

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE FLUIDOS DE BASE
VEGETAL APLICADOS POR MQL NO ACABAMENTO
GERADO PELO FRESAMENTO FRONTAL DO AÇO
INOXIDAVEL ASTM 743 CA6NM

Julian Conterno Borges

Passo Fundo

2019



Julian Conterno Borges

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE FLUIDOS DE BASE VEGETAL
APLICADOS POR MQL NO ACABAMENTO GERADO PELO
FRESAMENTO FRONTAL DO AÇO INOXIDAVEL ASTM 743 CA6NM**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Airton Consalter

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2019

CIP – Catalogação na Publicação

B732a Borges, Julian Conterno

Análise de desempenho de fluidos de base vegetal aplicados por MQL no acabamento gerado pelo fresamento frontal do aço inoxidável ASTM 743 CA6NM [recurso eletrônico] / Julian Conterno Borges. – 2020.

4.8 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Airton Consalter.

Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2020.

1. Fluidos em metaloplastia. 2. Fresagem (Trabalhos em metal). 3. Óleos vegetais. 4. Usinagem. I. Consalter, Luiz Airton, orientador. II. Título.

CDU: 621.9

Catalogação: Bibliotecária Juliana Langaro Silveira - CRB 10/2427

Julian Conterno Borges

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE FLUIDOS DE BASE VEGETAL
APLICADOS POR MQL NO ACABAMENTO GERADO PELO
FRESAMENTO FRONTAL DO AÇO INOXIDAVEL ASTM 743 CA6NM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data da aprovação: Dia 16 de dezembro de 2019.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Luiz Airton Consalter - Orientador
Universidade de Passo Fundo - PPGPPF

Professor Doutor André João de Souza
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PROMEC

Professor Doutor Willian Haupt
Universidade de Passo Fundo - PPGPPF

Professor Doutor Marcelo Hemkemeier
Universidade de Passo Fundo - PPGPPF

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mostrar o caminho, dar forças, oportunidades e amparo nas horas de dificuldade.

À minha família, em especial, à Janaina e a Maria Júlia, que está a caminho, aos meus pais Júlio e Marilussi, à minha irmã Luciane e à minha afilhada Bibiane, pelo apoio, carinho, paciência e exemplo de vida.

Ao meu orientador, Professor Doutor Luiz Airton Consalter, pelos ensinamentos, empenho e disponibilidade no desenvolvimento deste trabalho.

Ao colega Mateus André Sponchiado, pela doação do material utilizado como corpo de prova nos experimentos desta pesquisa.

Ao André Hagen e à toda equipe do Núcleo de Tecnologia Mecânica da UPF, pelo apoio e disponibilidade.

Ao Professor Doutor André João de Souza, pela disponibilidade e apoio nesta jornada.

À toda equipe do LAUS – Laboratório de Automação em Usinagem da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em especial ao colaborador Guilherme V. Schirmer e aos bolsistas, pela disponibilidade de máquina, equipamentos e infra-estrutura para realizar os experimentos do trabalho.

Ao Professor Doutor Marcelo Hemkemeier, pela ajuda e disponibilidade na hora das análises estatísticas realizadas.

Ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da UPF, em especial ao Professor Doutor Marcio Walber e à Secretaria, pelo apoio durante o decorrer do curso.

A todos os professores do Programa, pelos ensinamentos, incentivos e apoios dados no decorrer do curso.

À Cucchi Indústria Metalúrgica e à Fabe – Faculdade da Associação Brasileira de Educação, pela liberação nos momentos necessários à realização de atividades relativas a este trabalho.

Enfim, a todos que, de uma maneira ou outra, participaram ou colaboraram para realização desta pesquisa.

RESUMO

O presente trabalho avaliou a aplicação de óleos refinados vegetais como o algodão, canola, girassol, milho e soja, como fluidos de corte aplicados na forma de MQL bem como o fluido QuimaticJet, e ainda com a utilização do fluido Bondmann B90 este aplicado pelo sistema em abundância na acabamento da superfície usinada do aço inoxidável martensítico ASTM 743 CA6NM através do processo de fresamento frontal, para investigar a influência dos parâmetros de corte sobre a rugosidade superficial das peças usinadas. Diversos experimentos foram delineados e analisados com auxílio de planejamento fatorial, e os resultados indicaram que a velocidade de corte não possui influência significativa e que o avanço possui influência significativa nos parâmetros de rugosidades Ra e Rz medidos. Para escolha do fluido que melhor se comportou nos experimentos, utilizou-se o teste-t, no qual estatisticamente, excluiu-se o fluido B90, deixando aos demais fluidos condições muito próximas nos valores de Ra e Rz. Ainda se comparou, por intermédio do valor da média de valores da rugosidade Ra, o desempenho obtido pelos fluidos para avaliar as diferenças existentes entre eles com relação a uma condição de usinagem.

Palavras-chave: Fluidos de corte. MQL. Óleos Vegetais. Fresamento Frontal.

ABSTRAT

The present work evaluated the application of refined vegetable oils such as cotton, canola, sunflower, corn and soybean as cutting fluid, applied in the form of MQL as well as Quimaticjet fluid, and also with the use of Bondmann B90 fluid applied by the system abundance in machinability of ASTM 743 CA6NM martensitic stainless steel through the front milling process to investigate the influence of cutting parameters on the surface roughness of machined parts. Several experiments were designed and analyzed with the aid of factorial design, and the results indicated that the cutting speed has no significant influence and that the advance has a significant influence on the measured roughness parameters Ra and Rz. To choose the fluid that best behaved in the experiments, we used the t-test, which statistically excluded fluid B90, leaving other conditions very close to the values of Ra and Rz. It was also compared, through the value of the average values of the roughness Ra, the performance obtained by the fluids to evaluate the differences between them in relation to a machining condition.

Keywords: Cutting fluids. MQL. Vegetable oils. Front Milling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparativo do desempenho em usinagem de diversos tipos de aços inoxidáveis.	21
Figura 2 - Fluxograma da metodologia experimental.	43
Figura 3 - Dimensão do corpo de prova (mm), após a usinagem de preparação.	45
Figura 4 - Cabeçote utilizado no experimento.	46
Figura 5 - Suporte Mitsubishi.	47
Figura 6 - Inserto utilizado no experimento.	47
Figura 7 - Centro de usinagem vertical ROMI, modelo Discovery 308.	48
Figura 8 - Sistema Quimatic modelo IV acoplado na máquina Discovery 308.	49
Figura 9 - Rugosímetro portátil modelo SJ 410 montado para medição e medição obtida com o software.	50
Figura 10 - Microscópio da marca Dino-Lite Pro, modelo AM413ZT.	51
Figura 11 - Imagens geradas pelo microscópio portátil.	51
Figura 12 - Figura do corpo de prova com direção de usinagem e esquema das letras para medição.	53
Figura 13 - Gráfico do perfil medido experimento 1, para o pto 1a.	57
Figura 14 - Gráfico do perfil de avaliação experimento 1, para o pto 1a.	57
Figura 15 - Gráfico do perfil medido experimento 1, para o pto 1b.	57
Figura 16 - Gráfico do perfil de avaliação experimento 1, para o pto 1b.	57
Figura 17 - Gráfico do perfil medido experimento 1, para o pto 1c.	58
Figura 18 - Gráfico do perfil de avaliação experimento 1, para o pto 1c.	58
Figura 19 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido B90.	60
Figura 20 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de soja.	60
Figura 21 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de milho.	61
Figura 22 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de canola.	61
Figura 23 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de algodão.	62
Figura 24 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de girassol.	62
Figura 25 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de QuimaticJet.	63
Figura 26 - Valor das médias da rugosidade Ra e Rz.	64
Figura 27 - Dados para o teste Tukey.	64
Figura 28 - Resultados da rugosidade Ra para o teste Tukey.	65
Figura 29 - Resultados da rugosidade Rz para o teste Tukey.	66

Figura 30 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo B90.	67
Figura 31 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo de soja.....	68
Figura 32 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo milho.	68
Figura 33 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo de canola...	69
Figura 34 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo algodão.	69
Figura 35 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo de girassol.	70
Figura 36 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo QuimaticJet.	70
Figura 37 - Inseto utilizado nos experimentos - novo.....	71
Figura 38 - Inseto utilizado nos experimentos – após o uso.	71
Figura 39 - Inseto com medida do desgaste de flanco.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teste Tukey para os fluidos – Rugosidade Ra.	66
Tabela 2 - Teste Tukey para os fluidos – Rugosidade Rz.	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Correlação entre os principais tipos de fluidos de corte e suas principais propriedades e composições.	25
Quadro 2 - Correlação entre as propriedades dos fluidos de corte e a ação desejada.	26
Quadro 3 - Teor de ácidos graxos em óleos vegetais.	36
Quadro 4 - Propriedades dos óleos vegetais utilizados.	36
Quadro 5 - Alguns parâmetros de rugosidade.	40
Quadro 6 - Composição química dos corpos de prova.	44
Quadro 7 - Propriedades mecânicas do aço grau CA6NM.	44
Quadro 8 - Três melhores colocados pela análise das médias da rugosidade Ra.	74
Quadro 9 - Quinze melhores colocados pela análise das médias da rugosidade Ra.	75
Quadro 10 – Pontuação atribuída aos melhores colocados pela análise das médias da rugosidade Ra.	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ag	Prata
AISI	American Iron and Steel Institute
AlMg3	Liga Alumínio com Revestimento
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio
ANOVA	Análise de Variância de Pareto
APC	Aresta Postiça de Corte
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Carbono
CA6NM	Aço Inoxidável Martensítico
CNC	Comando Numérico Computadorizado
Cr	Crômio
Cu	Cromo
DIN	Deutsches Institut für Normung
EAL	Environmentally Adapted Lubricants
EP	Pressão Extrema
fn	Avanço
HB	Dureza Brinell
ISSO	International Organization for Standardization
JIS	Japanese Industrial Standards
lm	Percurso de Medição
Mo	Molibdênio
M2	Aço rápido Ligado ao Molibdênio
Nb	Nióbio
NFs	Nanofluidos
Ni	Níquel
P	Fósforo
PVD	Physical Vapor Deposition
R _a	Desvio aritmético médio do perfil de rugosidade [μm]
R _{ku}	Fator de achatamento do perfil de rugosidade

R _q	Desvio médio quadrático do perfil de rugosidade [μm]
R _{sk}	Fator de assimetria do perfil de rugosidade
R _t	Altura total do perfil de rugosidade [μm]
R _z	Altura máxima do perfil de rugosidade [μm]
S	Enxofre
Si	Silício
TC4	Liga de titânio
Ti	Titânio
TiAlN	Nitreto de Titânio Alumínio
TiCN	Carbonitreto de Titânio TiN Nitreto de Titânio
TiN	Nitreto de Titânio
Tukey	Teste de Tukey [Anova]
v _c	Velocidade de corte [m/min]
WC	Carboneto de tungstênio
3D	Três Dimensões

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos.....	14
1.3	Estrutura do Trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Processos de Usinagem.....	17
2.2	Processos de Usinagem por Fresamento.....	18
2.3	Acabamento da superfície usinada	18
2.4	Acabamento da superfície usinada dos Aços Inoxidáveis.....	20
2.5	Fluidos de Corte.....	22
2.5.1	Definições, Tipos e Propriedades dos Fluidos de Corte	24
2.5.2	Principais Funções dos Fluidos de Corte.....	26
2.5.3	Classificação dos Fluidos de Corte.....	27
2.5.4	Métodos de Aplicação dos Fluidos de Corte	27
2.5.5	Fluidos de Corte Biodegradáveis.....	28
2.5.6	Fluidos de Corte de Base Vegetal.....	29
2.5.7	Óleos Comestíveis Vegetais: obtenção e composição.....	33
2.5.8	Características dos Óleos Comestíveis Vegetais	35
2.6	Direções de Aplicação dos Fluidos de Corte	36
2.7	Técnica da Mínima Quantidade de Lubrificante	37
2.8	Rugosidade	39
2.8.1	Parâmetros para Quantificação da Rugosidade	40

2.9	Planejamento de Experimentos.....	41
2.10	Aço Inoxidável Martensítico.....	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1	Material e Ferramenta.....	43
3.1.1	Caracterização do Material.....	43
3.1.1.1	Corpos de prova.....	44
3.1.1.2	Metalografia dos corpos de prova.....	46
3.1.2	Caracterização da Ferramenta.....	46
3.2	Equipamentos.....	48
3.2.1	Caracterização da Máquina Ferramenta.....	48
3.2.2	Sistema de Aplicação do Fluido de Corte em MQL.....	49
3.2.3	Sistema de Medição de Rugosidade.....	49
3.2.4	Sistema de Aquisição de Imagens.....	50
3.3	Método.....	51
3.3.1	Procedimento Experimental.....	52
3.4	Planejamento e Análise Estatística.....	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1	Apresentação dos dados coletados.....	55
4.2	Análise desempenho dos fluidos de corte em relação ao acabamento superficial (rugosidade) através do cálculo estatístico.....	58
4.3	Superfícies de resposta.....	67
4.4	Análise no efeito dos experimentos no inserto utilizado.....	71
5	CONCLUSÕES	77
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	78
7	REFERÊNCIAS	79
8	APENDICE	84

1. INTRODUÇÃO

Os fluidos de corte são essenciais para a obtenção da qualidade exigida em peças produzidas, em muitos processos, são empregados na usinagem para potencializar a produtividade. Nestes processos são utilizados em grandes quantidades para aumentar a vida das ferramentas e melhorar a qualidade das peças, os fluidos geram uma série de melhorias funcionais e econômicas no processo de usinagem de metais. Para a obtenção destas melhorias de produtividade, diversas formas de aplicação e tipos de fluidos de corte são empregados.

Por maior que seja o avanço alcançado nos processos de usinagem e no campo dos materiais das ferramentas de corte, algumas operações ainda necessitam do uso do fluido de corte, seja visando refrigeração, lubrificação ou como veículo transportador de cavaco. Com a técnica da mínima quantidade de lubrificante (MQL) pode-se gerar a minimização dos rejeitos, que é uma tendência mundial, e foi o que motivou este trabalho a estudar a utilização de óleos vegetais nos processos de usinagem, em material como nos aços inoxidáveis, que atendem aos requisitos ecológicos, mas que precisam mostrar desempenho técnico satisfatório.

A partir da década de 60, os aços inoxidáveis martensíticos com baixo carbono (dentre eles o de especificação ASTM 743 CA6NM) foram desenvolvidos com o objetivo de melhorar a resistência a corrosão dos aços inoxidáveis martensíticos convencionais. Devido a sua boa soldabilidade, o aço ASTM 743 CA6NM tem boa aceitação na fabricação de componentes de turbinas hidroelétricas, tais como rotores e pás diretrizes. A indústria petroquímica realiza pesquisas no aço inoxidável martensítico grau CA6NM, com a finalidade de oferecer uma alternativa prática e econômica para substituir equipamentos em meio a ambientes corrosivos (GONÇALVES, 2014).

Então este trabalho verifica a viabilidade baseada no desempenho técnico destes fluidos, conforme sugestão apresentada por Araújo Jr., 2013 que analisou o desempenho de óleos vegetais comestíveis aplicados por MQL no fresamento frontal do aço ABNT 1045, por meio de um experimento planejado, pela influência das variáveis velocidade de corte e avanço no fresamento frontal do aço inoxidável martensítico ASTM 743 CANM, tendo como resposta dados para descrever e avaliar o impacto na rugosidade superficial no material.

1.1 Justificativa

Devido à nova realidade no cenário atual, em que muito se fala em sustentabilidade, e nesta direção, surgiu a ideia de testar óleos vegetais refinados comestíveis que atendem a requisitos ecológicos e sustentáveis, por serem ambientalmente corretos, mas que precisam mostrar desempenho técnico satisfatório para serem utilizados como fluidos de corte. Isso motivou a ideia de inserir fluidos considerados ambientalmente corretos nos processos de usinagem pela técnica de MQL, visto que os óleos minerais e sintéticos criam muitos efeitos negativos ao meio ambiente. Além dos efeitos nocivos à saúde humana, os óleos derivados de petróleo resultam em contaminação das águas superficiais e subterrâneas, poluição do ar e contaminação do solo. Os óleos de base vegetal são substitutos atrativos, pois são menos nocivos ao meio ambiente, renováveis e menos tóxicos.

1.2 Objetivos

Apresenta-se nesta seção, o objetivo geral e objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é verificar o desempenho de óleos refinados vegetais, utilizados como fluidos de corte aplicados pelo método Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) no acabamento da superfície usinada de inox, através de um processo de fresamento diante de um fluido sintético e de um fluido biolubrificante isento de óleos a jorro.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para o alcance do objetivo geral, é necessário que sejam atendidos os objetivos específicos a seguir:

- a) Analisar os efeitos dos parâmetros de corte, como velocidade de corte, avanço e vazão sobre o desempenho dos fluidos de corte;

- b) Avaliar experimentalmente a acabamento da superfície usinada, através da medição de rugosidade com a utilização dos óleos vegetais e dos fluidos de corte;
- c) Comparar os resultados experimentais de óleos vegetais em MQL com óleos comerciais de base sintética e óleos minerais biodegradáveis, inclusive com aplicação em jorro.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho segue a seguinte estrutura:

- Capítulo 1: Introdução

Contextualiza o tema abordado no trabalho, bem como a justificativa, o objetivo geral e os objetivos específicos para realizar o trabalho.

- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica

Refere-se aos conhecimentos teóricos necessários para o desenvolvimento e entendimento do trabalho.

- Capítulo 3: Materiais e Métodos

Descreve-se cada etapa do experimento detalhando os procedimentos adotados, apresentando os critérios utilizados no procedimento e os fatores a serem analisados no comportamento dos fluidos e também os recursos utilizados.

- Capítulo 4: Resultados e Discussões

Serão apresentados e discutidos os resultados obtidos no procedimento experimental para os fatores avaliados no trabalho.

- Capítulo 5: Conclusões

Apresenta as principais conclusões do trabalho frente aos objetivos propostos.

- Capítulo 6: Sugestões para Trabalhos Futuros

Serão descritas algumas sugestões de trabalhos futuros com relação ao tema que podem ser investigados futuramente, para dar continuidade a este trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento deste trabalho. São abordados assuntos resultantes das pesquisas efetuadas afim de agregar conhecimento teórico através de publicações relacionadas com o tema abordado.

2.1 Processos de Usinagem

De acordo com Machado et al (2015), a operação de usinagem é um processo de fabricação com remoção de cavaco. Ou como uma definição mais abrangente descreve: operação que ao conferir a peça forma, dimensões e acabamento, produz cavaco. E por cavaco entende-se: porção de material da peça retirada pela ferramenta e caracterizada por apresentar forma geométrica irregular.

A usinagem é reconhecidamente o processo de fabricação mais popular no mundo, transformando cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais e empregando dezenas de milhões de pessoas (TRENT, 1985).

A usinagem tem ainda a peculiaridade de ser um processo essencialmente prático e que envolve um elevado número de variáveis. Shaw (1984) afirma que é praticamente impossível prever o desempenho no corte dos metais.

De acordo com Black (1995), a imprevisibilidade da usinagem se deve ao fato de esse ser o único processo de deformação plástica cuja única restrição é oferecida pela ferramenta de corte. Além disso, a usinagem envolve altas deformações combinadas com altas taxas de deformação. A variabilidade de opções para os parâmetros de entrada do processo resulta em infinitas combinações e ha três maneiras de lidar com tal complexidade: por meio de experiência adquirida por sucessivas tentativas e erros ao longo dos anos, além de comparações com situações análogas; por meio da experimentação, que é onerosa, demorada e restrita a uma determinada situação, não podendo ser generalizada; e por intermédio de modelos teóricos, que vão desde modelos matemáticos simplistas até sofisticados modelos numéricos.

De acordo com Groover (2002), citado por Guenza (2008), a usinagem possui um papel fundamental nos processos de fabricação dos mais variados ramos da indústria mecânica.

2.2 Processos de Usinagem por Fresamento

Machado et al (2015) afirma que a operação de usinagem por fresamento é reconhecida pela versatilidade na produção de geometrias diversas, além de garantir elevadas taxas de remoção de material, visto que a ferramenta (fresa) possui múltiplas arestas de corte. Nesse grupo de operações, a ferramenta gira enquanto a peça, presa a mesa, é responsável pelos movimentos de avanço longitudinal e transversal. Em situações especiais, a peça pode ficar estática enquanto a ferramenta realiza todos os movimentos. A vida útil da ferramenta e seus critérios de desempenho tem um papel altamente significativo no controle das medidas de sustentabilidade, como custo do processo, consumo de energia e na qualidade.

Iqbal et al. (2016) apresentaram uma investigação experimental para estudar os efeitos de se estabelecer diferentes níveis de desgaste de flanco como critério de vida da ferramenta nas medidas de sustentabilidade do processo de fresamento. Os autores usaram como medida de sustentabilidade do processo o consumo de energia específico, o custo do processo (incluindo custo de ferramental), a aspereza da superfície de trabalho e a taxa de remoção de material. Para isso foram realizados 48 experimentos em duas formas temperadas de um aço para ferramentas de trabalho a frio, com a finalidade de quantificar os efeitos dos parâmetros de corte, critério de vida útil da ferramenta, estado de endurecimento do material e modo de lubrificação. Eles verificaram que o critério de vida da ferramenta possui uma influência muito forte em todas as métricas de sustentabilidade. O critério que permite que uma ferramenta funcione por mais tempo é favorável para a vida útil da ferramenta e para o custo do processo, enquanto a que solicição da substituição precoce de ferramentas se adapta às métricas da qualidade da superfície de trabalho e ao consumo de energia específico.

2.3 Acabamento da superfície usinada

É o termo mais frequentemente usado para denotar o desempenho de usinagem de um material, e pode ser definido pela capacidade de um material ser cortado ou usinado por uma

ferramenta apropriada. A avaliação quantitativa deste parâmetro, no entanto, é um problema de dificuldade considerável, por causa da variedade de conotações associadas com o termo. Não é possível descrever acabamento da superfície usinada em função de unidades fundamentais, e como resultado, a expressão mais prática usada para avaliar o acabamento da superfície usinada de um material é relativa, isto quer dizer, comparativa. Diversos métodos tem sido usados para avaliar o acabamento da superfície usinada de vários materiais. Muitos desses métodos são baseados em resultados de testes de vida de ferramenta, velocidade de corte, ou em condições de forças da ferramenta ou quantidades relacionadas a tais testes (PIMENTEL et al, 2004; MACHADO et al, 2015 e TRENT, 1985).

Conforme Gonzales e Cupini (1992), entende-se como propriedades de usinagem de um metal, aquelas que expressam o seu efeito sobre grandezas mensuráveis inerentes ao processo de usinagem. Para avaliação do acabamento da superfície usinada, são geralmente usados quatro critérios, sendo utilizados isoladamente ou em conjunto:

- a) Vida da ferramenta;
- b) Força de usinagem;
- c) Qualidade superficial da peça;
- d) Formação de cavacos (forma e tamanho dos cavacos).

Os fatores que influenciam na determinação do acabamento da superfície usinada são:

- a) O material da peça: composição química, microestrutura, dureza, propriedades mecânicas, rigidez da peça;
- b) Processos mecânicos e condições de usinagem: material e geometria da ferramenta, condições de trabalho, fluido de corte, rigidez da máquina e do sistema de fixação, tipo de operação a ser realizada.

Fratila e Caizar (2010) descreveram a metodologia de otimização Taguchi, para otimizar os parâmetros de corte ao fresar AlMg3 com ferramenta de aço rápido sob condições de semi-acabamento para obter a melhor rugosidade da superfície e o consumo mínimo de energia. Utilizaram a forma em pó comercialmente disponível de alumina e solução coloidal de nanopartículas de prata que foram misturadas com água para preparar os nanofluidos em diferentes concentrações. Além da lubrificação por inundação convencional, as investigações incluem a lubrificação por quantidade mínima e a usinagem a seco. Os parâmetros avaliados foram a velocidade de corte, a profundidade de corte, o avanço e as técnicas de lubrificação por resfriamento. O arranjo ortogonal apropriado, relação sinal/ruído e análise de variância de

Pareto (ANOVA) foram empregados para analisar o efeito dos parâmetros mencionados no acabamento superficial (rugosidade da superfície).

Com o objetivo de estudar os vários níveis de fluido de corte e parâmetros de corte na rugosidade e desgaste da ferramenta em torneamento, Debnath et al. (2015) empregaram o arranjo ortogonal de Taguchi para minimizar o número de experimentos, que foram realizados em barra de aço brando utilizando uma pastilha de metal duro com cobertura TiCN+Al₂O₃+TiN. O efeito do avanço foi considerado o fator dominante para a rugosidade superficial da peça. A vazão do fluido de corte também apresentou uma contribuição significativa. No entanto, a velocidade de corte e a profundidade de corte mostraram pouca contribuição para a rugosidade superficial. Por outro lado, a velocidade de corte e a profundidade de corte foram os fatores dominantes que influenciaram o desgaste da ferramenta. No entanto, a aplicação de fluido de corte mostrou uma contribuição considerável, enquanto o avanço deu a menor contribuição para o desgaste da ferramenta. As condições ótimas de corte para a rugosidade superficial desejada e o desgaste da ferramenta foram em um alto nível de velocidade de corte, nível médio de profundidade de corte, baixo nível de avanço e fluxo de fluido de corte de baixa velocidade a partir dos níveis selecionados.

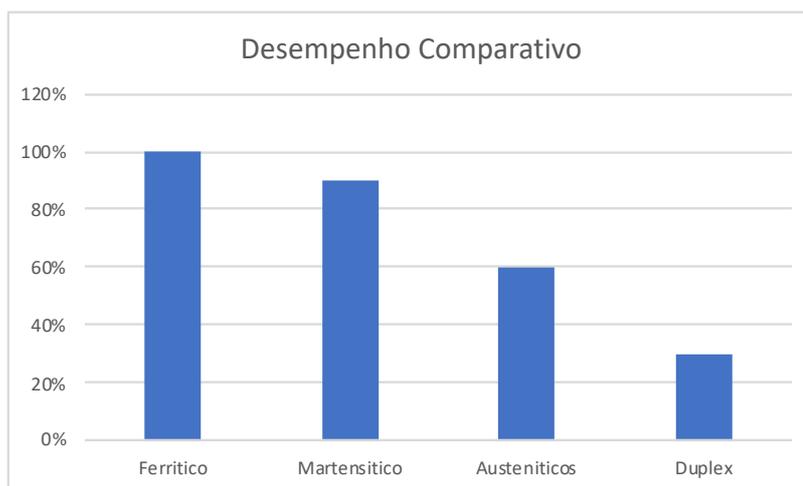
2.4 Acabamento da superfície usinada dos Aços Inoxidáveis

Em diversas aplicações, os materiais fornecidos por processos de produção convencionais possuem características inadequadas que podem influenciar negativamente o seu desempenho e até mesmo compromete-lo, isto pode ocasionar empenamentos, tensões internas e estruturas indesejadas que afetam as propriedades do material (INTERLOY, 2009).

Conforme Machado et al (2015), os aços inoxidáveis representam também uma significativa parcela dos materiais submetidos a operações de usinagem. Nesse caso, o Cr é o principal elemento de liga com conteúdo superior a 12% e, se associado a uma alta porcentagem de carbono, o desempenho de sua usinagem pode ser bastante comprometido. Dependendo também da microestrutura, os aços inoxidáveis podem ser ferríticos, martensíticos ou austeníticos. Os ferríticos contém principalmente Cr como elemento de liga e sua estrutura e propriedades lembram as do ferro puro. Os martensíticos contém Ni em quantidade suficiente para formar estrutura similar a da austenita e permitem endurecimento

por tratamentos térmicos similares aos empregados no aço. Outros elementos, como Mo, Cu, Ti e Nb, também tem efeito similar, além de melhorar a resistência dos aços inoxidáveis ao ataque de ácidos. A Figura 1 mostra uma comparação de desempenho em usinagem entre diversos tipos de aços inoxidáveis.

Figura 1 - Comparativo do desempenho em usinagem de diversos tipos de aços inoxidáveis.



Fonte: Adaptado de Machado et al (2015).

Aços inoxidáveis ferríticos podem conter aditivos para melhorar o acabamento da superfície usinada, como o enxofre, mas em geral, as operações não tem o mesmo desempenho de operações similares em aço-carbono com os mesmos aditivos. Aços inoxidáveis martensíticos são usinados no estado recozido, pois seu conteúdo de carbono permite a presença de carbonetos de cromo na matriz, aumentando, assim, o desgaste das ferramentas (MACHADO et al, 2015).

De acordo com Machado et al (2015), para usinagem de aços inoxidáveis:

- a) Deve-se preferir o trabalho em duas faixas distintas de velocidade de corte para aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos: entre 40 m/min e 90 m/min, e entre 180 m/min e 400m/min. Valores intermediários podem produzir aresta postiça de corte (APC). Geralmente, quanto maior a porcentagem de elementos de liga, maiores serão as dificuldades de usinagem e, conseqüentemente, os custos de usinagem;
- b) As principais características encontradas na usinagem de aços inoxidáveis são alta tendência para endurecimento por deformação, altas forças de corte (comparadas a

- aço-carbono com equivalente porcentagem de carbono), necessidade de ferramenta com quebra-cavacos e formação de APC;
- c) Selecionam-se ferramentas com menores valor de raio de ponta, arestas afiadas, classes com maior dureza e cobertura de PVD, as quais, em geral, com revestimento, para melhorar o desempenho;
 - d) É preferível usar altos valores de avanço e de profundidade de usinagem, combinados com baixa velocidade, para operações de desbaste;
 - e) Em fresamento, o corte concordante deve ser, preferencialmente, usado, bem como um baixo ângulo de entrada da ferramenta da peça.

2.5 Fluidos de Corte

A seleção adequada de um fluido de corte deve recair sobre aquele que possuir composição química e propriedades corretas para lidar com as adversidades de um processo de corte específico. Ele deve ser aplicado usando-se um método que permita chegar o mais próximo possível da aresta de corte dentro da interface ferramenta/cavaco, afim de assegurar que suas funções sejam exercidas adequadamente (MACHADO et al, 2015).

Já em 1894, Frederick Winslow Taylor observou que aplicando grande quantidade de água na região do corte, era possível aumentar a velocidade de corte em 33%, sem prejuízo para a vida da ferramenta (RUFINO, 1977).

Os fluidos de corte são composições complexas contendo agentes químicos que variam de acordo com o tipo de operação a ser executada e os metais a serem trabalhados, podendo ser perigosos para a saúde do trabalhador e ao meio ambiente (SILVA et al, 2005).

Alta demanda estimula a competitividade, o que por sua vez provoca uma melhoria na qualidade dos produtos disponíveis no mercado. Outro fator que também contribui é o aumento na qualidade dos fluidos de corte e a pressão exercida por Agências de Proteção Ambiental e de Saúde para que os produtos sejam comercializados com segurança e sejam menos nocivos ao meio ambiente (NELSON & SCHAIBLE, 1988).

De acordo com Motta e Machado (1995), cada tipo de fluido de corte apresenta características particulares, assim como, vantagens e limitações. Entretanto, as características que distinguem as diferentes classes nem sempre são facilmente percebidas, o que dificulta a classificação.

Em qualquer operação de corte de metal, o fluido de corte desempenha um papel vital ao resfriar a superfície da peça de trabalho e a ferramenta de corte, removendo os cavacos da zona de corte e lubrificando a interface entre peça e ferramenta. No entanto, o uso indevido do fluido de corte e métodos errados de sua eliminação podem afetar a saúde humana e o meio ambiente. Além disso, é responsável por 16 a 20% do custo total de fabricação na indústria de produção. Entre as várias técnicas disponíveis sobre a aplicação do fluido de corte, os pesquisadores, ultimamente, têm focado na Mínima Quantidade de Lubrificação, pois minimiza o uso de líquido pulverizando a mistura de ar comprimido e óleo. Uma maneira otimizada em vez de lubri-refrigeração por inundação. A técnica MQL provou ser adequada no sentido de estar em conformidade com os requisitos da usinagem "verde" (SHARMA, et al, 2015).

Sharma et al. (2015) apresentam uma revisão dos importantes trabalhos de pesquisa publicados sobre a aplicação de óleos minerais, óleos vegetais e nanofluidos para diferentes processos de usinagem, tais como furação, torneamento, fresamento e retificação. Explicam o mecanismo da técnica MQL. De maneira sistemática, também discutem seu efeito nos parâmetros de desempenho de diferentes processos de usinagem. A maioria dos estudos experimentais mostrou que a aplicação do MQL produz uma superfície melhor do que a usinagem a seco e similar aquela produzida na usinagem não a seco. Sua aplicação também reduz as forças de corte, a temperatura da zona de corte, o desgaste da ferramenta, o coeficiente de atrito em comparação com a usinagem a seco e com fluido. Portanto, a técnica MQL provou ser uma alternativa viável à lubrificação aplicada por inundação sob parâmetros de desempenho semelhantes.

Araújo Júnior et al (2017) realizaram estudos na busca por fluidos de corte que não sejam tóxicos para o homem ou prejudiciais ao meio ambiente, com vistas à fabricação sustentável. A viabilidade técnica do uso de óleos vegetais naturais biodegradáveis como fluidos de corte no fresamento de aço AISI 1045 foi avaliada aplicando a técnica MQL. Os óleos vegetais comestíveis estudados pelos autores foram caroço de algodão, babaçu, canola, girassol, milho e soja. Para fins de comparação, o fluido comercial à base de vegetais LB 2000 foi considerado, também em MQL, além do corte a seco como referência. Os fluidos foram primeiramente submetidos a testes específicos para quantificar sua capacidade de lubri-refrigeração, bem como suas propriedades físicas e químicas. Com base nos resultados, foi constatado que os dois óleos comestíveis com os melhores resultados para a capacidade de

lubrificação foram algodão e canola e estes foram aplicados em testes para estudar a vida útil da ferramenta durante a fresamento, utilizando ferramentas de metal duro revestidas. Os óleos de semente de algodão e canola apresentaram resultados promissores, principalmente considerando que são não tóxicos para o homem e não poluentes no meio ambiente. Aderência ou atrito foi o mecanismo de desgaste dominante encontrado, independentemente do óleo testado.

Em seu estudo, Gharaibeh (2016), avaliou o efeito da utilização de diferentes fluidos de corte na rugosidade superficial da liga de alumínio T6-6061. O experimento envolveu o uso de parâmetros constantes de corte. Os autores utilizaram três fluidos de corte locais: óleo mineral usado, querosene e óleo natural (óleo de girassol refinado) misturados com água em diferentes proporções (5%, 10%, 15%, 20% e 25%) foram usados para estudar seu efeito sobre a rugosidade da superfície comparada a um lubrificante comum aplicado no processo de usinagem convencional. Os resultados revelaram que o óleo mineral usado apresentou o menor (melhor) coeficiente de rugosidade na proporção de 5% de água, seguido pelo óleo lubrificante. O querosene e o óleo natural apresentaram os maiores coeficientes de rugosidade.

2.5.1 Definições, Tipos e Propriedades dos Fluidos de Corte

Atualmente há uma grande variedade de tipos e fabricantes de fluidos de corte disponíveis e também de alternativas de métodos de aplicação, o que requer uma seleção adequada e racional, que nem sempre é uma tarefa fácil. A seleção e o correto uso do fluido de corte influem diretamente sobre a qualidade de acabamento das peças, a produtividade, o custo operacional, a saúde do trabalhador e o meio ambiente (RUNGE e DUARTE, 1990).

Segundo Silliman (1992), é usual encontrar diferentes nomes para um mesmo tipo de fluido de corte, o que, apesar de não ser incorreto, causa expressiva confusão e, portanto, requerem uma nomenclatura para facilitar a compreensão das diferentes características de cada tipo.

Fluido de corte, é qualquer fluido utilizado para o corte ou usinagem de metais ou outros materiais (RUNGE e DUARTE, 1990).

Óleo de corte, é um fluido de corte cuja origem pode ser mineral (petróleo), animal ou vegetal, puro ou em combinações Silliman (1992), usado conforme fornecido, isto é, não é

misturado água, sendo também chamado de puro ou integral (RUNGE e DUARTE, 1990; BARADIE, 1996).

Óleo emulsificável, é o fluido de corte a base de óleo mineral misturado com agentes emulsificadores (SILLIMAN, 1992), utilizado misturado a água em forma de emulsão, seja qual for o teor de óleo empregado (RUNGE e DUARTE, 1990). É comumente chamado de óleo solúvel em água ou fluido de corte emulsificável (BARADIE, 1996 e SILLIMAN, 1992).

Fluido sintético, também chamado de fluido químico, é o fluido de corte que consiste de solução química composta de materiais inorgânicos e ou outros materiais dissolvidos na água e que não contém óleo mineral (BARADIE, 1996).

Fluido semissintético, também chamado de fluido semi-químico, é o fluido de corte que contém pequena quantidade de óleo mineral e é misturado em solução aquosa, na qual forma emulsão fina, parecida com as soluções (RUNGE e DUARTE, 1990). Essencialmente é uma combinação do fluido sintético com uma quantidade muito pequena de óleo emulsificável que contém alto teor de emulsificante (BARADIE, 1996 e SILLIMAN, 1992).

O Quadro 1, apresenta os principais fluidos de corte disponíveis no mercado.

Quadro 1 - Correlação entre os principais tipos de fluidos de corte e suas principais propriedades e composições.

Fluidos de Corte					
Classificação	Integrais	Solúveis em Água			Gases
		Emulsões	Semissintéticos	Sintéticos	
Principais Composições	Óleo mineral	Água	Água	Água	Ar
	Óleos graxos	Óleo mineral	Óleo mineral	Sais orgânicos	Argônio
	Cloro	Emulsificadores	Elementos orgânicos e inorgânicos	Cloro	Hélio
	Enxofre	Cloro	Cloro	Enxofre	Nitrogênio
	Fosforo	Enxofre	Enxofre	Biocidas	Gás carbônico
		Glicol	Biocidas	Agentes umectantes	
	Biocidas				
Principais Propriedades	Lubrificação	Refrigeração	Refrigeração	Refrigeração	Antioxidação
	Extrema-pressão	Extrema-pressão	Extrema-pressão	Extrema-pressão	Usinagem a seco
	Anticorrosão	Antioxidação	Antioxidação	Antioxidação	
		Anticorrosão	Anticorrosão	Anticorrosão	
		Lubrificação	Lubrificação		
	Lavagem				

Fonte: Adaptado de Runge e Duarte (1990), Baradie (1996).

A seguir, o Quadro 2, especifica as propriedades dos fluidos de corte disponíveis no mercado.

Quadro 2 - Correlação entre as propriedades dos fluidos de corte e a ação desejada.

PROPRIEDADES DOS FLUIDOS DE CORTE	AÇÃO ESPERADA
Anticorrosiva	Proteger a peça, a ferramenta e os componentes da máquina contra corrosão.
Antioxidantes	Evitar a oxidação prematura do fluido devido a ação das elevadas temperaturas.
Antidesgaste	Reforçar as propriedades lubrificantes do óleo mineral.
Antiespumante	Evitar a formação de espuma, impedindo a formação de bolha de ar na área de corte.
Extrema-pressão	Resistir as elevadas pressões de corte.
Umectação	Molhar a superfície de corte, melhorando a refrigeração.
Ausência de odores	Evitar odores fortes ou desagradáveis no meio ambiente.
Ausência de precipitados	Garantir a livre circulação do fluido pelo sistema.
Viscosidade, calor específico, condutividade térmica, vapor latente de vaporização	Remover o calor gerado durante a operação de corte, prolongar a vida útil das ferramentas.
Lavabilidade	Remover cavacos e poeiras produzidos durante a operação de corte.
Compatibilidade com o meio	Compatibilidade com a saúde humana, com o material que esta sendo usinado e com o meio ambiente.

Fonte: Adaptado de Runge e Duarte (1990).

2.5.2 Principais Funções dos Fluidos de Corte

De acordo com Sokovic e Mijanovic (2001), os fluidos de corte foram introduzidos nos processos de corte com o propósito de melhorar as características dos processos tribológicos, os quais estão sempre presentes nas superfícies de contato entre a ferramenta e a peça em usinagem.

Segundo Pawlak et al (2004), os fluidos tem duas importantes funções relacionadas aos severos fenômenos tribológicos que ocorrem onde há processos físicos envolvidos, que são promover a lubrificação entre a peça trabalhada e a ferramenta e também remover o calor gerado durante os processos de corte.

Conforme Machado et al (2015) e também Runge e Duarte (1990), as principais funções dos fluidos de corte são:

- Lubrificação a baixas velocidades de corte;
- Refrigeração a altas velocidades de corte;
- Remoção dos cavacos da zona de corte;
- Proteção da máquina-ferramenta e da peça contra a oxidação;
- Melhorar o acabamento das peças;
- Reduzir o desgaste das ferramentas;
- Prevenção contra soldagem cavaco-ferramenta (APC);
- Redução da dilatação térmica da peça;
- Evitar danos a estrutura superficial e crescimento exagerado de tensões residuais na superfície usinada.

2.5.3 Classificação dos Fluidos de Corte

Existem diversas formas de classificar os fluidos de corte, entretanto, não há uma padronização. Embora a utilização de fluidos de corte gasosos e sólidos seja eventualmente descrita na literatura técnica, os fluidos de corte líquidos representam a grande maioria nas aplicações em operações de usinagem. Sendo os fluidos líquidos os mais comuns, eles são agrupados nas seguintes categorias, de acordo com a sua classificação: óleos, emulsões e soluções (MACHADO et al, 2015).

2.5.4 Métodos de Aplicação dos Fluidos de Corte

De acordo com Machado et al (2015), existem basicamente três métodos de aplicação do fluido:

- a) Jorro a baixa pressão;
- b) Sistema a alta pressão (até 163 bar);
- c) Atomização (pulverização, de 1 a 5 bar).

O primeiro sistema é o mais utilizado pela sua simplicidade. O segundo método exige equipamento mais complexo (bomba de múltiplos estágios, reservatório com elevada

capacidade e encapsulamento da máquina-ferramenta). O terceiro método oferece vantagens sobre o primeiro por causa do maior poder de penetração e velocidade do fluido.

2.5.5 Fluidos de Corte Biodegradáveis

Oliveira e Alves (2006), concluíram que a utilização de fluidos de corte no processo de usinagem faz da indústria metal-mecânica um potencial agressor do meio ambiente.

Entre as alternativas pesquisadas estão os óleos vegetais, substitutos atrativos pela baixa toxicidade, boa biodegradabilidade e sustentabilidade ambiental (SHASHIDHARA e JAYARAM, 2009).

Entre estes produtos que podem ser testados em formulações de fluidos de corte estão o éster metílico epoxidado e o biodiesel, que podem ser obtidos de diferentes óleos vegetais, os quais são de fonte renovável e contribuem para a captura de carbono da atmosfera. Óleos vegetais possuem excelente lubrificidade, biodegradabilidade, baixa volatilidade e boas características de viscosidade e temperatura (EHRAN, 2006) e, submetidos a modificações químicas em sua estrutura, passam a ser uma alternativa mais atrativa para o seu uso (ERHAN, 2006; CAMPANELLA, 2010).

Theodori et al (2004), apresentam o conceito de lubrificantes adaptados ao meio ambiente (EAL- *environmentally adapted lubricants*) como sendo de alta biodegradabilidade e baixa toxicidade, mantendo desempenho semelhante as alternativas convencionais. Petterson (2007) inclui, ainda, um baixo custo do ciclo de vida do óleo. Clarens et al (2008), afirmam que este conceito é, essencialmente, sinônimo da utilização de óleos vegetais em formulações de lubrificantes.

Segundo Eisentraeger et al (2002), a biodegradabilidade é um dos mais importantes aspectos no que diz respeito ao descarte das substâncias no meio ambiente, sendo que, os fluidos de corte a base de ésteres sintéticos ou naturais são facilmente biodegradáveis em contraste com os óleos minerais.

Chetan et al. (2016), realizaram estudos para comparar a utilização de nanofluidos em diferentes concentrações com emulsão biodegradável e usinagem a seco. No trabalho, a forma em pó comercialmente disponível de alumina (Al_2O_3) e solução coloidal de nanopartículas de prata (Ag) foram misturadas com água para preparar os nanofluidos (NFs) de diferentes concentrações. Os NFs preparados foram utilizados sob o modo MQL durante o torneamento

de ligas à base de níquel. Os resultados obtidos com NFs foram comparados com a emulsão biodegradável e o corte a seco. O pequeno ângulo de contato, a maior capacidade de espalhamento e o tamanho minúsculo de gotas de NF de alumina proporcionaram forças de corte reduzidas, desgaste da ferramenta e ondulação do cavaco durante o processo. O fenômeno de formação de tribo-filme também foi observado com NFs de alumina que protegeram a face de inclinação. Além disso, o efeito de rolamento de nano-bola de NFs de prata resultou em bom acabamento de superfície e reduziu o desgaste por abrasão.

2.5.6 Fluidos de Corte de Base Vegetal

Na última década, a indústria vem tentando formular lubrificantes biodegradáveis com características superiores dos usuais baseados em óleo mineral. Dessa forma, além da catalise natural, os óleos vegetais são promissores candidatos como fluido de base em lubrificantes a fim de atingir a sustentabilidade ambiental (ASADAUSKAS e EHRAN, 2000).

Alternativas pesquisadas incluem lubrificantes sintéticos, sólidos e de origem vegetal. Devido ao potencial de óleo vegetal, há a possibilidade de serem produzidos novos produtos que mantenham propriedades semelhantes as dos produtos totalmente sintéticos e derivados de matrizes de origem fóssil. Entre estes produtos estão o éster metílico epoxidado e o biodiesel, que podem ser obtidos de diferentes óleos vegetais, os quais são de fonte renovável e contribuem para a captura de carbono da atmosfera, passam a ser uma alternativa mais viável de uso (CAMPANELLA, 2010).

Os derivados dos óleos vegetais, funcionalizados ou não, podem ser utilizados em misturas que compõem fluidos utilizados em atividades de usinagem. Os fluidos de corte foram empregados para melhorar o desempenho dos processos de usinagem e ganharam tal importância, sendo essenciais para a obtenção da qualidade exigida nas peças produzidas. Os fluidos introduzem uma série de melhorias funcionais e econômicas no processo de usinagem de metais, principalmente, redução do coeficiente de atrito, refrigeração e impedimento da corrosão da peça usinada (ZEILMANN, 2011).

Os óleos integrais vegetais possuem várias vantagens que se pode destacar (KORUDA, 2006):

- a) São mais compatíveis com a pele humana do que os óleos minerais, e também tem uma tendência reduzida à formação de vapor, névoa e fumaça, além de ter um ponto de fulgor maior, reduzindo o risco de incêndio nas máquinas;
- b) Tem moléculas polares que funcionam como se fossem irmãs e se alinham a superfície do metal, formando um filme lubrificante capaz de suportar grandes tensões superficiais, facilitando a usinagem e melhorando a vida das ferramentas. As moléculas dos óleos minerais não são polares, e por esse motivo a sua capacidade lubrificante é inferior à dos óleos vegetais. Isso também é uma vantagem quando se deseja maior produtividade;
- c) Assim como os óleos minerais, os óleos vegetais não podem ser queimados, apesar de poluir menos o ambiente. Porém, a principal vantagem ecológica dos óleos vegetais, ao contrário dos óleos de base mineral, é que sua matéria prima é degradável, poluindo muito menos o meio ambiente. Eles podem também ser reutilizáveis, como os de base mineral.

Segundo Sheng e Oberwalleney (1997), embora sejam mais caros do que os óleos à base de petróleo, os óleos vegetais são mais adequados para o atendimento dos requisitos ambientais devido a sua biodegradabilidade. Entretanto, esta mesma característica confere aos óleos vegetais maiores propensão a degradação microbiológica do que os óleos derivados de petróleo.

As aplicações dos óleos vegetais são as mais variadas. A economia e a ecologia não precisam andar necessariamente na contramão, podendo-se gerar um círculo virtuoso. Observa-se que a utilização óleos vegetais de última geração é extremamente vantajosa para a saúde dos operadores e para o meio ambiente. A única desvantagem na utilização de óleos vegetais integrais em substituição aos óleos minerais integrais é o preço inicial de aquisição, fator este largamente compensado ao verificarmos os ganhos obtidos na vida das ferramentas e na redução de consumo do produto. O óleo deve ser encarado como uma ferramenta líquida, que justifica o investimento inicial (KORUDA, 2006).

Com o objetivo de investigar o desempenho de fluidos de corte à base de vegetais, comparando a vida útil da ferramenta, a rugosidade superficial e a força de corte durante o fresamento de topo do aço inoxidável AISI 304, Kuram et al. (2013) fizeram experimentos com três diferentes fluidos de corte à base de vegetais, a partir de óleos de girassol e canola (SCF-II com 8% de pressão extrema (EP), CCF-II sem EP e CCF-II com 8% EP) e um tipo

comercial de fluido de corte semissintético. O fluido de corte foi aplicado na zona de corte através de dois bicos. Os efeitos de diferentes velocidades de corte (100, 150 e 200 m/min) e diferentes avanços (0,2, 0,25 e 0,3 mm/rot) na vida útil, rugosidade e força de corte foram investigados. Os resultados indicaram que o CCF-II com 8% de fluido de corte EP apresentou melhor desempenho que os demais.

Kuram et al. (2012) em estudo para avaliação de fluidos de corte à base de vegetais para fresamento de topo, investigaram, os efeitos dos tipos de fluido de corte em função da velocidade de corte, profundidade de corte e avanço, nas respostas do processo, energia específica, vida útil da ferramenta e rugosidade da superfície. O método D-ótimo é conduzido para desenvolver modelos matemáticos para respostas de processos. A análise de variância mostra que a energia específica, a rugosidade da superfície e a vida útil da ferramenta podem ser previstas efetivamente com modelos quadráticos. A partir dos resultados da otimização, várias conclusões são tiradas sobre os efeitos dos parâmetros de fresamento e os tipos de fluido de corte nos critérios de desempenho de fresamento. O fluido de corte mais apropriado durante o fresamento do AISI 304 é selecionado de acordo com a energia, a vida útil da ferramenta e a rugosidade da superfície.

Lawal et al. (2012) estudaram as técnicas de lubrificação durante os processos de usinagem. Fatores como material da peça de trabalho, material da ferramenta e condições de usinagem foram observados como sendo vitais para o desempenho de qualquer uma das técnicas. O desempenho e a desvantagem de cada técnica foram destacados com base nas condições de usinagem. Os autores explicam que o método de MQL usando lubrificante à base de óleo vegetal em diferentes processos de usinagem é uma forma de abordar os problemas de saúde ambiental e os custos associados à aplicação de lubrificante nos processos de usinagem.

Gajrani et al. (2018), estudaram a estabilidade da emulsão e propriedades anti-corrosão do fluido de corte vegetal. Os parâmetros do processo de usinagem, como a composição da emulsão de fluido de corte, a distância de suporte do bico e o ângulo de pulverização do bico, foram otimizados experimentalmente para extrair uma melhor saída. Experimentos de usinagem foram realizados com o fluido de corte vegetal desenvolvido usando técnicas de resfriamento por inundação e MQL durante o torneamento de aço AISI H-13 endurecido. Para comparação, experimentos de usinagem a seco também foram realizados. A força de corte, a força de avanço, e a rugosidade média foram medidas, e o coeficiente de atrito foi calculado.

Após a usinagem, estudou-se a morfologia e as características de desgaste da face da ferramenta de corte, utilizando-se microscópio eletrônico de varredura de emissão de campo, microscópio óptico e perfilometro de superfície 3D sem contato. O resultado mostra que a força de corte, a força de avanço, o coeficiente de atrito e a aspereza de superfície da peça foram reduzidos usando parâmetros de processo da mínima quantidade otimizados. Além disso, o desempenho de usinagem foi melhorado com a técnica mínima quantidade usando o fluido vegetal em comparação com o resfriamento por inundação e a usinagem a seco.

Padmini et al. (2015) em seu trabalho enfocam o desempenho de nanofluidos à base de óleo vegetal no desempenho da usinagem durante a rotação do aço AISI 1040 através de MQL. Diferentes amostras de nanofluidos foram formuladas usando dispersões de bissulfeto de nanomolibdênio em óleo de coco, gergelim e canola em diferentes inclusões de nanopartículas e examinadas quanto às propriedades básicas. Observou-se que as propriedades básicas aumentaram com o aumento do nanopartículas, exceto a absorvância. Verificou-se que 0,5% óleo de coco mais nanomolibdênio apresenta melhor desempenho de usinagem em comparação com todas as condições de lubrificação. As forças de corte, temperaturas, desgaste da ferramenta e aspereza da superfície são reduzidas aproximadamente em 37%, 21%, 44% e 39%, respectivamente, usando óleo de coco mais nanomolibdênio a 0,5% nanopartículas em comparação com a usinagem a seco.

Shashidhara e Jayaram (2009) fizeram uma revisão bibliográfica para entender a aplicação de óleos vegetais como potenciais fluidos de trabalho de metal. O estudo destacou as contribuições de mais de sessenta autores sobre óleos vegetais como emergentes fluidos de corte ecológicos. O desempenho destes óleos como emulsões e óleos para vários materiais e condições de usinagem são relatados. O estudo concentra-se na evolução dos óleos vegetais como fluidos nos setores de corte e conformação de metais. Observa-se que a maior parte das contribuições é direcionada para o desenvolvimento e a comercialização de fluidos de corte à base de óleos vegetais. No entanto, concluem que soja, girassol e colza parecem possuir as propriedades relevantes como um potencial fluido de corte.

Li et al. (2018), com a finalidade de verificar a utilização da técnica MQL, utilizaram fluido de corte à base de óleo vegetal na usinagem da liga de titânio TC4, enquanto que, nanopartículas de grafeno foram dispersas no fluido de corte à base de óleo vegetal para melhorar o desempenho de refrigeração e lubrificação. Para avaliar os desempenhos, uma série de experimentos de fresamento foram conduzidos sob as quatro condições de

refrigeração/lubrificação (seco, gás, MQL puro e grafeno MQL). As características de fresamento do TC4 em termos de força de usinagem, temperatura de corte, desgaste da ferramenta e integridade da superfície foram comparadas. Os resultados mostraram que o aditivo de grafeno foi eficaz para melhorar as características da usinagem. No geral, os resultados poderiam ser explicados que o aditivo de grafeno poderia melhorar o desempenho de refrigeração e lubrificação do filme de óleo formado na zona de corte.

Souza et al. (2014), cita que a busca por produtos mais sustentáveis tem motivado o setor metal mecânico a substituir seus lubrificantes de base mineral por produtos renováveis. Seu estudo teve como objetivo buscar maiores informações sobre o potencial uso do óleo de moringa para processos de usinagem. Para avaliar o perfil de ácidos graxos das amostras dos óleos de amendoim, moringa e pinhão-manso utilizou-se ensaio de cromatografia gasosa. Objetivando analisar o poder de lubrificação em ensaio aplicado de fresamento, utilizou-se MQL. Este ensaio possibilitou a avaliação da força necessária para fazer o corte, o consumo de energia gasto durante o processo e o acabamento superficial da peça. Com a identificação do perfil de ácidos graxos dos óleos em estudo foi possível notar que eles apresentam em sua composição grande concentração de ácidos graxos insaturados o que favorece a formação de um biofilme mais estável e capaz de proteger o sistema peça- ferramenta do desgaste, diminuindo o atrito. Conclui-se com o estudo que os óleos avaliados apresentam boas capacidades lubrificantes. No entanto, os óleos de moringa e pinhão-manso proporcionaram menores esforços para a realização do corte, demonstrando grande potencial para a aplicação no setor metal mecânico.

2.5.7 Óleos Comestíveis Vegetais: obtenção e composição

Os óleos vegetais representam um dos principais produtos extraídos de plantas da atualidade e cerca de dois terços são usados em produtos alimentícios fazendo parte da dieta humana. Os lipídios, juntamente com as proteínas e os carboidratos, são fontes de energia, apresentando grande importância para a indústria, na produção de ácidos graxos, glicerina, lubrificantes, carburantes, biodiesel, além de inúmeras outras aplicações (FARIA et al, 2002).

Os óleos vegetais são constituídos principalmente de triacilgliceróis (acima de 95%) e pequenas quantidades de mono e diacilgliceróis.

A obtenção do óleo vegetal bruto é feita por meio de métodos físicos e químicos sobre as sementes de oleaginosas usando-se um solvente como extrator e prensagem. Nesta fase, o óleo vegetal contém impurezas como ácidos graxos livres prejudiciais a qualidade e estabilidade do produto, sendo necessário remover estas impurezas, pelos processos de refino que envolve a remoção do solvente, a degomagem, o branqueamento, a desacidificação e a desodorização.

A finalidade do refino é separar as substâncias indesejáveis dos óleos brutos que possam afetar as propriedades organolépticas e a estabilidade do óleo. O processo de refino é principalmente aplicado em óleos comestíveis.

Alguns problemas ambientais, tais como: perda de triglicerídeos, a necessidade de uma grande quantidade de produtos químicos, geração de efluentes contaminados e consumo energético elevado, podem ser causados pelo processo de refino convencional, onde se remove a maior parte das substâncias indesejáveis, a fim de estabilizar o óleo (BATISTA et al, 1999).

Com relação ao comportamento dos óleos vegetais sob estresse térmico, sabe-se que o aquecimento intermitente, sob a ação do oxigênio atmosférico, acelera muito o mecanismo de deterioração dos óleos e gorduras, pela ação da hidrólise, oxidação e termo-oxidação, isto também pode ser observado durante as fases de refino dos óleos vegetais (KOWALSKI, 1990).

Segundo Hellin e Clausell (1984), as modificações e alterações dos óleos e gorduras podem ser classificadas como:

- Auto-oxidação: oxidação que ocorre a temperaturas abaixo de 100°C;
- Polimerização térmica: oxidação que ocorre a temperaturas que variam entre 200°C e 300°C, na ausência de oxigênio;
- Oxidação térmica: oxidação que ocorre na presença de oxigênio a altas temperaturas (oxipolimerização);
- Modificações físicas: modificações que ocorrem nas propriedades físicas;
- Modificações nutricionais: modificações nos aspectos fisiológicos e nutricionais dos óleos.

2.5.8 Características dos Óleos Comestíveis Vegetais

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, são comercializados no Brasil os seguintes óleos vegetais: algodão, milho, palma, amendoim, soja, palmito, arroz, uva, oliva, canola, babaçu, gergelim, girassol, coco e azeite saborizado. A maioria desses óleos é utilizada em processos industriais e na alimentação humana e animal. Em função do aumento do consumo, a produção, que pode ser obtida de várias espécies vegetais, também tem se elevado. A seguir são apresentadas a descrição e as características físicas e químicas de cinco destes óleos utilizados nesta pesquisa, a saber: algodão, canola, girassol, milho e soja.

a) Óleo de Algodão

Óleo comestível obtido de sementes de *Gossypium herbaceum* (algodão) pelo processo de extração e refino. Possui alta estabilidade e está disponível também com aditivos antioxidantes, aditivos de veículos e aromas.

b) Óleo de Canola

Óleo obtido de sementes de *Brassica campestris* L. E *Brassica napus* L. (canola) pelo processo de extração e refino. Sendo utilizado como lubrificante de molde em fundição de aço, aditivo e outros óleos que melhora o desempenho sob alta velocidade e pressão, vulcanização de goma elástica, em borracha sintética.

c) Óleo de Girassol

Óleo comestível obtido de semente de *Helianthus annuus* L. (girassol) através de processo de extração e refino. Tem aplicações em diversas finalidades, na indústria cosmética, farmacêutica, alimentícia, veterinária, na fabricação de tintas, sabões, como óleo base para massagem, entre várias outras.

d) Óleo de Milho

Óleo comestível obtido do germe de *Zea mays* (milho) através de processo de extração e refino. Tem diversas aplicações, tais como resinas, plásticos, lubrificantes e óleos similares, uma parcela pequena deste óleo é utilizada também pela indústria farmacêutica.

e) Óleo de Soja

Óleo comestível obtido de sementes de *Glycine Max* L. (soja) através de processo de extração e refino. Utilizado primeiro como adubo orgânico, avançando posteriormente como fonte de óleo comestível, ração animal e matéria prima da indústria de alimentos, cosméticos, medicamentos e tinta.

O Quadro 3 apresenta os teores de ácidos graxos e o Quadro 4 as principais propriedades dos óleos vegetais utilizados nesta pesquisa.

Quadro 3 - Teor de ácidos graxos em óleos vegetais.

ÓLEO VEGETAL COMESTÍVEL	ÁCIDO GRAXO SATURADO	ÁCIDO GRAXO MONOINSATURADO	ÁCIDO GRAXO POLIINSATURADO	
			ÁC. LINOLEICO	ÁC. LIOLENICO
Canola	6%	58%	26%	10%
Girassol	11%	19%	69%	1%
Milho	13%	25%	61%	1%
Soja	15%	24%	54%	7%
Algodão	29%	16%	51%	1%

Fonte: Adaptado de Moretto (1998).

Quadro 4 - Propriedades dos óleos vegetais utilizados.

FLUIDOS	PROPRIEDADES		
	DENSIDADE (g/cm ³)	VISCOSIDADE (mm ² /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
Girassol	0,918	29,1	322

Fonte: Adaptado de Moretto (1998).

2.6 Direções de Aplicação dos Fluidos de Corte

Segundo Fernandes (2007), existem quatro direções de aplicação dos fluidos de corte:

- Aplicação convencional do fluido na forma de jorro a baixa pressão (sobre cabeça);
- Aplicação de fluido entre a superfície de saída da ferramenta e a parte inferior do cavaco, sendo aplicado sobre alta pressão;
- Aplicação de fluido entre a superfície de folga da ferramenta e a peça;
- Pelo interior da ferramenta (ferramentas especiais).

2.7 Técnica da Mínima Quantidade de Lubrificante

O método de Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL), que se classifica entre a usinagem com refrigeração abundante e a sem refrigeração, é aquele que utiliza apenas uma quantidade mínima de fluido dirigida por um jato de ar ao ponto onde está sendo executada a usinagem, sendo que o volume de fluido pode variar em função do volume de cavacos e do processo de usinagem. Os fluidos lubrificantes devem ter boa taxa de remoção de calor, além disso, a mínima quantidade de fluido deve ser suficiente para reduzir o atrito da ferramenta e evitar aderência dos materiais (CNTL, 2008).

O princípio básico de funcionamento do sistema MQL consiste no arrasto de uma pequena quantidade de lubrificante por uma corrente de ar comprimido que é dirigido sobre a zona de corte. Esse arrasto provoca a atomização do lubrificante, fazendo com que a sua distribuição na zona de corte seja uniforme.

Estudos realizados por Kelly e Cotterell (2002) e por Braga et al (2002), tem demonstrado as vantagens da utilização desta técnica de lubrificação. A tendência evolutiva dos processos de lubrificação permite olhar para esta técnica como uma solução de compromisso entre a lubrificação abundante e a usinagem a seco.

Os efeitos da utilização da técnica MQL no fresamento com alta velocidade de aço-ferramentas endurecidos são fortemente influenciados por uma série de fatores. Entre eles, parâmetros de usinagem, material usinado, pressão, distancia de aplicação, geometria usinada e material da ferramenta. Assim, resultados contraditórios com a aplicação da técnica MQL no fresamento de aço-ferramentas são encontrados na literatura (RAHMAN et al, 2007; SU et al, 2007).

A impossibilidade de aplicação da usinagem a seco em alguns casos torna necessária a manutenção do uso de fluidos de corte. Porém, a vazão pode ser reduzida bem abaixo das tradicionais. Uma drástica redução nos volumes empregados nas operações de usinagem contribui significativamente para a redução do impacto ambiental provocado por estas operações. O sucesso técnico-econômico de cada operação irá exigir uma adaptação nas características técnicas dos fluidos adequadas a esta nova condição de trabalho (KLOCKE et al, 1998). Um aspecto importante desta forma de utilização de fluido é a definição dos limites dos volumes empregados em cada caso.

A técnica de MQL se baseia no princípio de utilização total do óleo de corte sem resíduos com baixa vazão do fluido de corte que é aplicado sob alguma pressão. A função de lubrificação é assegurada pelo óleo e a de refrigeração, mesmo que pequena, pelo ar comprimido. Esta pequena quantidade de óleo é suficiente para reduzir o atrito no corte, diminuindo a tendência a aderência em materiais com tais características (DORR, 1999).

Rahman et al (2007), estudaram a quantia ideal de lubrificação com a técnica de mínima quantidade de lubrificação em um processo de fresamento. Com a quantia ideal estipulada, comparou-se com o processo de fresamento utilizando refrigeração abundante, analisando a força de corte, a rugosidade da superfície usinada e a forma do cavaco. Os resultados deste estudo comprovaram a viabilidade (econômica e ambiental) da implementação desta técnica no processo de fresamento.

A pesquisa desenvolvida por Agrawal e Patil (2018), teve como objetivo avaliar os diferentes parâmetros de usinagem com diferentes tipos de fluidos de corte, como óleo de aloe vera e fluido de corte convencional no torneamento do aço M2. O desempenho do fluido de corte desenvolvido é comparado com o fluido de corte convencional. Os resultados da superfície sob diferentes parâmetros de usinagem com diferentes tipos de fluidos de corte, como óleo de aloe vera e fluido de corte convencional na rugosidade obtidos durante o torneamento de Aço M2 com a quantidade mínima de lubrificação de óleo mineral e vegetal, são usinados. O desempenho do fluido de corte desenvolvido foi comparado com o fluido de corte convencional. Os resultados da rugosidade superficial obtidos durante o torneamento do aço M2 com a MQL de óleo mineral e vegetal foram comparados entre si e observou-se que a rugosidade gerada com óleo vegetal não comestível, ou seja, aloe vera, proporcionou melhor acabamento superficial.

Ribeiro Filho et al. (2016) estudaram três diferentes fluidos de corte de lubrificação de quantidade mínima que foram testados e comparados com emulsões em processos de corte e extrusão. Um planejamento fatorial completo foi realizado para identificar o efeito significativo do tipo de óleo, do sistema de refrigeração/lubrificação e da velocidade de corte/formação no valor de torque dos processos de roscamento. Uma liga de alumínio fundido A306 foi usada como peça de trabalho nas operações de corte/conformação de roscas. Os resultados mostraram que o fluido no sistema de MQL tem um alto potencial para reduzir o valor do torque enquanto minimiza o atrito e pode evitar que as ferramentas quebrem, em algumas situações. Além disso, a forma de aplicação do fluido foi considerada uma alternativa

adequada, uma vez que não gera cavacos, o que reduz os custos com reciclagem, armazenamento e descarte de resíduos.

Em seu estudo, Duchosal et al. (2012), desenvolveram um método para determinar as características da névoa de óleo para o processo de MQL. A névoa de óleo é caracterizada pelo tamanho, pela velocidade e pela taxa de fluxo de volume de suas partículas. Em cada caso, foi utilizado um processo de medição específico: o método de granulometria por difração a laser, a velocimetria por imagem particulada e o método gravimétrico. Esses métodos são usados no caso de modelos estáticos e simples com diferentes canais internos. Testes experimentais foram feitos com o mesmo canal interno do canal interno do fuso existente. Diferentes modelos de saída com diferentes canalizações internas foram testados, usando estes processos experimentais. Este estudo permitiu destacar o óleo mais eficiente para a microlubrificação central, com base nos aspectos de tamanho de partícula, velocidade e consumo ótimo (neste caso, o óleo PX 5130). Essas características permitiram usar diferentes resultados futuros e compará-los com simulações geradas por computador, no caso de problemas de rotação de ferramentas.

2.8 Rugosidade

Conforme Machado et al (2015), a rugosidade de uma superfície é composta de irregularidades finas ou de erros micrométricos resultantes da ação inerente ao processo de corte (marcas de avanço, arestas postiças de corte, desgaste da ferramenta, etc...). A rugosidade pode ser medida por vários parâmetros. Em muitos casos, a rugosidade é utilizada como parâmetro de saída para controlar um processo de usinagem. A rugosidade de uma superfície depende de vários parâmetros, como máquina-ferramenta, propriedades do material da peça, geometria e material da ferramenta, e operação de usinagem. Segundo Whitehouse (1997), métodos estatísticos aplicados ao resultado da medição da rugosidade de uma superfície podem identificar as contribuições relativas de cada um desses parâmetros.

2.8.1 Parâmetros para Quantificação da Rugosidade

Machado et al (2015) afirmam que, em geral, uma peça usinada é examinada em termos macrogeométricos (dimensões, forma e orientação) e microgeométricos (rugosidade). Ela é examinada depois da operação de usinagem, ou mesmo durante, de acordo com as tolerâncias e rugosidades especificadas no projeto. Os desvios dimensionais, de forma e de orientação, são mais fáceis de medir e de controlar, e dependem principalmente da natureza da operação e da rigidez da máquina-ferramenta utilizada. A rugosidade, por sua vez, é afetada por um elevado número de variáveis e pode ser avaliada por diversos parâmetros, que podem ser classificados em:

- Parâmetros de amplitude: determinados por alturas dos picos, profundidades dos vales ou pelos dois, sem considerar o espaçamento entre as irregularidades ao longo da superfície;
- Parâmetros de espaço: determinados pelo espaçamento do desvio do perfil ao longo da superfície;
- Parâmetros híbridos: determinados pela combinação dos parâmetros de amplitude e de espaço.

Diversas organizações, como ISO, DIN e JIS, possuem normas técnicas para a avaliação da rugosidade de superfícies técnicas. O Quadro 5, abaixo, apresenta os principais parâmetros empregados na quantificação da rugosidade de acordo com a Norma ABNT NBR ISO 4287 (2002).

Quadro 5 - Alguns parâmetros de rugosidade.

Símbolo	Nome	Definição
Ra	Desvio aritmético médio	Média aritmética dos valores absolutos das ordenadas no comprimento de avaliação.
Rq	Desvio médio quadrático	Raiz quadrada da média dos valores das ordenadas no comprimento de avaliação.
Rt	Altura total do perfil	Soma da maior altura de pico do perfil e da maior profundidade de vale do perfil no comprimento de avaliação.
Rz*	Altura máxima do perfil	Soma da altura máxima do pico e a maior profundidade do vale em cada comprimento de amostragem.
Rsk	Fator de assimetria do perfil (skewness)	Quociente entre o valor médio dos valores das ordenadas e Rq ao cubo, no comprimento de amostragem.

Rku	Fator de achatamento do perfil	Quociente entre o valor médio dos valores das ordenadas a quarta potência e o valor de Rq a quarta potência no comprimento de amostragem.
* A norma DIN define o parâmetro Rz como sendo a média das cinco maiores amplitudes pico/vale detectadas em cada comprimento de amostragem (considerando o comprimento de avaliação igual a cinco vezes o comprimento de amostragem).		

Fonte: Adaptado de Machado et al (2015).

Entre os parâmetros de amplitude, o mais utilizado é o Ra, amplamente empregado como parâmetro de controle de processo, uma vez que alterações no seu valor representam alterações de processo, em especial no desgaste da ferramenta (MUMMERY, 1992). Trata-se de um parâmetro muito utilizado pela indústria e que está disponível nos instrumentos mais simples. Como representa um valor médio, é um parâmetro estável, que não recebe a influência de efeitos ocasionais. Embora bastante vantajoso, o parâmetro Ra, isoladamente, não é suficiente para identificar algumas características importantes na superfície, pois superfícies geometricamente diferentes podem apresentar Ra bem próximos, mas desempenhos em serviço bastante diversos.

2.9 Planejamento de Experimentos

As técnicas de projeto de experimentos são ferramentas com uma grande aplicação nas etapas de projeto preliminar, projeto de produto, projeto do processo de fabricação e na etapa de avaliação e de melhoria. Principalmente, porque nessas fases é necessário analisar a influência de um ou mais fatores (MOTGOMERY e RUNGER, 2009).

Os planejamentos de experimentos podem ser usados tanto no desenvolvimento do processo quanto na solução de problemas do processo, para melhorar seu desempenho ou obter um processo que seja robusto ou não sensível a fontes externas de variabilidade. Os métodos de planejamento de experimentos podem também ser úteis no estabelecimento do controle estatístico do processo. Os métodos de planejamento experimental podem ser usados para identificar as variáveis influentes em um processo.

O planejamento de experimento é uma ferramenta de engenharia importante para melhorar um processo de fabricação, mas tem também extensiva aplicação no desenvolvimento de novos processos. A aplicação destas técnicas bem cedo no

desenvolvimento do processo pode resultar em: produção melhorada, variabilidade reduzida e confiabilidade próxima do nominal, tempo de desenvolvimento reduzido e custos totais reduzidos.

A análise de variância é um dos métodos que permite analisar a variação média dos resultados dos testes realizados através de um grau de confiança conhecido, e demonstrar quais fatores produzem efeitos que sejam significativos na resposta do sistema. No caso de estudos com fatores de influência de três ou mais, é necessário o uso de ANOVA para k fatores, sendo utilizados *softwares* específicos para os cálculos. Ao final de todas as análises, a saída é uma tabela onde o pesquisador obtém a correlação das variáveis e dos parâmetros, as influências individuais e coletivas dos parâmetros, o erro de estimativas e a confiabilidade dos dados (GUENZA, 2008).

2.10 Aço Inoxidável Martensítico

Desenvolvido na Suíça na década de 60, o aço inoxidável martensítico CA6NM tem como características, melhorar a soldabilidade, fabricação e propriedades mecânicas. Com a redução do teor de carbono de 0,15 no aço CA15 para 0,06% no CA6NM, reduziu-se a quantidade de peças defeituosas com alto índice de trincas à quente, segregação, micro-rechupes e inclusões decorrentes principalmente de um amplo intervalo entre as linhas liquidus e solidus, que devido ao baixo teor de carbono e a adição de níquel e molibdênio, essa faixa é reduzida de 110°C no CA15 para apenas 26°C no aço CA6NM conforme (GRACIOSO, 2003).

A classificação dos aços inoxidáveis fundidos é dada pela norma ASTM A743, levando em consideração sua utilização e composição química. Para o aço CA6NM, a primeira letra refere-se a sua resistência a corrosão (C). A segunda indica o valor nominal de níquel que se altera de A até Z. O número 6 indica o percentual de carbono máximo (%x100). As últimas letras correspondem aos elementos de liga presentes, no caso níquel (N) e molibdênio (M). A tabela 1 mostra a composição química dos aços CA6NM.

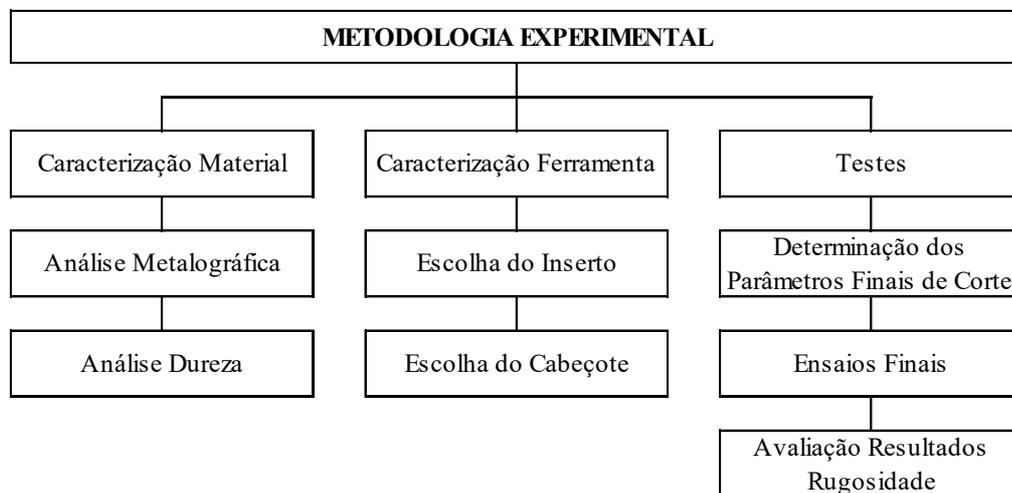
Sua propriedade de inoxidável é resultante principalmente do teor de cromo que forma uma película de óxido protetora, aderente e estável. Em geral, teores acima de 12% de cromo dissolvido na matriz são necessários para conferir propriedades contra corrosão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo as metodologias experimentais aplicadas na pesquisa, os procedimentos, os equipamentos e os materiais são apresentados, bem como a forma com que os resultados serão avaliados.

A Figura 2 mostra o fluxograma da sequência de tarefas dos experimentos deste projeto de pesquisa.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia experimental.



Fonte: Autor (2019).

3.1 Material e Ferramenta

A seguir, são apresentados os materiais e equipamentos utilizados na execução dos experimentos deste trabalho.

3.1.1 Caracterização do Material

O material utilizado para o procedimento experimental foi o aço inoxidável martensítico ASTM 743 CA6NM, com dureza de 270 HB.

Este aço tem como características boa soldabilidade, boa fabricação e boas propriedades mecânicas. O Quadro 6 mostra a composição química dos corpos de prova, enquanto que os requisitos de composição química são normatizados pela ASTM A743 (2006).

Quadro 6 - Composição química dos corpos de prova.

Elemento Químico	C (máx.)	Mn (máx.)	Si (máx.)	Cr	Ni	Mo	P (máx.)	S (máx.)
Percentual	0,06	0,61	0,70	12,6	3,61	0,58	0,02	< 0,001

Fonte: Adaptado de ASTM A743 (2006).

O aço inoxidável martensítico, ASTM 743 CA6NM, em sua maioria, é obtido pelo processo de fundição com posteriores tratamentos térmicos de têmpera e revenimento. Para tal, devem ser obedecidos os requisitos de aquecimento até 1010°C no mínimo e resfriamento ao ar até 95°C ou menos para a têmpera. Já para o revenimento final, o material deverá ser aquecido entre 565°C e 620°C (ASTM A743, 2006).

Já as propriedades mecânicas do aço grau CA6NM são apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Propriedades mecânicas do aço grau CA6NM.

Limite de resistência mín. (Mpa)	Limite de escoamento mín. (Mpa)	Alongamento mín. (%)	Redução de área mín. (%)	Dureza máx. (HB)
755	550	15	35	285

Fonte: Adaptado de ASTM 743 (2006).

3.1.1.1 Corpos de prova

Nos experimentos, foi utilizado um corpo de prova de aço inoxidável martensítico, obtido pelo processo de fundição pela Acearia Frederico Missner S/A, de Luiz Alves, SC, e atende a norma ASTM 743, grau CA6NM.

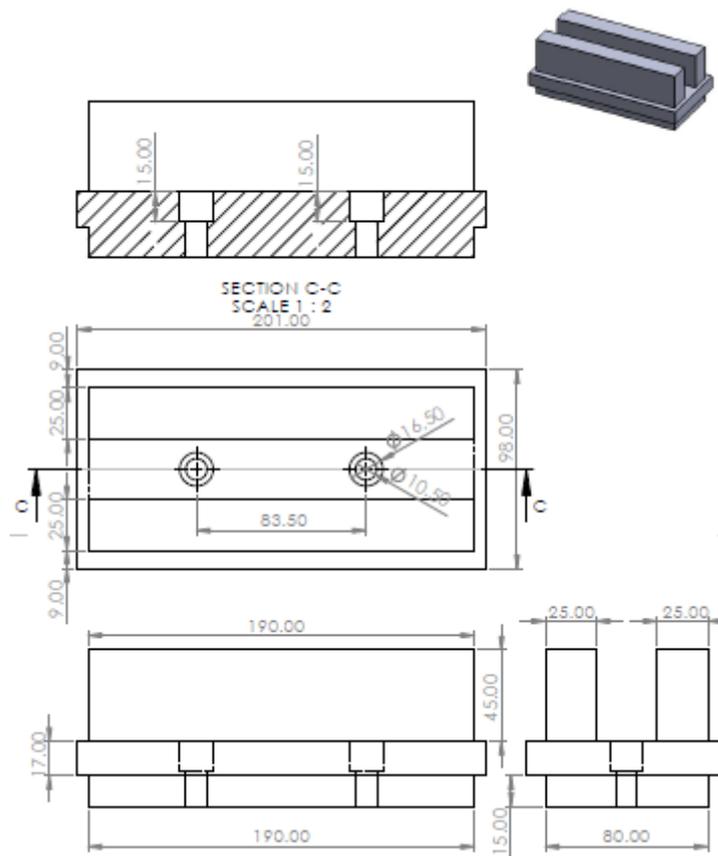
A composição química dos corpos de prova está dentro dos limites estabelecidos na norma do material.

A dureza do material (270 HB) também está dentro dos limites especificados na norma de fornecimento do material.

Em seguida, foi preciso usinar os corpos de prova com o intuito de padronizar sua geometria, regularizar a superfície e remover a carepa de fundição da região do corpo de prova que, posteriormente, foi usinada. Procedimento este fundamental, já que a camada superficial do material fundido apresenta propriedades diferentes do restante do material, assim podendo comprometer os resultados da pesquisa. Desta forma, obteve-se os corpos de prova com as dimensões mostradas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.3**.

Ainda, foram usinados rebaixos e furação para fixação do corpo de prova na máquina, garantindo a rigidez necessária para o experimento. A ferramenta utilizada para esta operação não faz parte deste estudo, portanto não será abordada.

Figura 3 - Dimensão do corpo de prova (mm), após a usinagem de preparação.



Fonte: O autor (2019).

3.1.1.2 Metalografia dos corpos de prova

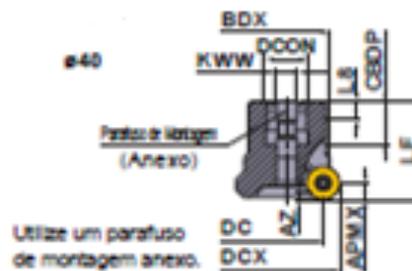
Conhecer os constituintes estruturais, a estrutura do material, bem como a morfologia e a distribuição destes é o que permite a análise metalográfica, pois esta determina o comportamento mecânico e as propriedades de uma peça metálica.

A caracterização da microestrutura do material, bem como a medição de dureza, foram realizadas nos corpos de prova através da utilização de espectrômetro e durômetro. As composições químicas dos corpos de prova foram analisadas em um espectrômetro de energia dispersiva OXFORD *Instruments* modelo Foundry-Master Xline. Já a dureza do material foi obtida com auxílio de um durômetro Heckert, pelo método Brinell, com penetrador esférico de Ø2,5 mm, aplicando uma carga de 187,5 kgf.

3.1.2 Caracterização da Ferramenta

Com a finalidade de garantir a rigidez na fixação dos insertos, foi utilizado o cabeçote codificado pela Mitsubishi Materials como BRP6P-040A03R, suas características são apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Cabeçote utilizado no experimento.



BRP6P-040A03R

N	Dimensões (mm)										WT		
	DCX	DC	BDX	LF	DCCON	CBDP	DAH	DCCB	KWW	L8	(kg)	APMZ	AZ
3	40	27,9	33,3	40	16	18	-	-	8,4	5,6	0,4	6	4

Fonte: Adaptado de <www.mitsubishicarbide.net/mht/pt/> acesso em 12 set. de 2019.

A Figura 5, mostra o cabeçote de fresar utilizado nos experimentos.

Figura 5 - Suporte Mitsubishi.



Fonte: Autor (2019).

Como ferramenta, optou-se em utilizar inserto com uma geometria redonda codificada como RPMW1204M0T-VP15TF. Assim como o cabeçote, o inserto é fabricado pela Mitsubishi Materials. A classe é composta de um substrato de carboneto de tungstênio (WC), com tamanho de grão fino, sendo que o procedimento e composição do revestimento feito por PVD e nitreto de titânio alumínio (TiAlN). A Mitsubishi Materials detalha as características do inserto utilizado, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Inserto utilizado no experimento.

INSERTOS						
Material	P	Aço	●	●	●	Condições de Corte (Gula): ● : Corte Estável ● : Usinagem Geral ✖ : Corte Instável Preparação: E : Arredondada T : Com Chanfro
	M	Aço Inoxidável	●	●	●	
	K	Ferro Fundido	✖	✖	✖	
	S	Ligas Resistentes ao Calor, Ligas de Titânio	●	●	●	
	H	Aço Endurecido	●	●	●	
FORMATO	REFERÊNCIA	C/ COBERTURA	DIMENSÕES		GEOMETRIA	
	RPMW1204MOT	VP15TF	IC	8		
			12	4,76		

Fonte: Adaptado de <www.mitsubishicarbide.net/mht/pt/> acesso em 12 set. de 2019.

Para montagem do inserto no cabeçote, devido a necessidade de conferir o batimento e a altura dos insertos, sendo que são estes insertos os que garantem uma boa tolerância de fabricação das peças usinadas, utilizou-se o relógio comparador da marca Starrett modelo 3025-257J, com alcance 1,0 mm e graduação 0,001 mm, para verificar estas medidas na primeira montagem do conjunto de insertos.

3.2 Equipamentos

Serão especificadas em seguida, as máquinas e equipamentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, pois em geral, no desenvolvimento de uma pesquisa experimental, se faz necessária a utilização de diversos recursos materiais, como forma de mensuração dos dados gerados nos ensaios.

3.2.1 Caracterização da Máquina Ferramenta

Para os ensaios de usinagem, utilizou-se o centro de usinagem vertical fabricado pela ROMI, modelo Discovery 308, ano de fabricação 1996, que utiliza o comando numérico computadorizado Fanuc série Mach 8. A mesa de trabalho tem dimensões 840 x 360 mm. As principais especificações dessa máquina são o deslocamento no eixo X de 450 mm, 310 mm no eixo Y, 410 mm no eixo Z, com cone BT30 e a velocidade de deslocamento da mesa em avanço rápido de 12 m/min. O eixo árvore possui uma rotação máxima de 4.000 rpm e potência máxima de 7,5 CV (5,5 kW). A máquina possui um magazine com capacidade para 8 ferramentas. A Figura 7 é do equipamento utilizado, que está locado no LAUS – Laboratório de Automação em Usinagem da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Figura 7 - Centro de usinagem vertical ROMI, modelo Discovery 308.



Fonte: Autor (2019).

3.2.2 Sistema de Aplicação do Fluido de Corte em MQL

Para aplicação dos fluidos por MQL, utilizou-se um sistema externo móvel fixado por base magnética da empresa Quimatic modelo IV devido ao fato da máquina ferramenta ROMI Discovery 308 não ser projetada para a aplicação interna de MQL. A Figura 8, mostra como foi fixado o sistema Quimatic IV e o recipiente contendo o fluido.

Figura 8 - Sistema Quimatic modelo IV acoplado na máquina Discovery 308.



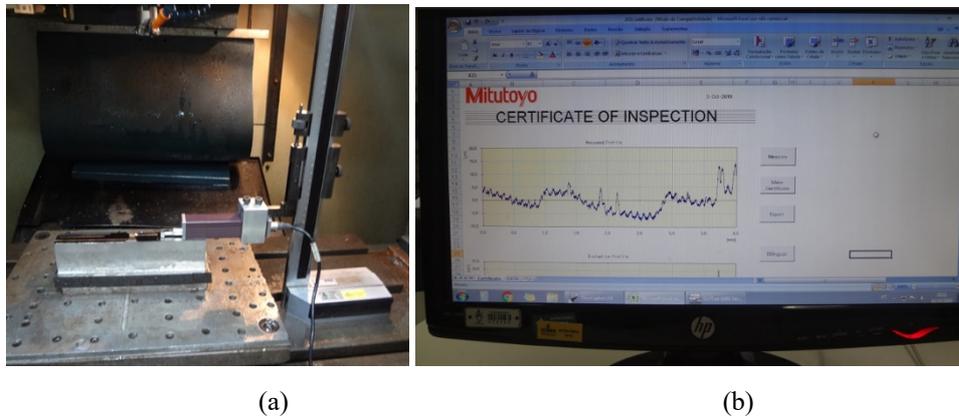
Fonte: Autor (2019).

A pressão de trabalho utilizada para os fluidos em MQL foi de 3 bar. O sistema utiliza uma tubulação de saída para a mistura óleo/ar sem conexões para minimizar a perda de carga.

3.2.3 Sistema de Medição de Rugosidade

Para medição da rugosidade, foi utilizado o rugosímetro portátil modelo SJ 410 da marca Mitutoyo, mostrado na Figura 9, com impressora acoplada para impressão do perfil de rugosidade gerado, com resolução de $0,01 \mu\text{m}$, raio de ponta do adaptador de $5 \mu\text{m}$ em diamante e velocidade de deslocamento do adaptador de aproximadamente $2,5 \text{ mm/s}$. Após a medição faz a transferência dos dados para um computador conectado com auxílio de um *software* dedicado que permite a geração gráfica do perfil de rugosidade.

Figura 9 - Rugosímetro portátil modelo SJ 410 montado para medição e medição obtida com o software.



Fonte: Autor (2019).

A rugosidade de uma superfície usinada é o resultado da combinação de alguns fatores que ocorrem durante o processo de fabricação tais como as condições de corte, geometria da ferramenta, geometria da peça, rigidez da máquina – ferramenta, material da peça e material da ferramenta. A rugosidade média (R_a), determinado em função da linha média M do perfil de rugosidade e a rugosidade máxima (R_z), definido como o maior valor das rugosidades parciais (Z_i) que se apresenta no comprimento de avaliação (l_m), foram avaliadas na superfície fresada da peça.

3.2.4 Sistema de Aquisição de Imagens

Foi usado um microscópio digital portátil da marca Dino-Lite Pro, modelo AM413ZT para coletar imagens das superfícies dos inserts com o intuito de verificar o desgaste do perfil das arestas de corte, conforme apresentado na Figura 10, e montado no suporte de apoio.

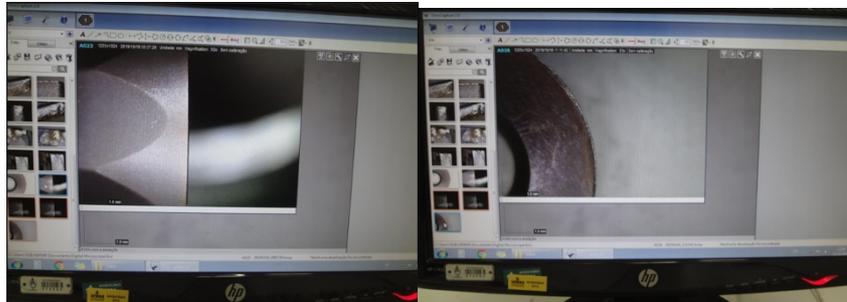
Figura 10 - Microscópio da marca Dino-Lite Pro, modelo AM413ZT.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 11, mostra as imagens do inserto gerada no microscópio portátil.

Figura 11 - Imagens geradas pelo microscópio portátil.



Fonte: Autor (2019).

3.3 Método

De acordo com os objetivos previstos, este trabalho tem como finalidade estudar o desempenho de óleos refinados vegetais comestíveis (soja, milho, canola, girassol e algodão), utilizados como fluidos de corte na forma de mínima quantidade de lubrificante (MQL), durante o processo de usinagem por fresamento frontal na acabamento da superfície usinada do aço inox. Ainda confrontar este desempenho com a utilização de óleo sintético, em MQL e de um fluido biolubrificante isento de óleos aplicado na forma de jorro para o mesmo processo de usinagem do mesmo material. Para isso, a investigação foi realizada conforme a metodologia descrita na sequência.

3.3.1 Procedimento Experimental

Foi realizada a caracterização do material dos corpos de prova através da análise metalográfica e da análise de dureza, e das ferramentas utilizadas nos testes, onde se fez a escolha da ferramenta a ser utilizada bem como o cabeçote de fixação. Nesta etapa foi realizado o teste preliminar para analisar os efeitos dos parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço e vazão) que foram escolhidos para cada um dos óleos vegetais, os fluidos B90 e Quimatic Jet, visando a obtenção dos efeitos na rugosidade do corpo de prova.

Sendo assim, foram determinados os parâmetros de usinagem: velocidade de corte (vc), avanço (f) e vazão do fluido de corte.

Então, para garantir maior confiabilidade e investigar qual seria a influência dos parâmetros de corte definidos sobre a rugosidade das peças usinadas com a utilização de cada um dos fluidos de corte e sua forma de aplicação., a realização destes ensaios se deu a partir de um planejamento estatístico dos experimentos, considerando a matriz apresentada. O fluido Bondmann B90 foi aplicado pelo sistema em abundância, enquanto que os óleos vegetais refinados (algodão, canola, girassol, milho e soja), o fluido QuimaticJet foram aplicados na mínima quantidade de lubrificante (MQL).

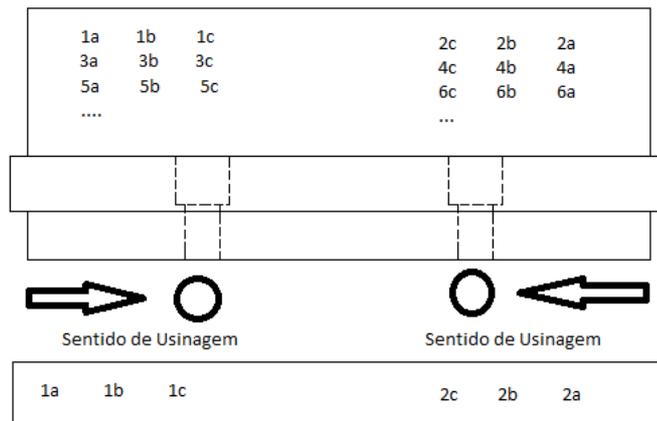
As velocidades de corte foram de 100 (m/mim) e 200 (m/mim), os avanços de 0,2 (mm/rot) e 0,4 (mm/rot.) e a vazão de 100 (ml/h), com exceção do fluido em abundância, na qual a vazão foi de 540 (l/h), com pontos centrais de velocidade de corte de 150 (m/mim) e avanço de 0,3 (mm/rot).

Na etapa foi considerada como variável de saída as rugosidades Ra e Rz. Essas variáveis foram compiladas e analisadas, fazendo-se uma avaliação dos resultados apresentados.

Para avaliação dos dados coletados na experimentação, foram utilizadas ferramentas estatísticas para estudar o comportamento do processo, o relacionamento entre os parâmetros de usinagem e as respectivas variáveis.

A usinagem do corpo de prova se deu em duas metades, sendo realizada de fora para dentro do mesmo. As medições de rugosidade também seguiram o mesmo sentido, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Figura do corpo de prova com direção de usinagem e esquema das letras para medição.



Fonte: O autor (2019).

3.4 Planejamento e Análise Estatística

Para avaliar a existência de alterações significativas entre as variáveis utilizadas, se faz necessário determinar um plano experimental para que os ensaios sejam realizados.

O experimento foi conduzido por um planejamento experimental fatorial com Análise de Variância (ANOVA) com nível de significância de 5% para comparação das médias, utilizando o *software* Statistic destinado a este fim.

Para combinar os parâmetros de corte (velocidade, avanço, vazão) com os fluidos (óleos vegetais, óleo B90 e QuimaticJet) e auxiliar nas análises de seus efeitos sobre as variáveis de saída, Ra e Rz, analisou-se, através do planejamento estatístico, totalizando 84 medições, considerando os pontos centrais (4).

Para realização dos ensaios, iniciou-se com a preparação da ferramenta de usinagem com seu inserto, foi verificado a vazão dos lubrificantes e regulado o aplicador MQL, ainda, preparados os equipamentos de medições como o microscópio portátil e o rugosímetro.

Na realização do experimento pela sequência de passes, obedecendo as condições definidas no método, foram feitas as anotações de rugosidade medida em diferentes posições da superfície do corpo de prova após cada passada – para este processo foi utilizado um *software* disponibilizado pelo próprio fabricante do equipamento de medição, no qual disponibiliza os valores numéricos e gráficos dos parâmetros estudados, onde foram medidos o parâmetro Ra (rugosidade média) e o parâmetro Rz (rugosidade máxima);

Para a compilação dos dados, a fim de auxiliar na elaboração, geração de gráficos, quadros e interpretação dos dados, o planejamento fatorial foi desenvolvido por intermédio de *software* livre.

Na rugosidade gerada, e observando o sentido de avanço de corte, foram analisados os perfis e parâmetros de rugosidade, relações entre picos e vales do perfil;

Com a utilização do microscópio portátil investigou-se o comportamento, quanto ao desgaste do inserto utilizado, foi registrado através de imagens, em seu *software*, isto a cada um dos experimentos, que divididos pelo tipo do fluido, era trocada a aresta de corte do inserto, e assim logo que o inserto era utilizado fez-se o registro da imagem deste.

No trabalho foram comparados fatores como condições de lubrificação, do óleo biodegradável B90 por aplicação em jorro, do óleo sintético QuimaticJet por aplicação em MQL, e dos óleos vegetais refinados de algodão, canola, girassol, milho e soja por aplicação em MQL para parâmetros de usinagem distintos com velocidades de corte de 100, 150 e 200 m/min. e avanço de 0,2, 0,3 e 0,4 mm/rot.

As análises estatísticas e os testes comparativos entre as médias, através do teste t (Tukey) foram realizadas, para todas as variações propostas para determinar se ocorre ou não diferenças entre os óleos.

No próximo capítulo, serão apresentados os resultados das análises através de gráficos e tabelas obtidos pelos valores medidos e suas respectivas dispersões.

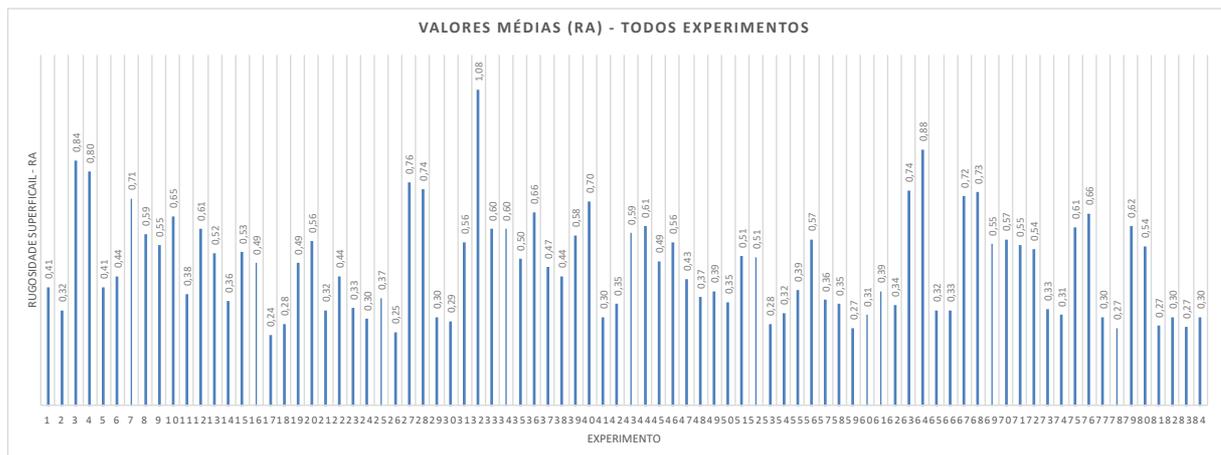
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados de todos os experimentos realizados.

4.1 Apresentação dos dados coletados

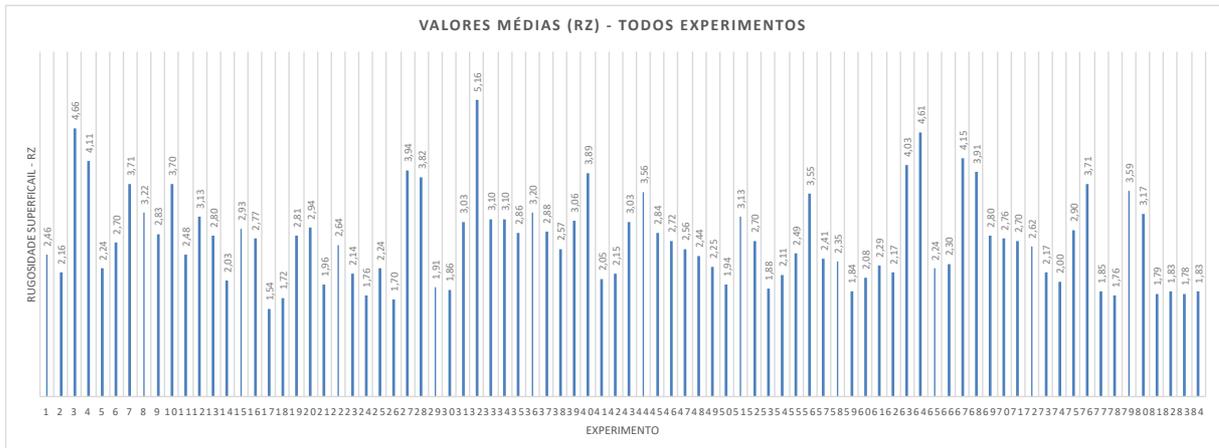
Os valores de rugosidade (Ra e Rz), para cada um dos fluidos e de cada uma das condições de usinagem previamente estabelecidas, são apresentados no Gráfico 1, valores das médias de Ra para todos os ensaios e no Gráfico 2, valores das médias de Rz para todos os ensaios. Estes valores foram extraídos do *software* disponibilizado pelo fabricante do equipamento de medição, no qual disponibiliza os valores numéricos, medidos para cada experimento. No experimento 1, as leituras foram transcritas observando a determinação de cada ponto. Para o “Pto 1” como 1a o valor de 0,32, para o “Pto 2” como 1b o valor de 0,47 e para o “Pto 3” como 1c o valor de 0,43 e, assim para todos os demais experimentos até o experimento 84, em “Pto 1” como 84a, “Pto 2” como 84b e “Pto 3” como 84c.

Gráfico 1 - Valores das médias de Ra para todos os ensaios.



Fonte: O autor (2019).

Gráfico 2 - Valores das médias de Rz para todos os ensaios.



Fonte: O autor (2019).

Gráfico 3 - Valores das médias Ra para todos experimentos agrupados.

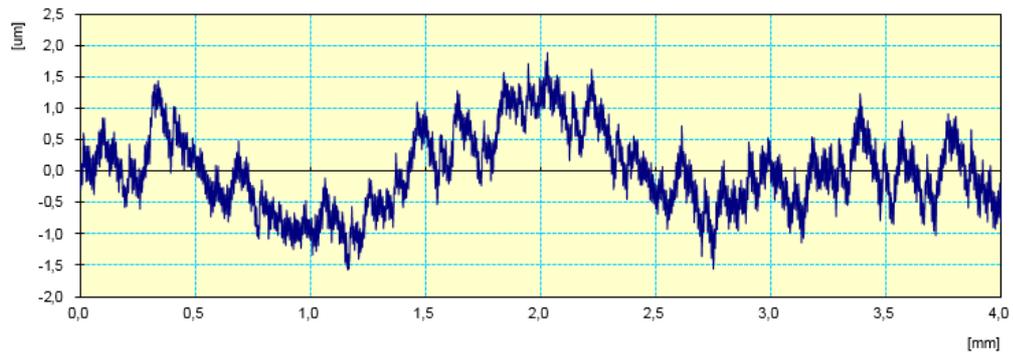


Fonte: O autor (2019).

Em função dos resultados das rugosidades médias (R_a) e altura máxima do perfil (R_z), pretende-se identificar qual dos óleos estudados teve um melhor desempenho no estudo.

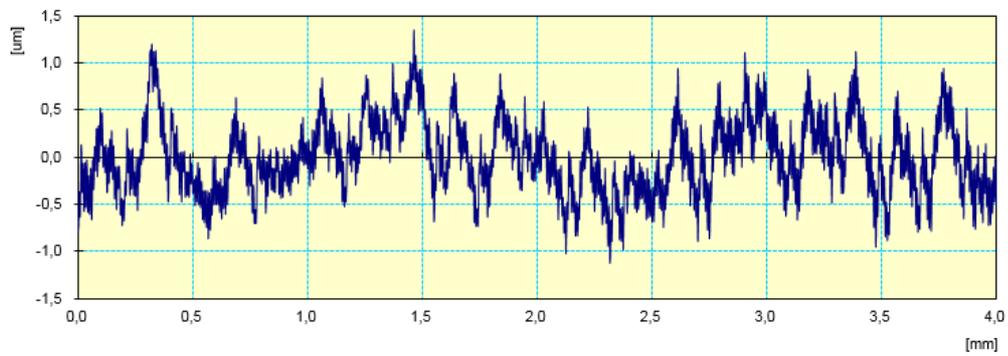
Além dos valores numéricos, o *software* disponibiliza as imagens em gráficos, dos parâmetros estudados, como os representados pelas Figuras 13 a 18. São demonstrados, a título de exemplo, os gráficos gerados no experimento 1. As figuras mostram a representação do perfil medido e do perfil de avaliação para os pontos 1a, 1b e 1c.

Figura 13 - Gráfico do perfil medido experimento 1, para o pto 1a.



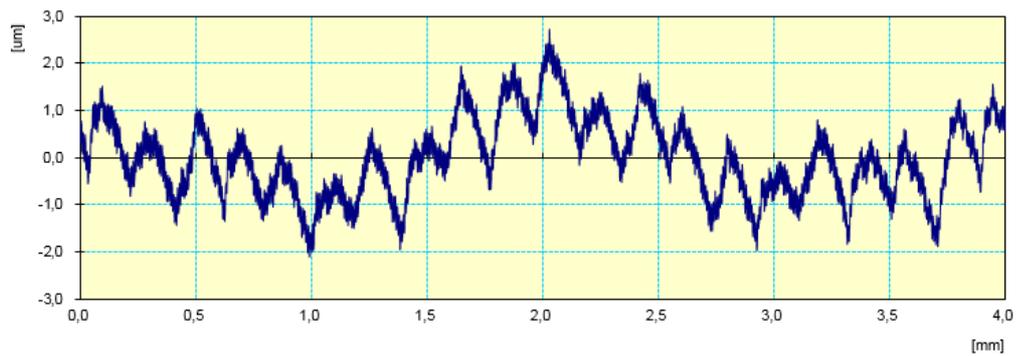
Fonte: O autor (2019).

Figura 14 - Gráfico do perfil de avaliação experimento 1, para o pto 1a.



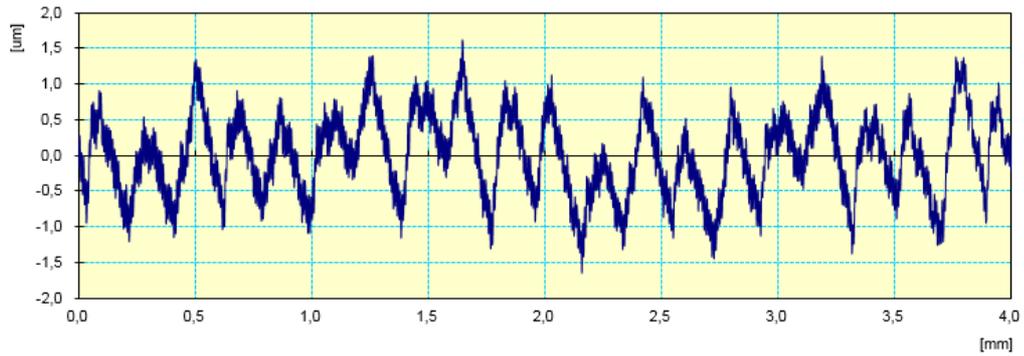
Fonte: O autor (2019).

Figura 15 - Gráfico do perfil medido experimento 1, para o pto 1b.



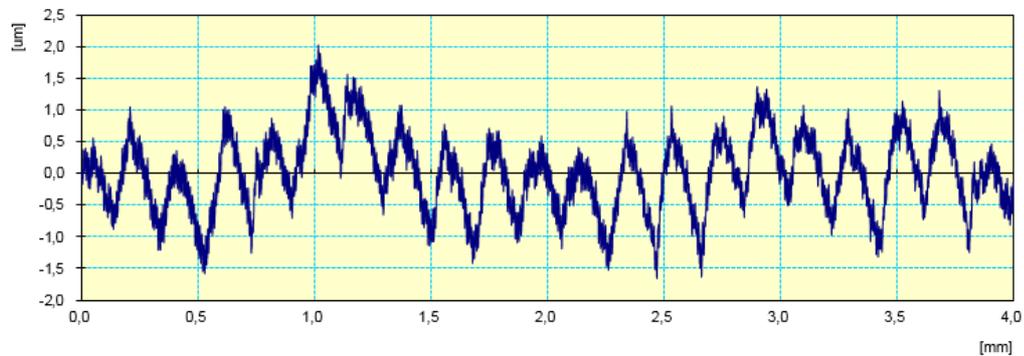
Fonte: O autor (2019).

Figura 16 - Gráfico do perfil de avaliação experimento 1, para o pto 1b.



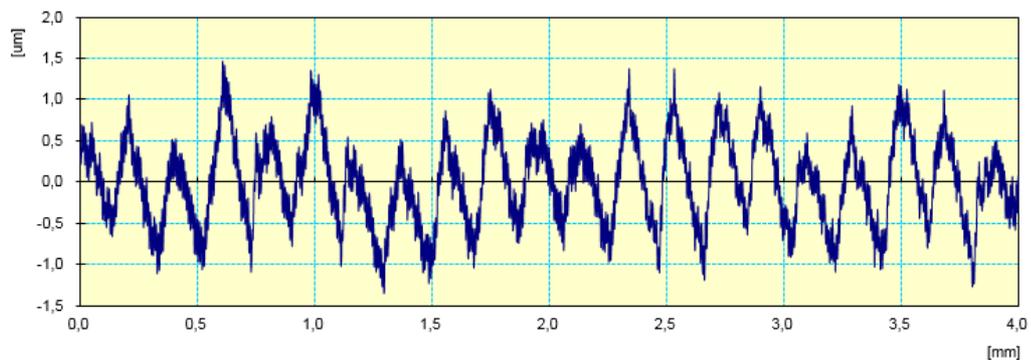
Fonte: O autor (2019).

Figura 17 - Gráfico do perfil medido experimento 1, para o pto 1c.



Fonte: O autor (2019).

Figura 18 - Gráfico do perfil de avaliação experimento 1, para o pto 1c.



Fonte: O autor (2019).

4.2 Análise desempenho dos fluidos de corte em relação ao acabamento superficial (rugosidade) através do cálculo estatístico

A influência dos parâmetros de corte na rugosidade superficial e a correlação entre os parâmetros de rugosidade são apresentados a seguir.

Selecionou-se para análise da influência dos parâmetros de corte na rugosidade, o parâmetro Ra e o parâmetro Rz.

Sabe-se que com a utilização de fluidos de corte, a eficiência dos processos de corte melhora, proporcionando assim um aumento da vida de ferramenta, ameniza vibrações, reduz forças de usinagem, melhora o acabamento superficial e garante maior controle dimensional. O comportamento do acabamento superficial em função das rugosidades Ra e Rz, pode ser analisado com relação a velocidade de corte e ao avanço; na medida que estas condições variam, variam também as rugosidades.

As análises mostram uma tendência geral da rugosidade diminuir com o aumento da velocidade de corte e com o mesmo avanço, devido a uma redução da resistência do material em altas temperaturas. Apenas em elevadas velocidades de corte a temperatura ótima é atingida e a capacidade de lubrificação é ativada.

Conforme a literatura apresentada, a rugosidade média (Ra) e a rugosidade de altura de perfil (Rz) variam proporcionalmente com o avanço e na medida que a velocidade de corte se mantiver constante.

Nos experimentos realizados, para um nível de confiabilidade de 95%, estas tendências se mantiveram, ou seja, os resultados foram significativos para as rugosidades diante da variável avanço e sendo não significativo diante da variável velocidade de corte. Os resultados mostram que quanto menor o avanço, menor a rugosidade. Ou seja, neste caso, para esta condição, uma rugosidade menor, pois é o que se busca nesta pesquisa, encontrar a melhor condição que garanta a menor rugosidade.

Da Figura 19 a 25, são apresentados os resultados obtidos nas análises estatísticas realizadas para cada um dos fluidos de corte observando as combinações dos parâmetros de velocidade de corte e avanço com as rugosidades superficiais para Ra e Rz.

Nas análises estatísticas para valores de Ra e Rz do fluido B90 (Figura 19) os resultados mostraram ser significativo para o parâmetro avanço, sendo este o parâmetro escolhido para sequência das análises e não significativo para o parâmetro velocidade de corte.

Figura 19 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido B90.

Effect Estimates; Var.:Ra (B90); R-sqr=.83387; Adj.:.73894 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=.0075135 DV: Ra (B90)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,564583	0,030646	18,42265	0,000000	0,492117	0,637050	0,564583	0,030646	0,492117	0,637050
Curvatr.	-0,035833	0,106161	-0,33754	0,745608	-0,286865	0,215198	-0,017917	0,053081	-0,143433	0,107599
(1)Avanço (mm/rot)	0,339167	0,061292	5,53359	0,000875	0,194233	0,484100	0,169583	0,030646	0,097117	0,242050
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,055833	0,061292	-0,91094	0,392617	-0,200767	0,089100	-0,027917	0,030646	-0,100383	0,044550
1 by 2	-0,115833	0,061292	-1,88985	0,100697	-0,260767	0,029100	-0,057917	0,030646	-0,130383	0,014550

Effect Estimates; Var.:Rz (B90); R-sqr=.8203; Adj.:.71762 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=.1758791 DV: Rz (B90)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	3,156458	0,148273	21,28815	0,000000	2,80585	3,507068	3,156458	0,148273	2,805848	3,507068
Curvatr.	-0,247083	0,513633	-0,48105	0,645153	-1,46163	0,967465	-0,123542	0,256816	-0,730816	0,483733
(1)Avanço (mm/rot)	1,532917	0,296546	5,16924	0,001296	0,83170	2,234137	0,766458	0,148273	0,415848	1,117068
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,382083	0,296546	-1,28845	0,238540	-1,08330	0,319137	-0,191042	0,148273	-0,541652	0,159568
1 by 2	-0,542083	0,296546	-1,82799	0,110270	-1,24330	0,159137	-0,271042	0,148273	-0,621652	0,079568

Fonte: O autor (2019).

Para análises estatísticas para valores de Ra e Rz do fluido óleo de soja (Figura 20) os resultados mostraram ser significativo para o parâmetro avanço, determinando este o parâmetro escolhido para sequência das análises e não significativo para o parâmetro velocidade de corte.

Figura 20 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de soja.

Effect Estimates; Var.:Ra (Soja); R-sqr=.78133; Adj.:.65637 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=.0042925 DV: Ra (Soja)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,433750	0,023164	18,72541	0,000000	0,378977	0,488523	0,433750	0,023164	0,378977	0,488523
Curvatr.	-0,169167	0,080241	-2,10822	0,072980	-0,358908	0,020574	-0,084583	0,040121	-0,179454	0,010287
(1)Avanço (mm/rot)	0,165833	0,046327	3,57959	0,008981	0,056286	0,275380	0,082917	0,023164	0,028143	0,137690
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,082500	0,046327	-1,78080	0,118156	-0,192047	0,027047	-0,041250	0,023164	-0,096023	0,013523
1 by 2	0,099167	0,046327	2,14056	0,069577	-0,010380	0,208714	0,049583	0,023164	-0,005190	0,104357

Effect Estimates; Var.:Rz (Soja); R-sqr=.75049; Adj.:.60791 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=.109175 DV: Rz (Soja)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	2,441250	0,116820	20,89756	0,000000	2,16501	2,717485	2,441250	0,116820	2,165015	2,717485
Curvatr.	-0,637500	0,404676	-1,57534	0,159182	-1,59441	0,319406	-0,318750	0,202338	-0,797203	0,159703
(1)Avanço (mm/rot)	0,839167	0,233640	3,59171	0,008837	0,28670	1,391637	0,419583	0,116820	0,143348	0,695818
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,382500	0,233640	-1,63714	0,145614	-0,93497	0,169970	-0,191250	0,116820	-0,467485	0,084985
1 by 2	0,404167	0,233640	1,72987	0,127274	-0,14830	0,956637	0,202083	0,116820	-0,074152	0,478318

Fonte: O autor (2019).

Com relação as análises estatísticas para valores de Ra e Rz do fluido óleo de milho (Figura 21) os resultados mostraram ser significativo para o parâmetro avanço, este sendo o

parâmetro escolhido para sequência das análises e não significativo para o parâmetro velocidade de corte.

Figura 21 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de milho.

Effect Estimates; Var.:Ra (Milho); R-sqr=,75537; Adj.,61558 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,0222183 DV: Ra (Milho)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,543750	0,052700	10,31785	0,000017	0,419134	0,668366	0,543750	0,052700	0,419134	0,668366
Curvatr.	0,099167	0,182558	0,54321	0,603846	-0,332514	0,530847	0,049583	0,091279	-0,166257	0,265424
(1)Avanço (mm/rot)	0,484167	0,105400	4,59362	0,002503	0,234936	0,733398	0,242083	0,052700	0,117468	0,366699
(2)Velocidade de corte (m/min)	0,027500	0,105400	0,26091	0,801670	-0,221731	0,276731	0,013750	0,052700	-0,110866	0,138366
1 by 2	0,040833	0,105400	0,38741	0,709960	-0,208398	0,290064	0,020417	0,052700	-0,104199	0,145032

Effect Estimates; Var.:Rz (Milho); R-sqr=,77651; Adj.,64879 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,3523774 DV: Rz (Milho)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	2,957500	0,209874	14,09178	0,000002	2,46123	3,453774	2,957500	0,209874	2,461226	3,453774
Curvatr.	0,210000	0,727025	0,28885	0,781064	-1,50914	1,929142	0,105000	0,363513	-0,754571	0,964571
(1)Avanço (mm/rot)	2,060000	0,419748	4,90770	0,001738	1,06745	3,052547	1,030000	0,209874	0,533726	1,526274
(2)Velocidade de corte (m/min)	0,065000	0,419748	0,15485	0,881306	-0,92755	1,057547	0,032500	0,209874	-0,463774	0,528774
1 by 2	0,150000	0,419748	0,35736	0,731356	-0,84255	1,142547	0,075000	0,209874	-0,421274	0,571274

Fonte: O autor (2019).

Nas análises estatísticas para valores de Ra e Rz do fluido óleo de canola (Figura 22) os resultados mostraram ser significativo para o parâmetro avanço, sendo este o parâmetro escolhido para sequência das análises e não significativo para o parâmetro velocidade de corte.

Figura 22 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de canola.

Effect Estimates; Var.:Ra (Canola); R-sqr=,82461; Adj.,72439 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,0039556 DV: Ra (Canola)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,506667	0,022236	22,78576	0,000000	0,454087	0,559247	0,506667	0,022236	0,454087	0,559247
Curvatr.	-0,086667	0,077028	-1,12513	0,297628	-0,268809	0,095476	-0,043333	0,038514	-0,134405	0,047738
(1)Avanço (mm/rot)	0,230000	0,044472	5,17177	0,001293	0,124840	0,335160	0,115000	0,022236	0,062420	0,167580
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,086667	0,044472	-1,94878	0,092333	-0,191827	0,018493	-0,043333	0,022236	-0,095913	0,009247
1 by 2	0,046667	0,044472	1,04934	0,328892	-0,058493	0,151827	0,023333	0,022236	-0,029247	0,075913

Effect Estimates; Var.:Rz (Canola); R-sqr=,79762; Adj.,68197 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,0899532 DV: Rz (Canola)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	2,897083	0,106038	27,32107	0,000000	2,64634	3,147824	2,897083	0,106038	2,646342	3,147824
Curvatr.	-0,514167	0,367328	-1,39975	0,204313	-1,38276	0,354426	-0,257083	0,183664	-0,691380	0,177213
(1)Avanço (mm/rot)	0,970833	0,212077	4,57774	0,002551	0,46935	1,472315	0,485417	0,106038	0,234676	0,736158
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,400833	0,212077	-1,89004	0,100670	-0,90232	0,100649	-0,200417	0,106038	-0,451158	0,050324
1 by 2	0,222500	0,212077	1,04915	0,328976	-0,27898	0,723982	0,111250	0,106038	-0,139491	0,361991

Fonte: O autor (2019).

As análises estatísticas para valores de Ra e Rz do fluido óleo de algodão (Figura 23) os resultados mostraram ser significativo para o parâmetro avanço, este é o parâmetro escolhido para sequência das análises e não significativo para o parâmetro velocidade de corte.

Figura 23 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de algodão.

Effect Estimates; Var.:Ra (Algodao); R-sqr=,78141; Adj.,6565 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,0032012 DV: Ra (Algodao)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,415000	0,020004	20,74614	0,000000	0,367699	0,462301	0,415000	0,020004	0,367699	0,462301
Curvatr.	-0,185000	0,069295	-2,66975	0,032011	-0,348856	-0,021144	-0,092500	0,034647	-0,174428	-0,010572
(1)Avanço (mm/rot)	0,160000	0,040007	3,99926	0,005195	0,065397	0,254603	0,080000	0,020004	0,032699	0,127301
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,050000	0,040007	-1,24977	0,251548	-0,144603	0,044603	-0,025000	0,020004	-0,072301	0,022301
1 by 2	0,023333	0,040007	0,58322	0,578040	-0,071269	0,117936	0,011667	0,020004	-0,035635	0,058968

Effect Estimates; Var.:Rz (Algodao); R-sqr=,68422; Adj.,50377 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,1333063 DV: Rz (Algodao)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	2,506667	0,129086	19,41852	0,000000	2,20143	2,811907	2,506667	0,129086	2,201426	2,811907
Curvatr.	-0,673333	0,447168	-1,50577	0,175846	-1,73072	0,384052	-0,336667	0,223584	-0,865359	0,192026
(1)Avanço (mm/rot)	0,921667	0,258173	3,56996	0,009097	0,31119	1,532148	0,460833	0,129086	0,155593	0,766074
(2)Velocidade de corte (m/min)	0,000000	0,258173	0,00000	1,000000	-0,61048	0,610482	0,000000	0,129086	-0,305241	0,305241
1 by 2	0,101667	0,258173	0,39379	0,705454	-0,50881	0,712148	0,050833	0,129086	-0,254407	0,356074

Fonte: O autor (2019).

Nas análises estatísticas para valores de Ra e Rz do fluido óleo de girassol (Figura 24) os resultados mostraram ser significativo para o parâmetro avanço, parâmetro este escolhido para sequência das análises e não significativo para o parâmetro velocidade de corte.

Figura 24 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de girassol.

Effect Estimates; Var.:Ra (Girassol); R-sqr=,96889; Adj.,95112 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,0016567 DV: Ra (Girassol)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,555833	0,014391	38,62439	0,000000	0,521805	0,589862	0,555833	0,014391	0,521805	0,589862
Curvatr.	-0,006667	0,049851	-0,13373	0,897378	-0,124545	0,111212	-0,003333	0,024925	-0,062273	0,055606
(1)Avanço (mm/rot)	0,420000	0,028781	14,59272	0,000002	0,351943	0,488057	0,210000	0,014391	0,175971	0,244029
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,061667	0,028781	-2,14258	0,069369	-0,129724	0,006391	-0,030833	0,014391	-0,064862	0,003195
1 by 2	-0,020000	0,028781	-0,69489	0,509524	-0,088057	0,048057	-0,010000	0,014391	-0,044029	0,024029

Effect Estimates; Var.:Rz (Girassol); R-sqr=,9736; Adj.,95851 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,0315532 DV: Rz (Girassol)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	3,212917	0,062802	51,15910	0,000000	3,06441	3,361421	3,212917	0,062802	3,064412	3,361421
Curvatr.	-0,989167	0,217554	-4,54676	0,002646	-1,50360	-0,474733	-0,494583	0,108777	-0,751800	-0,237367
(1)Avanço (mm/rot)	1,924167	0,125605	15,31920	0,000001	1,62716	2,221175	0,962083	0,062802	0,813579	1,110588
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,125833	0,125605	-1,00182	0,349797	-0,42284	0,171175	-0,062917	0,062802	-0,211421	0,085588
1 by 2	-0,167500	0,125605	-1,33355	0,224109	-0,46451	0,129508	-0,083750	0,062802	-0,232254	0,064754

Fonte: O autor (2019).

Para as análises estatísticas para valores de Ra e Rz do fluido QuimaticJet (Figura 25) os resultados mostraram ser significativo para o parâmetro avanço, este também será o parâmetro escolhido para sequência das análises e não significativo para o parâmetro velocidade de corte.

Figura 25 - Resultados da rugosidade Ra e Rz para o fluido óleo de QuimaticJet.

Effect Estimates; Var.:Ra (QuimaticJet); R-sqr=,97916; Adj:,96726 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,0007996 DV: Ra (QuimaticJet)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,455000	0,009998	45,51129	0,000000	0,431360	0,478640	0,455000	0,009998	0,431360	0,478640
Curvatr.	-0,335000	0,034632	-9,67302	0,000027	-0,416893	-0,253107	-0,167500	0,017316	-0,208446	-0,126554
(1)Avanço (mm/rot)	0,303333	0,019995	15,17043	0,000001	0,256053	0,350614	0,151667	0,009998	0,128026	0,175307
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,045000	0,019995	-2,25056	0,059149	-0,092281	0,002281	-0,022500	0,009998	-0,046140	0,001140
1 by 2	-0,008333	0,019995	-0,41677	0,689330	-0,055614	0,038947	-0,004167	0,009998	-0,027807	0,019474

Effect Estimates; Var.:Rz (QuimaticJet); R-sqr=,93172; Adj:,8927 (Planilha Dados Julian) 2**(2-0) design; MS Residual=,0614067 DV: Rz (QuimaticJet)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	2,64375	0,087612	30,17570	0,000000	2,43658	2,850919	2,643750	0,087612	2,43658	2,850919
Curvatr.	-1,67250	0,303496	-5,51077	0,000896	-2,39016	-0,954845	-0,836250	0,151748	-1,19508	-0,477422
(1)Avanço (mm/rot)	1,39917	0,175224	7,98503	0,000092	0,98483	1,813505	0,699583	0,087612	0,49241	0,906753
(2)Velocidade de corte (m/min)	-0,10250	0,175224	-0,58497	0,576931	-0,51684	0,311838	-0,051250	0,087612	-0,25842	0,155919
1 by 2	0,17917	0,175224	1,02250	0,340574	-0,23517	0,593505	0,089583	0,087612	-0,11759	0,296753

Fonte: O autor (2019).

Em função das rugosidades Ra e Rz, buscou-se identificar qual dos óleos estudados teve o melhor desempenho nesta pesquisa. Uma das formas de avaliar qual dos fluidos realmente teve influência na pesquisa, é por intermédio da interferência estatística com utilização de testes de hipóteses. Sendo assim, utilizou-se o Teste Tukey para analisar, para cada um dos óleos, a rugosidade Ra e Rz, através do valor da média entre os pontos 1, 2 e 3, levando-se em consideração o valor no qual apresentou a combinação estabelecida anteriormente, combinação esta como sendo a maior velocidade e a menor vazão de cada um dos fluidos analisados.

As médias são representadas na Figura 26.

Figura 26 - Valor das médias da rugosidade Ra e Rz.

Planilha de coleta de dados														
Aço inoxidável martensítico CA6NM									Rugosidade					
Suporte Mitsubishi BRP6P040A03R, Inserto Mitsubishi RPMW1204M0TVP15TF									Ra			Rz		
Experimento	Velocidade	Avanço	Progr.Rel.	Vazão	Fluido	ap	ae	RPM	μm			μm		
n°	m/min	mm/rot	vel x avan	l/h	Tipo	mm	mm		Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 1	Pto 2	Pto 3
5	200	0,2	424	540	B 90 - 1	0,5	25	2123	0,38	0,42	0,42	2,12	2,31	2,30
6	200	0,2	424	540	B 90 - 1	0,5	25	2123	0,44	0,43	0,46	2,54	2,67	2,88
17	200	0,2	424	100	Soja - 2	0,5	25	2123	0,20	0,24	0,29	1,28	1,58	1,75
18	200	0,2	424	100	Soja - 2	0,5	25	2123	0,27	0,28	0,28	1,67	1,72	1,77
29	200	0,2	424	100	Milho - 3	0,5	25	2123	0,29	0,29	0,32	1,85	1,86	2,03
30	200	0,2	424	100	Milho - 3	0,5	25	2123	0,29	0,29	0,29	1,98	1,78	1,81
41	200	0,2	424	100	Canola - 4	0,5	25	2123	0,32	0,31	0,28	2,09	2,16	1,89
42	200	0,2	424	100	Canola - 4	0,5	25	2123	0,35	0,35	0,34	2,19	2,19	2,08
53	200	0,2	424	100	Algodão - 5	0,5	25	2123	0,30	0,27	0,27	2,01	1,81	1,81
54	200	0,2	424	100	Algodão - 5	0,5	25	2123	0,46	0,24	0,25	3,06	1,54	1,74
65	200	0,2	424	100	Girassol - 6	0,5	25	2123	0,32	0,33	0,32	2,22	2,27	2,23
66	200	0,2	424	100	Girassol - 6	0,5	25	2123	0,32	0,28	0,38	2,27	2,02	2,62
77	200	0,2	424	100	QuimaticJet - 7	0,5	25	2123	0,38	0,22	0,31	2,21	1,41	1,92
78	200	0,2	424	100	QuimaticJet - 7	0,5	25	2123	0,29	0,22	0,29	1,81	1,65	1,82

Ra	Rz
Média	Média
pto 1,2,3	pto 1,2,3
0,4067	2,2433
0,4433	2,6967
0,2433	1,5367
0,2767	1,7200
0,3000	1,9133
0,2900	1,8567
0,3033	2,0467
0,3467	2,1533
0,2800	1,8767
0,3167	2,1133
0,3233	2,2400
0,3267	2,3033
0,3033	1,8467
0,2667	1,7600

Fonte: O autor (2019).

Na Figura 27, mostra-se estas médias lançadas no *software* para análise do teste Tukey, onde os óleos são representados como sendo Tipo Óleo 1 – B90, Tipo Óleo 2 – Soja, Tipo Óleo 3 – Milho, Tipo Óleo 4 – Canola, Tipo Óleo 5 – Algodão, Tipo Óleo 6 – Girassol, Tipo Óleo 7 – QuimaticJet.

Figura 27 - Dados para o teste Tukey.

	1 Tipo Óleo	2 Ra	3 Rz
1	1	0,406	2,243
2	2	0,243	1,537
3	3	0,3	1,913
4	4	0,303	2,047
5	5	0,28	2,877
6	6	0,323	2,24
7	7	0,303	1,84
8	1	0,443	2,697
9	2	0,276	1,72
10	3	0,29	1,857
11	4	0,346	2,153
12	5	0,316	2,113
13	6	0,326	2,303
14	7	0,266	1,76

Fonte: O autor (2019).

A seguir, são representados os resultados do teste Tukey para a rugosidade Ra.

Figura 28 - Resultados da rugosidade Ra para o teste Tukey.

Tukey HSD test; variable Ra (Spreadsheet1)								
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests								
Error: Between MS = ,00051, df = 7,0000								
Cell No.	Tipo Oleo	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		,42450	,25950	,29500	,32450	,29800	,32450	,28450
1	1		0,001837	0,007300	0,028813	0,008319	0,028813	0,004697
2	2	0,001837		0,699309	0,180087	0,630107	0,180087	0,905971
3	3	0,007300	0,699309		0,828514	0,999999	0,828514	0,998629
4	4	0,028813	0,180087	0,828514		0,882651	1,000000	0,595582
5	5	0,008319	0,630107	0,999999	0,882651		0,882651	0,994660
6	6	0,028813	0,180087	0,828514	1,000000	0,882651		0,595582
7	7	0,004697	0,905971	0,998629	0,595582	0,994660	0,595582	

Fonte: O autor (2019).

De acordo com os resultados obtidos, na medida que se comparam todos os óleos utilizados como fluido de corte, observa-se que para a rugosidade Ra, somente o óleo B90 mostrou diferenças significativas em relação aos demais óleos.

Ou seja, ao comparar o óleo 1 com óleo 2, o resultado mostra diferença significativa, sendo assim para todas as demais combinações do óleo 1 com os óleos 3, 4, 5, 6 e 7. E ao comparar os demais óleos entre si, o resultado mostra não haver diferença significativa.

Então, por esta análise, o fluido B90, aplicado aqui pelo processo em abundância, não seria a escolha preferencial para garantir a menor viscosidade superficial. Já os demais fluidos de corte aplicados nesta pesquisa pelo processo em MQL teriam os melhores resultados para garantir a menor viscosidade superficial.

Acredita-se que o ruim desempenho do fluido B90 se deu em função de sua dificuldade de trocar calor, que dificultou a refrigeração do processo, pela viscosidade, que não proporciona uma boa aderência na superfície e conseqüente não lubrificação e ao método de aplicação do fluido por não ser pressurizado e sim por jorro.

Já para os demais óleos (soja, milho, canola, algodão, girassol e Quimatijet), não apresentaram diferença significativa com nenhum óleo, exceto o B90, então estes poderiam ser usados no processo por suas capacidades de troca de calor, das suas viscosidades serem capazes de garantir uma boa aderência na superfície da peça com lubrificação adequada e terem um consumo pequeno por aplicação em MQL.

Mas para definir qual poderia ser o melhor, para ser utilizado, poderia avaliar-se outras premissas, como por exemplo, custo de aquisição do óleo, disponibilidade no mercado e demais custos envolvidos no processo de fresamento.

Sendo assim, observam-se na Tabela 1 os resultados dos Testes Tukey para as hipóteses testadas entre a rugosidade Ra.

Tabela 1 - Teste Tukey para os fluidos – Rugosidade Ra.

Tratamentos	Médias	Resultado das comparações
B90	0,42450 a1	Houve diferença significativa
Soja	0,25950 a2	Não houve diferença significativa
Milho	0,29500 a2	Não houve diferença significativa
Canola	0,32450 a2	Não houve diferença significativa
Algodão	0,29800 a2	Não houve diferença significativa
Girassol	0,32450 a2	Não houve diferença significativa
QuimaticJet	0,28450 a2	Não houve diferença significativa

Fonte: O autor (2019).

A seguir, são representados os resultados do Teste Tukey para a rugosidade Rz.

Figura 29 - Resultados da rugosidade Rz para o teste Tukey.

Tukey HSD test; variable Rz (Planilha Dados Teste t)								
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests								
Error: Between MS = ,06057, df = 7,0000								
Cell No.	Tipo Oleo	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		2,4700	1,6285	1,8850	2,1000	2,4950	2,2715	1,8000
1	1		0,095515	0,326366	0,737572	1,000000	0,976570	0,219652
2	2	0,095515		0,927294	0,526051	0,084584	0,249708	0,988502
3	3	0,326366	0,927294		0,966082	0,291193	0,703484	0,999749
4	4	0,737572	0,526051	0,966082		0,685680	0,988502	0,867173
5	5	1,000000	0,084584	0,291193	0,685680		0,959628	0,194851
6	6	0,976570	0,249708	0,703484	0,988502	0,959628		0,526051
7	7	0,219652	0,988502	0,999749	0,867173	0,194851	0,526051	

Fonte: O autor (2019).

De acordo com os resultados obtidos, na medida que comparamos todos os óleos utilizados como fluido de corte, observa-se que para as rugosidades Rz, não mostraram diferenças significativas quando comparadas entre si então, para este parâmetro, nenhum dos óleos se sobressaiu aos demais.

Na Tabela 2, observaram-se os resultados dos testes Tukey para as hipóteses testadas entre a rugosidade Rz.

Tabela 2 - Teste Tukey para os fluidos – Rugosidade Rz.

Tratamentos	Médias	Resultado das comparações
B90	2,4700 a1	Não houve diferença significativa
Soja	1,6285 a1	Não houve diferença significativa
Milho	1,8850 a1	Não houve diferença significativa
Canola	2,1000 a1	Não houve diferença significativa
Algodão	2,4950 a1	Não houve diferença significativa
Girassol	2,2715 a1	Não houve diferença significativa
QuimaticJet	1,8000 a1	Não houve diferença significativa

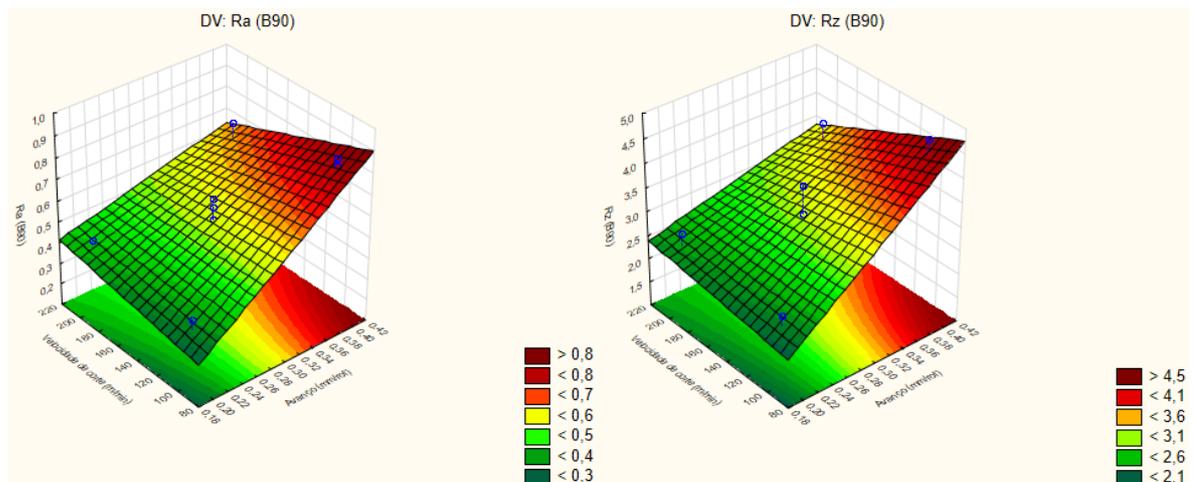
Fonte: O autor (2019).

4.3 Superfícies de resposta

A seguir são apresentados graficamente nas Figuras 30 a 36 as superfícies de resposta obtidas através da ação conjunta dos parâmetros de corte (velocidade e avanço) e dos fluidos sobre as rugosidades (Ra e Rz).

Nota-se nas superfícies de respostas, de uma maneira geral, que o aumento do avanço na menor velocidade resulta em uma pior superfície. Isso explica o fato de que aumentando o avanço, há maior contribuição geométrica e pelo material ser de difícil usinagem, com velocidade menor, ocorre uma diminuição da temperatura de cisalhamento, o que aumenta as forças de usinagem, piorando o acabamento.

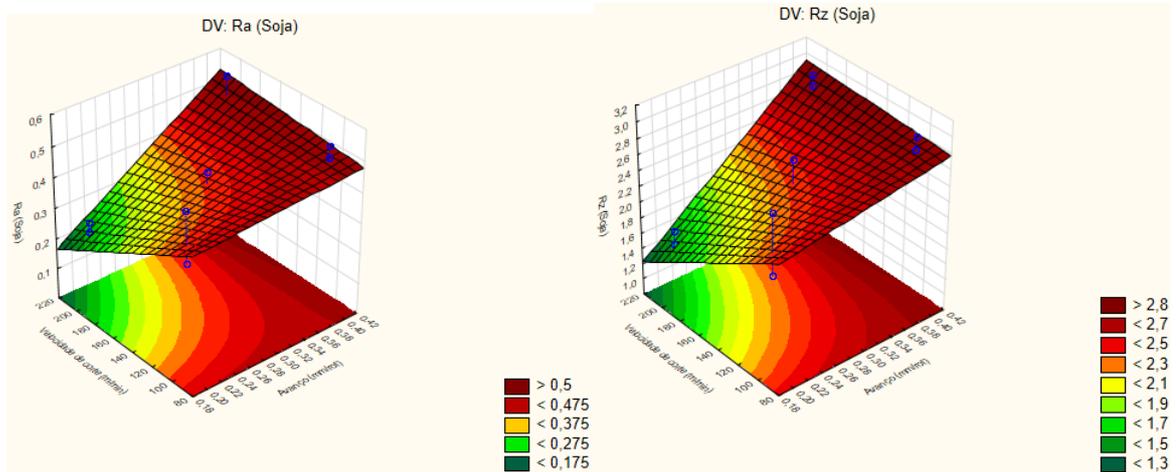
Figura 30 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo B90.



Fonte: O autor (2019).

Na Figura 30, para Ra na melhor condição de usinagem ($v_c = 200\text{m/min}$ e $a_v = 0,2\text{mm/rot}$) o valor é de $< 0,4$, próximo de $< 0,5$.

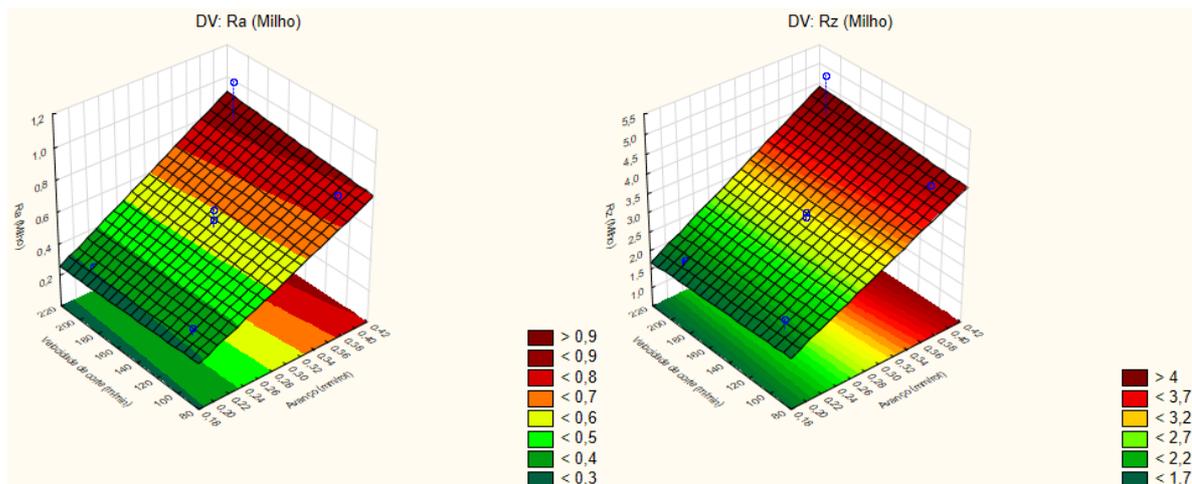
Figura 31 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo de soja.



Fonte: O autor (2019).

Na Figura 31, para Ra na melhor condição de usinagem ($v_c = 200\text{m/min}$ e $a_v = 0,2\text{mm/rot}$) o valor é de $< 0,275$.

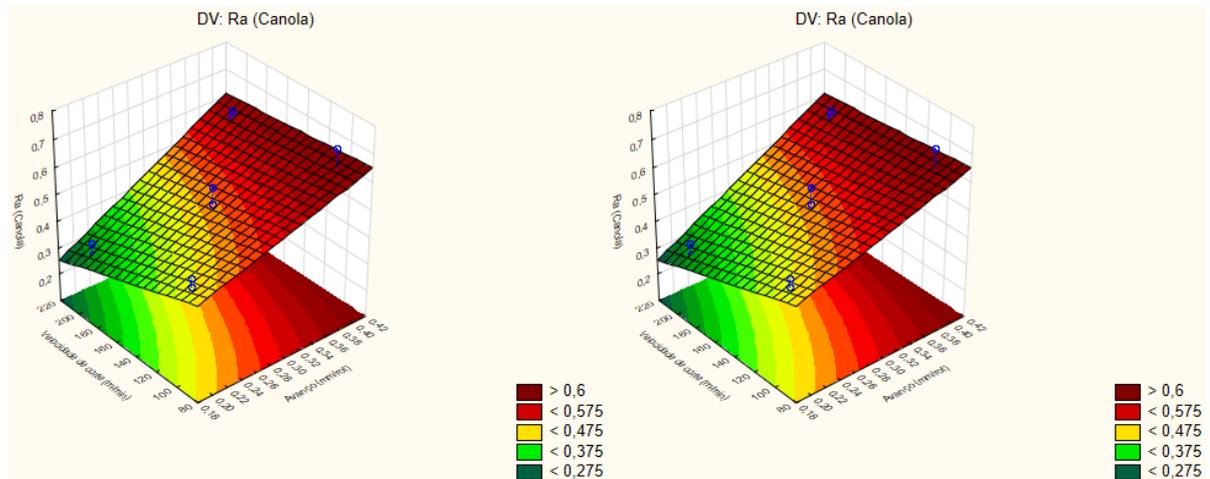
Figura 32 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo milho.



Fonte: O autor (2019).

Na Figura 32, para Ra na melhor condição de usinagem ($v_c = 200\text{m/min}$ e $a_v = 0,2\text{mm/rot}$) o valor é de $< 0,3$.

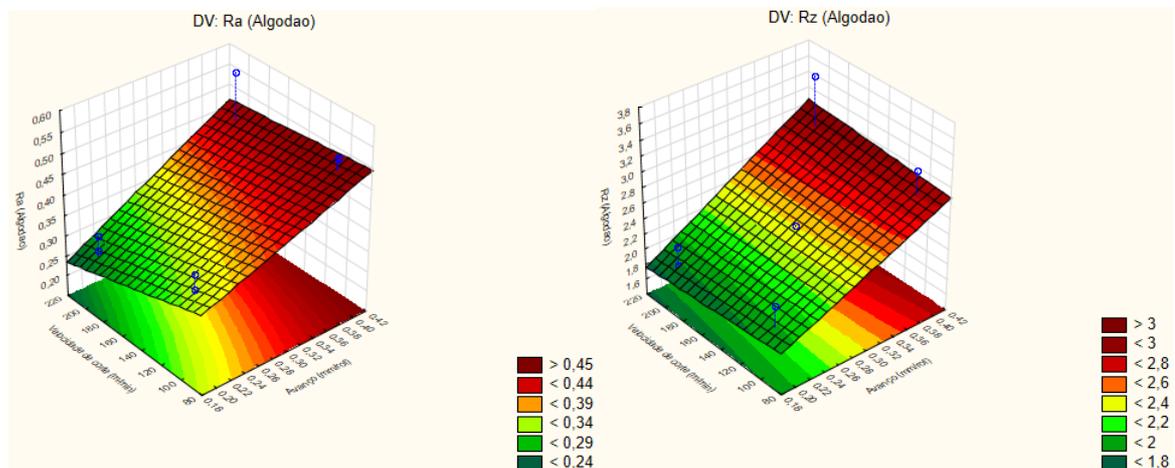
Figura 33 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo de canola.



Fonte: O autor (2019).

Na Figura 33, para Ra na melhor condição de usinagem ($vc= 200\text{m/min}$ e $av= 0,2\text{mm/rot}$) o valor é de $< 0,375$, próximo de $< 0,275$.

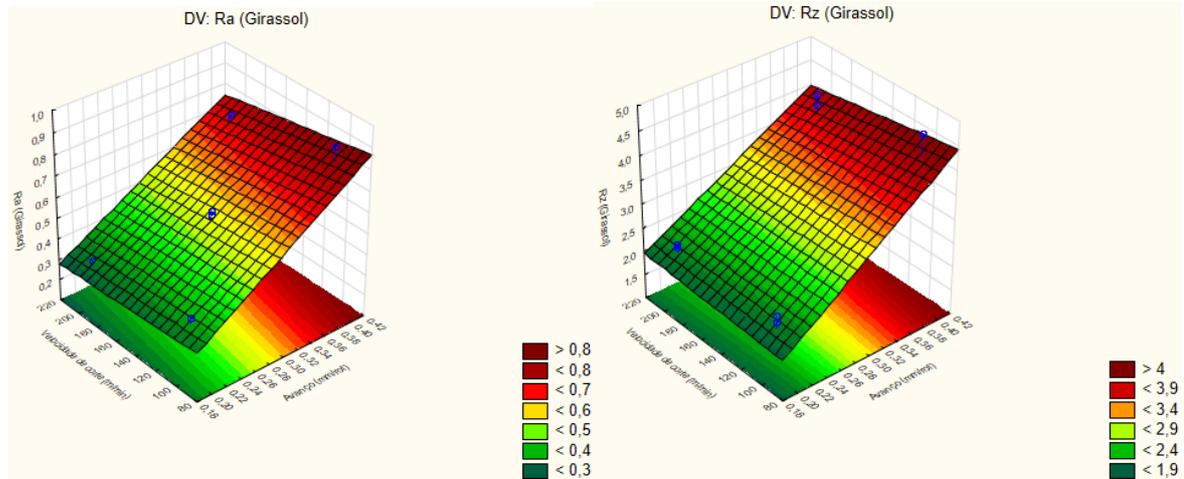
Figura 34 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo algodão.



Fonte: O autor (2019).

Na Figura 34, para Ra na melhor condição de usinagem ($vc= 200\text{m/min}$ e $av= 0,2\text{mm/rot}$) o valor é de $< 0,29$.

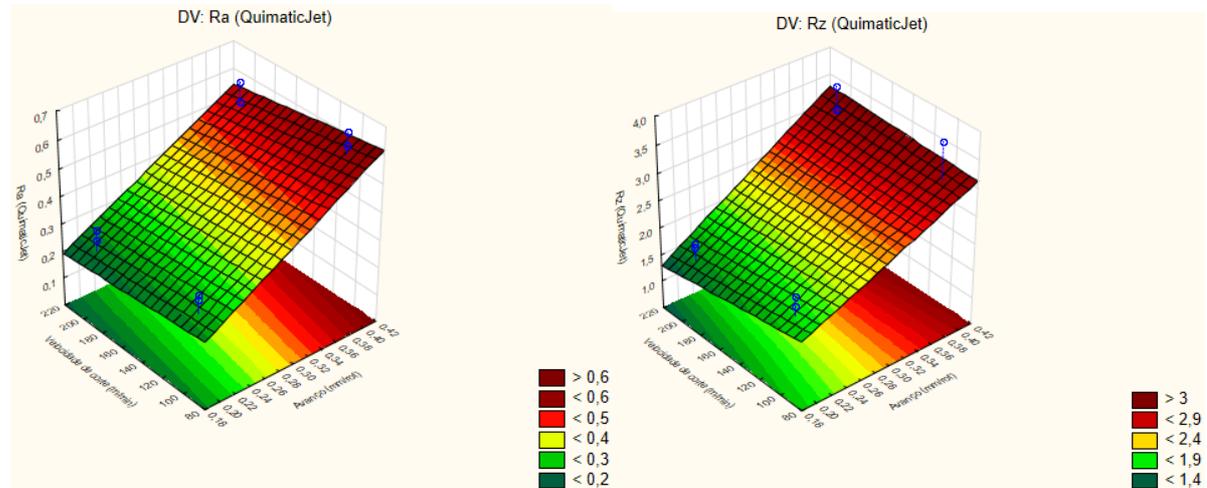
Figura 35 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo de girassol.



Fonte: O autor (2019).

Na Figura 35, para Ra na melhor condição de usinagem ($vc= 200\text{m/min}$ e $av= 0,2\text{mm/rot}$) o valor é de $< 0,3$.

Figura 36 - Velocidade e avanço nas rugosidades superficiais Ra e Rz com óleo QuimaticJet.



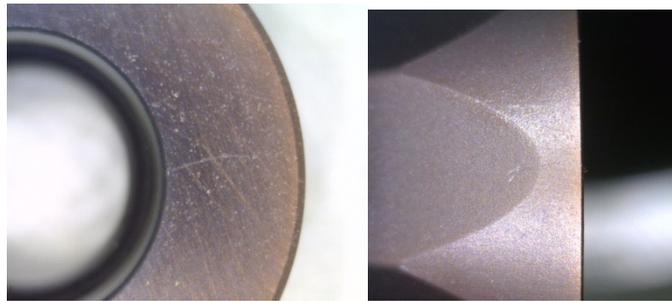
Fonte: O autor (2019).

Na Figura 36, para Ra na melhor condição de usinagem ($vc= 200\text{m/min}$ e $av= 0,2\text{mm/rot}$) o valor é de $< 0,2$.

4.4 Análise no efeito dos experimentos no inserto utilizado

Nesta pesquisa, os experimentos realizados mostraram que os óleos de soja, milho, canola, algodão, girassol e QuimaticJet, poderiam ser utilizados por não apresentarem diferença significativa, somente ocorrendo diferença com o fluido B90. Então, para definir o melhor óleo a ser utilizado, analisou-se o desgaste do inserto no processo de fresamento realizado. Para isso, foram feitos registros fotográficos e dimensionais nos insertos utilizados nos experimentos. As figuras mostram registros de uma das arestas de um dos insertos antes (Figura 37) e após (Figura 38) o seu uso. Para cada experimento foi utilizado uma aresta diferente.

Figura 37 - Inserto utilizado nos experimentos - novo.



Fonte: O autor (2019).

Figura 38 - Inserto utilizado nos experimentos – após o uso.

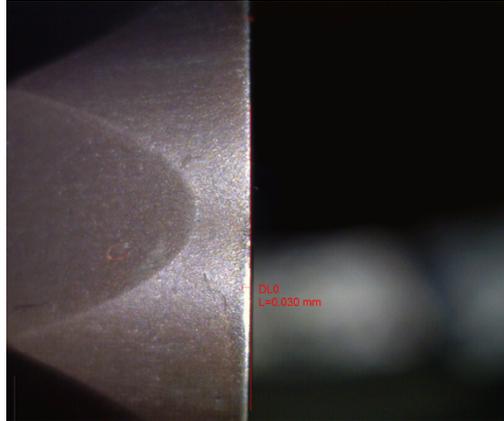


Fonte: O autor (2019).

Nota-se através das imagens que, para todas as situações, não houve desgaste do inserto no ponto de contato com a peça usinada. Somente ocorreu em alguns o desgaste de flanco que ocorre na superfície de folga do inserto, causado pelo contato entre o inserto e a

peça, sendo este o tipo mais comum de desgaste, ainda se verificou que nenhuma das medidas de desgaste de flanco chegou ao valor de 0,1 mm, conforme mostra a Figura 39.

Figura 39 - Inseto com medida do desgaste de flanco.



Fonte: O autor (2019).

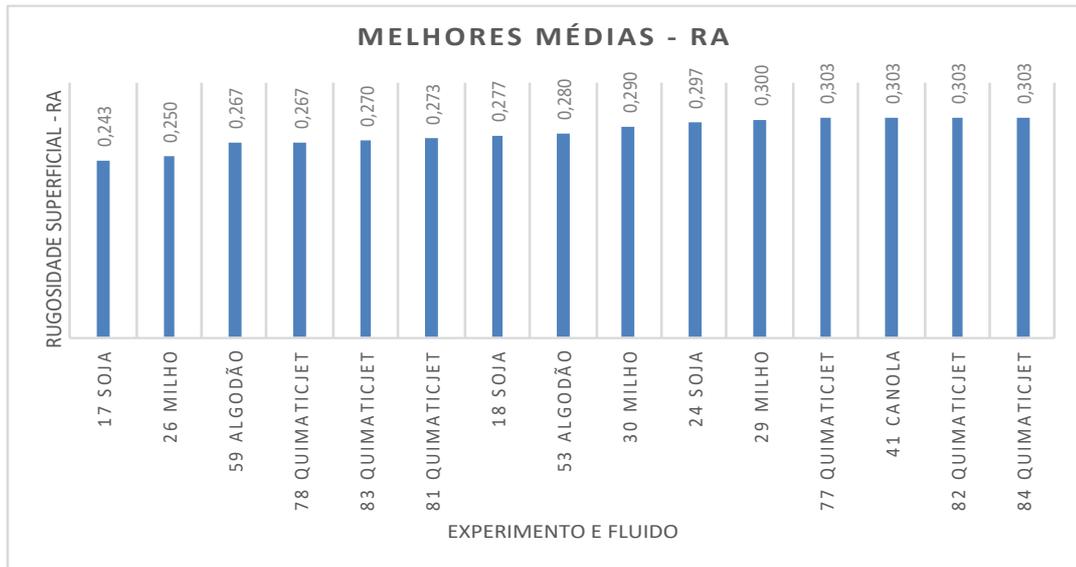
4.5 Análise Média de Rugosidade (Ra)

Com o objetivo de avaliar o comportamento da média dos valores da rugosidade (Ra), para o plano experimental, que foram obtidas nos ensaios, foi feita a comparação destas médias, utilizando o *software* Excel (Microsoft).

Este comparativo foi feito de três maneiras distintas e, com base nos resultados buscados para verificar quais foram os desempenhos obtido pelos fluídos lubrificantes. O gráfico mostra as melhores médias do valor Ra.

Após, são apresentados as análises deste método.

Gráfico 4 - Melhores médias com relação ao experimento e o fluido.



Fonte: O autor (2019).

4.5.1 Análise desempenho dos fluidos de corte em relação ao acabamento superficial (rugosidade) através das médias calculadas

Para analisar, através das médias, o desempenho dos fluidos na rugosidade utilizou-se o *software*. Onde, para isso, foi adotado o seguinte procedimento. Para o valor da rugosidade Ra, foi calculada a média dos 3 (três) pontos coletados para cada combinação de parâmetros de corte de cada óleo. Em seguida ordenou-se de forma crescente o resultado obtido na média. Então analisou-se, em três formas distintas para verificar os desempenhos obtidos pelos fluidos lubrificantes.

O primeiro método de análise verificou, conforme o Quadro 8 que os três primeiros fluidos que obtiveram as médias mais baixas, foram o óleo de soja com $Ra = 0,24 \mu m$ para velocidade de 200 m/min, avanço de 0,2 mm/rot. O óleo de milho com $Ra = 0,25 \mu m$ para velocidade de 100 m/min, avanço de 0,2 mm/rot. Já no terceiro valor de rugosidade ficaram os óleos de algodão com $Ra = 0,27 \mu m$ para velocidade de 150 m/min, avanço de 0,3 mm/rot. e QuimaticJet, este último com três condições distintas de parâmetros, com $Ra = 0,27 \mu m$ para velocidade de 200 m/min, avanço de 0,2 mm/rot, para velocidade de 150 m/min, avanço de 0,3 mm/rot, considerando uma repetição do ponto central.

Quadro 8 - Três melhores colocados pela análise das médias da rugosidade Ra.

Planilha de coleta de dados								
Aço inoxidável martensítico CA6NM						Rugosidade		
Ra	Suporte Mitsubishi BRP6P040A03R, Inserto Mitsubishi					Ra		
Média	Experimento	Velocidade	Avanço	Vazão	Fluido	μm		
pto 1,2,3	n°	m/min	mm/rot	l/h	Tipo	Pto 1	Pto 2	Pto 3
0,24	17	200	0,2	100	Soja	0,20	0,24	0,29
0,25	26	100	0,2	100	Milho	0,25	0,28	0,22
0,27	59	150	0,3	100	Algodão	0,25	0,27	0,28
0,27	78	200	0,2	100	QuimaticJet	0,29	0,22	0,29
0,27	83	150	0,3	100	QuimaticJet	0,30	0,26	0,25
0,27	81	150	0,3	100	QuimaticJet	0,30	0,25	0,27

Fonte: O autor (2019).

No segundo método de análise pode-se ver que nos 15 (quinze) primeiros resultados, ou seja, os quinze valores mais baixos de média de rugosidade, alguns dos óleos estudados tiveram repetições, ou seja, entre os quinze primeiros resultados estão aparecendo mais de uma vez entre estes resultados, segundo Quadro 9. Neste contexto, o fluido QuimaticJet foi o que mais apareceu entre estes resultados, sendo totalizado, 06 (seis) vezes entre as quinze primeiras. A melhor situação de usinagem foi com média de $Ra= 0,27 \mu\text{m}$, com velocidade de corte de 200 m/min e avanço de 0,2 mm/rot. Em segundo lugar, por número de aparições estão os óleos de soja, com a melhor situação de usinagem com média de $Ra= 0,24 \mu\text{m}$, com velocidade de corte de 200 m/min e avanço de 0,2 mm/rot. e milho, com a melhor situação de usinagem com média de $Ra= 0,25 \mu\text{m}$, com velocidade de corte de 100 m/min e avanço de 0,2 mm/rot., sendo que por 3 (três) vezes cada, apareceram entre os quinze. Seguidos por algodão (duas vezes), canola (uma vez) e ainda com o óleo de girassol e B90, sem aparições entre os quinze primeiros.

Quadro 9 - Quinze melhores colocados pela análise das médias da rugosidade Ra.

Planilha de coleta de dados								
Aço inoxidável martensítico CA6NM						Rugosidade		
Ra	Suporte Mitsubishi BRP6P040A03R, Inserto Mitsubishi					Ra		
Média	Experimento	Velocidade	Avanço	Vazão	Fluido	m		
pto 1,2,3	n°	m/min	mm/rot	l/h	Tipo	Pto 1	Pto 2	Pto 3
0,24	17	200	0,2	100	Soja	0,20	0,24	0,29
0,25	26	100	0,2	100	Milho	0,25	0,28	0,22
0,27	59	150	0,3	100	Algodão	0,25	0,27	0,28
0,27	78	200	0,2	100	QuimaticJet	0,29	0,22	0,29
0,27	83	150	0,3	100	QuimaticJet	0,30	0,26	0,25
0,27	81	150	0,3	100	QuimaticJet	0,30	0,25	0,27
0,28	18	200	0,2	100	Soja	0,27	0,28	0,28
0,28	53	200	0,2	100	Algodão	0,30	0,27	0,27
0,29	30	200	0,2	100	Milho	0,29	0,29	0,29
0,30	24	150	0,3	100	Soja	0,31	0,28	0,30
0,30	29	200	0,2	100	Milho	0,29	0,29	0,32
0,30	77	200	0,2	100	QuimaticJet	0,38	0,22	0,31
0,30	41	200	0,2	100	Canola	0,32	0,31	0,28
0,30	82	150	0,3	100	QuimaticJet	0,28	0,34	0,29
0,30	84	150	0,3	100	QuimaticJet	0,33	0,28	0,30

Fonte: O autor (2019).

Ainda no Quadro 10, podemos verificar o terceiro método de análise adotado. Para este método, atribuiu-se valores (pontuação) conforme a classificação que cada óleo obteve, considerando os primeiros 15 (quinze), com relação a média Ra. Os pontos foram atribuídos de forma decrescente, partindo de 15 (quinze) para o óleo com melhor média, até 1 (um) para a pior média. Para esta análise os resultados foram os seguintes: fluido QuimaticJet o que mais pontos obteve, totalizando 40 pontos, óleo de soja, somando 30 pontos, óleo de milho obtendo 26 pontos, óleo de algodão com 21 pontos e o óleo de canola com 3 pontos. Já os óleos B90 girassol, não obtiveram pontuação nesta análise.

Quadro 10 – Pontuação atribuída aos melhores colocados pela análise das médias da rugosidade Ra.

		Planilha de coleta de dados								
		Aço inoxidável martensítico CA6NM					Rugosidade			
		Ra	Suporte Mitsubishi BRP6P040A03R, Inserto Mitsubishi					Ra		
Ptos	Média	Experimento	Velocidade	Avanço	Vazão	Fluido	m			
Atribuídos	pto 1,2,3	n°	m/min	mm/rot	l/h	Tipo	Pto 1	Pto 2	Pto 3	
15	0,24	17	200	0,2	100	Soja	0,20	0,24	0,29	
14	0,25	26	100	0,2	100	Milho	0,25	0,28	0,22	
13	0,27	59	150	0,3	100	Algodão	0,25	0,27	0,28	
12	0,27	78	200	0,2	100	QuimaticJet	0,29	0,22	0,29	
11	0,27	83	150	0,3	100	QuimaticJet	0,30	0,26	0,25	
10	0,27	81	150	0,3	100	QuimaticJet	0,30	0,25	0,27	
9	0,28	18	200	0,2	100	Soja	0,27	0,28	0,28	
8	0,28	53	200	0,2	100	Algodão	0,30	0,27	0,27	
7	0,29	30	200	0,2	100	Milho	0,29	0,29	0,29	
6	0,30	24	150	0,3	100	Soja	0,31	0,28	0,30	
5	0,30	29	200	0,2	100	Milho	0,29	0,29	0,32	
4	0,30	77	200	0,2	100	QuimaticJet	0,38	0,22	0,31	
3	0,30	41	200	0,2	100	Canola	0,32	0,31	0,28	
2	0,30	82	150	0,3	100	QuimaticJet	0,28	0,34	0,29	
1	0,30	84	150	0,3	100	QuimaticJet	0,33	0,28	0,30	

Fonte: O autor (2019).

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais e análises realizadas as seguintes conclusões foram obtidas:

Ao analisar os parâmetros de corte, como a velocidade e o avanço, e seus efeitos diante dos diferentes fluidos de corte, conclui-se que, ao se aumentar da velocidade de corte, resulta numa diminuição da rugosidade, devido a uma redução da resistência do material em altas temperaturas. Já a rugosidade para o parâmetro avanço, os resultados mostraram que quanto menor o avanço melhor serão os resultados de rugosidades, no caso, valores de rugosidade menor.

As condições de acabamento da superfície usinada, por variação dos parâmetros de corte na velocidade e no avanço, não se mostraram ser diferentes através das diferenças dos fluidos de corte. Pois, o fluido de base sintética mostrou-se capaz de utilização tanto quanto os óleos vegetais, sendo somente diferenciado o óleo mineral biodegradável.

Já quanto a forma de aplicação dos fluidos refrigerantes, conforme os resultados obtidos dos experimentos, mostraram ter diferença. Ou seja, para os fluidos aplicados em MQL houve uma medição de rugosidade inferior a medição de rugosidade do fluido aplicado em jorro, para as mesmas condições de corte. E por isso pode-se definir como o melhor sistema de aplicação o sistema MQL sobre o sistema em jorro.

Para a análise das médias da rugosidade R_a , no entanto, foram três os óleos que se mostraram com melhores valores, estes com R_a inferiores a $0,27 \mu\text{m}$, sendo eles os óleos de soja e milho, e ainda, o fluido QuimaticJet. Sendo então indicado a utilização do fluido QuimaticJet, este por ser um fluido a base vegetal com propriedades menos nocivas ao meio ambiente.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas sugestões de pesquisa que podem dar continuidade ao trabalho.

Fazer uma avaliação da vibração gerada para as mesmas condições experimentais desta pesquisa.

Avaliar os efeitos dos parâmetros de corte utilizados no trabalho sobre o desgaste da ferramenta de corte.

Realizar experimentos de longa duração no intuito de analisar a vida de ferramenta nas mesmas condições de usinagem analisadas neste estudo.

Para o mesmo material utilizado nesta pesquisa, verificar se a diferença de corridas de fundição é passível de mudança nos resultados encontrados.

7 REFERÊNCIAS

AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A743/ ASTM A7473M**: Castings, Iron- Chromium, Iron- Chromium- Nickel, Corrosion. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS)- Rugosidade: método do perfil- Termos, definições e parâmetros de rugosidade. 2002.

AGRAWAL, S. M.; PATIL, N. G. Experimental study of non edible vegetable oil as a cutting fluid in machining of M2 Steel using MQL. **2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering**, p. 207-212, 2018.

ASADAUSKAS, S.; ERHAN, S. Z. **Lubricant base stocks from vegetable oil. Industrial Crops and products**. v. 11, n. 2-3, p. 277-282, 2000.

BARADIE, M. A. **Cutting fluids: Part I. Characterization**. Journal of Materials Processing Technology 56, 786-797. Dublin, 1996.

BATISTA, E. et al. Liquid-Liquid Equilibrium for Systems of Canola Oil, Oleic Acid, and Short - Chain Alcohols. **J. Chem. Eng. Data**. v. 44, n. 6, 1999.

BLACK, J. T. "Introduction to machining processes". **Metals handbook: machining**. 9. Ed. Nova York: ASM International, 1995.

BRAGA, D. et al. Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminium-silicon alloy. **Journal of Materials Processing Technology**. v. 122. p. 127-138, 2002.

CAMPANELLA, A. **Lubricants from chemically modified vegetable oils**. Bioresource Technology, v. 101, n. 1, p. 245-254, 2010.

CHETAN. et al. Application of nanofluids during minimum quantity lubrication: A case study in turning process. **Tribology International**. n. 101, p. 234-246, 2016.

CLARENS, A. F. et al. Comparison of life cycle emissions and energy consumption for environmentally adapted metalworking fluid systems. **Environmental Science & Technology**. v. 42, p. 8534-8540, 2008.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA LIMPA (CNTL/SENAI/RS). **Resíduos Perigosos**. Informativo CNTL/SENAI. Ano 7 n53. Junho/julho, 2008.

DEBNATH, S. et al. Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on surface roughness and tool wear in turning process using Taguchi method. **Measurement**, v. 78, p. 111-119, 2015.

DOOR, J. New perspectives in dry machining. **In: 4 Seminário Internacilnal de Alta Tecnologia - Inovações Tecnológicas na Manufatura para o Ano de 2000**, Piracicaba, São Paulo, UNIMEP, 1999.

DUCHOSAL A. et al. An experimental investigation on oil mist characterization used in MQL milling process. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 66, p. 1003-1014, 2012.

ERHAN, S. Z. Oxidation and low temperature stability of vegetable oil-based lubricants. **Industrial Crops and Products**, v. 24, n. 7, 2006.

EISENTRAEGER, A. et al. Biodegradability testing of synthetic ester lubricants - effects of additives and usage. **Chemosphere**. v. 48, p. 89-96, 2002.

FARIA, A. et al. **Estudo da Estabilidade Térmica de Óleos e Gorduras Vegetais por TG/DTG e DTA**. Ed. Quim, São Paulo, v. 27, p. 111-119, 2002.

FERNANDES, U. B. **Análise de métodos de lubrefrigeração aplicados no processo de retificação cilíndrica interna de mergulho em aços endurecidos**. Tese de Doutorado. UNESP. 2007.

FRATILA, C.; CAIZAR, C. Application of Taguchi method to selection of optimal lubrication and cutting conditions in face milling of AlMg3. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 640-645, 2010.

GAJRANI, K. K. et al. Hard machining performance of indigenously developed green cutting fluid using flood cooling and minimum quantity cutting fluid. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 108-123. 2018.

GHARAIBEH, N. Vegetable and Mineral Used Oils as Cutting Fluids: Effect on Surface Roughness of Aluminum Alloy. **Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology**. v. 6, p. 176-182, 2016.

GONZALES, G. S.; CUPINI, N. L. Aspectos Metalúrgicos na Avaliação de Acabamento da superfície usinada de Aço SARE 12L14 Submetido a Crescentes Graus de Encruamento por Trefilação. **In: 47º Congresso Anual da ABM**. Belo Horizonte. 1992.

GRACIOSO, J. F. F. **Efeito das condições de têmpera na microestrutura e propriedades mecânicas de um aço inoxidável martensítico fundido CA6NM**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, SC. 2003.

GROOVER, M. P. **Fundamentals of modern Manufacturing**. Materials, processes, and systems. New Jersey: Ed. John Wiley & Sons, 2002.

GUENZA, J. E. **Análises de Desempenho do Fresamento em Altas Velocidades de Corte do Ferro Fundido GG25 em Aplicação Industrial**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2008.

HELLIN, L. C.; CLAUSELL, M. P. R. Incidência de la fritura em la composición de la fracción lipídica de diversos aperitivos de consumo generalizado em nuestro país. **Anal Bromatol.** v. 36, n. 1, p. 5-31, 1984.

HWANG, H.; ERHAN, S. Z. Syntheticlubricant base stocks from epoxodozed soybean oil and guerbet alcohols. **Industrial Crops and Products.** v. 23, p. 313-317, 2006.

INTERLOY, 1045. www.interloy.com.au/data_sheets/carbon_steels/1045. 2009.

IQBAL, A. et.al. Effects of tool life criterion on sustainability of milling. **Journal of Cleaner Production.** v. 139, p. 1105-1117, 2016.

JUNIOR, A. S. A. **Desempenho de óleos vegetais comestíveis aplicados por MQF no fresamento frontal do aço ABNT 1045.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia, MG. 2013.

JUNIOR, A. S. A. et al. Lubri-cooling and tribological behavior of vegetable oils during milling of AISI 1045 steel focusing on sustainable manufacturing. **Journal of Cleaner Production.** v. 156, p. 635-647, 2017.

KELLY, J. F.; COTTERELL, M. G. Mimal Lubrication Machining of Aluminium alloys. **Journal of Materials Processing Technology.** v. 120, p. 327-334, 2002.

KLOCKE, F. et al. Clean Manufacturing Technologies - The Competitive Edge of Tomorrow? **The International Journal of Manufacturing Science & Production.** v. 1, n. 2, p. 77-86, 1998.

KORUDA, M. Aumentando a lucratividade com óleos vegetais. **O Mundo da Usinagem.** 3º. Edição, p. 14-15, 2006.

KOWALSKI, B. Evaluation of the Stability of Some Antioxidants for Fat-Based Foods. **Thermochimica Acta.** v. 177, p. 9-14, 1990.

KURAM, E. et al. Optimization of cutting fluids and cutting parameters during end milling by using D-optimal design of experiments. **Journal of Cleaner Production.** v. 42, p. 159-166. 2012.

KURAM, E. et al. The effect of extreme pressure added vegetable based cutting fluids on cutting performance in milling. **Industrial Lubrication and Tribology.** v. 65/3, p. 181-193. 2013.

LAWAL, S. A. et al. A critical assessment of lubrication techniques in machining processes: a case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant. **Journal of Cleaner Production.** v. 41, p. 210-221, 2012.

LI, M. et al. MQL milling of TC4 alloy by dispersing graphene into vegetable oil-based cutting fluid. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,** v. 99, p. 1735-1753, 2018.

MACHADO, A. R. et al; **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 1ª. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2009.

MACHADO, A. R. et al; **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 3ª. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2015.

_____, **Mitsubishi Materials**. Disponível em: Fonte: www.mitsubishicarbide.net/mht/pt/ . Acesso em: 12 set. de 2019.

MORETTO, E. **Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais**. São Paulo: Varela, 150 p. 1998.

MOTGOMERY, D.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4º ed., Ltc, Rio de Janeiro, 2009.

MOTTA, M. F., MACHADO, A. R. **Fluidos de corte: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção**. Revista Máquinas e Metais, p44 – 56, setembro 1995.

MUMMERY, L. **Surface texture analysis – The handbook**. Hommelwerke GmbH, 1992.

NELSON, D.; SCHAIBLE. J. Update: cutting fluids and related products. **Cutting Tool Engineering**, p. 31-35, outubro 1988.

OLIVEIRA, J. F. G. ALVES, S. M. Novos fluidos de corte adequados ao desempenho mecânico da retificadora e ao meio ambiente. **Revista Máquinas e Metais**. p. 28-43, 2006.

PADMINI, R. et al. Effectiveness of vegetable oil based nanofluids as potential cutting fluids in turning AISI 1040 steel. **Tribology International**. v. 94, p. 490-501. 2015.

PAWLAK, Z. et al. The Tribochemical and Micellar Aspects of Cutting Fluids, **Tribology International**, 2004.

PETTERSON, A. High-performance base fluids fr environmentally adapted lubricants. **Tribology International**. v. 40, p. 638-645, 2007.

PIMENTEL, M. F. et al. Avaliação da Acabamento da superfície usinada dos Aços de Corte Fácil Através da Elaboração de Curvas de Acabamento da superfície usinada (Curvas de Taylor) com Uso de Ferramentas de Corte de Aço Rápido. **In: 59º Congresso Anual da ABM International**, 2004. São Paulo.

RAHMAN, M. et al. Experimental Evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**. v. 42, p. 539-547, 2007.

RIBEIRO FILHO, S. L. M. et al. Comparison among different vegetable fluids used in minimum quantity lubrication systems in the tapping process of cast aluminum alloy. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, 1255-1262, 2016.

RUFINO, R. T. “Fluidos de corte”. in **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Blucher, 1977.

RUNGE, P. R. F.; DUARTE, G. N. Lubrificantes nas Indústrias - Produção, Manutenção e Controle. **Triboconcept - Edições Técnicas**. p. 71-171, 1990.

SHARMA, A. K. et al. Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**. v. 127. p. 1-18, 2015.

SHASHIDHARA, Y. M.; JAYARAM, S. R. Vegetable oils as a potential cutting fluid—An evolution. **Tribology International**. v. 43. p. 1073-1081. 2009.

SHAW, M. C. **Metal cutting principles**. Londres: Oxford University Press, 1984.

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

SILLIMAN, J. D. Cutting and Grinding fluids: Section and Application. **Society of manufacturing Engineers**, 2° ed, p. 1-47, 129-135, 187- 191, 1992.

SILVA et al. **Uma contribuição para a determinação de procedimentos padrão para a seleção, aplicação, manutenção e descarte de diferentes tipos de fluidos de corte utilizados e retificação**. UESP, BAURU, 2005.

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

SOUZA, M. et al. O potencial uso do óleo de amendoim, moringa e pinhão-mansão para o setor metal mecânico. **Revista Tecnológica – Edição Especial 2014**. p. 285-293, 2015.

SU et al. Refrigerated cooling air cutting of difficult - to cut materials. **International Journal of Machine Tool & Manufacture**. v. 47, n. 6, p. 927-933, 2007.

THEODORI, D. et al. Development of criteria for the award of the European Ecolabel to lubricants. **IVAM - Reserach and Consultancy on Sustainability**. 2004.

TRENT, E. M. Metal cutting. 2.ed. Londres: Butterworths &Co, 1985.

WHITEHOUSE, D. J. **Review Article: Surface Metrology**, Meas. Sci. Technol., n. 8, p. 955-972, 1997.

ZEILMANN, R. P. **Tendência aponta para a usinagem a seco**. NEI: Informação atualizada e completa. Disponível em: < <http://www..nei.com.br/artigos>>. 2011.

8 APENDICE

Parâmetros utilizado no experimento.

Planilha de coleta de dados										Rugosidade									
Aço inoxidável martensítico CA6NM										Ra			Rz						
Suporte Mitsubishi BRP6P040A03R, Inserto Mitsubishi RPMW1204MOTVP15TF										m			m						
Experimento	Velocidade	Avanço	Progr.Rel.	Vazão	Fluido	ap	ae	RPM											
n°	m/min	mm/rot	vel x avan	l/h	Tipo	mm	mm		Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 1	Pto 2	Pto 3					
1	100	0,2	212	540	B 90	0,5	25	1062	1a	1b	1c	1a	1b	1c					
2	100	0,2							2a	2b	2c	2a	2b	2c					
3	100	0,4	424						3a	3b	3c	3a	3b	3c					
4	100	0,4							4a	4b	4c	4a	4b	4c					
5	200	0,2	424					2123	5a	5b	5c	5a	5b	5c					
6	200	0,2							6a	6b	6c	6a	6b	6c					
7	200	0,4	849						7a	7b	7c	7a	7b	7c					
8	200	0,4							8a	8b	8c	8a	8b	8c					
9	150	0,3	477						100	Soja	0,5	25	1592	9a	9b	9c	9a	9b	9c
10	150	0,3												10a	10b	10c	10a	10b	10c
11	150	0,3												11a	11b	11c	11a	11b	11c
12	150	0,3												12a	12b	12c	12a	12b	12c
13	100	0,2	212	100	Soja	0,5	25	1062					13a	13b	13c	13a	13b	13c	
14	100	0,2											14a	14b	14c	14a	14b	14c	
15	100	0,4	424										15a	15b	15c	15a	15b	15c	
16	100	0,4											16a	16b	16c	16a	16b	16c	
17	200	0,2	424					2123					17a	17b	17c	17a	17b	17c	
18	200	0,2											18a	18b	18c	18a	18b	18c	
19	200	0,4	849										19a	19b	19c	19a	19b	19c	
20	200	0,4											20a	20b	20c	20a	20b	20c	
21	150	0,3	477						100	Milho	0,5	25	1592	21a	21b	21c	21a	21b	21c
22	150	0,3												22a	22b	22c	22a	22b	22c
23	150	0,3												23a	23b	23c	23a	23b	23c
24	150	0,3												24a	24b	24c	24a	24b	24c
25	100	0,2	212	100	Milho	0,5	25	1062					25a	25b	25c	25a	25b	25c	
26	100	0,2											26a	26b	26c	26a	26b	26c	
27	100	0,4	424										27a	27b	27c	27a	27b	27c	
28	100	0,4											28a	28b	28c	28a	28b	28c	
29	200	0,2	424					2123					29a	29b	29c	29a	29b	29c	
30	200	0,2											30a	30b	30c	30a	30b	30c	
31	200	0,4	849										31a	31b	31c	31a	31b	31c	
32	200	0,4											32a	32b	32c	32a	32b	32c	
33	150	0,3	477						100	Milho	0,5	25	1592	33a	33b	33c	33a	33b	33c
34	150	0,3												34a	34b	34c	34a	34b	34c
35	150	0,3												35a	35b	35c	35a	35b	35c
36	150	0,3												36a	36b	36c	36a	36b	36c

37	100	0,2	212	100	Canola	0,5	25	1062	37a	37b	37c	37a	37b	37c
38	100	0,2							38a	38b	38c	38a	38b	38c
39	100	0,4	424						39a	39b	39c	39a	39b	39c
40	100	0,4							40a	40b	40c	40a	40b	40c
41	200	0,2	424						41a	41b	41c	41a	41b	41c
42	200	0,2							42a	42b	42c	42a	42b	42c
43	200	0,4	849					43a	43b	43c	43a	43b	43c	
44	200	0,4						44a	44b	44c	44a	44b	44c	
45	150	0,3	477					45a	45b	45c	45a	45b	45c	
46	150	0,3						46a	46b	46c	46a	46b	46c	
47	150	0,3						47a	47b	47c	47a	47b	47c	
48	150	0,3						48a	48b	48c	48a	48b	48c	
49	100	0,2	212	100	Algodão	0,5	25	1062	49a	49b	49c	49a	49b	49c
50	100	0,2							50a	50b	50c	50a	50b	50c
51	100	0,4	424						51a	51b	51c	51a	51b	51c
52	100	0,4							52a	52b	52c	52a	52b	52c
53	200	0,2	424						53a	53b	53c	53a	53b	53c
54	200	0,2							54a	54b	54c	54a	54b	54c
55	200	0,4	849					55a	55b	55c	55a	55b	55c	
56	200	0,4						56a	56b	56c	56a	56b	56c	
57	150	0,3	477					57a	57b	57c	57a	57b	57c	
58	150	0,3						58a	58b	58c	58a	58b	58c	
59	150	0,3						59a	59b	59c	59a	59b	59c	
60	150	0,3						60a	60b	60c	60a	60b	60c	
61	100	0,2	212	100	Girassol	0,5	25	1062	61a	61b	61c	61a	61b	61c
62	100	0,2							62a	62b	62c	62a	62b	62c
63	100	0,4	424						63a	63b	63c	63a	63b	63c
64	100	0,4							64a	64b	64c	64a	64b	64c
65	200	0,2	424						65a	65b	65c	65a	65b	65c
66	200	0,2							66a	66b	66c	66a	66b	66c
67	200	0,4	849					67a	67b	67c	67a	67b	67c	
68	200	0,4						68a	68b	68c	68a	68b	68c	
69	150	0,3	477					69a	69b	69c	69a	69b	69c	
70	150	0,3						70a	70b	70c	70a	70b	70c	
71	150	0,3						71a	71b	71c	71a	71b	71c	
72	150	0,3						72a	72b	72c	72a	72b	72c	
73	100	0,2	212	100	QuimaticJet	0,5	25	1062	73a	73b	73c	73a	73b	73c
74	100	0,2							74a	74b	74c	74a	74b	74c
75	100	0,4	424						75a	75b	75c	75a	75b	75c
76	100	0,4							76a	76b	76c	76a	76b	76c
77	200	0,2	424						77a	77b	77c	77a	77b	77c
78	200	0,2							78a	78b	78c	78a	78b	78c
79	200	0,4	849					79a	79b	79c	79a	79b	79c	
80	200	0,4						80a	80b	80c	80a	80b	80c	
81	150	0,3	477					81a	81b	81c	81a	81b	81c	
82	150	0,3						82a	82b	82c	82a	82b	82c	
83	150	0,3						83a	83b	83c	83a	83b	83c	
84	150	0,3						84a	84b	84c	84a	84b	84c	

Fonte: O autor (2019).

Resultado dos experimentos realizados.

Planilha de coleta de dados										Rugosidade					
Aço inoxidável martensítico CA6NM										Ra			Rz		
Suporte Mitsubishi BRP6P040A03R, Inseto Mitsubishi RPMW1204M0TVP15TF										m			m		
Experimento	Velocidade	Avanço	Progr.Rel.	Vazão	Fluido	ap	ae	RPM							
n°	m/min	mm/rot	vel x avan	l/h	Tipo	mm	mm		Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 1	Pto 2	Pto 3	
1	100	0,2	212	540	B 90	0,5	25	1062	0,32	0,47	0,43	2,04	2,80	2,55	
2	100	0,2							0,33	0,31	0,33	2,14	2,12	2,21	
3	100	0,4	424						0,85	0,83	0,83	5,04	4,51	4,43	
4	100	0,4							0,76	0,82	0,83	3,77	4,23	4,33	
5	200	0,2	424						2123	0,38	0,42	0,42	2,12	2,31	2,30
6	200	0,2								0,44	0,43	0,46	2,54	2,67	2,88
7	200	0,4	849					0,62		0,67	0,84	3,60	3,81	4,82	
8	200	0,4						0,58		0,58	0,60	3,19	3,17	3,29	
9	150	0,3	477					1592		0,44	0,62	0,59	2,62	3,03	3,02
10	150	0,3								0,65	0,64	0,65	3,99	3,38	3,74
11	150	0,3							0,44	0,35	0,36	2,73	2,27	2,43	
12	150	0,3							0,61	0,62	0,59	3,06	3,04	3,28	
13	100	0,2	212	100	Soja	0,5	25		1062	0,51	0,52	0,54	2,73	2,79	2,89
14	100	0,2								0,35	0,37	0,36	1,96	2,21	1,91
15	100	0,4	424					0,53		0,54	0,51	3,02	2,97	2,81	
16	100	0,4						0,54		0,50	0,43	3,18	2,70	2,42	
17	200	0,2	424					2123		0,20	0,24	0,29	1,28	1,58	1,75
18	200	0,2								0,27	0,28	0,28	1,67	1,72	1,77
19	200	0,4	849						0,50	0,49	0,47	2,83	2,87	2,72	
20	200	0,4							0,55	0,56	0,58	2,95	2,96	2,90	
21	150	0,3	477						1592	0,33	0,33	0,31	1,87	2,06	1,94
22	150	0,3								0,43	0,46	0,44	2,60	2,70	2,61
23	150	0,3						0,34		0,25	0,41	2,28	1,58	2,55	
24	150	0,3						0,31		0,28	0,30	1,77	1,75	1,76	
25	100	0,2	212	100	Milho	0,5	25	1062		0,40	0,36	0,34	2,20	2,28	2,23
26	100	0,2								0,25	0,28	0,22	1,79	1,88	1,44
27	100	0,4	424						0,77	0,77	0,75	3,90	3,90	4,02	
28	100	0,4							0,74	0,77	0,71	3,61	4,23	3,62	
29	200	0,2	424						2123	0,29	0,29	0,32	1,85	1,86	2,03
30	200	0,2								0,29	0,29	0,29	1,98	1,78	1,81
31	200	0,4	849					0,56		0,59	0,53	2,86	3,11	3,13	
32	200	0,4						0,81		1,19	1,24	4,14	5,64	5,69	
33	150	0,3	477					1592		0,62	0,60	0,59	3,07	3,13	3,09
34	150	0,3								0,62	0,60	0,59	3,07	3,13	3,09
35	150	0,3							0,35	0,54	0,62	2,24	3,28	3,06	
36	150	0,3							0,67	0,65	0,67	3,16	3,29	3,14	

37	100	0,2	212	100	Canola	0,5	25	1062	0,42	0,44	0,56	2,20	2,61	3,83
38	100	0,2							0,41	0,46	0,46	2,58	2,48	2,64
39	100	0,4	424						0,59	0,57	0,59	3,13	2,95	3,09
40	100	0,4							0,71	0,70	0,69	3,83	3,95	3,88
41	200	0,2	424					2123	0,32	0,31	0,28	2,09	2,16	1,89
42	200	0,2							0,35	0,35	0,34	2,19	2,19	2,08
43	200	0,4	849						0,59	0,59	0,59	3,15	2,97	2,97
44	200	0,4							0,65	0,58	0,61	3,83	3,62	3,22
45	150	0,3	477					1592	0,48	0,55	0,45	2,87	2,90	2,75
46	150	0,3							0,57	0,52	0,58	2,79	2,58	2,78
47	150	0,3							0,50	0,39	0,41	2,57	2,53	2,59
48	150	0,3							0,41	0,34	0,36	2,68	2,22	2,42
49	100	0,2	212	100	Algodão	0,5	25	1062	0,38	0,42	0,37	2,18	2,32	2,25
50	100	0,2							0,35	0,37	0,34	1,92	1,96	1,95
51	100	0,4	424						0,51	0,51	0,51	3,12	3,22	3,05
52	100	0,4							0,50	0,51	0,51	2,54	2,73	2,84
53	200	0,2	424					2123	0,30	0,27	0,27	2,01	1,81	1,81
54	200	0,2							0,46	0,24	0,25	3,06	1,54	1,74
55	200	0,4	849						0,50	0,34	0,34	2,94	2,20	2,33
56	200	0,4							0,61	0,51	0,59	4,24	2,79	3,61
57	150	0,3	477					1592	0,34	0,32	0,43	2,35	2,23	2,65
58	150	0,3							0,38	0,33	0,33	2,57	2,35	2,14
59	150	0,3							0,25	0,27	0,28	1,79	1,89	1,84
60	150	0,3							0,32	0,31	0,31	2,19	1,95	2,09
61	100	0,2	212	100	Girassol	0,5	25	1062	0,40	0,37	0,40	2,12	2,34	2,40
62	100	0,2							0,36	0,36	0,31	2,31	2,24	1,97
63	100	0,4	424						0,73	0,74	0,74	4,00	4,26	3,84
64	100	0,4							0,88	0,87	0,88	4,74	4,67	4,42
65	200	0,2	424					2123	0,32	0,33	0,32	2,22	2,27	2,23
66	200	0,2							0,32	0,28	0,38	2,27	2,02	2,62
67	200	0,4	849						0,74	0,70	0,71	4,32	4,00	4,12
68	200	0,4							0,71	0,74	0,75	3,90	3,86	3,97
69	150	0,3	477					1592	0,55	0,55	0,56	2,86	2,76	2,77
70	150	0,3							0,60	0,60	0,51	2,72	2,87	2,68
71	150	0,3							0,55	0,56	0,54	2,88	2,66	2,57
72	150	0,3							0,57	0,46	0,58	2,76	2,48	2,61
73	100	0,2	212	100	QuimaticJet	0,5	25	1062	0,36	0,31	0,32	2,27	1,96	2,28
74	100	0,2							0,31	0,31	0,32	2,06	2,00	1,94
75	100	0,4	424						0,65	0,59	0,59	3,06	2,85	2,80
76	100	0,4							0,63	0,67	0,67	3,83	3,72	3,57
77	200	0,2	424					2123	0,38	0,22	0,31	2,21	1,41	1,92
78	200	0,2							0,29	0,22	0,29	1,81	1,65	1,82
79	200	0,4	849						0,70	0,62	0,53	3,97	3,63	3,17
80	200	0,4							0,58	0,53	0,52	3,39	3,09	3,04
81	150	0,3	477					1592	0,30	0,25	0,27	2,07	1,69	1,62
82	150	0,3							0,28	0,34	0,29	1,77	1,96	1,76
83	150	0,3							0,30	0,26	0,25	1,97	1,72	1,64
84	150	0,3							0,33	0,28	0,30	2,02	1,78	1,69

Fonte: O autor (2019).

Dados para o software Statistic.

1 Var1	2 X1	3 X2	4 Avanço (mm/rot)	5 Velocidade de corte (m/min)	6 Ra (B90)	7 Rz (B90)	8 Ra (Soja)	9 Rz (Soja)	10 Ra (Milho)	11 Rz (Milho)	12 Ra (Canola)	13 Rz (Canola)	14 Ra (Algodao)	15 Rz (Algodao)	16 Ra (Girassol)	17 Rz (Girassol)	18 Ra (QuimaticJet)	19 Rz (QuimaticJet)	
1	1	-1,00000	-1,00000	0,2	100	0,406667	2,463333	0,523333	2,803333	0,366667	2,236667	0,473333	2,88	0,39	2,25	0,39	2,286667	0,33	2,17
2	1	1,00000	-1,00000	0,4	100	0,836667	4,66	0,526667	2,933333	0,763333	3,94	0,583333	3,056667	0,51	3,13	0,736667	4,033333	0,61	2,903333333
3	1	-1,00000	1,00000	0,2	200	0,406667	2,243333	0,243333	1,536667	0,3	1,913333	0,303333	2,046667	0,28	1,876667	0,323333	2,24	0,303333333	1,846666667
4	1	1,00000	1,00000	0,4	200	0,71	3,705	0,486667	2,806667	0,56	3,033333	0,59	3,03	0,393333	2,49	0,716667	4,146667	0,616666667	3,59
5	2	-1,00000	-1,00000	0,2	100	0,323333	2,156667	0,36	2,026667	0,25	1,703333	0,443333	2,566667	0,353333	1,943333	0,343333	2,173333	0,313333333	2
6	2	1,00000	-1,00000	0,4	100	0,803333	4,11	0,49	2,766667	0,74	3,82	0,7	3,886667	0,506667	2,703333	0,876667	4,61	0,656666667	3,706666667
7	2	-1,00000	1,00000	0,2	200	0,443333	2,696667	0,276667	1,72	0,29	1,856667	0,346667	2,153333	0,316667	2,113333	0,326667	2,303333	0,266666667	1,76
8	2	1,00000	1,00000	0,4	200	0,586667	3,216667	0,563333	2,936667	1,08	5,156667	0,613333	3,556667	0,57	3,546667	0,733333	3,91	0,543333333	3,173333333
9	0	0,00000	0,00000	0,3	150	0,55	2,825	0,323333	1,956667	0,603333	3,096667	0,493333	2,84	0,363333	2,41	0,553333	2,796667	0,273333333	1,793333333
10	0	0,00000	0,00000	0,3	150	0,646667	3,703333	0,443333	2,636667	0,603333	3,096667	0,556667	2,716667	0,346667	2,353333	0,57	2,756667	0,303333333	1,83
11	0	0,00000	0,00000	0,3	150	0,383333	2,476667	0,333333	2,136667	0,503333	2,86	0,433333	2,563333	0,286667	1,84	0,55	2,703333	0,27	1,776666667
12	0	0,00000	0,00000	0,3	150	0,606667	3,126667	0,296667	1,76	0,663333	3,196667	0,37	2,44	0,313333	2,076667	0,536667	2,616667	0,303333333	1,83

Fonte: O autor (2019).



UPF

UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br