948 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=1Pe6BAAAQBAJ&pg=PA293&lpg=PA293&dq=Chapter+10+Fundamentals+of+Lubrication+Pradeep+L.+Menezes,+Carlton+J.+Reeves,+and+Michael+R.+Lovel&source=bl&ots=rWtqFjQUFA&sig=J8clWH2l7Svbfw OcB2_T1AwXJxQ&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwivwc2wuvzdAhWEh5AKHQrLAqQQ6AEwAXoECAgQAQ#v=onepage&q=Chapter%2010%20Fundamentals%20of%20Lubrication%20Pradeep%20L.%20Menezes%2C%20Carlton%20J.%20Reeves%2C%20and%20Michael%20 R.%20Lovel&f=false>. Acesso em: 10 out. 2018.

[61] GORBATCHEV, O. *et al*. Friction reduction efficiency of organic Mo-containing FM additives associated to ZDDP for steel and carbon-based contacts. **Tribology International**, [s.l.], v. 99, p.278-288, jul. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2016.03.035. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X16300433>. Acesso em: 11 out. 2018.

[62] FAIG, J. J. *et al*. Thermocleavable friction modifiers for controlled release in lubricants. **Tribology International**, [s.l.], v. 120, p.58-69, abr. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2017.11.030. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X17305443 >. Acesso em: 11 out. 2018.

[63] PASSE CARROS. **Redutores de atrito mecânico: são realmente eficientes?**. 2017. Disponível em: <https://blog.passecarros.com.br/2017/05/26/redutores-de-atrito-mecanico-sao-realmente-eficientes/>. Acesso em: 7 jun. 2020.

[64] VOLLMER, M.; MÖLLMANN, K. **Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications.** 2. ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2017. 769 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=0-Q3DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Infrared+Thermal+Imaging:+Fundamentals,+Research+and+Applications.&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjl3NnH57PeAhVEgJAKHRlwAPQQ6AEIKTA#v

=onepage&q=Infrared%20Thermal%20Imaging%3A%20Fundamentals%2C%20Research%20and%20Applications.&f=false>. Acesso em: 31 out. 2018.

[65] BRESCIANI FILHO, E. *et al*. **Conformação plástica dos metais**. 6. ed. São Paulo: EPUSP, 2011. 254 p. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/conformacaoplasticadosmetais.pdf>. Acesso em: 31 out. 2018.

[66] LARA, B. S. **Análise da distribuição de microdureza em barras de cobre e de alumínio trefiladas e tracionadas**. 2015. 60 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Departamento de Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.demat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/25/2018/06/TCCII-_2%C2%BA_2015_B%C3%A1rbara-de-Souza-Lara-vers%C3%A3o-final.pdf>. Acesso em: 31 out. 2018.

[67] ABAL. **Associação Brasileira do Alumínio.** Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/extrusao/>. Acesso em: 08 jun. 2020.

[68] RUCHERT, C. O. F. T. **Conformação Plástica**. 56 slides. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4094797/mod_resource/content/1/Aula%20 2%20Conforma%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2018.

[69] MARTÍNEZ. **Lubrificante**. Disponível em: <https://trefilacao.blogspot.com/p/lubrificante.html>. Acesso em: 11 jun. 2020.

[70] BATALHA, G. F. **Processos de fabricação: junção, soldagem e brasagem**. 2003. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/soldagem_brasagem.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2018.

[71] CARNEIRO, J. M. **Estudo da influência da temperatura de brasagem nas uniões zircônia/aço inox 304 utilizando metalização mecânica**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12850/1/JacianeMC_DISSERT. pdf>. Acesso em: 1 nov. 2018.

[72] CADIUM. **Entendendo um pouco mais sobre óleos lubrificantes nos processos de fabricação de metais**. 2020. Disponível em: <https://www.cadium.com.br/2020/02/11/entendendo-um-pouco-mais-sobre-os-processos-de-fabricacao-de-metais/>. Acesso em: 11 jun. 2020.

[73] RAKIC, R.; RAKIC, Z. Tribological aspects of the choice of metalworking fluid in cutting processes. **Journal Of Materials Processing Technology 124**, p.25-31, 2002. Disponível em: <https://ac-els-cdn.ez29.capes.proxy.ufrj.br/S0924013601011505/1-s2.0 S0924013601011505-main.pdf?_tid=08bbb78e-ffc3-4934-bf81-e7216dec1e6d&acdnat=1541099093_21b438b10b6f7d00bdd3902ee4e03783>. Acesso em: 1 nov. 2018.

[74] CIMM. **Os Fluidos de Corte**. Disponível em: <emhttps://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4757-os-fluidos-de-corte#.XuImG3thncc>. Acesso em: 11 jun. 2020.

[75] EPUSP. **Fundamentos dos Processos de Usinagem**. 75 slides. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS1.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2020.

[76] MELKOTE, S. N. *et al*. Advances in material and friction data for modeling of metal machining. **CirpAnnals**, [s.l.], v. 66, n. 2, p.731-754, 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850617301415>. Acesso em: 10 nov. 2018.

[77] ROGOV, V. A. *et al*. Improvement of cutting tool performance during machining process by using different shim. **Archives Of Civil And Mechanical Engineering**, [s.l.], v. 17, n. 3, p.694-710, maio 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2017.01.008. Dispoível em: <https://www-sciencedirect.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/S1644966517300183>. Acesso em: 10 nov. 2018.

[78] LAURO, C.H. *et al*. Monitoring and processing signal applied in machining processes – A review. **Measurement**, [s.l.], v. 58, p.73-86, dez. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2014.08.035. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224114003546 >. Acesso em: 10 nov. 2018.

[79] CHAKRABORTY, S.; DANDGE, S. S.; AGARWAL, S. Non-traditional machining processes selection and evaluation: A rough multi-attributive border approximation area comparison approach. **Computers & Industrial Engineering**, [s.l.], v. 139, p.1-16, jan. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2019.106201. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835219306709>. Acesso em: 7 jan. 2020.

[80] TESLA. **Processos de Usinagem**. Disponível em: < https://teslaconcursos.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Processos_de_Usinagem-1.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.

[81] SOUZA, A. J. de. **Processos de Fabricação por Usinagem Parte 1**. 2011. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Mecânica.

[82] CATTAI, A. P. **2. Superfícies de Revolução**. 2006. Universidade Federal da Bahia. Disponível em: < http://www.alunospgmat.ufba.br/adrianocattai/ensino_arquivos/mata01--2006-2/2_superf_revo.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2020.

[83] FERRAMENTAL. **O efeito da temperatura no torneamento**. 2019. Disponível em: <https://www.revistaferramental.com.br/?cod=artigo/efeito-temperatura-torneamento/>. Acesso em 1 mar. 2020.

[84] ABDELRAZEK, A. H. *et al*. Metal cutting lubricants and cutting tools: a review on the performance improvement and sustainability assessment. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [s.l.], v. 106, n. 9-10, p. 4221-4245, 14 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s00170-019-04890-w. Disponível em: <https://springer.proxy.ufrj.br/content/pdf/10.1007/s00170-019-04890-w.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2020.

[85] POLLI, M. L. **Análise da estabilidade dinâmica do processo de fresamento a altas velocidades de corte**. 2005. 214 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Cap. 2. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102470/210330.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 1 mar. 2020.

[86] CIMM. **Métodos de Fresamento**. Disponível em: < https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4862-metodos-de-fresamento#.Xmkm0qhKjIU>. Acesso em: 1 mar. 2020.

[87] SANDVICK. **Fresamento sem refrigeração ou com fluido de corte**. Disponível em: < https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/pages/dry-milling-or-with-cutting-fluid.aspx>. Acesso em: 2 mar. 2020.

[88] OLIVEIRA, C. A. S. de. *et al.* **Análise Da Rugosidade Ra No Fresamento De Topo Do Aço Inoxidável Duplex Uns S32205**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2019, São Carlos. COBEF, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Emerson_Paiva/publication/335510064_INFLUENCIA_DA_QUANTIDADE_DE_FLUIDO_DE_CORTE_NO_FRESAMENTO_DE_TOPO_DO_ACO_INOXIDAVEL_DUPLEX_UNS_S32205/links/5e18636c299bf10bc3a10298/INFLUENCIA-DA-QUANTIDADE-DE-FLUIDO-DE-CORTE-NO-FRESAMENTO-DE-TOPO-DO-ACO-INOXIDAVEL-DUPLEX-UNS-S32205.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2020.

[89] MANUFATURA EM FOCO. **Desafios dos processos e usinagem com ausência de fluidos lubrirrefrigerantes: Processo de furação**. Disponível em: <https://www.manufaturaemfoco.com.br/desafios-dos-processos-e-usinagem-com-ausencia-de-fluidos-lubrirrefrigerantes-processo-de-furacao/>. Acesso em: 14 mar. 2020.

[90] BQL. **Como aumentar a produtividade em 37% na furação profunda de aço [ESTUDO DE CASO]**. 2019. Disponível em: <https://biolub.com.br/blog/furacao-profunda-aco-estudo-de-caso/>. Acesso em: 12 jun. 2020.

[91] MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICO. **Processo de retificação – peça e rebolo em movimento**. Disponível em: < http://moldesinjecaoplasticos.com.br/processo-de-retificacao-peca-e-rebolo-em-movimento/>. Acesso em: 14 mar. 2020.

[92] NETO, G. C. de S.; SILVA, E. R. da. **Influência do fluido de corte no torneamento de aço e materiais não ferrosos.** Disponível em: <http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/GERSON.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2020.

[93] LAWAL, S. A.; CHOUDHURY, I. A.; NUKMAN, Y. A critical assessment of lubrication techniques in machining processes: a case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 41, p.210- 221, fev. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612005483>. Acesso em: 10 nov. 2018.

[94] ZHENG, D. *et al*. Anticorrosion and lubricating properties of a fully green lubricant. **Tribology International**, [s.l.], v. 130, p.324-333, fev. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2018.08.014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X1830402X>. Acesso em: 22 maio 2019.

[95] NAKAGAWA, D. H. *et al*. Recontaminação do fluido de corte presente em fresadoras. **Máquinas e Metais**, v. 612, p. 38-42, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327317284_Recontaminacao_do_fluido_de_corte_presente_em_fresadoras>. Acesso em: 15 mar. 2020.

[96] TESSARO, E. P. **Avaliação de processos oxidativos para o tratamento ambientalmente adequado de fluidos de corte.** 2008. 82 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação, Instituto de Química de São C/arlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde20062008165020/pt-br.php>. Acesso em: 18 maio 2019.

[97] LAWAL, S. A.; CHOUDHURY, I. A.; NUKMAN, Y. Application of vegetable oil-based metal working fluids in machining ferrous metals — A review. **International Journal Of Machine Tools And Manufacture**, [s.l.], v. 52, n. 1, p.1-12, jan. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2011.09.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695511001726>. Acesso em: 18 maio 2019.

[98] PRADO, W de. **Aula 8 – Fluidos de Corte**. 24 slides. Disponível em: <https://mundomecanico.com.br/wp-content/uploads/2012/08/Aula_8_-_Fluidos_de_Corte.pdf>. Acesso em: 18 maio. 2019.

[99] SYAHIR, A. Z. *et al*. A review on bio-based lubricants and their applications. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 168, p.997-1016, dez. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.106. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617320966>. Acesso em: 30 maio 2019.

[100] MELO, D. S; BÄTZNER, L. N.; SALATI, M. R. **Fluidos de Corte.** 2010. 51 p. Trabalho apresentado na disciplina Usinagem dos Materiais – Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/uandersonmarques5/01-fluidos-de-corte>. Acesso em: 18 de maio 2019.

[101] BIOLUB. **Fluido de Corte: 4 erros de utilização que causam prejuízo**. 2018. Disponível em: < https://biolub.com.br/blog/fluido-de-corte-erros-de-utilizacao/>. Acesso em 12 mar. 2020.

[102] DELGADO, M.A.; GARCÍA-RICO, C.; FRANCO, J.M. The use of rosemary extracts in vegetable oil-based lubricants. **Industrial Crops And Products**, [s.l.], v. 62, p.474- 480, dez. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669014005664?via%3Dihub>. Acesso em: 29 maio 2019.

[103] BENEDICTO, E.; CAROU, D.; RUBIO, E.M. Technical, Economic and Environmental Review of the Lubrication/Cooling Systems Used in Machining Processes. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 184, p.99-116, 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.075. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817315801>. Acesso em: 29 maio 2019.

[104] SHASHIDHARA, Y. M.; JAYARAM, S.R. Vegetable oils as a potential cutting fluid— An evolution. **Tribology International**, [s.l.], v. 43, n. 5-6, p.1073-1081, maio 2010. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2009.12.065. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/S0301679X09004022>. Acesso em: 22 maio 2019.

[105] GAJRANI, K. K.; SANKAR, M. R. Past and Current Status of Eco-Friendly Vegetable Oil Based Metal Cutting Fluids. **Materials Today**: Proceedings, [s.l.], v. 4, n. 2, p.3786-3795, 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.275. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317304856>. Acesso em: 30 maio 2019.

[106] ZAINAL, N. A. *et al*. A review on the chemistry, production, and technological potential of bio-based lubricants. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 82, p.80-102, fev. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117312534>. Acesso em: 20 mar. 2019.

[107] OSAMA, M. *et al*. Recent developments and performance review of metal working fluids. **Tribology International**, [s.l.], v. 114, p.389-401, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2017.04.050. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/S0301679X17302232>. Acesso em: 22 maio 2019.

[108] KROLCZYK, G.M. *et al*. Ecological trends in machining as a key factor in sustainable production – A review. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 218, p.601-615, maio 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.017. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619303968>. Acesso em: 20 mar. 2019.

[109] FAN, M. *et al*. Naphthoate based lubricating oil with high oxidation stability and lubricity. **Tribology International**, [s.l.], p.1-24, maio 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2019.05.039. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez29.capes.proxy.ufrj.br/science/article/pii/S0301679X19302981>. Acesso em: 02 jun. 2019.

[110] ZAREH-DESARI, B.; DAVOODI, B. Assessing the lubrication performance of vegetable oil-based nano-lubricants for environmentally conscious metal forming processes. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 135, p.1198-1209, nov. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.040. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616309283>. Acesso em: 24 abr. 2019.

[111] SIL. Biodegradabilidade de lubrificantes. 2017. Disponível em: <http://www.sil.net.br/biodegradabilidade-de-lubrificantes/>. Acesso em: 28 maio 2019.

[112] GAJRANI, K. K.; RAM, D.; SANKAR, M. R. Biodegradation and hard machining performance comparison of eco-friendly cutting fluid and mineral oil using flood cooling and minimum quantity cutting fluid techniques. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 165, p.1420-1435, nov. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.217. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617316724?via%3Dihub>. Acesso em: 30 maio 2019.

[113] SHARMA, B. K.; BIRESAW, G. (ed.). **Environmentally Friendly and Biobased Lubricants**. Boca Raton: Crc Press, 2016. 433 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=Y2oNDgAAQBAJ&pg=PA109&lpg=PA109&dq=New+CEC+test+method+L-103+for+lubricant+biodegradability&source=bl&ots=QbNuJUL8zH&sig=ACfU3U3IYnq-h_K130hsgV0oSRff3u5nbg&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjO_ZvmhP3pAhWLHrkGHRCyBRIQ6AEwBXoECAcQAQ#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 12 jun. 2020.

[114] RUDNICK, L. R. **Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants:** Chemistry and Technology. 2. ed. Boca Raton: Crc Press, 2013. 1008 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=gqPck260kBcC&printsec=frontcover&dq=Synthetics,+Mineral+Oils,+and+Bio-Based+Lubricants:+Chemistry+and+Technology&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwj8verG8O3hAhUkA9QKHYRXANQQ6AEIKTAA#v=onepage&q=Synthetics%2C%20Mineral%20Oils%2C%20and%20Bio-Based%20Lubricants%3A%20Chemistry%20and%20Technology&f=false>. Acesso em: 26 abr. 2019.

[115] ABNT. **NBR 10004:2004**: Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 77 p. Disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT_NBR_n_10004_200 4.pdf>. Acesso em: 24 maio 2019.

[116] DANDOLINI, D. L. **Gerenciamento ambiental de fluidos de corte em indústrias metal-mecânicas.** 2001. 175 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: < https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/81985>. Acesso em: 24 maio 2019.

[117] MARIA, I. M. Efeitos negativos ao ambiente e à saúde do operador provenientes da aplicação de fluidos de corte em operações de usinagem. **Congresso Brasileiro de Ensino da Engenharia (COBENGE)**, Brasília, p.1-13, set. 2004. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/15/artigos/10_457.pdf>. Acesso em: 25 maio 2019.

[118] NUNE, M. M. R.; CHAGANTI, P. K. Development, characterization, and evaluation of novel eco-friendly metal working fluid. **Measurement**, [s.l.], v. 137, p.401-416, abr. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.066. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224119300752>. Acesso em: 25 maio 2019.

Tabela 2. Distribuição de ácidos graxos em óleos e gorduras [24].

Óleo ou gordura	Composição em ácidos graxos (% em massa)							Outros ácidos graxos (%)
	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	
Babaçu	44 – 45	15 – 16,5	5,8 – 8,5	2,5 – 5,5	12 – 16	1,4 – 2,8	–	8:0 (4,1 – 4,8); 10:0 (6,6 – 7,8)
Mamona	–	–	0,8 – 1,1	0,7 –1,0	2,0 – 3,3	4,1 – 4,7	0,5 – 0,7	18:1 -OH* (89); 20:1 (0,5); 18:0 -2OH* (0,6 – 1,1)
Coco		13 – 18,5	7,5 – 11	1 – 3	5 – 8,2	1,0 – 2,6	–	8:0 (7,8 – 9,5); 10:0 (4,5 – 9,7)
Milho	–	–	7	3	43	39	–	–
Algodão	–	1,5	22	5	19	50	–	–
Linhaça	–	–	6	4	13 – 37	5 – 23	26 – 28	–
Oliva	–	1,3	7 – 16	1,4 – 3,3	64 – 84	4 – 15	–	–
Dendê	–	0,6 – 2,4	32 – 45	4,0 – 6,3	38 – 53	6 – 12	–	8:0 (2,7 – 4,3); 10:0 (3 – 7)
Amendoim	–	0,5	6 – 11,4	3 – 6	42,3 – 61	13 – 33,5	–	20:0 (1,5); 22:0 (3 – 3,5)
Colza	–	1,5	1 – 4,7	1,0 – 3,5	13 – 38	9,5 – 22	1 – 10	22:1 (40 – 60)
Soja	–	–	2,3 – 11	2,4 – 6	23,5 – 31	49 – 51,5	2 – 10,5	–
Girassol	–	–	3,6 – 6,5	1,3 – 3	14 – 43	44 – 68	–	–
Sebo	–	3 – 6	25 – 37	14 – 29	26 – 50	1 – 2,5	–	–

* Ácido ricinoleico: $CH_3(CH_2)_5CHOHCH_2CHCH(CH_2)_6CH_2COOH$

* Ácido dihidroxiesteárico