

# APLICAÇÃO DA TÉCNICA DA QUANTIDADE MÍNIMA DE LUBRIFICAÇÃO (MQL) NO TORNEAMENTO AÇO ABNT 1020: ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TRIBOLÓGICAS

<RENAN CEZAR FRANCO><sup>1</sup>

<ADRIANA GISELI LEITE CARVALHO><sup>2</sup>

<ANTÔNIO CARLOS RODRIGUES><sup>3</sup>

## Resumo

O presente trabalho possui o intuito de apresentar uma visão ampla a respeito da importância do fluido de corte na indústria metal-mecânica, comparando dois tipos de fluidos de corte diferentes, fluido sintético e fluido biodegradável utilizando a técnica da quantidade mínima da lubrificação, aplicada em um processo de usinagem visando diagnosticar a qualidade da peça usinada. A metodologia utilizada foi submeter corpos de prova ABNT 1020 a dois processos de usinagem, tais como, acabamento e desgaste e logo após aplicar os testes de rugosidade superficial e dureza. Os ensaios permitiram analisar os parâmetros de velocidade de corte, velocidade de avanço, rotação por minuto e a influência da rugosidade, ou seja, o acabamento superficial da peça usinada. Com base em dados obtidos nos testes, comparando os dois tipos de fluidos de corte, foi diagnosticado que os parâmetros de usinagem não apresentam grande diferença entre ambos os fluidos, porém pode se identificar uma melhor qualidade do processo ao utilizar o fluido biodegradável, proporcionando uma boa lubrificação e uma ótima refrigeração e sem proporcionar odores e vapores tóxicos presentes no processo com o uso de fluido sintético.

**Palavras-chave:** Fluidos de corte. Usinagem. Qualidade.

---

<sup>1</sup> Graduando em Tecnologia e Manutenção Industrial pelo SENAI

<sup>2</sup> Mestre – Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: adriana.carvalho@pr.senai.br

<sup>3</sup> Especialista – Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: antonio.rodrigues@pr.senai.br

# 1 INTRODUÇÃO

Na indústria de manufatura, os processos são realizados por meio da conformação mecânica ou da usinagem, comumente, estes processos atuam em uma mesma peça. Por se tratar de um dos processos mais utilizados, a usinagem abrange a maior parte dos produtos industrializados, pois, em alguma parte de suas etapas de produção, ou até mesmo em processos de melhoria da qualidade superficial das peças são feitos por usinagem.

O que caracteriza o processo de usinagem é a transformação de matéria-prima em produto por meio da remoção de material na forma de cavacos (SANTOS; SALES, 2007). Na realização do processo, ocorre a interação entre a superfície da peça e uma ferramenta de corte. Nessa região de contato, existe a presença do atrito que, conseqüentemente, pode gerar desgaste prematuro na ferramenta de corte, além de gerar um acabamento superficial que comprometa o dimensional da peça.

Desde a pré-história, os seres humanos exerciam algum tipo de usinagem, como processamento de pedras e metais. Assim, as peças foram se tornando cada vez mais elaboradas até chegarem à construção de máquinas simples e eficientes. A busca por mecanizar processos manuais é muito grande por parte da sociedade no decorrer dos anos, de forma que hoje é impossível imaginar o mundo sem o uso de máquinas operatrizes.

Embora esse ícone faça parte da nossa era, a sua origem vem das primeiras civilizações, onde povos da mesopotâmia utilizavam tornos rudimentares para fabricação de móveis e objetos cotidianos. O material predominante era a madeira e, no decorrer do tempo, o metal foi ganhando cada vez mais importância, de maneira que foram surgindo novas técnicas e

ferramentas. A máquina mais antiga que se enquadra nesses termos é uma mandriladora de canhões de bronze, do século XVI, XVII e XVIII (ABIMAQ, 2006). De acordo com essa evolução, as máquinas e os processos foram evoluindo cada vez mais e, por conseguinte, foram necessitando cada vez mais de melhorias nos processos.

Nos processos de usinagem, as máquinas necessitam de ferramentas de corte, e estas ficam em contato com a superfície do material durante o trabalho. Sempre que duas superfícies se movimentarem, uma em relação à outra, ocorrerá o atrito, que poderá levar ao desgaste, sendo que este pode ser definido como um prejuízo mecânico a uma ou às duas superfícies, geralmente envolvendo perda progressiva de material. Em muitos casos, o desgaste é severamente prejudicial, levando a um aumento contínuo da folga entre as partes que se movimentam ou a uma indesejável liberdade de movimento e perda de precisão.

Um meio de simular um determinado desgaste ocasionado pelo atrito em um material é por meio de testes, a tribologia vem de encontro a este aspecto, sendo uma ciência que o conhecimento adquirido vem da física, da química, da mecânica e da ciência dos materiais para explicar e prever o comportamento de sistemas físicos que são usados em sistemas mecânicos (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Uma das formas de minimizar os efeitos do atrito na região de corte é a partir da utilização dos lubrificantes que atuam como melhoria no processo, que envolvem o desgaste da ferramenta e má conformidade da peça. Suas principais funções são refrigerar em altas velocidades e lubrificar em baixas velocidades de corte (SANTOS; SALES, 2007).

Na indústria metal-mecânica, a usinagem é um aspecto comum no ambiente de trabalho, esse processo sofre melhorias no decorrer do tempo, sendo uma delas o uso de fluídos, que influenciam de forma positiva no andamento do processo.

Porém, essa melhoria vem com algumas consequências, algumas delas são os efeitos causados no meio ambiente e os danos à saúde do ser humano, os custos referentes aos fluídos de corte, o perigo à saúde do operador e a crescente severidade da legislação quanto aos descartes industriais que tem pressionado as indústrias a reverem suas produções, compatibilizando-as com as exigências das normas e da sociedade.

De acordo com Pusavec (2010), 39 milhões de toneladas de fluídos são utilizados em máquinas, o que representa um aumento de 1,2% por década e gera consumo de água causando danos ao meio ambiente. Segundo os dados de Souza (2010), uma família de 4 pessoas consome, em média, 22m<sup>3</sup> de água/mês. Comparando esses dados com o processo de usinagem, pode-se identificar o desperdício de água ocasionado, onde em um processo de desbaste o uso de água é de 8,3m<sup>3</sup>/hora e em um processo de acabamento 9,2m<sup>3</sup>/hora.

A não utilização de fluídos de corte retira da usinagem os seus benefícios, que são: a lubrificação, a refrigeração e a remoção dos cavacos gerados. Isso significa que há mais atrito e adesão entre a ferramenta e a peça, que são submetidas a uma maior carga térmica, o que pode resultar em níveis mais altos de desgaste da ferramenta e prejudicar a qualidade superficial e geométrica das peças.

O presente trabalho mostrará como o fluído de corte aplicado junto a técnica da quantidade mínima de lubrificação é um fator importante na

usinagem de materiais e como a substituição dos fluídos sintéticos por fluídos biodegradáveis podem alcançar a exigências de um processo de usinagem e demonstrar características satisfatórias em relação a economia, saúde do ser humano e a redução do efeito causado no meio ambiente.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 TRIBOLOGIA**

De origem grega, a palavra tribologia se divide em duas partes: tribos (atrito) e logia (estudo). Assim, o estudo da tribologia se ocupa, essencialmente, em operar na redução do atrito entre duas superfícies em movimento relativo entre si. Logo, de acordo com Alves (2014 apud BHUSHAN, 1999), a tribologia vem com a finalidade não somente de reduzir o atrito, mas também de eliminar as perdas de material e desgastes de ferramentas e gerar uma economia maior para a indústria. O que unifica a tribologia não são os conhecimentos básicos, mas sim a área de aplicação. Assim, como os campos do conhecimento que formam a tribologia existiam antes da sua formação, os estudos dos fenômenos de lubrificação, atrito e desgaste antecedem 1966, que foi o marco de estudos da tribologia em relação aos possíveis impactos econômicos.

O equipamento utilizado para realizar os ensaios tribológicos em materiais é o tribômetro, que tem por objetivo simular os esforços e movimentos gerados por duas superfícies em contato, além de medir as propriedades de atrito e desgaste de combinações de materiais e lubrificantes.

Este método de ensaio pode ser aplicado em diversas áreas, tais como: mecânica, automotiva, aeroespacial, eletrônica, biomédica entre outras. Possibilita com que várias vezes o efeito de desgaste causado pelo atrito possa ser avaliado, atribuindo os resultados almejados em uma determinada peça (ALVES, 2014).

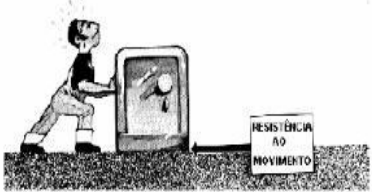



Tal ciência é de grande importância para as diversas áreas tecnológicas, levando em conta que o desgaste demasiado em dispositivos mecânicos pode diminuir o processo fabril, desse modo, elevando os custos da manutenção e os ensaios tribológicos possibilitam evidência por meio do controle das condições de desgaste do material.

## 2.2 ATRITO

O atrito é a interação entre as superfícies dos corpos que estão em contato entre si e em movimento relativo, ou seja, é o resultado do contato entre duas superfícies movendo-se uma em relação a outra, sendo a resistência a esse movimento que causa o atrito. Esse fator acontece mesmo possuindo duas superfícies lisas e polidas que, por meio da visão e do tato não é possível identificar, por suas saliências e reentrâncias muito pequenas (picos e vales), que dificultam o deslizamento da superfície, gerando o atrito.

Sempre que duas superfícies se movimentarem, uma em relação a outra, ocorrerá o atrito, que poderá levar ao desgaste, sendo que este pode ser definido como um prejuízo mecânico a uma ou às duas superfícies, geralmente envolvendo perda progressiva de material (SANTOS; SALES, 2007). Adaptado de Santos e Sales (2007), o quadro 1 ilustra os principais tipos de atrito, bem como a sua ocorrência.

**Quadro 1.** Tipos de Atrito.

Tipo Atrito	Ilustração	Ocorrência
Sólido		Quando há contato entre duas superfícies sólidas.
Deslizamento		Quando uma superfície se desloca diretamente em contato com a outra.
Rolamento		Quando o deslocamento acontece por meio da rotação de corpos cilíndricos ou esféricos.
Fluído		Quando existe uma camada fluida entre as duas peças.

Fonte: Adaptado de SANTOS e SALES (2007).

As superfícies sólidas, mesmo as mais polidas, apresentam irregularidades. Assim, o modo como as superfícies interagem, caracteriza o atrito. Uma das formas de minimizar os efeitos do atrito é a partir da utilização dos lubrificantes que atuam nesse processo como melhoria no desgaste da ferramenta. Por lubrificantes compreende-se todo o material que interpõe entre superfícies, formando uma película que evita ou ameniza contato entre ambas as partes.

### 2.3 PROCESSOS DE USINAGEM

O processo de usinagem é a transformação da matéria prima em produto por meio de remoção de matéria na forma de cavacos. É dividida em duas categorias, de acordo com a energia empregada: uma delas é a usinagem tradicional, ou também chamada convencional, em que o material é retirado por cisalhamento por meio da ação de uma ferramenta de corte.

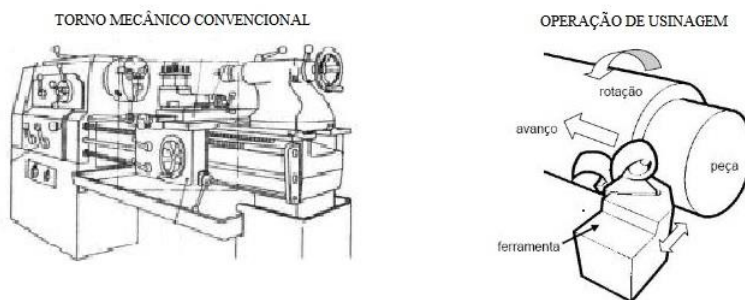
Existem vários processos, como torneamento, fresamento, furacão, alargamento, rosqueamento, retificação, brochamento, etc. Tais processos necessitam de uma ferramenta de corte para remoção de material, sendo esta constituída de um material mais duro e mecanicamente mais resistente que a peça.

Este estudo terá como foco o processo de torneamento que consiste em retirar progressivamente o cavaco da peça trabalhada. No torneamento a ferramenta penetra na peça por meio de um movimento rotativo ao redor do eixo, permitindo um corte regular do material. O torneamento só é possível por meio de três movimentos entre a peça e a ferramenta, sendo eles: movimento de corte, movimento de avanço e o movimento de penetração.

O movimento de corte é o principal que permite o corte do material de maneira rotativa, realizado pela peça. Em segundo, o movimento de avançando é o de deslocamento da ferramenta em relação à superfície da peça. Por último, o movimento de penetração determina a profundidade de corte, empurrando a ferramenta em direção à peça, assim, regulando a profundidade do passe e a espessura do cavaco.

A figura 1 ilustra a máquina que é um torno mecânico convencional Nardini 650, e o processo de torneamento de uma peça, em que se demonstra a cinética do processo, sendo os movimentos de rotação, avanço e ao sentido de percurso da ferramenta.

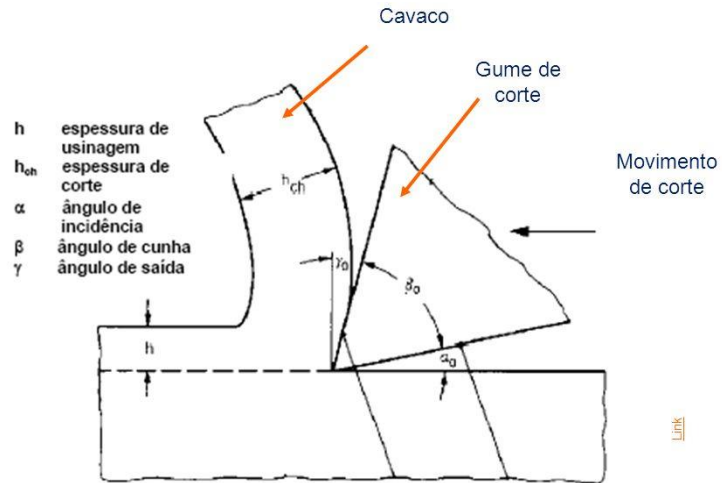
**Figura 1.** Torno mecânico convencional e operação de usinagem.



Fonte: Adaptado de SOUZA (2010).

Os tipos mais comuns de ferramentas de corte são o aço carbono, aço rápido, metal duro e cerâmica; cada um com seu objetivo e característica de usinagem (MACHADO et al., 2011). A seguir, a figura 2 exemplifica a geometria da ferramenta de corte:

**Figura 2.** Geometria da ferramenta de corte.



Fonte: LIMA (2016).

A ferramenta de corte tem sua vida útil de acordo com a eficiência em que ela trabalha, até perder sua capacidade de corte. Ao atingir um tempo previamente estabelecido, a ferramenta deve ser afiada ou trocada para próximas usinagens. O desgaste das ferramentas tem influência principalmente da velocidade de corte, pelo avanço, pelos fluidos refrigerantes que são aplicados no momento da usinagem e também pela profundidade de usinagem em que a ferramenta é submetida.

## 2.4 RUGOSIDADE SUPERFICIAL

A superfície dos componentes mecânicos deve ser adequada às funções que exercem. Conforme aumentam as exigências dos projetos mecânicos, aumenta-se também a importância do estudo do acabamento superficial. A rugosidade superficial é o conjunto de irregularidades nas

peças, ou seja, saliências e reentrâncias (picos e vales). A rugosidade interfere na qualidade do deslizamento, na resistência ao desgaste, na aparência, na resistência oferecida pela superfície ao escoamento dos fluidos lubrificantes, entre outros.

Essas irregularidades são avaliadas com o auxílio de aparelhos eletrônicos, como o rugosímetro, que opera por meio do processo de percorrer a superfície com o apalpador acompanhado de um guia. Enquanto o apalpador acompanha a rugosidade, a guia acompanha as ondulações na superfície. Em conjunto, o movimento da agulha é transformado em impulsos elétricos e registrado no mostrador do gráfico. Na figura 3 ilustra-se o aparelho utilizado para os testes e de rugosidade

**Figura 3.** Rugosímetro.

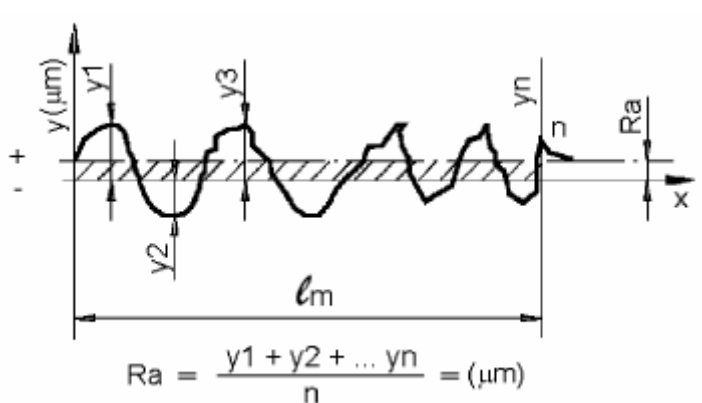


Fonte: autor.

O parâmetro utilizado para o ensaio de rugosidade, é o parâmetro Ra, que é a media dos valores absolutos das ordenadas de afastamento ( $y_i$ ) dos pontos do perfil de rugosidade em relação a linha media, dentro do percurso de medição (lm). Essa grandeza pode corresponder a altura de um retângulo, cuja área é igual a soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de

rugosidade e pela linha média, tendo comprimento o percurso de medição (lm). Na figura 4 ilustra o parâmetro utilizado para a medição de rugosidade.

**Figura 4.** Parâmetro de Rugosidade.



Fonte: Adaptado de (ROSA, 2009).

O parâmetro Ra é usado quando necessário um controle contínuo da rugosidade nas linhas de produção, em superfícies que o acabamento apresenta sulcos de usinagem e em superfícies de pouca exigência, onde o acabamento é feito apenas para fins estéticos.

## 2.5 FLUÍDOS DE CORTE

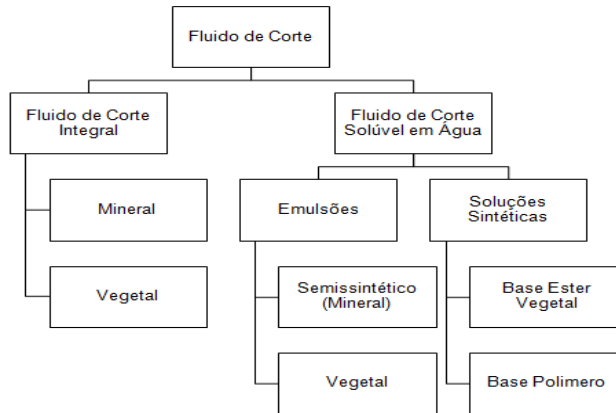
De acordo com Diniz, Marcondes e Coppini (2013), o primeiro pesquisador a identificar a influência do fluido de corte durante o processo de usinagem foi o americano F. W. Taylor (1894). A verificação de Taylor foi realizada ao derramar grande quantidade de água na peça usinada, assim, ele obteve o resultado de maior velocidade no processo de corte com o

percentual 33% sem prejuízo para a ferramenta. A sua ideia surgiu da necessidade de diminuir a alta temperatura sobre a ferramenta de corte, compreendendo que a água levaria consigo boa parte do calor gerado pelo atrito da ferramenta com o material a ser usinado.

O emprego de fluídos de corte melhora a eficiência dos processos de usinagem proporcionando aumento da vida útil da ferramenta de corte, maior controle nas tolerâncias dimensionais, melhoria no acabamento da peça usinada, promove a redução de forças de usinagem e amenização de vibrações (SANTOS, 2011 apud RODRIGUES; RODRIGUES, 2005 apud STEMMER, 2005). As melhorias causadas pelo uso de fluídos de corte em todo o processo de usinagem vem por meio de estudos realizados para fabricação dos mesmos.

Na atualidade, esses fluídos apresentam melhores propriedades lubrificantes, propriedades refrigerantes e menos perigo ao operador, com uma duração elevada com menos problemas de armazenamento relacionados aos fluídos de cortes passados. Os fluídos de corte podem ser classificados em dois grupos distintos: óleos integrais e emulsões aquosas. A figura 5 ilustra esta classificação.

**Figura 5.** Tipos de Fluido de Corte.



Fonte: Adaptada de RUNGE e DUARTE (1990).

Sobre os fluídos de corte sintéticos, também chamados de soluções, são compostos monofásicos de óleos que dissolvem completamente na água e são isentos de óleos minerais, constituídos por sais orgânicos e inorgânicos, aditivos de lubrificação, biocidas e inibidores de corrosão. Oferecem boa proteção anticorrosiva e refrigerante, mas, por outro lado, oferece danos à saúde, podendo causar doenças cancerígenas e danos ao meio ambiente caso seu descarte for inadequado.

Com um olhar voltado para questões ambientais, os fluídos de corte biodegradável são indispensáveis à usinagem e apresentam diversas funções, como melhorar o acabamento, reduzir o atrito, refrigerar a ferramenta e a peça, reduzir a névoa, entre outras. Sem eles, questões como a temperatura, o rendimento e a precisão do processo ficariam comprometidas.

Por tratar do corte de materiais duros, normalmente, os fluídos de corte são desenvolvidos com elementos fortes – como cloro, fenóis, metais etc. Um dos grandes desafios industriais é utilizar um fluído de corte que seja

ao mesmo tempo produtivo, seguro e ecologicamente correto. O fluido de corte biodegradável vem para atender essa questão, possibilitando qualidade a todo o processo de usinagem, conservando a peça e deixando-a livre de oxidação. Suas características são: atóxico, inodoro, ecológico, biodegradável e não inflamável, na maioria dos casos suas fontes de produção são fontes renováveis.

De acordo com a norma ABNT8418/84, na qual os fluídos de corte são considerados como resíduos de processamento, são especificados todos os quesitos básicos para acondicionamento, cadastramento, reciclagem e demais condições para a melhor utilização destes sem consideráveis consequências ao meio ambiente. Deseja-se que a água resultante do descarte da emulsão não contenha produtos agressivos à fauna e à flora aquática, para isso é necessário que a formulação dos fluídos possua componentes que facilitem e reduzam o custo do descarte. É desejável a sua ausência ou a presença de quantidade mínima, isso se consegue por meio de fluídos com materiais duros ao ataque por microorganismos, para que biocidas não sejam necessários. Porém, o fluido deve ser utilizado apenas em quantidades mínimas, para fazer com que as emulsões durem o maior tempo possível, reduzindo ao mínimo a quantidade descarte no meio ambiente.

## 2.6 QUANTIDADE MÍNIMA DE FLUÍDO (MQL)

A técnica de MQL consiste na utilização de uma quantidade mínima de fluido na região de corte com o objetivo de lubrificar e reduzir o atrito entre a ferramenta e a peça. A adoção desta técnica exige uma criteriosa análise e adequação de todos os fatores influentes no processo. O vapor, a

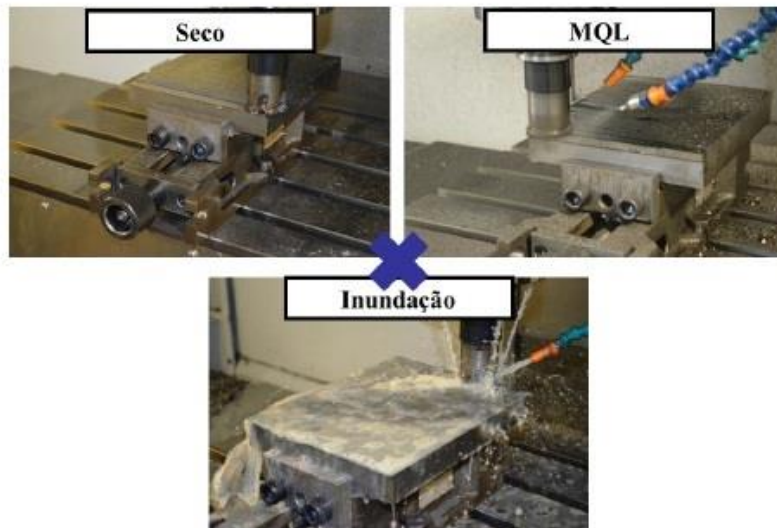
névoa e a fumaça de óleo podem ser considerados subprodutos indesejáveis, os quais caracterizam um aumento de poluição suspensa no ar, tornando-se, assim, um fator de preocupação. De acordo com Diniz, Marcondes e Coppini (2013), em 1992 na Alemanha, o volume de descarte de óleo utilizados em processos de transformação metal-mecânica representou aproximadamente 60% do consumo total de lubrificantes, o equivalente a 1.151.312 t/ano. Isto envolve um custo significativo que varia de 7,5% a 17% dos custos de fabricação por peça, superior, até mesmo, aos custos relativos ao ferramental.

Assim, utilizando a técnica MQL, os custos, com a parte ferramental, aumentam, porém, comparando com os custos do processo convencional, acaba sendo vantajoso optar por esta técnica, já que o custo total de fabricação do processo convencional é elevado.

Juntamente com a técnica MQL, os fabricantes têm desenvolvido fluídos com vida útil maior, para que seja diminuído o descarte, causando menos danos ao operador e ainda manter as suas características de refrigerar e lubrificar o material no processo de usinagem.

A usinagem pode ser realizada a seco (sem fluído), com fluído em abundância ou pela técnica de MQL. A figura 6 demonstra a usinagem a seco (sem fluído de corte), técnica de MQL e por inundação.

**Figura 6.** Técnicas de Aplicação do Fluido de Corte.



Fonte: SOUZA (2014).

Técnicas são utilizadas para a redução dos impactos que os fluídos oferecem ao meio ambiente, uma delas é a MQL, que, como citado acima, é a utilização mínima do fluído de corte para o processo de usinagem. A outra técnica é a usinagem a seco, sem nenhum tipo de fluído. Por último, a convencional é realizada por inundação, ou seja, uma maior quantidade de fluídos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa bibliográfica baseou-se nos parâmetros e processos relacionados à usinagem, ferramentas de corte, fluídos de corte, MQL, para fazer um comparativo entre dois tipos de fluídos, sendo eles o biodegradável e o sintético. Visando o objetivo deste estudo, realizou-se experimentos no

processo de torneamento em que, posteriormente, os corpos de prova foram submetidos a testes de rugosidade e de dureza.

O teste de rugosidade avalia as características obtidas por meio do processo de torneamento, levando em consideração acabamento e desgaste e comparando os dois tipos de fluídos. Como o processo de torneamento aumenta a temperatura no material usinado, a aplicação do teste de dureza foi fundamental para identificar a característica que cada tipo de fluído emprega no material usinado, tendo como característica principal a temperatura de corte. A seguir, serão relacionados às demais máquinas, equipamentos e ferramentas utilizadas para os ensaios.

### 3.1 MÁQUINA

Foi utilizado como instrumento de teste um torno mecânico de modelo Nardini NDT 650, com diâmetro de 650 x 2200mm, tensão de 220 volts, amperagem de 30A e frequência de 60z. Muito utilizado para manufatura de peças em escala menor de volume, bem como para fabricação de peças de reposição para manutenção. A figura 7 ilustra o torno utilizado para realizar os ensaios.

**Figura 7.** Torno mecânico.



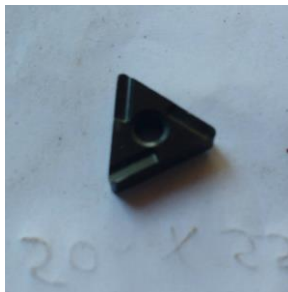
Fonte: autor.

Apesar do CNC ser a máquina mais utilizada na produção de peças em grande escala, em que a técnica MQL destaca-se, a proposta do torno convencional é abranger um sistema de produção em baixas escalas ou na fabricação de peças de reposição para manutenção, em que necessita de uma boa qualidade na peça.

### 3.2 FERRAMENTAS DE CORTE

Na usinagem dos corpos de prova foi utilizada uma ferramenta de corte de metal duro para desbaste da Sandvik Coromant, com raio de 0,4mm, ângulo de aresta 95°, diâmetro do círculo inscrito de 6,35mm e comprimento efetivo da aresta de corte de 2,58mm. A figura 8 demonstra a pastilha de metal duro utilizada na usinagem e a tabela 1 abaixo mostra os dados relativos sobre os parâmetros de corte.

**Figura 8.** Pastilha de Metal Duro.



Fonte: autor.

**Tabela 1.** Parâmetros de corte.

Parâmetros	Operação	
	D esbaste	Acabamento
Rotação por minuto (rpm)	400	800
Avanço de corte (mm/volta)	0,25	0,1
Velocidade de Corte (m/min)	3	62,8

Fonte: autor

A ferramenta de corte usada para a usinagem de desbaste e acabamento foram as mesmas, tanto para aplicação do fluido de corte sintético como o fluido biodegradável nos corpos de prova ABNT 1020.

### 3.3 CORPOS DE PROVA

Corpos de prova cilíndricos foram utilizados para a realização dos testes aplicados como técnicas de desbaste e acabamento, feitos de material aço ABNT1020, com dimensões de Ø25mm x 63mm conforme a figura 9.

**Figura 9.** Corpos de prova.



Fonte: autor.

Algumas das características deste material, podem se destacar a boa soldabilidade, boa forjabilidade, baixa resistência mecânica e baixa usinabilidade. As suas aplicações são em diversas áreas, algumas delas são na indústria agrícola, automobilística, de máquinas e equipamentos.

### 3.4 FLUÍDO REFRIGERANTE

#### 3.4.1 *Fluído Biodegradavel*

Para a aplicação dos testes, foi utilizado o fluído biolubrificante de usinagem isento de qualquer tipo de óleo, desenvolvido com matérias-primas de fontes renováveis, isento de vapores tóxicos, e biodegradável. As suas características são o fator atóxico, com densidade de 0,95 – 1,05 kg/l, com a composição biolubrificante, aditivos e veículo. Um recipiente de vinte litros desse fluído custa em média trezentos e cinquenta reais.

Na figura 10 e no quadro 2, ilustra-se ao tipo do fluído e suas características físico-químicas.

**Figura 10.** Fluído biolubrificante.



Fonte: autor.

**Quadro 2.** Características físico-químicas do fluído Biolubrificante.

Item	Característica
Aspecto-visual	Líquido viscoso levemente esverdeado
Toxicidade	Atóxico
Densidade	0,95
Composição	Biolubrificantes, aditivos e veículo

Fonte: Adaptado de BONDMANN.

Esse determinado fluído possibilita uma boa usinagem, amenizando a temperatura gerada pelo atrito peça-ferramenta. Suas vantagens são a proteção contra a oxidação, resistência ao ataque de micro-organismos e fungos, aumenta da vida útil das ferramentas, biodegradável, entre outros. Além disso, por conta da sua composição ser de fontes renováveis, logo, um produto sustentável, com fácil descarte e reutilização, torna-se de suma importância para o meio ambiente.

### 3.4.2 Fluído Sintético

Foi utilizado também para os testes o fluído sintético solúvel, STRONG CORT2000. Composto de lubrificante polímero solúvel em água mais aditivos, em sua composição encontram-se matérias-primas nobres testadas e selecionadas para permitir a eficácia do produto. Um recipiente de vinte litros desse fluído custa em média quatrocentos reais. Na figura 11 e no quadro 3, ilustra-se o tipo de fluído e as suas características.

**Figura 11.** Fluído Sintético Solúvel.



Fonte: autor.

**Quadro 3.** Características físico-químicas do fluído Sintético Solúvel.

Item	Característica
Aspecto-visual	Amarelo Esverdeado
Toxicidade	Tóxico
Densidade	1,065 g/cm <sup>3</sup>

O uso deste fluído é comum em operações de usinagem de metais ferrosos e não ferrosos, tais como furar, rosquear, serrar, brunir, entre outras. As suas vantagens, por ser isento de nitrito, fenóis, óleos minerais, cloro e enxofre, oferecem uma maior segurança à saúde do operador e ao meio ambiente, diminuindo os riscos do uso e do descarte. Possui uma excelente resistência a ação de microorganismos, um alto poder anticorrosivo e pouca formulação de espuma.

### 3.5 APLICAÇÃO DO FLUÍDO (TÉCNICA MQL)

O dispositivo confeccionado para aplicação do fluído refrigerante, contendo uma bomba de combustível automotivo 12V, um reservatório de 500ml para armazenar o fluído, mangueiras de entrada e saída do fluído e uma bateria 12v para ativar o funcionamento. Este dispositivo é acoplado ao torno convencional em que se aplica a técnica MQL no material a ser estudado. Na figura 12, ilustra-se o dispositivo e os seus componentes.

**Figura 12.** Dispositivo de aplicação do fluído (MQL).



Fonte: autor.

O dispositivo acima permite fácil adaptação nas máquinas convencionais, em que se aplica a técnica MQL, podendo obter um controle de vazão e pressão no sistema. O dispositivo possui um custo barato e de fácil construção, a sua parte elétrica é simples, porém, podem ser adicionados outros dispositivos para melhor eficiência no processo.

### 3.6 RUGOSIDADE SUPERFICIAL

Ao aplicar o teste de rugosidade no corpo de prova por meio do aparelho rugosímetro, seguindo a norma ABNT – NBR 8404/1984, em que consegue identificar os tipos de estado da superfície e compará-los de acordo com os tipos de fluídos aplicados em cada corpo de prova. Na figura 13, ilustra-se o equipamento de medição, o corpo de prova já usinado.

**Figura 13.** Ensaio de rugosidade.



Fonte: autor.

A superfície da peça apresenta perfis diferentes entre si, as saliências e reentrâncias são irregulares, e para obter um acabamento adequado é necessário determinar um nível em que elas devem ser usinadas, adotando um parâmetro para avaliar a rugosidade. Esse parâmetro é conhecido como rugosidade média (RA), que é a média dos valores absolutos das ordenadas de afastamento dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média dentro do percurso de medição. É ilustrada por um triângulo cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pela rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição.

A vantagem é que esse parâmetro é o mais utilizado, aplicado à maioria dos processos. Porém, a sua desvantagem é a falta de distinção entre picos e vales, e, para alguns processos com frequência muito alta de vales ou de picos, no caso dos sinterizados, o parâmetro não é adequado, pois ocorre uma distorção provocada pelo filtro e eleva o erro a altos níveis.

No quadro 4, apresenta-se os valores para o tamanho da amostragem para realizar a medição de rugosidade (RA).

**Quadro 4.** Comprimento da amostragem.

RUGOSIDADE RA (mm)	MÍNIMO COMPRIMENTO DE AMOSTRAGEM L (CUT OFF) (mm)
De 0 até 0,1	0,25
Maior que 0,1 até 2,0	0,80
Maior que 2,0 até 10,0	2,50
Maior que 10,0	8,00

Fonte: FERRARI, 2014.

Este quadro representa uma classificação de rugosidade e o tamanho mínimo do comprimento da amostragem para a realização dos ensaios e para definir em qual classificação de rugosidade o material a ser testado se encaixa.

### 3.7 ENSAIO DE DUREZA

Para caracterizar a dureza dos materiais que já passaram pelo processo de usinagem sofrendo uma têmpera, foi utilizado para testes o aparelho durometro SJ-201 com a finalidade de identificar a ação que os dois tipos de fluídos aplicaram nos corpos de prova ao decorrer do processo de usinagem. A figura 13 apresenta o durometro utilizado no ensaio de dureza.

**Figura 13.** Durometro.



Fonte: autor.

O método de ensaio de dureza adotado para os testes foi o método Rockwell, que tem como vantagens avaliar a dureza de metais diversos desde os mais moles até os mais duros. Esse processo é o mais utilizado no mundo inteiro devido a sua facilidade de execução e rapidez. A importância do ensaio de dureza dos materiais usinados é essencial, pois os mesmos sofrem uma têmpera devido a temperatura de corte, mudando as suas características.

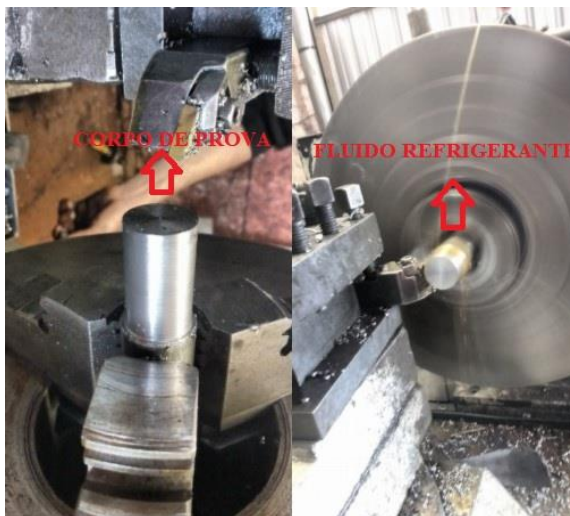
## **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **4.1 USINAGEM**

A usinagem dos corpos de prova foi realizada em uma tornearia localizada em Rolândia/PR, foram adotados parâmetros de velocidade, rotação e avanço para os diferentes tipos de fluídos. Foram usinados quatro corpos de prova, sendo eles: dois usando os parâmetros de desgaste, mas com a diferença na aplicação do fluído; e dois utilizando o parâmetro de acabamento, diferenciando a aplicação do fluído. No momento do processo da usinagem é notável a diferença em que os fluídos aplicados no material possuem um em relação ao outro.

A seguir, a figura 14, apresenta o processo de usinagem, no primeiro momento o posicionamento do corpo de prova e na sequência a aplicação do fluido de corte pela técnica de MQL.

**Figura 14.** Processo de usinagem.



Fonte: autor.

A aplicação do fluido iniciou com uma pressão de aproximadamente 3,0 bar e uma vazão de 105 litros/hora. Porém observou-se que a quantidade era excessiva, havendo a necessidade de reduzir a vazão em aproximadamente 60% considerando o valor inicial. Após isso foi possível a aplicação direcionada na interface peça/ferramenta sem desperdício, possibilitando de forma adequada à aplicação da técnica MQL.

#### 4.2 FLUÍDO DE CORTE

Na aplicação do fluido de corte, os dois tipos de fluidos utilizados oferecem características diferentes a todo o processo de usinagem.

No fluido biodegradável aplicado, tanto nas condições de desbaste como acabamento, percebe-se que a temperatura de corte no momento do processo é menor comparado ao fluido sintético. Com o fluido biodegradável, observou-se uma pequena camada protetora na máquina, já com o fluido sintético isso não ocorre.

Um dos fatores que diferencia ambos fluídos, percebido na hora da aplicação, é o odor, pois o fluido biodegradável apresenta baixo odor, sem gerar incômodo ao operador, em contrapartida, o fluido sintético emite um odor forte e incômodo.

Foi diagnosticado na ferramenta o desgaste comparando os dois fluídos. No fluido biodegradável, o desgaste foi maior em relação ao fluido sintético. A seguir, as figuras 15 e 16 apresentam a aplicação de ambos fluídos:

**Figura 15.** Fluido biodegradável.

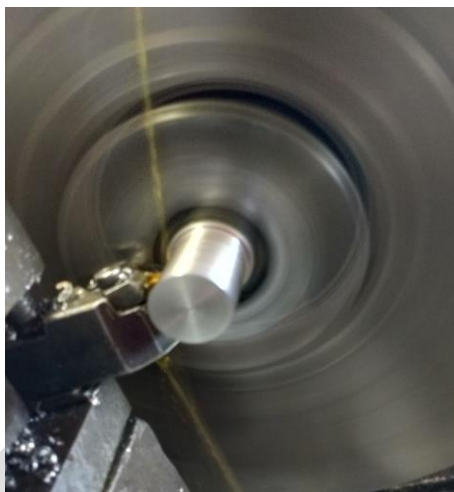


Fonte: autor.

O fluido biodegradável de característica aquosa transparente esverdeada ofereceu para o processo uma excelente lubrificação, uma boa

refrigeração, sem provocar manchas nos materiais. Além disso, a sua manipulação é simples, sem problemas com riscos ao operador e com o descarte fácil.

**Figura 16.** Fluido sintético.



Fonte: autor.

O fluido de corte sintético demonstrou no momento da aplicação boas vantagens para a usinagem, como a temperatura, evitando deformação e falhas das peças, e a qualidade da ferramenta foi melhor comparada à biodegradável. Porém, possui desvantagens como o odor forte, irritação em contato com a pele e descarte complicado em relação ao biodegradável, pois as suas características químicas interferem diretamente no meio ambiente.

#### 4.3 RUGOSIDADE SUPERFICIAL

Após os corpos de prova passarem por todo o processo de usinagem, foram submetidos aos testes de rugosidade por meio do aparelho de medição,

o rugosímetro. Em cada corpo de prova foram retiradas amostras de três diferentes posições na superfície da peça para realizar uma média dos valores. Foi utilizado como parâmetro de rugosidade Ra, ou seja, rugosidade média. Para comparar os dados, apresenta-se no quadro 5 e 6 a simbologia e a indicação das características de rugosidade Ra.

**Quadro 5.** Significado da simbologia.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
✓	Símbolo básico; só pode ser usado quando seu significado for complementado por uma indicação.
▽	Caracteriza uma superfície usinada, sem mais detalhes.
▽	Caracteriza uma superfície na qual a remoção de material não é permitida e indica que a superfície deve permanecer no estado resultante de um processo de fabricação anterior, mesmo se ela tiver sido obtida por usinagem.

Fonte: FERRARI, 2014.

O quadro 5 representa o significado de cada símbolo e as suas características de rugosidade aplicadas em determinado material.

**Quadro 6.** Indicação das características da rugosidade Ra.

SÍMBOLO			SIGNIFICADO
A remoção do material é:			
facultativa	exigida	não permitida	
$\frac{3,2}{\sqrt{}} \text{ ou } \frac{N8}{\sqrt{}}$	$\frac{3,2}{\nabla} \text{ ou } \frac{N8}{\nabla}$	$\frac{3,2}{\nabla} \text{ ou } \frac{N8}{\nabla}$	Superfície com rugosidade de valor máximo Ra = 3,2mm.
$\frac{6,3}{\sqrt{}} \text{ ou } \frac{N9}{\sqrt{}}$ $\frac{1,6}{\sqrt{}} \text{ ou } \frac{N7}{\sqrt{}}$	$\frac{6,3}{\nabla} \text{ ou } \frac{N9}{\nabla}$ $\frac{1,6}{\nabla} \text{ ou } \frac{N7}{\nabla}$	$\frac{6,3}{\nabla} \text{ ou } \frac{N9}{\nabla}$ $\frac{1,6}{\nabla} \text{ ou } \frac{N7}{\nabla}$	Superfície com rugosidade de valor máximo Ra = 6,3mm e mínimo Ra = 1,6mm.

Fonte: FERRARI, 2014.

O quadro 6 mostra padrões a serem adotadas para o processo de usinagem, indicando as medidas facultativas, as exigidas e as não permitidas, de acordo com o valor da rugosidade obtido na superfície do material. O quadro 7 representa os valores de Ra medidos em três diferentes lugares da superfície da peça, com a aplicação do fluido sintético e seguindo os parâmetros de usinagem.

**Quadro 7.** Parâmetro para desgaste com o fluido sintético.

<b>Padrão</b>	<b>Valor de Ra</b>
Posição 1	4.67 Ra
Posição 2	4.71 Ra
Posição 3	4.29 Ra

Fonte: autor.

O quadro 7 mostra os resultados obtidos do teste de rugosidade como parâmetro de desgaste no material usinado com aplicação do fluido sintético, comparando os três valores, a média Ra obtida foi 4,55. No quadro 8 são apresentados os valores de parâmetro de desgaste com o fluido biodegradável.

**Quadro 8.** Parâmetro de desgaste com o fluido biodegradável.

<b>Padrão</b>	<b>Valor de Ra</b>
Posição 1	4.64
Posição 2	4.41
Posição 3	4.54

Fonte: autor.

O quadro acima mostra os resultados obtidos do teste de rugosidade com o parâmetro de desgaste no material usinado com aplicação do fluido biodegradável, comparando os três valores, a média Ra obtida foi de 4,53.

**Quadro 9.** Parâmetro de acabamento com o fluido sintético.

<b>Padrão</b>	<b>Valor de Ra</b>
Posição 1	0.41 Ra
Posição 2	0.38 Ra
Posição 3	0.61 Ra

Fonte: autor.

O quadro 9 mostra os resultados obtidos no teste de rugosidade com o parâmetro de acabamento no material usinado com aplicação do fluido sintético, comparando os três valores, a média Ra obtida foi 0,46.

**Quadro 10.** Parâmetro de acabamento com o fluido biodegradável.

<b>Padrão</b>	<b>Valor de Ra</b>
Posição 1	0.76 Ra
Posição 2	0.47 Ra
Posição 3	0.57 Ra

Fonte: autor.

O quadro acima mostra os resultados obtidos do teste de rugosidade como parâmetro de acabamento no material usinado com aplicação do fluido biodegradável, comparando os três valores, a média Ra obtida foi 0,6.

#### 4.4 ENSAIO DE DUREZA

Com a interferência da temperatura de usinagem característica de cada método, o ensaio de dureza foi necessário para comparar a diferença que os fluídos de corte aplicaram em cada corpo de prova. Os corpos de prova ABNT 1020 apresentam uma dureza característica de 40 HB, assim podemos identificar a diferença de cada fluído aplicado por meio dos valores de obtidos nos testes. Esses valores são obtidos pela profundidade da impressão produzida pela carga aplicada pelo aparelho, e também a medida do ensaio. De acordo com o quadro 11, pode-se comparar os valores medidos de cada corpo de prova, observando a interferência de cada fluído no processo de usinagem.

**Quadro 11.** Relação de dureza e tipo de fluído.

<b>Método de usinagem</b>	<b>Tipo de fluído</b>	<b>Resultados</b>
Desbaste	Biodegradável	39 HB
	Sintético	37 HB
Acabamento	Biodegradável	35 HB
	Sintético	42 HB

Fonte: autor.

Identificou-se que no método de desbaste a diferença de valores não é muito significativa, pois, nesse caso, a velocidade e rotação são baixas. Já o método de acabamento resulta uma velocidade e rotação maior, gerando uma maior temperatura no processo. Desse modo, o tipo de fluido interfere ao demonstrar uma diferença considerável entre os valores de dureza.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Partindo dos resultados obtidos neste trabalho, com base nos objetivos delimitados na introdução, apresentou-se a aplicação dos fluidos de corte biodegradável e sintético a fim de analisar as características tribológicas em um processo de usinagem convencional. O fluido sintético tem como características oferecer bons resultados, pois a sua composição química interfere na qualidade do processo, permitindo uma ótima refrigeração e boa lubrificação, possibilitando que o cavaco se desprenda da ferramenta, logo, evitando defeitos no material e falhas no processo. No entanto, esse fluido ocasiona resíduos tóxicos ao operador, por meio dos vapores gerados pela alta temperatura do processo, e pode levar a doenças respiratórias e pulmonares, assim como desestabilizar o meio ambiente por ser um produto de difícil descarte e armazenamento. Isso ocorre porque o fluido sintético em relação a máquina não oferece nenhum tipo de proteção em seus barramentos, o que torna este uso duvidoso em processos de usinagem convencionais.

Por conta desses fatores referentes ao fluido sintético, este trabalho apresentou o uso da técnica MQL, que utiliza a mínima quantidade de fluido

para o processo de usinagem como alternativa, por possibilitar melhor operação levando em conta os fatores ergonômicos e ambientais.

Além disso, também foi apresentado o fluido biodegradável como um potencial de usinabilidade em relação ao fluido sintético, já que o biodegradável demonstra características iguais e próximas ao sintético, porém, com o diferencial qualitativo nos fatores ergonômicos e ambientais, pois possui uma composição química livre de agentes tóxicos e de vapores, com fonte renovável que possibilita a diminuição do descarte irregular, o que o torna um produto sustentável. No processo de usinagem, observou-se que, com a utilização do biodegradável, não foi gerada espuma e, conseqüentemente, as características foram conservadas. Destacou-se também que a vida útil da ferramenta é maior, evitando gastos com possíveis trocas e gerando um maior lucro no processo.

Por meio dos testes que foram realizados em um período de dois dias em uma tornearia, com o uso de um torno convencional de modelo NARDINE 650 para os processos de acabamento e desgaste, e também em um laboratório próprio para testes de dureza e rugosidade, foi identificado que o fluido biodegradável atende às exigências de qualidade de um processo de usinagem próximo aos dos fluidos sintéticos, já que os resultados comparados não foram idênticos, mas semelhantes, tais como: boa refrigeração, boa usinabilidade, vida útil e lubrificação. Além disso, o custo do fluido biodegradável se torna compensador em relação ao fluido sintético, sendo que o primeiro é mais barato.

O fator vantajoso, portanto, mostra-se na relação do fluido biodegradável com o meio ambiente, o que cumpre o objetivo deste estudo de

comprovar a troca benéfica de um fluido sintético por um fluido biodegradável.

Logo, espera-se que este trabalho, que evidenciou as possibilidades que este novo fluido proporciona, possa conscientizar a indústria metal-mecânica a repensar o uso do fluido sintético e avaliar o uso do fluido biodegradável como um recurso capaz de melhorar diretamente a produtividade, a segurança e saúde do trabalhador, a satisfação do proprietário e os cuidados, que deviam ser essenciais para o meio ambiente.

# **APPLICATION OF THE MINIMUM LUBRICATION QUANTITY (MQL) TECHNIQUE IN STEEL TURNING ABNT 1020: ANALYSIS OF THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES**

## **Abstract**

The present work intends to present a broad view on the importance of cutting fluid in the metal-mechanical industry, comparing two types of different cutting fluids, synthetic fluid and biodegradable fluid using the technique of the minimum amount of lubrication applied in A machining process to diagnose the quality of the machined part. The methodology used was to submit ABNT 1020 specimens to two machining processes, such as, finishing and wear and after applying the tests of surface roughness and hardness. The tests allowed to analyze the parameters of cutting speed, speed of advance, rotation per minute and the influence of the roughness, that is, the surface finish of the machined part. Based on data obtained in the tests, it was diagnosed that the machining parameters do not have a great difference between both fluids, but a better quality of the process can be identified when using the biodegradable fluid, providing Good lubrication and optimum cooling and without providing toxic odors and vapors other than synthetic fluid.

**Key-words:** Cutting fluids. Machining. Quality.

## REFERÊNCIAS

ABIMAQ. **A história das máquinas: ABIMAQ 70 anos.** São Paulo: Magma Cultural e Editora, 2016.

ALVES, Dario José. **Análise da viabilidade técnica e econômica da aplicação de condicionador metálico em processo de alargamento.** 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Uninove, São Paulo, 2014.

ALVES, Fernando Ribeiro. **Desenvolvimento de um tribômetro, tipo, cilindro sob disco, para ensaios tribológicos em formulações com óleos vegetais.** 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Unesp, Ilha Solteira, 2014.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** São Paulo: Artliber Editora, 2013.

FERRARI, Thiago Toscano. **Desenho Técnico Mecânico.** 2014. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/thiagotoscanoferrari/4desenho-tnico-mecnico-multivix>>. Acesso em: 27 nov. 2016.

LIMA, José Eduardo Salgueiro. **Processos de Fabricação I: Seção 1 - Movimentos e Grandezas de Processo e Geometria da Cunha no Corte.** 2016. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/11119468/>>. Acesso em: 27 nov. 2016.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais.** São Paulo: Blucher, 2011.

RUNGE, P. R. F., DUARTE, G. N. **Lubrificantes nas indústrias**. Triboconcept Editora Ltda. Carapicuíba-SP. cap.4, p.71-172, 1990.

SANTOS, Isaque Silva dos. Influência do fluído de corte de origem vegetal no acabamento superficial do aço ABNT 1045. In: **VIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica**. São Luis: ABCM, 2011. 2 p.

SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber Editora, 2007.

SOUTO, Ulisses Borges. **Monitoramento do desgaste no processo de fresamento via emissão acústica**. 2007. 40 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SOUZA, Milena Chanes de. **Avaliação das dimensões técnico-econômica, ambiental e social no fresamento com aplicação de distintas técnicas lubri-refrigeração**. 2014. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2014.