

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**GABRIEL AMON KRINDGES BERKEMBROCK**

**PROPOSTA PARA ESTUDO DA USINABILIDADE DO AÇO SAE 8640 COM A UTILIZAÇÃO DE  
INSERTOS QUADRADOS DE METAL DURO E ADIÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE DE ORIGEM  
VEGETAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2021**

GABRIEL AMON KRINDGES BERKEMBROCK

**PROPOSTA PARA ESTUDO  
DA USINABILIDADE DO AÇO SAE 8640 COM A UTILIZAÇÃO DE INSERTOS  
QUADRADOS DE METAL DURO E ADIÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE DE  
ORIGEM VEGETAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima  
Coorientador: Prof. Gabriel A. Stockler

PATO BRANCO

2021

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### Proposta Para Estudo Da Usinabilidade Do Aço Sae 8640 Com A Utilização De Insertos Quadrados De Metal Duro E Adição De Fluidos De Corte De Origem Vegetal

Gabriel Amon Krindges Berkembrock

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 14/05/2021 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

---

Prof. Gabriel Athayde Stockler  
(UTFPR – Membro Externo)  
Coorientador

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)  
Orientador

---

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

## DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a minha mãe Salete Maria Krindges, que sempre me apoiou e me incentivou a alcançar meus objetivos.

Dedico também ao meu falecido pai Rui Nelmo Berkembrock, que tenho certeza que me acompanhou nessa caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida, pelas oportunidades dadas, pelo ponto de paz e por colocar tantas pessoas maravilhosas em meu caminho, como pessoa e na vida acadêmica.

Agradeço a minha mãe Salete Maria Krindges, que sem ela eu não chegaria aonde cheguei, sem seu ensinamento e apoio incomum, durante toda a minha trajetória de vida, sendo minha maior referência, meu grande amor. Obrigado mais uma vez pela compreensão nos momentos difíceis, pelo riso solto nos momentos bons e nas minhas conquistas, eu amo você.

Agradeço ao meu falecido pai Rui Nelmo Berkembrock, quem deixou diversos ensinamentos em vida e um exemplo a ser seguido.

Agradeço meu irmão Ricardo Alexandre Berkembrock à quem sempre me motivou, se orgulhou de mim em todos os momentos e me acompanhou durante toda a minha vida, nunca deixando seu amor por mim de lado.

Agradeço a minha namorada Paola Girardi, pelo apoio em todos os momentos necessários, compreensão nos finais de semana de estudo e por nunca desacreditar de mim.

Agradeço a minha prima Yroe Krindges de Oliveira, que me apoiou na vinda para Pato Branco no início da graduação e está comigo até hoje.

Agradecer em especial ao meu orientador Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima, pela oportunidade de trabalharmos juntos, por sempre acreditar no meu potencial, me dando apoio durante toda a caminhada acadêmica e no desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço todos meus amigos de Chapecó que sempre estiveram comigo durante essa jornada.

Agradeço todos os professores da graduação de engenharia mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sem seus ensinamentos nada disso seria possível.

Agradeço todos os meus colegas que me acompanharam durante essa caminhada acadêmica, dividindo trabalhos, risadas e companheirismo.

Agradeço a todos meus amigos de Pato Branco que fizeram parte dessa caminhada acadêmica.

Agradeço todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para minha formação acadêmica.

Agradeço a UTFPR e todo corpo de docentes pela formação dada.

## EPÍGRAFE

Positive aspects can be found even in negative situations and it is possible to use all this as an experience for the future, either as a pilot or as a man.

(SENNA, Ayrton).

Podem ser encontrados aspectos positivos até nas situações negativas e é possível utilizar tudo isso como experiência para o futuro, seja como piloto, seja como homem.

(SENNA, Ayrton)

## RESUMO

Berkembrock, Gabriel Amon Krindges. Proposta para estudo da usinabilidade do aço SAE 8640 com a utilização de inserto quadrado de metal duro e adição de fluidos de corte de origem vegetal. 2021. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

A usinagem é um processo altamente utilizado no ramo metal mecânico, para uma maior produtividade é necessário maiores velocidade, o que gera aumento de temperatura, ocasionando falhas mecânicas, diminuição da vida útil e um acabamento superficial não adequado. Para solucionar esses problemas, uma alternativa é a utilização de fluidos de corte, que auxiliam na refrigeração e lubrificação, além de desempenhar uma função de retirada do cavaco da zona de corte, melhorando o acabamento superficial da peça. Atualmente a maioria dos fluidos de corte utilizados são de origem mineral, nocivos e altamente tóxicos ao meio ambiente e a saúde humana. Pensando na questão sustentável, a ideia desse trabalho é buscar uma alternativa viável para uma fabricação mais “limpa”. Com isso foi reunido um embasamento teórico através da literatura e proposto um experimento prático para obter resultados finais, afim de substituir a utilização de fluidos de corte de origem fóssil, para fluidos de origem vegetal na usinagem do aço SAE 8640, com inserto quadrado de metal duro.

**Palavras-chave:** Insertos quadrados. Sustentabilidade. Fluidos Vegetais. Acabamento Superficial



## ABSTRACT

Berkembrock, Gabriel Amon Krindges. Proposal to study the machinability of SAE 8640 steel using an uncertain square of carbide and the addition of cutting fluids of vegetable origin. 2021. 51 f. Course Conclusion Paper - Mechanical Engineering Course, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2021.

Machining is a highly used process in the mechanical metal industry, for greater productivity it is necessary to increase speed, which generates an increase in temperature, causing mechanical failures, shortening of the useful life and an inadequate surface finish. To solve these problems, an alternative is the use of cutting fluids, which assist in cooling and lubrication, in addition to performing a chip removal function from the cutting zone, improving the surface finish of the part. Currently, most of the cutting fluids used are of mineral origin, harmful and highly toxic to the environment and human health. Thinking about the sustainable issue, the idea of this work is to look for a viable alternative for a “cleaner” manufacturing. With this, a theoretical basis was gathered through the literature and a practical experiment was proposed to obtain final results, in order to replace the use of cutting fluids of fossil origin, for fluids of vegetable origin in the machining of SAE 8640 steel, with a square metal insert hard.

**Keywords:** Square inserts. Sustainability. Vegetable Fluids. Surface Finishing

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 - Classificação dos fluidos de corte .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2 - Distribuição de calor na zona de corte .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3 - Fluido de corte auxiliando a retirada de cavaco .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4 - Direções da aplicação dos fluidos de corte .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5 - Fluxograma de processamento e resíduos .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 6 - Mapa da diversidade de sementes oleaginosas .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 7 - Ilustração da diferença de alinhamento das moléculas.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 8 - Teste com fluido de corte de origem vegetal (óleo de mamona) .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 9 - Fluido de corte de origem vegetal da Notox .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 10 - Área de contato do fluido por MQL .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 11 - Aparelho nebulizador (MQL) .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 12 - Faixas de temperatura crítica para cada material .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 13 - Processo de fabricação do metal duro.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 14 - Ordem de resistência dos insertos .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 15 - Características dos diferentes tipos de geometria .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 16 - Torno convencional Romi Tormax 20A.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 17 - Rugosímetro TR220 .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 18 - Suporte PSBNR 2020 K12 .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 19 - Suporte PSSNR 2020 K12.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 20 - Inserto Mitsubishi Materials .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 21 - Especificações do inserto 431MA.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 22 - Inserto Kennametal .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 23 - Especificações inserto Kennametal .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 24 - Corpo de prova em aço SAE 8640 subdividido .....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Composição química SAE 8640 .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 2 - Potencial aplicações para óleos de origem vegetal .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 3 - Propriedades dos óleos vegetais .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 4 - Classificação do Metal duro .....</b>	<b>39</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.1.2 Objetivo Principal .....	16
1.1.3 Objetivos Específicos .....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
2.1 AÇOS MÉDIO CARBONO .....	19
2.2 AÇOS BAIXA LIGA .....	19
2.3 AÇO SAE 8640 .....	19
2.4 CLASSIFICAÇÃO SAE.....	20
2.5 FUNÇÃO DOS ELEMENTOS DE LIGA .....	20
2.6 FLUIDOS DE CORTE.....	21
2.6.1 FUNÇÕES DOS FLUIDOS DE CORTE .....	22
2.6.2 RISCOS NA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE .....	25
2.6.3 ÓLEOS GRAXOS .....	26
2.6.4 ÓLEOS DE ORIGEM VEGETAL .....	26
2.6.5 CARACTERÍSTICAS DOS ÓLEOS VEGETAIS .....	29
2.6.6 PRODUTOS A BASE DE ÓLEOS VEGETAIS .....	31
2.7 MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICAÇÃO (MQL) .....	33
2.7 FERRAMENTA DE CORTE .....	35
2.7 MATERIAL DO INSERTO (METAL DURO).....	38
2.8 TIPOS DE INSERTO (GEOMETRIA) .....	40
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>43</b>
3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	43
3.2 MATERIAIS .....	43
3.2.1 EQUIPAMENTOS .....	43

3.2.2 SUPORTES .....	44
3.2.3 INSERTOS .....	45
3.3 METODOLOGIA .....	47
3.3.1 PROCEDIMENTOS .....	48
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIA .....</b>	<b>52</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Os metais são utilizados desde os primórdios dos homens, com o objetivo de facilitar ou ajudar em alguma tarefa, sendo assim moldados até atingir a necessidade final. Atualmente os aços estão presentes no cotidiano de praticamente todo mundo, seja de forma direta ou indireta, com o mesmo intuito dos primórdios. Com o passar dos anos e a evolução da tecnologia, foi se obtendo uma vasta cadeia de informações sobre os aços e suas capacidades diferentes, com isso obteve inúmeros tipos de aços e tipos de processos de fabricação.

Um desses processos é a usinagem, parte de um material bruto da qual é removido material com o auxílio de ferramentas de corte, obtendo uma nova peça com qualidade e dimensão desejada, a partir da retirada de material. Antigamente a usinagem era um método empírico, ao passar dos anos, houve uma evolução tecnológica, resultando na melhoria do processamento. Entre esses problemas que são encontrados na usinagem, estão presentes a alta temperatura, acabamento superficial e vibração mecânica.

Para tentar solucionar esses problemas apontados, uma boa saída em alguns momentos é adição de fluidos de corte, que diminui a temperatura, auxilia na redução de vibração e ajuda a melhorar a superfície usinada, mas atualmente esses fluidos, são de origem sintética, que agridem drasticamente o meio ambiente e as pessoas que o manuseiam.

Os fluidos de corte de origem vegetal apresentam um potencial muito grande em relação a produtividade, armazenamento, manuseio e descarte, melhorando a cadeia logística para a utilização desse fluido, seguindo as novas legislações que impõe preocupações com o meio ambiente e trabalhadores, visando aliar isso a um ganho de produtividade, através de um aumento da vida útil do sistema envolvido na usinagem, ferramenta, peça e máquina, gerando uma melhor produtividade, conseqüentemente um ganho econômico, resultando numa melhora no processo com a utilização desses fluidos.

No presente trabalho, foi proposto a utilização de fluidos de origem vegetal, com ferramenta de corte quadrada em um aço SAE 8640, afim de comparar os resultados com o mesmo aço usinado com fluidos sintéticos, diminuição de

agravantes a saúde do operador e um processo que visa o cuidado com o meio ambiente sem afetar a produção.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.2 Objetivo Principal

O objetivo central desse trabalho é realizar uma revisão de literatura sobre os fluido de corte de origem vegetal, que nos dê um parâmetro para resultados iguais ou até melhores quando comparado aos óleos de origem mineral, visando uma fabricação sustentável.

Modificar o processo atual, com o objetivo de melhorar o armazenamento, manuseio e descarte desse material, levando em questão à proteção ao meio ambiente e os operadores que mantêm contato diário com essas substancias, aliando isso à ganhos de produtividade e economia.

### 1.1.3 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Obter o máximo de informações sobre o aço SAE 8640;
- Coletar informações sobre os óleos vegetais a serem utilizados e sobre a ferramenta a ser utilizada;
- Definir um procedimento experimental;
- Determinar ótimas condições de usinagem;
- Comparar com mesmo aço usinado com óleos de origem mineral;
- Realizar testes na superfície do aço SAE 8640 após a usinagem, afim de obter um resultado em relação à integridade superficial;



## 1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização de óleos de origem mineral ou de origem fóssil, tem um efeito bastante nocivo e tóxico, não apenas para o operador que tem contato com essas substâncias, mas também o ecossistema num todo que é agredido. Com isso atualmente cresce um desejo e uma busca para desenvolver novas tecnologias com fluidos de corte com origem vegetal, tendo um imenso potencial de conseguir substituir os óleos de origem mineral. (Gonçalves, 2008)

Seguindo uma propensão mundial para fontes renováveis e preocupação com a saúde e meio ambiente, segue um forte investimento no setor fabril, com novas tecnologias sustentáveis para os fluidos de corte, melhorando as condições de trabalho, contribuindo para um ganho de produtividade e uma redução de custos no processamento.

Óleos de origem vegetal podem ser uma solução para os dias atuais, portanto quando se fala em “produto verde”, deseja-se que este não agride o meio ambiente tanto quanto os de origem mineral. Sendo assim, achar uma maneira alternativa para os fluidos minerais, que contemplem boas características de usinagem.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 AÇOS MÉDIO CARBONO

Os aços são classificados de acordo com seu teor de carbono presente, os aços de médio carbono são classificados entre 0,3 a 0,6% de carbono. Esse tipo de aço tem como característica maior resistência e dureza, porém em contrapartida tem sua tenacidade e ductilidade menores que os aços carbono de baixo carbono. Apesar dessa diferença de propriedades, o aço médio carbono é muito utilizado, pois tem seu comportamento favorável a tempera em água, o que facilita o processo em larga escala.

### 2.2 AÇOS BAIXA LIGA

Esse tipo de aço é caracterizado por conter elementos de liga em sua composição, em teor menor que 5% no total. São aços aplicados cujo objetivo seja uma boa resistência mecânica, sendo superior ao de aços carbonos comuns.

Os aços baixa liga podem contemplar diversos elementos de liga, como por exemplo, Cromo, Molibdênio, Níquel, Manganês, Silício, entre outros, cada um desses elementos de liga afetam características do aço, melhorando suas propriedades de acordo com o que for desejado.

### 2.3 AÇO SAE 8640

A história do aço SAE 8640 é curiosa, devido a uma falta de cromo na época da Segunda Guerra Mundial, foi feito testes para a fabricação de um novo aço, cerca de metade de cromo do aço 4630 foi trocado por níquel, com isso, o resultado gerado dessa substituição foi um aço-liga com resistência a corrosão, grande tenacidade e favorável a usinagem.

O aço SAE 8640 é considerado um aço médio carbono e baixa liga, que atualmente é um dos mais utilizado, por conta de suas propriedades, que tem a composição química na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química SAE 8640

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>
0,38	0,15	0,75	0,40	0,40	0,15
–	–	–	–	–	–
0,43	0,30	1,00	0,60	0,70	0,25

Fonte: GGD METALS (2019)

É um aço considerado de construção mecânica, que tem uma média temperabilidade, podendo atingir dureza superior à 50HC quando temperado, podendo ser nitretado chegando até 800HV dureza, para fins de aumentar sua resistência ao desgaste. (GGD METALS, 2019)

O SAE 8640 é muito utilizado em componentes de uso geral, substituindo o SAE 1045, pois tem capacidade de endurecimento transversal, resistência a fadiga e à fratura melhores, sendo destinado a fabricação de componentes como, rolamentos, buchas, engrenagens, eixos hidráulicos, entre outros. (GGD METALS, 2019)

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO SAE

A SAE classifica os aços de acordo com sua composição química, seguindo um critério, no atual trabalho, será destacado o SAE 8640, que de acordo com a classificação, os dois primeiros números (86XX) indica o tipo de aço, no caso o 86 é aço com 0,55% níquel (Ni), 0,50% cromo (Cr) e 0,20% molibdênio (Mo), já os últimos dois números, fazem referência à quantidade de carbono presente, (XX40), portanto contém 0,40%. (Caruso, 2001)

## 2.5 FUNÇÃO DOS ELEMENTOS DE LIGA

Os elementos de liga após adicionados ao aço tem como principal função influenciar nas propriedades mecânicas, através de mudanças na microestrutura do material, podendo o aço desempenhar funções específicas atreladas as suas funções e aplicações, como resistência, temperabilidade, soldabilidade, entre outras.

No presente trabalho, o aço SAE 8640, tem suas principais ligas o Cromo, Níquel e Molibdênio. Por mínimo que seja a adição dessas ligas, o ganho em propriedades pode ser muito considerável. Na adição do cromo, é possível perceber que sua principal função é a elevação da temperabilidade, pois forma carbonetos endurecedores, que são facilmente dissolvidos na ação de austenitização que antecede o tratamento térmico de têmpera. (Caruso, 2001)

Já o Molibdênio, atua no segundo pico de dureza, formando também carbonetos, que favorecem o revenimento, que é um tratamento após a têmpera. (Caruso, 2001)

O níquel tem o efeito de aumentar a temperabilidade, mas aliado com Cromo e Molibdênio, produz uma maior resistência a fadiga e ao impacto. (Oliveira, 2014)

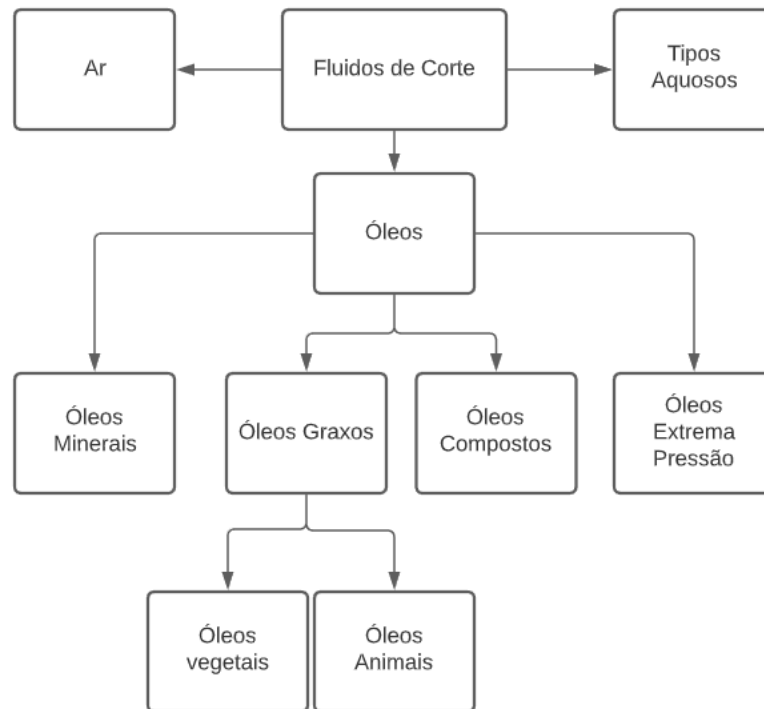
## 2.6 FLUIDOS DE CORTE

Os fluidos de corte foram introduzidos em 1890 pelo F.W. Taylor, que inicialmente utilizou água para resfriar a ferramenta, porém a água tem suas peculiaridades, causa oxidação e baixo poder de lubrificação. (Coppini; Diniz; Marcondes; 2013)

Os óleos possuem um poder de lubrificação muito maior que a água, sendo assim, reduzindo o atrito ferramenta-peça, reduzindo conseqüentemente a temperatura e melhorando o acabamento superficial a peça. (Coppini; Diniz; Marcondes; 2013)

A classificação dos fluidos de corte, podem ser divididos em famílias e tipos diferentes de composição, como mostra na Figura 1.

**Figura 1 - Classificação dos fluidos de corte**



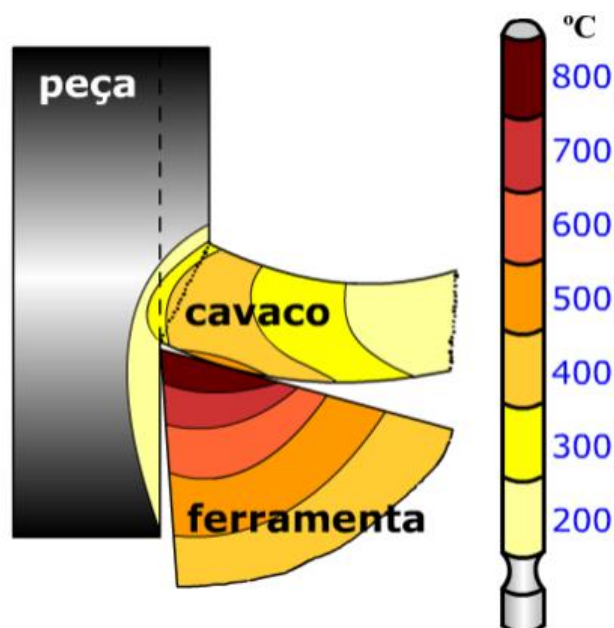
**Fonte: Adaptado de Coppini; Diniz; Marcondes; (2013)**

### 2.6.1 FUNÇÕES DOS FLUIDOS DE CORTE

A principal função dos fluidos de corte na usinagem é o melhoramento do processo fabril, para isso acontecer, os fluidos de corte necessitam ter boa lubrificação em velocidades consideradas baixas, retirando o atrito entre a ferramenta de corte e a peça a ser usinada e boa refrigeração quando as velocidades forem altas, gerando um excessivo aumento de temperatura.

A Figura 2 abaixo, mostra distribuição de calor na zona de corte, quando maior a velocidade de corte, maior a temperatura, necessitando de um fluido para a refrigeração.

Figura 2 - Distribuição de calor na zona de corte



Fonte: Centro de informação metal mecânica (CIMM)

O fluido de corte que houver uma boa resistência ao desgaste, aguentar temperaturas e pressões extremas, terá uma melhor lubrificação, já para uma melhor refrigeração, os fatores de baixa viscosidade, alta condutividade térmica. (França, 2018)

Outro ponto importante sobre os fluidos de corte, eles exercem um papel importante para a ferramenta e a peça, protegendo a peça e aumentando a vida útil da ferramenta, reduzindo a força necessária para a usinagem, sendo assim, um ganho de produtividade e economia. (Attanasio, 2005)

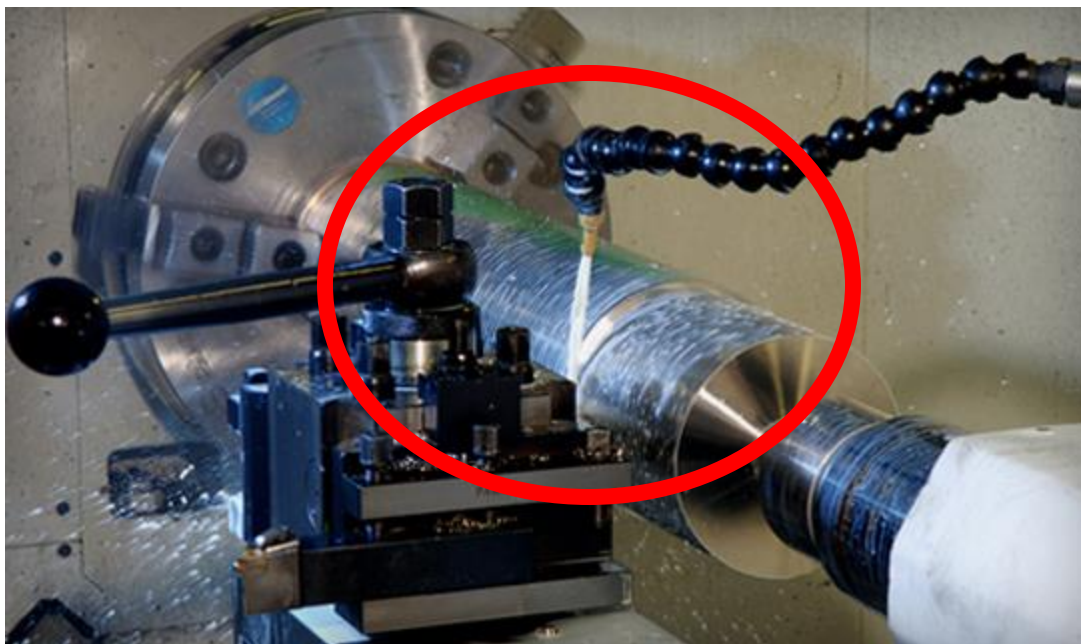
O atrito entre peça a ser usinada e ferramenta de corte, com a utilização de fluidos de corte, diminui drasticamente, fazendo que a potência de usinagem caia também, gerando um aumento da vida útil do sistema envolvido.

A geração de cavacos pode ser muito danosa para o acabamento final das peças, pois isso o fluido de corte tem uma função secundária, a retirada desses cavacos na área de corte, sendo assim, melhorando o acabamento superficial final da peça e a vida útil da ferramenta.

Como ocorre a retirada do cavaco pelos fluidos, Figura 3:

- Resfriamento rápido ocorrendo a mudança brusca de temperatura do cavaco, facilitando a sua quebra;
- Jateamento do fluido auxiliando a empurrar o cavaco para fora da zona de corte;

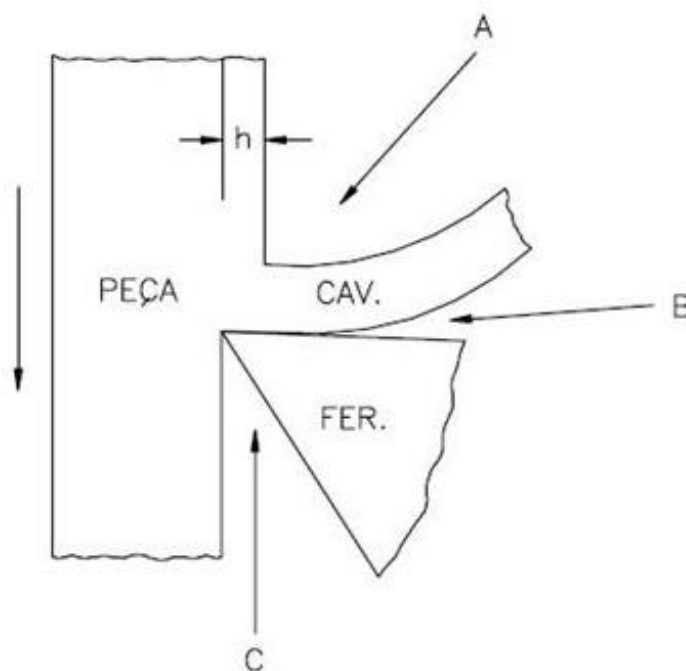
Figura 3 - Fluido de corte auxiliando a retirada de cavaco



Fonte: Blog do adesivo industrial

Sobre os fluidos de corte, existem três opções de direção, sobre cabeça, na forma de jorro a baixa pressão (A), sentido entre a superfície de corte e de saída (B) e sentido direto da interface, aplicação entre a peça e a ferramenta (C), como mostra a Figura 4. (Machado, Mendes, Coelho, Silva, 2009)

Figura 4 - Direções da aplicação dos fluidos de corte



Fonte: Machado, Mendes, Coelho, Silva (2009)



A orientação do sentido do fluido de corte, atualmente não contém base teórica para dizer qual melhor ou pior sentido, direção A é a forma mais utilizada, pelo fato dos primeiros sistemas de aplicação utilizarem esse sentido, porém apresenta desvantagem quando envolve cavacos emaranhados, não permitindo a passagem de fluido até o sistema. Já a direção B, é recomendável que se utilize o jorro em elevadas pressões. (Machado, Mendes, Coelho, Silva, 2009)

A direção C, apresenta uma certa vantagem das demais, pois atinge diretamente a área de maior calor e força, obtendo uma melhor penetração no processo, auxiliando na redução do atrito e na refrigeração, reduzindo o desgaste e aumentando a vida útil do sistema. (Machado, Mendes, Coelho, Silva, 2009)

Resumindo as funções dos fluidos de corte:

- Diminuição do atrito entre ferramenta e peça;
- Aumento da vida útil do sistema de usinagem;
- Diminuição da temperatura na zona de corte;
- Melhor acabamento superficial;
- Redução de energia utilizada no processo;

## 2.6.2 RISCOS NA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE

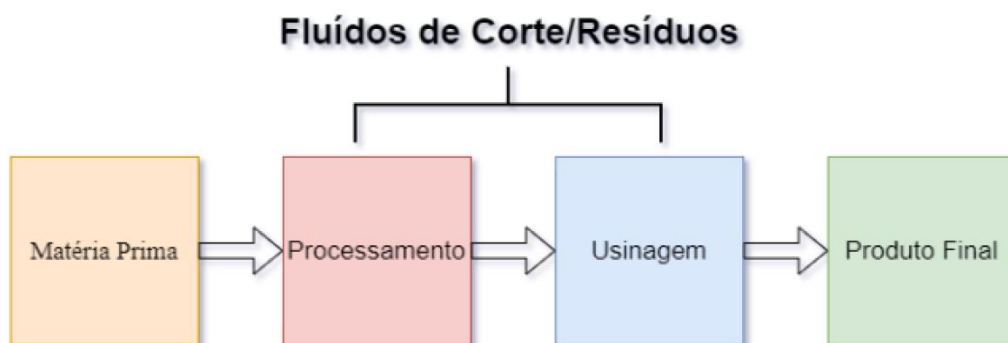
No ramo metal mecânico, um dos maiores aliados para ganho econômico juntamente com processamento contínuo, são os fluidos de corte, que sem dúvidas nenhuma, auxiliam na manufatura das mais diversificadas áreas, porém esses fluidos são extremamente danosos ao solo, lençóis freáticos, ar e aos operadores.

Atualmente o manuseio material tem sido um problema, pois o contato prolongado com essas substâncias, podem causar doenças de pele e até mesmo câncer em casos mais graves, principalmente no chão de fábrica, através da inalação da névoa gerada, respingos que a usinagem produz.

Outro fator importante relacionado diretamente com a usinagem é os fluidos de corte de origem mineral que estão presentes nos cavacos Figura 5, com isso, atualmente o transporte e armazenamento desses resíduos, não leva em questão os restos de óleos minerais, muitos locais onde ficam esses materiais não possuem cobertura, sendo assim, com a chuva, leva essas substâncias aos lençóis freáticos e

ao solo, agredindo rigorosamente o meio ambiente, no transporte em caminhões abertos, ocorrem o mesmo processo, levando esses riscos até mesmo para áreas não industriais. (Dias, 2000)

**Figura 5 - Fluxograma de processamento e resíduos**



Fonte: Adaptado de Dias; (2000)

### 2.6.3 ÓLEOS GRAXOS

Como mostrado na Figura 1, os óleos graxos estão divididos em origem vegetal e origem animal, mas atuam de mesma maneira. Esse tipo de óleo tem uma ótima capacidade de lubrificação, pois tem como característica uma ótima molhabilidade, facilitando a obtenção de um acabamento superficial melhor, porém atuando como refrigerante peca um pouco, pois tem uma capacidade razoável de refrigeração. (Coppini; Diniz; Marcondes; 2013)

### 2.6.4 ÓLEOS DE ORIGEM VEGETAL

Os óleos de origem vegetal são utilizados desde os primórdios, por civilizações da Ásia e Europa, como o óleo de Colza, servindo de combustível para suas lamparinas. Esse uso aumentou exponencialmente com o início da energia a vapor, quando se deu conta que o óleo de Colza era muito mais aderente a superfícies aquosas do outro lubrificante que era utilizado na época. (Araujo, 2013)

De acordo com Araujo (2013), os óleos eram utilizados como alimentos, base de tintas e até mesmo lubrificantes, sua utilização histórica se dá pelo início com o linho no antigo Egito, indo até a extração do óleo das azeitonas pela civilização grega e o império romano.

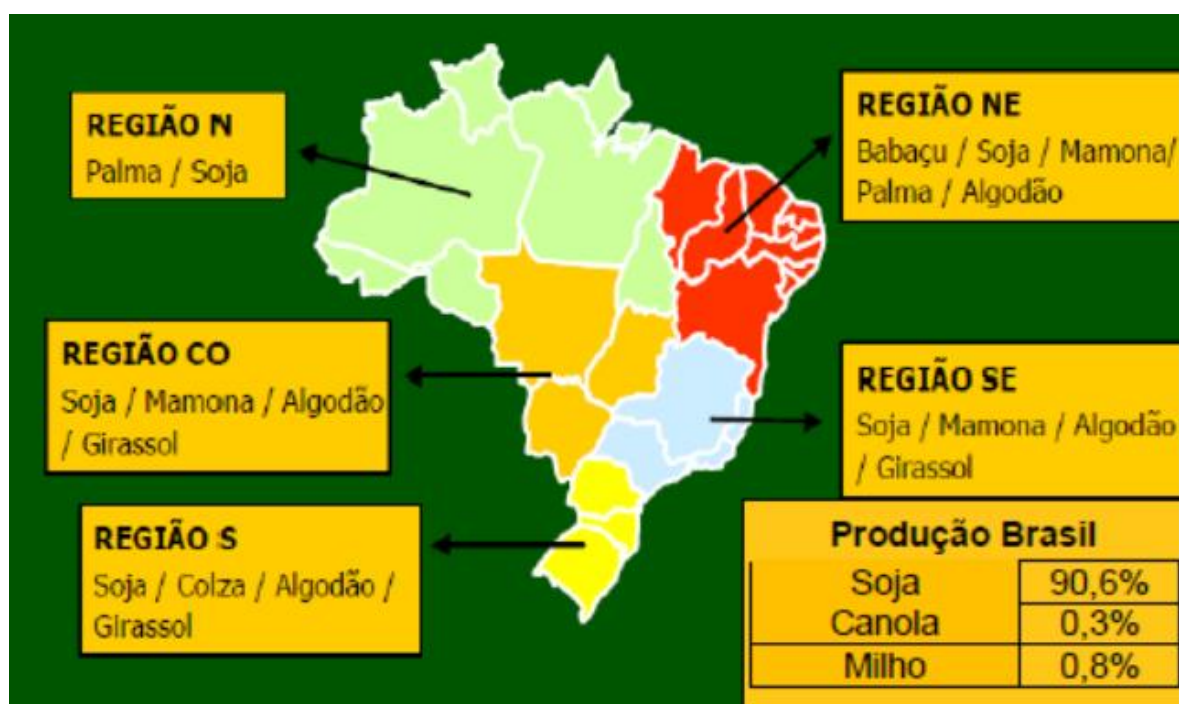
Atualmente, a maior parte da produção em larga escala, que visa produtividade, utiliza fluidos de corte de origem fóssil, que contém uma toxicidade alta e baixa biodegradabilidade, prejudicando a saúde humana e o ecossistema em contato com esse material.

Um dos maiores desafios da nova geração é a produção fabril em larga escala, aliando isso ao ecologicamente correto. Uma alternativa é a substituição dos fluidos de corte de origem mineral, por fluidos de corte de origem renováveis, no caso, origem vegetal.

Nos últimos anos, a indústria metal mecânica junto com a indústria química, tenta desenvolver alternativas sustentáveis para a utilização de fluidos de corte de origem vegetal, com o avanço da tecnologia, acredita ser possível manter as características ou até melhorar as propriedades dos óleos vegetal em comparação ao de origem mineral.

A obtenção dos óleos de origem vegetal se dá pela maceração ou trituração de sementes de origem oleaginosas, com isso, o Brasil apresenta uma grande diversidade dos mais variados tipos de óleos, devido ao clima tropical, como mostrado na Figura 6, a partir disso, as indústrias tem um belo potencial de desenvolver novas tecnologias renováveis na área de usinagem. (França, 2018).

**Figura 6 - Mapa da diversidade de sementes oleaginosas**

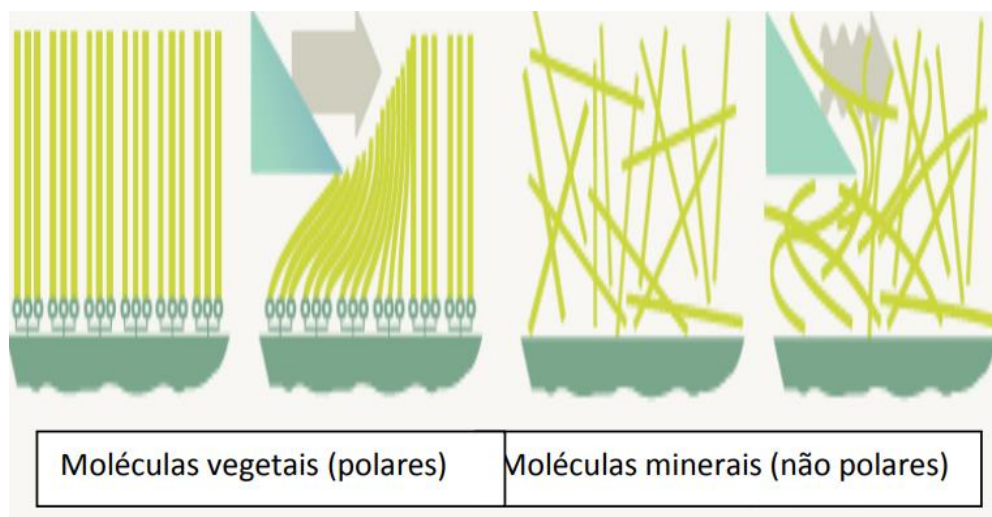


Fonte: Tomas (2012)

De acordo com (Gonçalves, 2008), os óleos vegetais possuem diversas vantagens na sua utilização quando comparado ao de origem mineral:

- Maior compatibilidade com a pele humana;
- Redução de névoa e fumaça;
- Possuem moléculas polares que funcionam praticamente iguais imãs, tendo um alinhamento maior na superfície do aço como mostrado na Figura 7, gerando uma película superficial, facilitando a usinagem e aumentando a vida das ferramentas de corte;
- Maior biodegradabilidade, gerando menos dano ao meio ambiente;

**Figura 7 - Ilustração da diferença de alinhamento das moléculas**



Fonte: Kuroda (2006)

A utilização dos óleos vegetais na usinagem pode ser considerada ótima, pois o resultado desses óleos são fluidos que possuem gordura saturada, podendo ser divididos em duas categorias, não secantes, que por sua vez contém pouca quantidade de gordura saturada, outra categoria é a dos secantes, que possuem alto valor de ácidos graxos insaturados e quando entram em contato com a atmosfera, gera uma película elástica resistente, resultante do contato com o oxigênio, enquanto a categoria não secante, não contém essa característica, não necessitando de aditivos ou processamento adicional, dado pelos óleos de palma, coco, mamona. (Gonçalves, 2008)

Os óleos vegetais possuem uma vasta gama de características e utilizações possíveis, como mostrado na Figura 6, o Brasil possui também uma

diversidade de matérias primas para sua fabricação, alguns desses óleos tem potencial para ser utilizados nas mais diversas áreas, Tabela 2.

**Tabela 2 - Potencial aplicações para óleos de origem vegetal**

<b>ÓLEOS VEGETAIS</b>	<b>APLICAÇÕES DIVERSAS</b>
<b>Óleo de Canola</b>	<b>Óleos hidráulicos, fluidos de transmissão, fluidos para conformação de metais, lubrificantes de qualidade alimentar, lubrificantes industriais, equipamentos agrícolas, graxas biodegradáveis.</b>
<b>Óleo de Ricino</b>	<b>Graxa lubrificante de engrenagem</b>
<b>Óleo de Coco</b>	<b>Óleo para motor</b>
<b>Azeite de Oliva</b>	<b>Lubrificante automotivo</b>
<b>Óleo de Palma</b>	<b>Lubrificante de mancais de rolamento, graxas</b>
<b>Óleo de Linhaça</b>	<b>Revestimento, tintas, vernizes</b>
<b>Óleo de Soja</b>	<b>Lubrificantes, biodiesel, conformação de metal, tintas de impressão, óleo hidráulico, etc.</b>
<b>Óleo de Girassol</b>	<b>Graxas, combustível para motores diesel</b>

*Fonte: Bondiloli (2003)*

### 2.6.5 CARACTERÍSTICAS DOS ÓLEOS VEGETAIS

- Óleo de algodão

Esse óleo é obtido através da extração e refino das sementes de algodão, conhecidas como *Gossypium herbaceum*, suas características se dão por uma alta estabilidade, podendo haver adição de antioxidantes. (Araujo, 2013)

- Óleo de babaçu

Obtido através da extração e refino da amêndoa, fruto do babaçu (*Attalea funifera*), sendo aplicado no âmbito industrial de etanol e metanol, também é muito

utilizado na indústria da beleza, além das suas utilizações no ramo alimentício. (Araujo, 2013)

- Óleo de canola

Processo é obtenção é pela extração e refino das sementes de canola (*Brassica campestris* L. e *Brassica canapus* L.), possuindo características para sua utilização como lubrificante para moldes de fundição, também pode ser usado sob alta velocidade, melhorando o desempenho, como nos processos de vulcanização da goma elástica, em borracha sintética. (Araujo, 2013)

- Óleo de girassol

Óleo obtido da semente de girassol (*Helianthus annus* L.), através da extração e refino, possui diversos atributos que podem ser utilizados nos mais amplos ramos, além da função alimentícia, serve também na indústria farmacêutica e na fabricação de tintas. (Araujo, 2013)

- Óleo de milho

Óleo muito utilizado no ramo alimentício, obtido através da extração e refino dos grãos de *Zea mays* (milho), tem várias funções atualmente, como resinas, plásticos, até como lubrificantes. (Araujo, 2013)

- Óleo de soja

Obtido através da extração e refino da soja (*Glycine Max* L.), tem suas funções nas mais diversas áreas, como adubo orgânico, na indústria alimentícia, indústria da beleza e na fabricação de tintas. (Araujo, 2013)

Em relação a esses óleos, existem algumas outras propriedades que devem ser levadas em conta, como viscosidade, resistência que o fluido apresenta ao escoamento, a densidade que é a razão entre a massa e o volume que ele ocupa e ponto de fulgor, de acordo com Baroni (2020), também conhecido como flash point, indicado como a menor temperatura do fluido na qual há liberação de vapores na atmosfera, Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades dos óleos vegetais

Fluidos	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidade (mm <sup>2</sup> /s)	Ponto de Fulgor (°C)
Canola	0,916	35,6	325
Soja	0,919	29,5	329
Milho	0,921	32,3	325
Algodão	0,919	36,4	324
Babaçu	0,914	30,3	300
Girassol	0,918	29,1	322

Fonte: Adaptado de Moretto (1998)

### 2.6.6 PRODUTOS A BASE DE ÓLEOS VEGETAIS

Em 2009, a USP de São Carlos, apresentou o primeiro óleo de corte vegetal, derivado a partir da mamona, resultando em um óleo mais barato, biodegradável e não prejudicial ao operador. Outra característica que ficou evidenciada foi que mesmo com a diluição em água, o óleo de mamona mantém suas propriedades, aumentando sua competitividade financeira em relação a outros óleos de origem mineral.

A partir de testes feitos como mostrados na Figura 8 com esse produto, foi averiguado que o óleo de mamona mantém a lubrificação até mesmo em alta pressão, criando uma micro película sobre o metal, não necessitando de aditivos para essa função. (Oliveira; Alves, 2009)

Figura 8 - Teste com fluido de corte de origem vegetal (óleo de mamona)



Fonte: Adaptado de Centro de informação metal mecânica (2009)

O óleo de mamona como fluido de corte, foi considerado um dos produtos mais promissores já feito nos laboratórios da Universidade de São Paulo, após diversos testes feitos, chegaram ao resultado de biodegradabilidade que o óleo criado é sim biodegradável, não sendo nocivo ou tóxico ao meio ambiente, podendo ser facilmente descartado e tratado, seguindo uma tendência de ecologicamente correto, serve como opção para os fluidos de corte de fontes não renováveis que imperam atualmente as indústrias metalúrgicas.

O óleo de mamona, desenvolvido pela Universidade de São Paulo, a USP, atualmente é o principal produto da empresa Notox, que faz referência em inglês a não tóxico, o produto leva o nome de Castorcut, Figura 9, após as pesquisas, o óleo desenvolvido teve que passar por uma adequação de fórmula para a sua melhor comercialização, esse óleo não contém em sua composição, elementos como cloro, nitretos e fenóis, sendo de fácil descarte.

**Figura 9 - Fluido de corte de origem vegetal da Notox**



**Fonte: Catálogo da Notox (2010)**

Outra empresa que apostou em fluidos de corte de origem vegetal foi a Fuchs, com sede em São Paulo, conhecida no ramo de fabricação de fluidos de corte, resolveu criar uma linha nova para seus produtos, chamado de Plantocut, com base vegetal. O valor dos produtos da nova linha da Fuchs, pode chegar a ser 40 a 80% mais caro quando comparado a linha de origem mineral, porém o produto continua sendo atrativo pelos fatores de eficiência e por render mais. No ramo alimentício, é de extrema importância o uso de fluidos não tóxicos, pela preocupação e risco de uma



intoxicação ou contaminação dos consumidores, é outro atrativo para as empresas investirem nesses novos óleos de origem vegetal.

## 2.7 MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICAÇÃO (MQL)

O uso de fluidos de corte em processos metal mecânico é de extrema importância para a lubrificação e refrigeração. Atrelado a isso foi desenvolvido uma técnica chamada de MQL, mínima quantidade de lubrificação, como o próprio nome já diz, tem como função reduzir o máximo possível a utilização dos fluidos, mantendo a qualidade do processo, visando uma economia dos valores envolvidos.

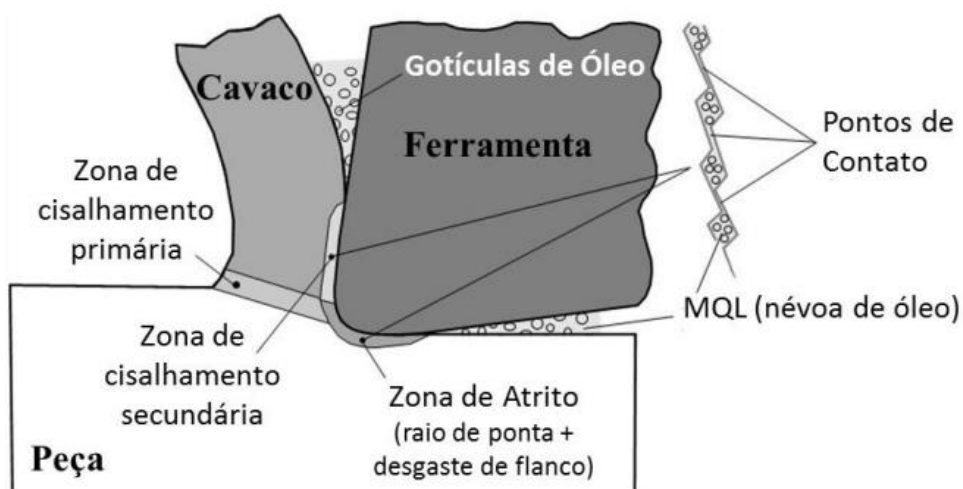
Atualmente os custos dos fluidos são considerados altos, além disso, tem o impacto ambiental aliado, dificultando o seu descarte correto, por isso vem mudando a mentalidade da sua utilização, que em muitos casos é feito por encharcamento, não tendo a necessidade dessa abundância de fluido envolvido na operação, fazendo com que os custos aumentem.

Uma alternativa para o que ocorre hoje é a técnica do MQL, em vez a abundância de óleo na peça, o fluido é aplicado por meio de jatos de ar comprimido diretamente na zona de corte, gerando a refrigeração e lubrificação, sem desperdício, garantindo que o fluido é consumido totalmente, barateando o processo. Outro fator importante atrelado ao MQL, é a menor utilização da água, diminuindo os gastos, mas também uma redução no impacto ambiental.

De acordo com o químico sênior da empresa Quimatic Tapmatic, o sistema funciona como uma névoa composta de ar comprimido e a mínima quantidade de lubrificante, sendo direcionada para o ponto exato de corte, diminuindo em até 50% os gastos com fluidos de corte quando comparado aos sistemas convencionais.

De acordo com a empresa Quimatic Tapmatic, outra vantagem da utilização desse sistema é a penetração de partículas menores no ponto exato de cisalhamento, tendo o seu potencial de lubrificação elevado ao máximo, como mostra a Figura 10, conservando o sistema envolvido na usinagem. Também é possível aliar o MQL com um fluido de melhor qualidade, por causa da quantidade que vai ser usada é reduzida significativamente, melhorando o acabamento superficial da peça usinada.

Figura 10 - Área de contato do fluido por MQL



Fonte: Espindola (2016)

O MQL tem uma vantagem sobre o sistema de reuso de fluidos, pois sempre o fluido jogado na peça será novo, reduzindo riscos de microrganismos e pequenas partículas metálicas, que seriam jogado novamente na peça, danificando seu acabamento superficial.

Além de todas essas vantagens, o MQL apresenta uma baixa significativa na utilização dos fluidos, fazendo com que o operar não seja exposto a uma quantidade exagerada de óleos, que colocam sua saúde em riscos, ocasionando problemas de pele e casos mais grave câncer.

Para conseguir adotar esse sistema é necessário equipamentos adequados e desenvolvidos para isso, esses produtos tem em sua estrutura uma válvula de regulagem controlada que opera de acordo com um sistema, como mostra a Figura 11.

**Figura 11 - Aparelho nebulizador (MQL)**



**Fonte: Quimatic Tapmatic**

## 2.7 FERRAMENTA DE CORTE

A ferramenta de corte, contém arestas cortante que tem o intuito de remover material da peça a ser usinada em forma de cavaco, suas características podem ser diferenciadas pela superfície de saída, quando a ferramenta possuir apenas uma superfície de saída é considerada monocortante e quando possuir duas ou mais superfícies é considerada multicortante. (Rodrigues, 2005)

As ferramenta de corte atualmente são dadas por diferentes tipos de geometria e material, porém elas tem que ter diversas propriedades mecânicas, como resistência ao desgaste, trabalhar em temperaturas extremas, resistência mecânica alta, resistência a choque térmico, estabilidade química, elevada tenacidade e resistência a corrosão, combinando algumas dessas características, para diferentes tipos de aplicações, cada material a ser usinado existe uma ferramenta mais adequada para o resultado da peça final.

Um ponto importante para a vida útil das ferramentas, é a questão das temperaturas que cada material consegue trabalhar, como mostra a Figura 12, extrema importância que não ultrapassem as faixa críticas de temperatura.

Figura 12 - Faixas de temperatura crítica para cada material



Fonte: Centro de informação metal mecânica (CIMM)

A evolução das ferramentas de corte permitiu também a evolução da usinagem em si, podendo usinar cada vez mais novos materiais, atualmente existe uma gama muito grande de tipos de ferramentas de corte, de aço rápido, aço ferramenta, de metal duro podendo ser revestidas por PVD (deposição física de vapor) ou CVD (deposição de vapor químico), cermet (cerâmica com metal), cerâmica convencional, CBN (nitreto de boro) e diamante policristalino (PCD). (Rodrigues, 2005)

- Cermet:

Sua composição é dada por metal duro com partículas duras de base titânio, quando comparando suas características ao metal duro, possui melhor resistência ao desgaste porém tem menor resistência a choques térmicos, utilizado geralmente em ferro fundido nodular, aços inoxidáveis, aços baixo carbono e aços ferríticos.

- Cerâmica:

A ferramenta de corte de cerâmica pode ser classificada em quatro classes diferentes, cerâmica mista que contém adição de carbonitretos ou carbonetos cúbicos, cerâmica com óxidos, sua base é composta por óxido de alumínio e conta com a adição de zircônio, cerâmica reforçada com whisker, como próprio nome já diz, conta com o uso de whiskers de carboneto de silício e por último as cerâmicas de nitreto de

silício, que contém os cristais da sua estrutura mais alongados. Todas as ferramentas de cerâmica contém propriedades de boa resistência ao desgaste em altas velocidades de trabalho, indicadas para torneamento e fresamento.

- Nitreto de boro

Suas propriedades mecânicas consistem em alta dureza em extremas temperaturas, boa tenacidade e resistência a choques térmicos. Sua utilização é indicada para torneamento e fresamento de ferros fundidos cinzentos.

- Diamante policristalino

Conhecido também como PCD, obtidos através da sinterização de partículas de diamante com um ligante metálico, o PCD pode ser considerado o material mais duro das ferramentas de corte, tendo maior resistência ao desgaste, porém quando exposto a altas temperaturas, se dissolve com o ferro. Suas aplicações são exclusivamente para materiais não ferrosos.

- Metal duro revestido de CVD

A cobertura de CVD é obtida através da deposição química de vapor a uma temperatura aproximadamente de 700 as 1050 °C, possui alta resistência ao desgaste e uma excelente combinação com o metal duro. Possui uma vasta aplicação e utilização, principalmente em operações que necessitam resistência ao desgaste, como torneamento de aços inoxidáveis.

- Metal duro revestido de PVD

Formados em temperaturas consideradas baixas entre 400 a 600 °C, através da evaporação de um metal que reage com nitrogênio formando uma camada superficial de nitreto duro. Suas propriedades se dão por resistência ao desgaste, boa tenacidade, podendo ser utilizado em várias aplicações, desde fresamento a torneamento.

- Aço rápido

Sua composição é dada por elementos de liga como tungstênio, cromo, vanádio e cobalto. Possui característica para trabalho em altas temperaturas, alta resistência ao desgaste, porém possui uma tenacidade baixa.

- Aço ferramenta

Conhecido como aço não ligado, a formação desse material se dá por uma composição do aço com 0,8 até 1,5% de carbono. Considerado um material mais

barato, tem um limite de temperatura na faixa de no máximo 250 °C. (*Centro de informação metal mecânica, CIMM*)

## 2.7 MATERIAL DO INSERTO (METAL DURO)

Atualmente é a principal classe dos insertos e a mais utilizada, o crescimento do uso do metal duro predominou na última década devido à resistência a temperatura e a abrasão de corte nos materiais difíceis de usinar. Esse crescimento se deu por três fatores predominantes, à diminuição do tamanho de grão, melhores ligas utilizadas e gradientes de concentração de cobalto, que ajustando o cobalto na concentração correta, pode se obter insertos mais tenazes no núcleo e resistentes na superfície ou tenazes na superfície e duros no núcleo. (Teles, 2007)

A fabricação do metal duro se dá por diferentes tipos de matéria prima (pós), entre os principais, estão presentes, carboneto de tungstênio (WC), carboneto de titânio de tungstênio (Ti, W) C, carboneto de tântalo (Ta) C e o carboneto de nióbio (Nb) C, após a matéria prima já misturada é colocada na matriz para então começar o processo de prensagem, feito através de punções que chegam a toneladas de pressão, compactando tudo isso com a geometria desejada, formando as pastilhas, com isso chega ao processo final de sinterização, Figura 13, as peças são colocadas em pratos com grafite, elevando a temperatura na casa dos 1500 °C, fazendo um tratamento térmico no qual fecham os poros, ocorrendo uma cementação entre os carbonetos, aumentando sua resistência, as pastilhas após a sinterização diminuem o seu volume cerca de 50% e sua massa em torno de 20%.

**Figura 13 - Processo de fabricação do metal duro**



Fonte: Universidade Federal do Paraná (UFPR)

O metal duro é capaz de manter a dureza e o fio de corte com extremas temperaturas, podendo chegar até 1000 °C, essa temperatura alta, se dá pelo funcionamento a altas velocidades de trabalho, sendo assim, aumentando a produtividade do processo.

Os metais duros são classificados em 6 categorias, representados por letras e cores, que é agrupado de acordo com a aplicação, mostrado nas Tabela 4.

**Tabela 4 - Classificação do Metal duro**

	<b>Classificação dos Metais Duros</b>
<b>P</b>	Usinagem de materiais ferrosos que produzem cavacos longos
<b>M</b>	Usinagem de materiais de maior exigência
<b>K</b>	Usinagem de materiais ferrosos de cavaco curto
<b>N</b>	Usinagem de materiais não ferrosos
<b>S</b>	Usinagem de superligas ou resistentes ao calor
<b>H</b>	Usinagem de aço endurecidos

Fonte: Adaptado de Stemmer (1993)

## 2.8 TIPOS DE INSERTO (GEOMETRIA)

A geometria dos insertos tem grande importância na sua funcionalidade, como ângulo de saída, raio de ponta, ângulo de inclinação, ângulo de posição, ângulo de folga, quebra cavaco, raio da aresta de corte e aresta de corte, sendo assim podendo modificar essas variáveis para obter um melhor desempenho. Cada variável afeta uma característica diferente na relação inserto e peça na hora de usinar.

Ângulo de saída está diretamente ligado com a força e a potência necessária para aplicar o corte, que influencia no calor gerado e o acabamento superficial. (Machado e Silva, 1999)

Ângulo de inclinação influencia diretamente a direção de saída dos materiais em forma de cavacos. (Rodrigues, 2005)

Ângulo de folga influencia na penetração do inserto na peça, se o ângulo for pequeno, a penetração não é bem feita, gerando um resultado ruim no acabamento da peça, se o ângulo for grande, pode levar o inserto a falhas. Sua principal característica é aumentar a vida da ferramenta. (Rodrigues, 2005)

Ângulo de posição está ligado diretamente na geração das vibrações mecânicas, quando bem ajustado, distribui uniformemente as tensões, diminuindo o grau de vibrações. Outro ponto é o Raio da aresta tem como principal objetivo aumentar a resistência mecânica da aresta de corte. (Rodrigues, 2005)

Atualmente no mercado, os insertos existem de diversas geometrias e aspectos, cada um supre uma necessidade, seja ela com quebra cavaco, de desbastes, alisadora e afins. Podem ser classificadas também de acordo com a resistência mecânica, como pode ser visto na figura 14, da esquerda para a direita, menor resistência para a maior.

**Figura 14 - Ordem de resistência dos insertos**

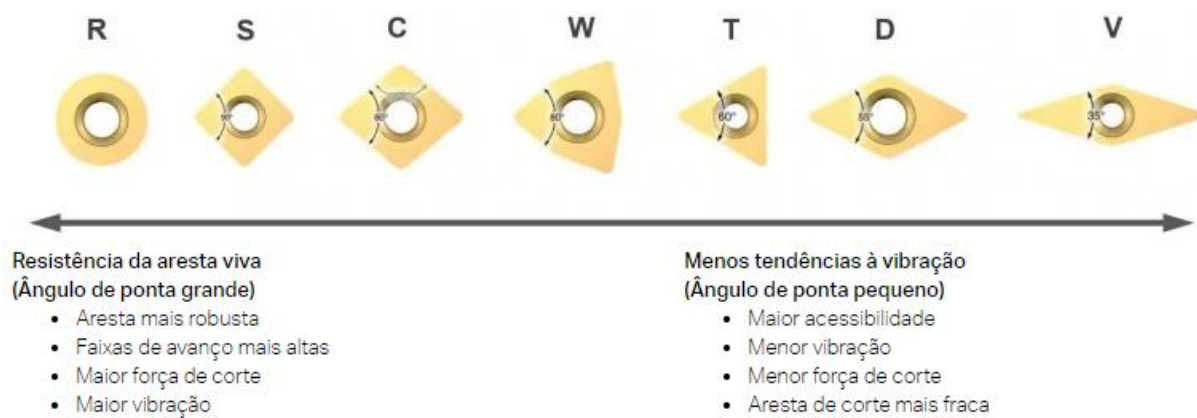


Fonte: Coelho; Bacchi da Silva (2009)

No geral, cada geometria de inserto tem suas peculiaridades, como mostra a Figura 15.



**Figura 15 - Características dos diferentes tipos de geometria**



**Fonte: Sandvik**



### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os procedimentos a serem utilizados serão descritos, como: materiais, ferramentas, equipamentos, afim de desenvolver a pesquisa. Algumas variáveis podem ser adotadas, o tipo da ferramenta de corte, tipo de fluido de corte, o torno para usinagem e o material que será usinado.

#### 3.2 MATERIAIS

##### 3.2.1 EQUIPAMENTOS

Os ensaios poderão ocorrer em um torno mecânico convencional, marca Romi, modelo Tormax 20A, que tem disponibilidade pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Pato Branco, no bloco H, sala 006. Mostrado na Figura 16.

**Figura 16 - Torno convencional Romi Tormax 20A**



**Fonte: Catalogo Romi**

Deverá ser utilizado também, um rugosímetro, exemplificado na Figura 17, modelo TR220, da marca TIME Group Inc., afim de medir a rugosidade na superfície do material usinado, aparelho de fácil manejo, após medir a rugosidade, o resultado será mostrado na tela do instrumento, facilitando a comparação de resultados.

**Figura 17 - Rugosímetro TR220**



**Fonte: Trabalho de conclusão de curso - Gabriel Stockler**

### 3.2.2 SUPORTES

A princípio deverão ser utilizados dois suportes PSBNR 2020 K12 mostrado na Figura 18 e PSSNR 2020 K12 mostrado na Figura 19, da marca Joffer.

**Figura 18 - Suporte PSBNR 2020 K12**



**Fonte: Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima**

**Figura 19 - Suporte PSSNR 2020 K12**



**Fonte: Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima**

Largura da haste de 20mm e seu comprimento funcional de 125mm mostrado na Figura 18, feito em aço.

### 3.2.3 INSERTOS

Poderão ser utilizados dois insertos, quadrados, metal duro e com quebra cavacos, são insertos com função de desbaste. O primeiro inserto trata-se da marca Mitsubishi Materials, Figura 20, com ângulo negativo de 90°, raio de canto de 0,016 in, mostrado na Figura 21.

**Figura 20 - Inseto Mitsubishi Materials**



**Fonte: Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima**

Figura 21 - Especificações do inserto 431MA

Shape	Order Number	(ISO) Number	Corner Radius (inch)	Coated													Cermet	Coated Cermet	Carbide				Applicable Holder Page																					
				UE6105	UE6110	MC6015	MC6025	MC6035	UE6035	UH6400	MC7015	MC7025	MP7035	US735	US905	MC5005			MC5015	UC5105	UC5115	MP9005		MP9015	VP05RT	VP10RT	VP15TF	UP20M	NX2525	NX3035	MP3025	AP25N	VP25N	UT120T	HT105T	HT110	MT9015	RT9005	RT9010					
MA	<b>SNMG431MA</b>	SNMG120404-MA	.016	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●			
	SNMG432MA	SNMG120408-MA	.031	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	
	SNMG433MA	SNMG120412-MA	.047	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●
	SNMG434MA	SNMG120416-MA	.063	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●
	SNMG542MA	SNMG150608-MA	.031	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	
	SNMG543MA	SNMG150612-MA	.047	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●
	SNMG544MA	SNMG150616-MA	.063	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●
	SNMG643MA	SNMG190612-MA	.047	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●
	SNMG644MA	SNMG190616-MA	.063	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●

Fonte: Mitsubishi catálogo

Já o segundo inserto que deverá ser utilizado, é da marca Kennametal, Figura 22, de metal duro com quebra cavacos e função de desbaste, igual o primeiro inserto, porém de marca diferente.

Figura 22 - Inserto Kennametal



Fonte: Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima

As especificações do inserto estão mostradas na Figura 23.

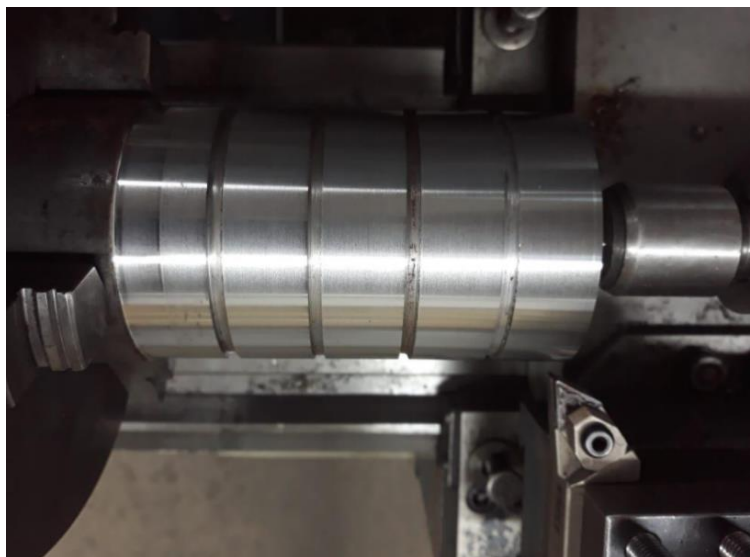
**Figura 23 - Especificações inserto Kennametal**

Material	Carboneto
Círculo inscrito (polegadas decimais)	0,5000
Círculo inscrito (polegadas)	1/2
Espessura (polegadas)	3/16
Espessura (polegadas decimais)	0,1875
Raio do canto (polegadas)	3/64
Raio do canto (polegadas decimais)	0,0469

**Fonte: MSC Industrial Direct Co. Inc**

### 3.3 METODOLOGIA

Para a realização desse procedimento experimental, deverá ser utilizado tarugo de aço SAE 8640 com 3" de diâmetro e 400mm de comprimento, o corpo de prova será subdividido em secções de 25mm e separando essas secções com canais de 3mm entre elas, podendo observar na Figura 24, facilitando a usinagem e a comparação das secções usinadas, com parâmetros diferentes.

**Figura 24 - Corpo de prova em aço SAE 8640 subdividido**

**Fonte: Trabalho de Conclusão de Curso - Gabriel Stockler**

Os ensaios consistirão em variar os parâmetros no torno, avanço (f), profundidade (ap), rotação (n), para que se encontre o melhor conjunto desses parâmetros, aliando a adição de fluidos de corte de origem vegetal, variando também

os tipos de fluidos e os insertos de metal duro. Após feita as usinagens e testes no corpo de prova, deverá ser utilizado um rugosímetro afim de verificar a rugosidade da superfície do aço, para assim, com dados adquiridos, conseguir aliar todos os parâmetros e os fluidos de corte, para obter o melhor acabamento superficial possível.

### 3.3.1 PROCEDIMENTOS

O tarugo ficará fixado no torno, após isso, será realizado um desbaste e feitas as secções de 25mm cada e espaçadas 3mm entre elas, através de uma usinagem.

Com o corpo de prova pronto para os testes, os parâmetros deverão ser ajustados avanço (f) em mm/rot, profundidade (ap) em mm, rotação (n) em rpm e fluidos vegetais sendo assim, repetidas vezes acontecerá as mudanças dos parâmetros, afim de obter várias secções usinadas para comparação posteriormente.

Após os testes feitos, será utilizado um rugosímetro TR220 mostrado na Figura 14, para medir a rugosidade e assim obter o melhor conjunto de parâmetros para a usinagem do aço SAE 8640.



## 4 CONCLUSÃO

O foco principal desse trabalho, é uma alternativa sustentável e não danosa, adicionando fluidos de corte de origem vegetal no auxílio da usinagem do aço SAE 8640, sendo assim, preservando o meio ambiente e os operadores, criando uma alternativa substituta para os óleos minerais.

A partir da literatura, ficou evidenciado que existem diversas pesquisas em desenvolvimento com o tema em questão, fortalecendo a criação de novos produtos, com menor grau de toxicidade ao meio ambiente e operador, sendo assim uma boa alternativa para fluidos de corte de origem fóssil.

Outro ponto importante é o gerenciamento desse material em questão, minimizando o impacto ambiental com o armazenamento, transporte e descarte do óleo de origem vegetal, diminuindo os riscos dos solos, mananciais e atmosfera, como também diversos riscos à saúde humana.

A elaboração desse trabalho auxilia à informação para a comunidade que há riscos com o método atual, com isso, dar início à mais pesquisas e tecnologias com a utilização de óleos vegetais, que sejam úteis na usinagem, resultando em boas ações para o meio ambiente e operador.



## 5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na atual área da pesquisa, tem uma possibilidade de infinitas pesquisas envolvendo um produto sustentável de fontes renováveis, um ramo ainda pouco explorado, porém com um grande potencial de desenvolvimento, tanto em produtividade, quanto na questão econômica.

As leis que estão por vir, serão mais brandas e rigorosas na questão da agressividade ao meio ambiente, portanto, os fluidos de origem vegetal estão em constante evolução tecnológica, cada vez mais voltado a questão ambiental e com a saúde do operador, melhorando sua logística, aplicando praticas capazes de minimizar o impacto nocivo ao sistema envolvido.

Portanto algumas ideias para trabalhos futuros:

- Utilização de fluidos de origem vegetal com a técnica do MQL (mínima quantidade de lubrificantes);
- Pesquisar um gerenciamento adequado na hora de armazenar, manusear e descartar esses fluidos;
- Fazer procedimentos experimentais com inserto de geometria diferente e comparar as características de cada um;
- Descobrir novos óleos vegetais expoentes nesse ramo industrial e testa-los;

## REFERÊNCIA

CARUSO. **Informações gerais sobre os aços**. 2001. Disponível em: [http://joinville.ifsc.edu.br/~paulosergio/Ciencia dos Materiais/Classifica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20a%C3%A7os.pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~paulosergio/Ciencia%20dos%20Materiais/Classifica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20a%C3%A7os.pdf). Acesso em: 9 set. 2020.

CIMM. **Fluidos de corte de origem vegetal ganham espaço no mercado**. 2009. Disponível em: [https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir\\_noticia/4928-fluidos-de-corte-de-origem-vegetal-ganham-espaco-no-mercado](https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/4928-fluidos-de-corte-de-origem-vegetal-ganham-espaco-no-mercado).

CIMM. **Como fabricar pastilhas de Metal Duro**. Disponível em: [https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/4815](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4815). Acesso em: 09 dez. 2020.

MACHADO, Álisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Márcio Bacci da. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher, 2009.

COROMANT, Sandvik. **Como escolher a pastilha de torneamento correta**. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/pages/how-to-choose-correct-turning-insert.aspx>. Acesso em: 15 nov. 2020.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **TECNOLOGIA DA USINAGEM DOS MATERIAIS**. 9. ed. São Paulo: Artliber, 2014.

ESPINDOLA, Elias Samuel Cristo. **APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE USINAGEM AMBIENTALMENTE AMIGÁVEIS NO PROCESSO DE TORNEAMENTO RADIAL DO AÇO SAE 1045**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FRANÇA, Luciano Jericy. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE EMULSÕES DE ÓLEO DE BABAÇU E ÓLEO DE MAMONA PARA APLICAÇÃO COMO FLUIDOS DE CORTE DE USINAGEM**. 2018. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

GGD METALS. **Aço de construção mecânica 8640**. 2019. Acesso em: 6 set. 2020.

GONÇALVES, Penha Suely de Castro. **BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS NA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE NOS PROCESSOS DE USINAGEM**. 2008. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

INDUSTRIAL, Blog do Adesivo. **Fluidos para corte e conformação Parte** Disponível em: <http://blogadhesivoindustrial.com/index.php/tratamento-de-superficie/fluidos-para-corte-e-conformacao-saiba-escolher-a-tecnologia-mais-adequada-parte-1/?lang=pb>. Acesso em: 9 fev. 2021.

KENNAMETAL Turning Inserts. Disponível em: <https://www.mscdirect.com/product/details/08344178>. Acesso em: 15 out. 2020.

LISBOA, Fabio Cordeiro de; MORAES, Jessvca Jordanna Barroso de; HIRASHITA, Massako de Almeida. **FLUIDOS DE CORTE: UMA ABORDAGEM GERAL E NOVAS TENDÊNCIAS**. 2013. Disponível em: [http://abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\\_TN\\_STO\\_185\\_056\\_23095.pdf](http://abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_185_056_23095.pdf). Acesso em: 15 abr. 2021.

MECANICA, Centro de Informação Metal. **Funções e finalidades dos fluidos de corte**. Disponível em: [https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/4758-funcoes-e-finalidades-dos-fluidos-de-corte](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4758-funcoes-e-finalidades-dos-fluidos-de-corte). Acesso em: 4 dez. 2020.

MITSUBISHI MATERIALS. Turning Inserts. Disponível em: [http://www.mitsubishicarbide.com/application/files/5015/2626/1577/catalog\\_c008a\\_turning\\_inserts.pdf](http://www.mitsubishicarbide.com/application/files/5015/2626/1577/catalog_c008a_turning_inserts.pdf). Acesso em: 19 out. 2020.

NEVES, Tiago do Espírito Santo Baldez. **Investigação da influência da aplicação de óleos vegetais comestíveis como fluido de corte no processo de furação do aço ABNT 1045**. 2013. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

NOTOX. **Catálogo da Notox**. 2010. Disponível em: <https://e5a5e21295859d53b15f83f0bd7793a5a4b61ea12de988b1f44d.ssl.cf2.rackcdn.com/uploads/cimm/catalogo/arquivo/435/Notox.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2021.

OLIVEIRA, Everton Gustavo de. **EFEITO DOS PARÂMETROS DE TRATAMENTO TÉRMICO NA MICROESTRUTURA E NAS PROPRIEDADES DOS AÇOS SAE 4340 E 8640 TEMPERADOS E REVENIDOS**. 2014. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

REYNOL, Fábio. **USP São Carlos desenvolve o primeiro óleo vegetal de corte**. 2009. Disponível em: [http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1984-43952009000300010&lng=pt&nrm=is](http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-43952009000300010&lng=pt&nrm=is). Acesso em: 7 fev. 2021.

RODRIGUES, Alessandro Roger. **Estudo da Geometria de Arestas de Corte com Altas Velocidades de Corte**. 2005. 249 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte**. 1993. Acesso em: 11 set. 2020.

TAPMATIC, Quimatic. **Tecnica MQL reduz em até 50% temperatura nos processos de usinagem**. Disponível em: <https://www.quimatic.com.br/blog/2016/06/tecnica-mql-reduz-em-ate-50-temperatura-nos-processos-de-usinagem/>. Acesso em: 4 fev. 2021