CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ MATHEUS VICENTE BUDNAK FERRARI

USINAGEM DE AÇO INOX 304 VISANDO A MINIMIZAÇÃO NO USO DE LUBRIFICANTE

MATHEUS VICENTE BUDNAK FERRARI

USINAGEM DE AÇO INOX 304 VISANDO A MINIMIZAÇÃO NO USO DE LUBRIFICANTE

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, da Faculdade Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Professor orientador: Carlos Alberto Breda

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ MATHEUS VICENTE BUDNAK FERRARI

USINAGEM DE AÇO INOX 304 VISANDO A MINIMIZAÇÃO NO USO DE LUBRIFICANTE

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor (a) Carlos Alberto Breda.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr./ Carlos Alberto Breda
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Mst. Prof. Cleberson Pereira
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Mst. Prof. Sergio Mota
Faculdade Assis Gurgacz – FAG

Engenheiro Mecânico

RESUMO

Introdução: Atualmente as empresas possuem uma vasta concorrência devido a maior exigência dos consumidores conduzindo-as na busca por benfeitorias e atualização de seus processos de oferta e produção afim de proporcionar um melhor custo benefício, principalmente quando falamos de produção industrial a qual por menor possível reflete um reajuste ao consumidor final. O sistema convencional de usinagem possui um custo monetário considerável na aquisição e utilização exacerbada de fluídos, além de proporcionar um impacto ambiental relevante comparado ao sistema MQL este que além dos benefícios ainda se acredita que proporcione melhor aspecto superficial a peça. Objetivo: Entender a maneira que ocorre a migração do sistema convencional para o MQL viabilizando os aperfeiçoamentos de corte em Aço Inox 304 em comparativo a pelo menos três técnicas de usinagem. Metodologia: Para melhor captação dos resultados, será utilizada uma abordagem de cunho bibliográfico aliada a um estudo de caso na empresa Tornomec. Resultados: Tornou-se possível constatar que o sistema MQL possibilita uma melhor durabilidade na peça usinada, em 7 passes possibilitando a melhor qualidade e menor rugosidade.

Palavras-chave: Sistema MQL. Usinagem. Torneamento.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Principais métodos de usinagem	12
TABELA 2: Forças de componentes da força de usinagem	16
TABELA 3 Sistema convencional X Sistema MQL	24
TABELA 4: Cálculo velocidade de corte	27
TABELA 5: Composição química, % em peso máximo – Inox ABNT 304	28
TABELA 6: Rugosidade média superficial de usinagem a seco	30
TABELA 7: Rugosidade superficial com usinagem com jato de fluido	31
TABELA 8 Rugosidade Média de usinagem MQL	31
TABELA 9 Viabilidade econômica no sistema MQL para convencional de jorro de	fluido33
TABELA 10 Quantificação de pastilhas por usinagem	33

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Principais medidas de corte no torneamento cilíndrico externo	14
FIGURA 2: Decomposição da força de usinagem no torneamento cilíndrico externo	16
FIGURA 3: Cálculo das componentes da potência de corte (Pc) e avanço (Pf)	17
FIGURA 4: Tipos, composição e propriedades dos fluidos de corte	18
FIGURA 5: Fluxograma Seleção do fluido de corte	19
FIGURA 6: Principais riscos ambientais decorrentes do uso, manuseio e descarte de fluid	os
de corte utilizados nos processos de usinagem	20
FIGURA 7: Sistema convencional por jorro X Sistema MQL	21
FIGURA 8 Porcentagem média dos custos gerados pelo processo de usinagem em jorro	22
FIGURA 9 Fluxograma dos procedimentos experimentais	25
FIGURA 10 Processo de usinagem Aço inox 304 submetido ao sistema de jorro	29
FIGURA 11: Classe do inserto	29
FIGURA 12: Desgaste sofrido pelo inserto durante a usinagem a seco	30
FIGURA 13: Entrada de fluido e ar comprimido no sistema MQL	30
FIGURA 14: Inserto de torneamento utilizado com sistema MQL	31
FIGURA 15 Cavaco segmentado oriundo do estudo	32
FIGURA 16 Parâmetros da qualidade da superfície de acabamento	33

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

MQL – Mínima quantidade de lubrificante

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

P_c – Potência de corte

 P_f – Avanço

CNC - Computer Numeric Control

Mm - Milímetro

Rpm - Rotação por minuto

Rot - rotação

A_p - Apoio

F_c – Força de corte

F_p – Força Passiva

F_{FR} – Força ativa

F_N – Força de compreensão

F_{ap} – Força de apoio

Ml/h – Mililitros por horas

Scielo - Scientific Electronic Library Online

Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

C - Carbono

Mn – Manganês

Si - Silício

O – Oxigênio

S – Enxofre

Cr - Crômio

Ni - Níquel

NBR – Norma Técnica

ISO - International Organization for Standardization

Mm/rot – Avanço por rotação

SUMÁRIO

IN	Г RODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
	1.1.1 Objetivo Geral	10
	1.1.2 Objetivos específicos	10
1.2	Justificativa	10
1.2	Problematização	11
1.4	Delimitação da Pesquisa	11
2 R	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Conceitos de Usinagem	12
2.2	Processo de torneamento	12
	2.2.1 Tipos de torneamento	13
	2.2.2 Acabamento superficial	13
	2.2.3 Medidas de corte	14
	2.2.4 Força de usinagem	15
	2.2.5 Potência de usinagem	17
2.3	Fluido de corte	17
	2.3.1 Itens para escolha do fluído de corte	19
	2.3.2 Manejo de fluidos de corte e as implicações ambientais	20
2.4	Usinagens com o sistema de mínima quantidade de lubrificante	21
2.5	Produtividades do sistema MQL	22
2.6	Relações do sistema convencional para o sistema MQL de usinagem	23
3 P	ROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	25
3.1	Aspectos Gerais	25
4 N	1ETODOLOGIA	26
4.2	Planejamentos de experimentos	26
	4.2.1 Análise da significância dos efeitos	26
4.3	Caracterizações do aço inox 304	27
4 R	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
CO	ONSIDERAÇÕES FINAIS	34
RE	FERÊNCIAS	35
AN	IEXO A	38
		20

INTRODUÇÃO

O termo referente à usinagem caracteriza-se como um processo de suma importância na fabricação de peças, pois, desta forma, há a existência de estratégias que a viabilizem tornando-a um sistema mais ágil no que diz respeito à fabricação de peças em um determinado período de tempo (LONDERO, 2014).

Consequentemente, dentro da área de usinagem, existe o torneamento de peças, designado à revolução em torno de um determinado item, através de uma caixa redutora, uma placa, e um inserto, este que também poder ser chamado de pastilha ou ferramenta afiada para a usinagem da mesma. Tal processo visa a melhorar a produtividade e o rendimento de um inserto que é a lubrificação (MARGARIDO, 2011).

Torna-se oportuno e de caráter fundamental o desenvolvimento de formas mais eficazes para a lubrificação desses insertos, pois qualquer perda pode ocasionar no desperdício de custos, correspondendo na minimização de recursos monetários que poderiam ser investidos em outros departamentos dentro do ambiente empresarial (FREITAS, 2016).

A escolha da ferramenta de corte para determinada peça, bem como a matéria prima de sua produção, vincula-se, diretamente, à seleção precisa em torno dos parâmetros a serem utilizados, os quais resultam no êxito de sua confecção (NEUMANN, 2016).

Desta maneira, a tecnologia torna-se aliada à evolução da produção em grande escala, proporcionando melhor viabilidade, rapidez em sua fabricação e melhor custo benefício das peças (NEUMANN, 2016).

A fim de contemplar tais aspectos, edificou-se um sistema chamado MQL consistindo em usinar com a mínima quantidade de lubrificante. Assim, além da economia monetária, a empresa, devido à utilização baixa de fluido, proporciona uma melhorara no acabamento superficial, diminuindo as forças de corte, assim, preservando a ponta do inserto (BORTOLINI, 2013).

O presente trabalho destina-se na construção de uma revisão teórica bibliográfica em trabalhos científicos e livros, no que diz respeito a aspectos práticos em torno do serviço de usinagem, utilizando o sistema MQL, a fim de minimizar o uso de fluidos que, na maioria das vezes, ocorre de maneira abundante na realização do torneamento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Compreender a implantação de um sistema MQL em um maquina operatriz, visando melhorias na condição de corte do Aço inox 304 em três processos de usinagem.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar as possibilidades de adaptação do sistema eletropneumático no sistema convencional.
- Verificar a viabilidade e durabilidade da alteração da máquina convencional com jato de lubrificante.
 - Analisar as metodologias de implantação do sistema MQL
 - Elencar melhorias no corte do Aço inox 304 com a utilização do sistema MQL.

1.2 Justificativa

O benefício que a utilização de menor fluido proporciona está além da economia monetária e, também, oportuniza melhores condições de acabamento superficial em torno da usinagem. Altan et al (1998), acreditava que uma porcentagem significativa do período de produção destina-se ao tempo em torno de atividades de usinagem e polimento. Da mesma forma, acredita-se, através de trabalhos já publicados, na importância do desenvolvimento de sistemas que viabilizem o processo de usinagem com a mínima utilização de fluídos.

Em estudo, Lisboa, Moraes e Hirashita (2013) demonstram preocupação em relação às problemáticas ambientais que a utilização dos fluidos de corte acarreta à saúde e ao meio ambiente por meio da poluição de correntes aquáticas e solo.

Assim torna-se oportuno a realização de uma revisão bibliográfica em torno de sistema MQL em condição de corte do Aço inox 304, a fim de colaborar pela minimização de custos que afetem a vida financeira da empresa, prezar pela qualidade do serviço, além de diminuir os impactos ambientais.

1.2 Problematização

De que maneira a usinagem com jato de lubrificante, através do sistema MQL, caracteriza-se como procedimento mais eficaz para a realização da confecção da peça em aço inox 304, prezando a minimização de custos e qualidade?

1.4 Delimitação da Pesquisa

Devido à vasta abrangência de matéria prima e parâmetros de corte que sejam utilizados para maior precisão do resultado final, o presente trabalho delimita-se a uma revisão bibliográfica em torno o aço inox 304, a fim de analisar os métodos da utilização do MQL nesta propriedade e verificar as melhorias econômicas, ambientais e do aspecto da peça a ser produzida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceitos de Usinagem

Em síntese, conceitua-se como usinagem todo procedimento de fabricação, decorrido do recolhimento de material podendo, assim, ser definido seu formato, proporção e finalização; popularmente nomeia-se o mesmo de cavaco (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013).

Ademais, ainda na retenção deste material, se produz calor excessivo e sucessivo do conflito entre a peça e a ferramenta de corte, assim esta se ramifica em diversos propósitos e especificações. Desta maneira, individualmente, se preestabelece um fluido de corte mais preciso e que adeque-se ao resultado esperado (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013).

Sendo assim, se reconhece esse procedimento de fabricação como um dos mais utilizados em âmbito mundial, proporcionando a empregabilidade de dezenas de milhões de pessoas, acarretando em cerca de 10% de toda confecção de metais (CAPUTO, 2016).

Tabela 1: Principais métodos de usinagem

Métodos de usinagem	Descrição	
Torneamento	Realiza-se em peças de revolução de modo a	
	qual a mesma é assegurada através da placa	
	de torno em deslocando-se em sentido	
	rotatório e assim o instrumento de	
	monocortante transitando longitudinalmente	
	e transversalmente vinculando-se a seu eixo.	
Fresamento	Realiza-se em superfícies prismáticas, de	
	modo a qual retire-se a matéria por meio de	
	dois movimentos: o rotativo (fresa) e o de	
	avanço da mesa da máquina (fixação da	
	peça).	
Furação	Objetiva-se em realizar furos afim de criar	
	diâmetros internos visando a boa finalização	
	em determinadas peças passante ou cega	
	através de brocas.	

Fonte: Adaptado de Freitas (2016)

2.2 Processo de torneamento

O processo de torneamento de uma determinada peça a ser usinada consiste em coloca-la em superfície giratória e, com isto, a ferramenta de corte torna-se capaz de realizar o seu trabalho em formato rotatório e preciso (FERRARESI, 1977).

Dentro deste aspecto, este tipo de processo pode ser realizado de modo manual, em equipamentos denominados de tornos universais ou, também, em torno CNC, sigla que deriva do inglês *Computer Numeric Control*, embora o mesmo enquadre-se como de maior complexidade (CAPUTO, 2016).

As peças confeccionadas em tornos universais decorrem em processos de ágil reparo e que necessitem de substituição rápida, tornando-se satisfatória para a indústria. No entanto, o torno CNC é frequentemente utilizado pela mesma, devido a sua repetitividade colaborando, assim, para um resultado final mais preciso (SANTANA, 2011)

Contudo, por caracterizar-se como um processo repetitivo através da rotação contínua da peça usinada, o torno deve permitir o controle de diversas velocidades por seu operador de maneira a garantir o êxito do trabalho, visto que, a mesma corresponde a um parâmetro que resulta diretamente no diâmetro e acabamento (FREITAS, 2016).

2.2.1 Tipos de torneamento

Em suma, pode-se classificar o torneamento conforme o seu desígnio, ou seja, as operações de usinagem destinadas a obter o tamanho final da peça ou o acabamento superficial especificado ou ambos, são característicos de um torneamento de acabamento, além disso, as condições de arremate possuem maior leveza (SANTANA, 2011).

Por outro lado, encontramos o torneamento de desbaste caracterizado por operações de usinagem que são realizadas antes do acabamento, visando obter a forma e o tamanho próximos ao final da peça, assim o desbaste deve ser tão intenso quanto à espessura do cavaco, potência da ferramenta e a peça em si (SANTANA, 2011).

2.2.2 Acabamento superficial

Ao analisarmos a superfície da peça, contata-se que, em sua maioria, são irregulares, devido às ranhuras ou marcas deixadas por ferramentas atuando sobre sua superfície (DEVERAS, 2016).

Sendo assim, há a presença de desgaste, fricção, corrosão, aparência, resistência à fadiga, transferência de calor, propriedades ópticas, fluidos e superfícies de medição (blocos padrão, micrômetros, calibradores, etc, são expostos em microns (mm ou m) (DEVERAS, 2016)).

O acabamento das peças pode ser medido e identificado através de três fatores:

- Rugosidade: Compostas por imperfeições micro geométricas ocasionadas pelo método particular de corte. A medição da rugosidade se realiza por distintos parâmetros, os quais podem ser verificados após o processamento, ou mesmo, em conformidade com o projeto, considerado uma variável chave. Desta maneira seus parâmetros podem ser: amplitude (picos e vales da superfície); espaço (espaçamento longitudinal na superfície); híbrido (mudanças longitudinais e superficiais combinadas) (FREITAS, 2016).
- Ondulações: A irregularidade da superfície na ocorrência de ondulações é superior à que é encontrada na faixa de rugosidade, podendo ser ocasionada por vibração, a má posição da ferramenta, temperatura de corte, etc. (FREITAS, 2016).
- Falhas: são interrupções superficiais causadas pelo processo de aquisição de peças (como fundição), que podem ser bolhas, rachaduras e inclusões (FREITAS, 2016).

Em vista disto, não podemos desassociar a estética das funções especificas exigidas da peça, bem como, o relacionamento de forma direta com o nível de acabamento e tempo de processamento, a fim de propiciar o melhor custo benefício.

2.2.3 Medidas de corte

Primeiramente, deve-se observar na Figura 1, para que se possa identificar a localização das principais medidas de corte dentro de uma esfera cilindrica no processo de torno.

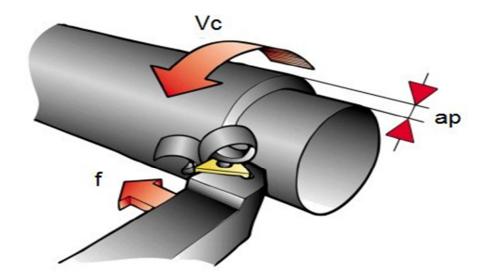


Figura 1: Principais medidas de corte no torneamento cilíndrico externo Fonte: Freitas (2016)

Desta maneira, podemos destinguir e conceituá-las conforme Chiaverini (1986) apud

Freitas (2016):

• Velocidade de Corte (v_c): Velocidade periférica da peça relacionada à ferramenta, correspondendo à medida em metros por minuto; seu resultado é estabelecido conforme a equação:

$$V_c = \frac{\pi x d x n}{1000}$$

d = diâmetro da peça a ser usinada (mm).

n = rotação da peça a ser usinada (rpm).

- Avanço (f): velocidade linear perpassada à peça, sendo a medição feita em milímetros por rotação (mm/rot), Precisamente, descreve-se como a quantidade de milimitros que a ferramenta utiliza no avando para a próxima rotação.
- Profundidade de corte (a_p) : dimensão em milímetros referente à profundidade de penetração na peça a ser usinada.

2.2.4 Força de usinagem

No que diz respeito à usinagem, torna-se essencial a compreensão acerca de suas forças, pois, diante destas, se determina a potência a ser prescrita para realização do corte, ou seja, as forças agem como princípios da máquina-ferramenta, assim como, minimizam as deteriorações do utensílio de corte, corroborando para economia do procedimento (MELO, 2014; ABREU, 2010).

Desta maneira, considera-se imprescindível a percepção sobre os aspectos da força de usinagem, visto que, a mesma se direciona na eficácia dos projetos como "acionamentos, guias, mancais, sistemas de fixação das ferramentas e dispositivas de fixação das peças" (ABREU, 2010, p.14).

Para Melo (2014), acredita-se que a força da usinagem ocorra, conforme Newton, em ramificação de seus três elementos essências, pela formula:

$$F_U = \sqrt{F_{ap}^2 + F_f^2 + F_p^2}$$

Observa-se na figura 2, as três ramificações essenciais dividas em um processamento de torneamento de forma cilíndrica. Os itens F_C e F_F se identificam de maneira simples, pois

atuam em orientações notáveis e caracterizam-se como de maior importância, uma vez que, determinam a potência utilizada na usinagem.

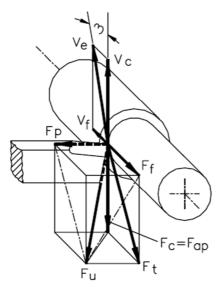


Figura 2: Decomposição da força de usinagem no torneamento cilíndrico externo Fonte: Freitas (2016)

Por fim, torna-se relevante salientar que a força de corte se afeta de modo direto por proporções de corte (V_C , F e A_P), bem como a deterioração das ferramentas (FREITAS, 2016).

Tabela 2: Forças de componentes da força de usinagem

Força de corte ou força principal de corte	Eminência da força de usinagem a respeito do	
(F _c)	plano de trabalho, orientação de corte	
(1°c)	atribuída por velocidade de corte.	
	Eminência da força de usinagem a respeito do	
Força de avanço (F _f)	plano de trabalho, orientação de corte	
	atribuída por velocidade de avanço.	
Força passiva ou força de profundidade Eminência da força verticalmente ao plan		
(F_p)	trabalho.	
Força ativa (F _{TR})	Eminência da força sobre plano de trabalho.	
Force de compressão (F.)	Eminência da força por cima de uma	
Força de compressão (F _N)	orientação vertical a superfície principal.	
	Eminência da força por cima de uma	
Força de apoio (F _{ap})	orientação vertical à orientação do avanço, no	
	plano de trabalho	

Fonte: Adaptado de Machado et al (2009).

Considera-se força todo empenho imposto à ponta da ferramenta. Sendo assim, se divide os aspectos para maior ou menor intensidade da utilização das forças em: Material da peça, Material e geometria da ferramenta, Avanço e velocidade do corte, circunstâncias de

lubrificação e refrigeração e o desgaste da ferramenta (PEIXOTO, 2019).

2.2.5 Potência de usinagem

Como mencionado no capitulo anterior, por meio da determinação da força se determina a potência a ser usada na usinagem que irá permitir a remoção do material em tempo específico (PEIXOTO, 2019). Do mesmo modo, Freitas (2019) acredita que esta potência resulta-se da união dos itens da força e sua velocidade de direção por meio das seguintes equações:

a)
$$P_{c} = \frac{Fc \ x \ vc}{60x75}$$
 b) $P_{c} = \frac{Ff \ x \ vf}{1000x60x75}$

Figura 3: Cálculo das componentes da potência de corte (Pc) e avanço (Pf) Fonte: Freitas (2019)

Sendo assim, atribui-se: Força do corte $[N] - F_C$; Velocidade do corte $[m/min] - V_C$; Força do Avanço $[N] - F_F$; Velocidade do avanço $[m/min] - V_F$.

O ato de monitoração em torno da técnica de corte se caracteriza como essencial principalmente ao que diz respeito a potência imposta a usinagem afim de identificar a deteriozação da máquina-ferramenta (FREITAS, 2019; PEIXOTO, 2019).

No entanto, se identifica, atualmente, recursos que visam minimar o custo de adquirir a potência de usinagem por meio de sensores de efeito Hall em conjunto com uma plataforma Arduino (FONSECA, 2006).

Em sintese, as formas que apresentam melhor custo beneficio, caracterizam-se como integral e vigorosas, as quais interferem diretamente no desgaste da ferramenta de corte, além da ação dos demais critérios de usinagem, bem como, os fluídos de corte (FREITAS, 2019; FONSECA, 2006).

2.3 Fluido de corte

Nos aspectos de usinagem, a aplicação de fluídos na realização dos cortes torna-se uma especificação de suma importância para os benefícios finais. Sendo assim, a seleção do fluido adequado deve ser avaliado conforme sua composição química e atributos corretos, a fim de minimizar dificuldades que se apresentem (BARBOZA, 2018; Freitas, 2016).

Delimita-se a utilização de fluído conforme as matérias primas da peça a ser fabricada, não se pode definir uma padronização exata na categorização de fluidos. No entanto, pode-se dizer que existe três primeiras conjuntos os sólidos, líquidos e gasosos (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013).

Ainda acredita-se que os óleos podem distinguir-se em não miscíveis e os miscíveis em água, além de definir-se por outros autores os fluidos como: ar, tipos aquosos e óleos (LISBOA; MORAES; HIRASHITA, 2013).

Destaca-se por Freitas (2016, p.29) "três métodos de aplicação do fluido de corte durante a usinagem: Fluido em abundância - jorro de fluido à baixa pressão, Pulverização de fluido e Aplicação de fluido à alta pressão".

A aplicação do fluído deve ser realizada utilizando uma metodologia que proporcione a aproximação das arestas de corte, a fim de que as mesmas consigam desempenhar seu papel com êxito. Na Figura 4 Lisboa, Moraes e Hirashita, em pesquisa, simplificaram a classificação destes fluídos.

Classificação dos fluidos Sólido de corte						
		Sólido	Óleos puros	Óleos emulsionáveis	Fluidos químicos	Gasoso
Principa composi		Grafite e bissulfeto de molibidênio.	Óleo mineral e/ou óleo graxo (Agentes EP: cloro, enxofre e fósforo).	Óleos, água e emulsificadores (Agentes EP, antioxidantes e umectantes).	Água, sais orgânicos e inorgânicos, (Agentes EP, anticorrosivos, antioxidantes, biocidas e umectantes).	Ar, dióxido de carbono, nitrogênio e vapor.
Principa proprieda		Lubrificação.	Lubrificação, Extrema-pressão, Anticorrosão.	Boa Refrigeração, Boa antioxidação, Baixa lubrificação, Boa anticorrosão, Extrema-pressão.	Excelente Refrigeração, Baixa lubrificação, Boa anticorrosão e antioxidação, Fácil remoção, Extrema-pressão.	Refrigeração.

Figura 4: Tipos, composição e propriedades dos fluidos de corte Fonte: Lisboa, Moraes e Hirashita (2013)

Observa-se que, dentro do aspecto de usinagem, diversas vezes as empresas fazem o uso abundante deste fluído ao ser de uso fácil e simples. Através da nebulização, este oferece beneficência à maior penetração e alta velocidade na execução do procedimento (LONDERO, 2014).

Ademais, o método de alta pressão torna-se menor índice de implantação na indústria, visto que o mesmo necessita de um alto custo monetário para este (BORTOLINI, 2013).

Em nossa contemporaneidade, percebe a preocupação excessiva das indústrias em minimizar gastos com processos de usinagem e com menor índice de agressões ao meio ambiente. Desta maneira, a usinagem a seco, ou que possibilite a menor utilização do fluido de corte, tem sido estudada (BORTOLINI, 2013).

2.3.1 Itens para escolha do fluído de corte

A seleção correta dos fluidos garantirá que o processo de usinagem seja mais eficiente, que a qualidade das peças processadas seja maior, que a vida útil das máquinas e ferramentas seja aumentada e que o custo de todo o processo seja reduzido (STOETERAU, 2014).

Devido à grande variedade de produtos em um mercado altamente competitivo, escolher o fluido perfeito torna-se de caráter dificultoso. Em termos de consumo industrial, o óleo emulsionado está à frente dos demais, mas novos produtos, principalmente os sintéticos, vêm se apresentando como uma opção viável (BARBOZA, 2018).

No entanto, antes de escolher um fluido específico, você deve analisar, pelo menos, três aspectos importantes: o material da ferramenta, o material da peça e a operação conforme demonstrado na figura 6.

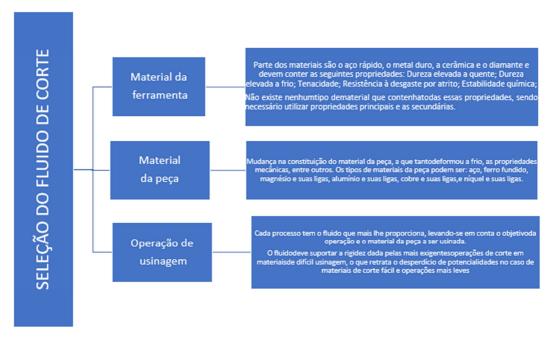


Figura 5: Fluxograma Seleção do fluido de corte Fonte: Sales Neto e Da silva (2017).

O fluido selecionado pode variar de emulsão de baixa concentração (alto refrigerante) ao óleo integrado mais ativo (principalmente lubrificante), alternando-se (SALES NETO; DA SILVA, 2017).

2.3.2 Manejo de fluidos de corte e as implicações ambientais

Em suma, posterior à usinagem, há resíduo de fluidos de corte nas peças e cavacos, visto que, uma de suas finalidades é a função anticorrosiva. Esta perda ocorre na formação de componentes da máquina, equipamentos fixos / de manuseio, sistemas de pressurização de ar e gotículas e vazamentos, podendo atingir um percentual de 30% (ALVES; OLIVEIRA, 2007).

Percebe-se que, na maioria das empresas, os cavacos são depositados em sedimentos ao ar livre, corroborando para que agentes poluentes, oriundos do fluido de corte com ações do meio ambiente, sejam emulsionados em rios e sistemas subterrâneos, acarretando em gravíssimas danificações ao meio ambiente (TEIXEIRA FILHO, 2006).

"Os procedimentos de manuseio dos fluídos devem ser argumentados com os fornecedores, uma vez que, o manuseio correto poderá evitar o uso do fluido de corte em equipamentos inadequados; direcionamento ineficiente do fluido; reaproveitamento de fluidos incompatíveis; concentração irregular; adição irregular de biocidas; qualidade e quantidade da água; mistura invertida (água no óleo); agitação ineficiente no momento da mistura; falta ou inadequado controle e registros (GONÇALVES, 2008, p. 31)".

O manejo e descarte inadequado dos fluidos de corte são geralmente complexos e difíceis de resolver, podendo, os principais riscos, ser exemplificados na Figura 7.

Atividade	Aspectos Ambientais	Impacto no ambiente
Armazenagem	Vazamento de resíduos líquidos.	Poluição do solo e corpos d'água.
Preparação do fluido de	Contato com pele do operador e inalação de	Doenças respiratórias e de pele.
corte (emulsão).	vapores.	
Etapas do sistema	Respingos e contato com a pele do operador.	Diversas doenças e irritações de
produtivo.	Vazamentos para rede de coleta de esgoto.	pele (dermatites e eczemas) do
	Formação de névoa e vapores.	operador e doenças respiratórias.
	Formação de lamas de retificação.	Contaminação de rios e solos.
Armazenagem, transporte	Vazamentos de fluidos de corte em terrenos e	Contaminação de rios, solos e ar
e descarte de cavaco	estradas.	atmosférico.
como sucata para	Emissões de gases tóxicos na atmosfera.	
fundição.		
Armazenagem e descarte	Vazamentos de resíduos para o meio ambiente.	Contaminação de rios e solos.
de resíduos de fluido de	Eliminação de resíduos em local não autorizado.	
corte.		

Figura 6: Principais riscos ambientais decorrentes do uso, manuseio e descarte de fluidos de corte utilizados nos processos de usinagem

Fonte: Teixeira Filho (2006)

Similarmente, ao inalar o vapor oriundo dos fluidos no decorrer do processo de usinagem, os operadores podem desenvolver diversas doenças de cunho respiratório, bem como, irritações nas mucosas como nariz, garganta e olhos. Em casos mais extremos, os aditivos derivados destes são propícios ao desenvolvimento de células cancerígenas (TEIXEIRA FILHO, 2006).

2.4 Usinagens com o sistema de mínima quantidade de lubrificante

A objetivação da técnica de quantidade mínima de lubrificação (MQL) entende-se como a utilização de pouca quantidade de fluido lubrificante no processo de mesclar o mesmo juntamente com a corrente de ar comprimido. Cabe-se ressaltar que neste, o fluido destina-se à lubrificação e o ar em resfriar (KRÜGER, 2019).

Descreve-se, então, como uma metodologia de atomização, ou também névoa ou MQL, a aplicabilidade do fluído de corte, fundamentando-se na utilização de 10ml/h a 200ml/h de consumo e em altas pressões (KRÜGER, 2019). Concomitantemente, ao mesclarse o ar comprimido aos fluídos lubrificantes, emprega-se estes a área de interação cavaca-ferramenta (KRÜGER, 2019).

O sistema MQL proporciona a formação de uma película lubrificante de qualidade superior, que possibilitará a redução do atrito entre a peça e a ferramenta utilizada.

Simultaneamente esta película, forma-se, através das moléculas de fluido, as distinções de polaridade, as quais se unen em padrão molecular e constituem uma camada de proteção superior. Desta maneira, o calor provocado acopla-se diretamente no cavaco protegendo a mesma, bem como a ferramenta (BORTOLINI, 2013).

Sendo assim, esta técnica possibilita a economia de fluídos durante a confecção das peças, além de melhorar questões em volta "formação do cavaco, temperatura de usinagem e qualidade do acabamento da peça usinada (FREITAS, 2016, p. 30".

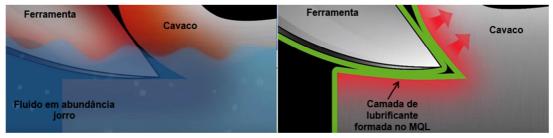


Figura 7: Sistema convencional por jorro X Sistema MQL Fonte: Adaptado de Freitas (2016)

Conforme demonstrado da Figura 7, podemos observar as diferenças entre o sistema convencional e o sistema MQL. Este último se destaca devido suas beneficências, comparado ao primeiro, destas podemos elencar: melhor refrigeração e lubrificação, favorecimento ao descarte dos fluidos, bem como, sua reutilização, produção com menor custo monetário, estimando-se, ainda, que este seja 16% menor no custo total, e, por fim, a minimização de aditivos (PINTO, 2015; FREITAS, 2016; ALVES, 2019).

2.5 Produtividades do sistema MQL

De caráter novo, a utilização de procedimentos que utilizem o MQL e sua pesquisa, se restringe a poucos pesquisadores. No entanto, salienta-se que as resultantes em torno deste são satisfatórias ao que diz respeito ao empenho de uma lubrificação convencional, propagando a vida útil e acabamento superficial da ferramenta (SARNI, 2011).

Expõem-se, visivelmente, melhorias como a higienização do ambiente de trabalho em decorrência da não ou pouca utilização de óleos, além da eliminação "método elimina bomba de refrigeração, ensaios de arrefecimento, tratamento de refrigerante e eliminação de líquido de arrefecimento (CARDOSO, 2014, p. 55)".

Além disso, torna-se oportuno ressaltar que devido à utilização baixa de fluidos, caracteriza-se como uma usinagem a seco, acarretando em descarte com melhor custo benefício (RIBEIRO, 2017).

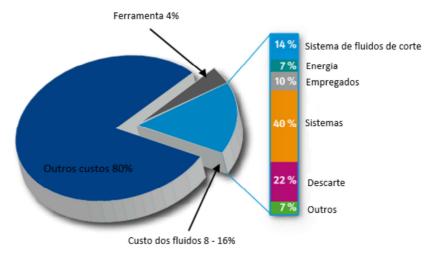


Figura 8 Porcentagem média dos custos gerados pelo processo de usinagem em jorro Fonte: Ribeiro (2017)

Sendo assim, observa-se na Figura 7, a porcentagem de custos exercidos pela utilização de esguicho de fluídos de corte no decorrer do método de usinagem, comparando que a minimização dos custos destes relacionam-se diretamente "no descarte de cavacos, manutenção e preparação de fluido, problemas desprezados com uso de MQL" (RIBEIRO, 2017, p. 31).

Por fim, cabe-se salientar a economia, a qual gira em torno de 95% do gasto energético, devido a não utilização de bombas de elevado pressão; no entanto, aumenta-se 5 a 8% dos valores acerca do ar comprimido.

2.6 Relações do sistema convencional para o sistema MQL de usinagem

Como visto anteriormente no presente trabalho, a utilização de volume excessivo de fluídos de corte no sistema convencional, se volta a viabilizar a extração de calor abundante por meio de lubrificação, removendo os cavacos restantes através da área de corte limpa (FRAGOSO et al., 2016).

Ademais, Fragoso et al. (2016) considera que a objetivação básica da utilização de fluidos de cortes propõe-se a diminuir consequências mecânicas, térmicas e químicas acondicionando a totalidade plena do objeto usinado.

Fusse (2005) acredita que o sistema MQL, comparado à lubrificação convencional, se desenvolve com melhor eficiência, visto que, em sua pesquisa em uma velocidade de 40m/s, o consumo de fluídos se deu a 60 ml/h, além de não apresentar deformações nas propriedades mecânicas das ferramentas.

Na mesma pesquisa, ainda se observou a minimização considerável de princípios de rugosidade. Do mesmo modo, relacionado à microscopia eletrônica, varredura e micro dureza não houve modificações (FUSSE, 2005).

Analogamente através de, Alves, Bianchi e Aguiar (2010) em pesquisa similar, constatou-se como própria a substituição da técnica convencional pela MQL, visto que a mesma possibilita menores danos ao ambiente e ganhos monetários. Ao contrário do sistema convencional, a proliferação de bactérias por meio dos altos teores de metais maciços, bem como detritos metálicos na composição do fluido, corrobora para o desenvolvimento de enfermidades no sistema digestivo, respiratório e doenças de pele (FRAGOSO et al., 2016).

Em consequência da formação química dos fluídos mencionados anteriormente, incluem elementos como cloro, enxofre, dentre outros, desfavoráveis à saúde e meio ambiente (FRAGOSO et al., 2016).

Tabela 3 Sistema convencional X Sistema MQL

	Sistema Convencional	Sistema MQL
Quantidade de lubrificante	Grande	Mínima
Aumento de vida útil da ferramenta	Não	5x maior
Implementação teórica e prática	Fácil	Complexa
Ecologicamente Correto	Não	Sim
Melhor acabamento superficial	Pouco	Muito

Fonte: Adaptado de Fusse (2005)

É de fundamental importância, delimitarmos as diferenças entre o sistema convencional para o MQL, possibilitando elencar como Fusse (2005) e Alves, Bianchi e Aguiar (2010) quais benefícios conduziram para o êxito de suas pesquisas.

Do mesmo modo, convêm-se destacar que, no sistema convencional, o objeto usinado fica submerso pelo fluído, dificultando sua visibilidade pelo operador no decorrer da produção. Todavia, no sistema MQL observa-se a mesmo durante toda sua fabricação (FRAGOSO et al., 2016).

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 Aspectos Gerais

Os experimentos de usinagem no torneamento MQL imprescindivelmente devem seguir a ordem adjacente, primeiramente o ensaio de potência e usinagem no torneamento e em sequência o ensaio de rugosidade sendo aplicado a usinagem a seco, Jorro e MQL.

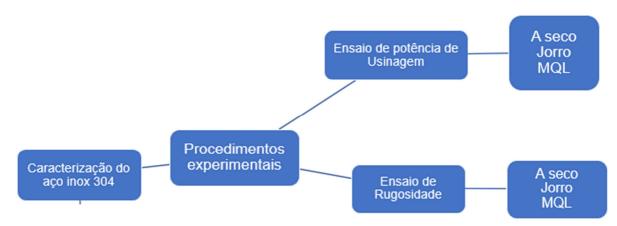


Figura 9 Fluxograma dos procedimentos experimentais

4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os aspectos metodológicos para comprovação da hipótese levantada no presente trabalho. De cunho bibliográfico, em um primeiro momento, se realizará uma pesquisa em plataformas de cunho acadêmico, tais como Scielo, CAPES, Google Scholar e Repositórios Universitários web.

Sendo assim, foram utilizadas palavras-chave como: a) Sistema convencional de lubrificação; b) Sistema MQL; c) Usinagem e o sistema MQL; d) Fluídos de corte; e) processos de torneamento, em caracteres individuais ou agrupados.

Para os testes, o acadêmico Matheus Vicente Budnak Ferrari utilizou a infraestrutura da empresa Tornomec Tornearia para realização dos testes de rugosidade, quantidade de lubrificante utilizada, melhor aspectos superficiais, impactos ao meio ambiente, qualidade da peça usinagem, além de vasão e desvio padrão, em um período de três meses.

Por fim, os dados foram discutidos, descritos e relacionados com o material bibliográfico para fim de comprovação, ou não, dos dados coletados conforme a problemática desta pesquisa.

4.2 Planejamentos de experimentos

Por meio de experimentos com alto teor de planejamento, tanto na área industrial como científica, verifica-se que são de suma importância, visto que possibilitam a demonstração de resultados exatos e que corroboram para a veracidade da pesquisa.

Para Barros Neto *et al.*, 2001, no decorrer dos anos, desenvolveu-se métodos de planejamento experimental a ser analisada identificando, assim, a interferência destas no resultado final do estudo, caracterizado pela ramificação das variáveis para identificação da intervenção particular destas.

4.2.1 Análise da significância dos efeitos

No que diz respeito ao planejamento fatorial, pode-se caracterizar o efeito dividindo-o em principal, relacionado ao resultado final, sem haver interferência de outros efeitos. Para este trabalho, define-se como efeito principal o aumento da vida útil da ferramenta, a fim de proporcionar um acabamento melhor.

Concomitantemente, ainda, o efeito de interação engloba fatores que agregam ao resultado final, tais como, a minimização dos custos de usinagem, melhor descarte do material retirado da peça, além de diminuir os impactos ao ambiente.

A seguir, serão apresentadas as resultantes oriundas das equações a fim de determinar a velocidade de corte adequada para realização do torneamento mencionadas no parágrafo anterior.

Tabela 4: Cálculo velocidade de corte

Velocidade de Corte	Equação
100	$N = \underline{Vc.1000}$
	D. π
	N = 100.1000
	50,8. π
	N = 626,59 rpm
200	$N = \underline{Vc.1000}$
	D. π
	N = 200.1000
	50,8. π
	N = 1253,8 rpm

Fonte: Autor

Todavia, devido ao torno não apresentar velocidade de 1253,8 rpm, optou-se pela utilização da rotação 950 rpm, visto que se caracterizou como a mais aproximada dentro da numeração permitida.

4.3 Caracterizações do aço inox 304

O aço 304 caracteriza-se por ser um material provável a ser utilizado na maior parte das aplicações como frigoríficos e empresas alimentícias, além disso, podemos nos deparar com ele em utensílios domésticos, tais como garfos, panelas, colheres, entre outros, além de possíveis utilidades em peças de grande porte e responsabilidade (CARBÓ, 2008).

De caráter inoxidável austenítico apresenta baixíssima quantidade de carbono, amagnético e não temperável, além de, casualmente, conter fragmentos de ferrita, o que acarreta em um tênue magnetismo (SILVA, 2015). Outra peculiaridade é que, ao ser deformado pelo frio, transfigura-se em martensítico e, ligeiramente, propicia a resistência contra corrosão (SILVA, 2015).

Torna-se oportuno mencionar, então, que o aço inox 304 pode ser utilizado "na fabricação de válvulas e peças de tubulações, trocadores de calor, equipamentos para

indústrias químicas e em outras aplicações que envolvem elevadas pressões de hidrogênio" (SOUZA, 2006).

Logo, o intuito é de precisar a potência de usinagem no processo de torneamento cilíndrico externo, utilizando-se de um corpo de prova de aço inox 304 (Tabela 4) de 50.8mm de diâmetro por 200 mm de comprimento, submetendo-o ao sistema MQL, jorro e a seco no torno TorMax 35 B, utilizou-se da Vc=100 e 200 m/min, $f_Z=0.2$ e 0,6 mm/rot e $a_P=1.0$ e 4,0 mm.

Tabela 5 Composição química, % em peso máximo – Inox ABNT 304

Tipo de Aço ABNT	С	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
304	0,08	2,00	1,00	0,045	0,035	18,00	8,00

Fonte: Dias et al. (2012)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à utilização sem fluido de corte, percebeu-se a duração da ferramenta em dois passes de 4 mm. Usando a velocidade no torno modelo, utilizou-se a velocidade entre 626,59 rpm a 950 rpm; por outro lado, ao utilizarmos o jorro, (Figura 10) a média de durabilidade foi de 5 passes de 4 mm e, por fim, pelo sistema MQL, obteve-se a resultante de 7 passes com uma ponta da ferramenta

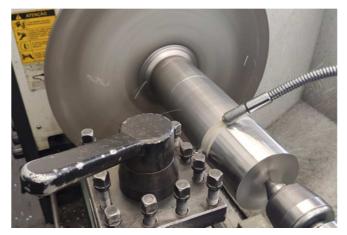


Figura 10 Processo de usinagem Aço inox 304 submetido ao sistema de jorro Fonte: Autor

Desta maneira, os inserto utilizados foram da classe US7020 (Figura 12) oriunda de metal duro composto de carbeto de titânio. Este material pode ser obtido através da prensagem e sinterização de matérias com baixo ponto de fusão combinado aos pós de carboneto. Ademais ainda, há a possibilidade de revestimento em diversos materiais com maior rigidez, mais especificamente, neste caso, o tungstênio protege a ductilidade do inox em alta temperatura, não permitindo a solda através da fusão e atrito na ponta do inserto.



Figura 11: Classe do inserto Fonte: Autor

TT 1 1 /	D '1 1	/ 1'	C' 1	1 .	
Tabela 6.	Rugosidade	média sir	nerticial d	le iisinagem	a seco
I unciu oi	Trugostanac	micara sa	permenare	ac abiliagelli	a seco

	C	ondições de	corte	Rugosidade média – Ra (μm)
	Vc (m/min)	f (mm/r)	Ap (mm)	Média
Passe 1	151,6	0,12	4	1,9
Passe 2	151,6	0,12	4	15,9

Fonte: Autor

No decorrer do estudo, foi possível identificar com base nos cálculos descritos na metodologia, quanto à utilização na prática com velocidade de 950 rpm, e com o método de usinagem a seco (TABELA 6), que o inserto teve durabilidade de 2 passes sem apresentação de desgaste e ausência de modificação no acabamento da peça, visto que a ferramenta já havia sofrido desgaste e queima de ponta (FIGURA 12).



Figura 12 Desgaste sofrido pelo inserto durante a usinagem a seco Fonte: Autor

A figura 13 demonstra o sistema MQL percebendo a entrada de fluido e ar comprimido, onde percebe-se que o ar é jogado junto a tubulação de fluido em um ângulo de 30 graus, para que desta forma possa concomitantemente e puxar o fluido do reservatório e jogá-lo já pulverizado na peça e no inserto, por meio das válvulas oportunizou uma proporção de 150Ml por hora, sendo caracterizado a pulverização quase imperceptível a olho nu, enquanto no sistema convencional é aproximadamente 120litros por hora.



Figura 13 Entrada de fluido e ar comprimido no sistema MQL Fonte: Autor

Por outro lado, ao utilizarmos o jorro de fluído, o inserto apresentou defeitos no acabamento a partir de 5 passes (TABELA 7) comprometendo-o; já com o sistema MQL, o inserto deve durabilidade de 7 passes para começar a manifestar deformidade, resultando uma baixa qualidade. Desta maneira, identificou-se um rendimento de 28.57% segundo a seguinte equação: N = ((7-5)/7) = 28.57%.

Tabela 7: Rugosidade superficial com usinagem com jato de fluido

	Condições de corte			Rugosidade média – Ra (μm)
	Vc (m/min)	f (mm/r)	Ap (mm)	Média
Passe 1	151,6	0,12	4	0,9
Passe 2	151,6	0,12	4	1,6
Passe 3	151,6	0,12	4	1,9
Passe 4	151,6	0,12	4	7,8
Passe 5	151,6	0,12	4	12,6

Fonte: Autor

Na tabela 8 torna-se evidente que, embora a velocidade, avanço e profundidade se mantenham estáveis durante todos os passes, a rugosidade média do inserto (FIGURA 13) desenvolve-se de maneira crescente conforme o passe.

Tabela 8 Rugosidade Média de usinagem MQL

	Condições de corte			Rugosidade média – Ra (μm)
	Vc (m/min)	f (mm/r)	Ap (mm)	Média
Passe 1	151,6	0,12	4	0,8
Passe 2	151,6	0,12	4	0,9
Passe 3	151,6	0,12	4	1,5
Passe 4	151,6	0,12	4	1,9
Passe 5	151,6	0,12	4	2,15
Passe 6	151,6	0,12	4	4,20
Passe 7	151,6	0,12	4	12,4

Fonte: Autor



Figura 14: Inserto de torneamento utilizado com sistema MQL Fonte: Autor

O ensaio de acabamento superficial restringe-se na obtenção da rugosidade de peça torneada, podendo esta ser analisada tanto quando não há utilização de fluído, com o sistema MQL ou a jorro. Desta maneira, restringiu-se o planejamento estatístico à utilização das variáveis de entrada: a) Velocidade de corte, b) Avanço, e c) Profundidade do Corte, acarretando em sete passes cilíndricos.

A metrificação dos parâmetros de caráter de rugosidade foi embasada nas orientações determinadas pela NBR ISO 4287/2002 que prevê caracterizar os aspectos da superfície da peça usinada com base na metodologia de levantamento de perfil.

Em vista, durante o estudo, percebeu-se que os cavacos obtidos se deram de maneira segmenta. Em consequência dos parâmetros de corte, houve ruptura não permitindo que o mesmo se apresente de maneira contínua.



Figura 15 Cavaco segmentado oriundo do estudo Fonte: Autor

Conforme Dias *et al.* (2012), a elevação de picos e vales sob a peça resulta no aumento de níveis de rugosidade. Ademais, considera-se que o perímetro da divisão do corte acarreta no aumento da força para usinagem, gerando vibrações prejudiciais à finalização e qualidade desta.

De acordo com a Figura 15, podem-se classificar os acabamentos superficiais de acabamento com base no grau de rugosidade e processo de usinagem, sendo imprescindível sua consulta para a análise do ensaio de acabamento superficial.

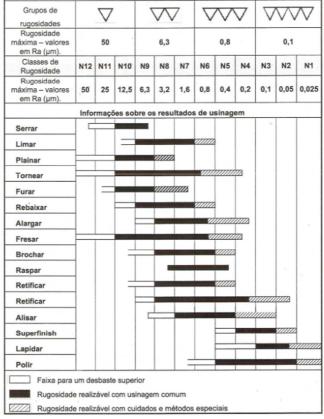


Figura 16 Parâmetros da qualidade da superfície de acabamento Fonte: Catapan (2013)

Tabela 9 Viabilidade econômica no sistema MQL para convencional de jorro de fluido

	Custos MQL		Custo convencional
Bloco	R\$180,00	Bomba 8 m.c.a.	R\$580,00
Mangueiras	R\$100,00	Mangueiras	R\$100,00
Válvulas	R\$60,00	Energia	0,5% da conta
Energia	8 a 10% do compressor		

Tabela 10 Quantificação de pastilhas por usinagem

	3 1 1	<u> </u>	
	Usinagem MQL	Usinagem de Jorro de fluído	Usinagem a seco
Insertos por peça	1 inserto	3 insertos	7 insertos
Valor em reais	R\$30,00	R\$90,00	R\$210,00

Por fim, na tabela 10 percebe-se a viabilidade econômica entre o sistema MQL e o convencional utilizando jorro de fluído estes valores são referentes ao mês de outubro de 2020, complementando pela tabela 10 que apresenta a quantificação de pastilhas por usinagem mostrando que é viável economicamente a implantação do sistema MQL.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiramente, devemos salientar que se torna imprescindível ter ciência sobre os procedimentos no decorrer da usinagem, bem como, seus parâmetros e quais as resultantes deste, tais como, o desgaste, temperatura, velocidade, avanço, e profundidade do corte.

No caráter industrial, percebe-se que o aço inox 304 pode ser utilizado em diversas áreas e finalidades, possibilitando a ampliação do conhecimento na prática e reconhecendo os seus parâmetros e planejamento de experimento a fim de compreender sua aplicação.

Dessa forma, possibilitou-se a compreensão dos sistemas de lubrificação nos processos de usinagem, com enfoque na utilização de MQL, desenvolvendo uma investigação prática, com o propósito de discernir os impactos em torno da peça usinada.

A influência do avanço corroborou para caracterização do cavaco segmentado devido à especificação da pastilha, a qual era própria para utilização em inox. Além disso, foi viável a ação do avanço sob o abalo da pressão do corte e nível de recalque.

Sendo assim, evidenciou-se os benefícios do uso da mínima utilização de lubrificante durante o torneamento em comparação ao método de jorro e a seco, possibilitando uma maior durabilidade e acabamento da peça.

Por fim, torna-se oportuno para trabalhos futuros a realização de um estudo com maior profundidade dentro dos parâmetros usinagem, assim como o ensaio de metalografia e microduzera, complementando-se por testes com brocas e em fresadoras.

REFERÊNCIAS

ABREU, Pedro Jorge Moreira de. **Análise e otimização dos processos de fresamento a altas velocidades no contexto de ferramentaria**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2010.

ALTAN, T.; Peter FALLBÖHMER, P.; RODRÍGUEZ, C. A.; OZEL, T.High-Speed Cutting of Cast Iron and Alloy Steels-State of Research. **VDI BERICHTE**, v.1399, p. 309-332, 1998. ALVES, Breno Bitencourt. **Análise tribologica de fluidos de corte elaborados a partir de óleos SAE 20W 50 utilizando o ensaio de pino disco**. 2019. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2019.

ALVES, Manoel Cléber de Sampaio; BIANCHI, Eduardo Carlos; AGUIAR, Paulo Roberto de. Influência das técnicas de mínima quantidade de lubrificante, refrigeração otimizada e refrigeração convencional na qualidade de peças produzidas com aços endurecidos no processo de retificação. **Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería**, Arica, v. 18, n. 2, p. 228-234, 2010.

ALVES, Salete Martins; OLIVEIRA, João Fernando Gomes de. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais limpa como estratégia de gestão ambiental. **Production**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 129-138, abr. 2007.

BARBOZA, Gabriel Araújo. **Reaproveitamento de fluidos de corte na indústria metalúrgica**. 2018. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

BORTOLINI, André. Estudo do desgaste de brocas HSS em relação à variação da profundidade de furação nos processos com MQL. 2013. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.

CAPUTO, Patrick Croko. Estudo comparativo entre a temperatura no torneamento convencional a seco por imagem termográfica e o modelo analítico de trigger e chao. 2016. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

CARBÓ, Héctor Mario. **Aços Inoxidáveis**: aplicações e especificações. São Paulo: Arcelormittal Inox Brasil, 2008. 29 p.

CARDOSO, Marlon José. **Análise do processo de furação profunda no aço SAE 4144M endurecido utilizando MQL e broca helicoidal revestida**. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CATAPAN, Márcio Fontana. Apostila de desenho mecânico 1. Curitiba: UFPR, 2013, 42 p.

DEVERAS, Andressa Mayara. **Estudo da rugosidade superficial no torneamento do aço AISI 8640 com ferramentas alisadora e convencional**. 2016. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

DIAS, Aline Pires *et al*. Análise de parâmetros de usinagem do aço inox austenítico abnt 304. **Cadernos Unifoa**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 29-36, 2012.

FERRARESI, D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. São Paulo: Blucher, 1977.

FONSECA, Eduardo Cerqueira da. **Avaliação dos tempos e custos improdutivos sem usinagem pesada**. 2006. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

FRAGOSO, Kamira Miksza et al. Retificação cilíndrica do aço VP50 utilizando o rebolo de carbeto de silício verde com a técnica de MQL. **Revista Matéria**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 756-766, 2016.

FREITAS, Rafael de Souza. **Torneamento do aço SAE 4340 com mínima quantidade de lubrificante**. 2016. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade de Brasília - UNB, Brasília, 2016.

FUSSE, Ronaldo Yoshinobu. Estudo comparativo entre a lubri-refrigeração convencional e a MQL no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.

KRÜGER, Mateus. **Projeto e construção de equipamento MQL para utilização no processo de usinagem**. 2019. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2019.

LISBOA, Fabio Cordeiro de; MORAES, Jessyca Jordanna Barroso de; HIRASHITA, Massako de Almeida. FLUIDOS DE CORTE: uma abordagem geral e novas tendências. : UMA ABORDAGEM GERAL E NOVAS TENDÊNCIAS. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2013.

LONDERO, Felipe Oliveira. **Avaliação de desgastes em ferramentas de metal duro revestido no torneamento do aço SAE 5160 Esferoidizado**. 2014. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.

MARGARIDO, Alexandre. Estudo da influência da força de corte da usinagem a verde nas propriedades mecânicas de cerâmicas sintetizadas. 2011. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de M Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Projeto Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

MELO, José Felipe Nobre de Monitoramento da evolução do desgaste de uma ferramenta de corte através de vibrações. 2014. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

NEUMANN, Alessandro Diego. Efeitos da influência dos fluidos lubri-refrigerantes sobre os desgastes das ferramentas de corte. 2016. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheira

Mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2016.

PEIXOTO, Augusto César Santos. **Simulação da influência de parâmetros de usinagem no fresamento de topo do inconel 718 e validação com resultados experimentais**. 2019. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

PINTO, Ana Alicia de SÁ. **Sensibilidade de bactérias isoladas de fluido de corte a biocida sintético e natural**. 2015. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

RIBEIRO, Alexandre de Sousa. **Aplicação de mínima quantidade de lubrificante no fresamento do aço SAE 8640**. 2017. 109 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SALES NETO, Gerson Caetano de; DA SILVA, Edson Roberto. **Influência do fluido de corte no torneamento de aço e materiais não ferrosos**. Disponível em http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/GERSON.pdf>. Acesso 25 set 2020.

SANTANA, Mysael Silva. **Estudo de parâmetros de usinagem do aço SAE 4140 no torneamento CNC**. 2011. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.

SARNI, Edmilson Antônio. Utilização da mínima quantidade de lubrificante (MQL) com água no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho, em cerâmicas, com rebolo diamantado. 2011. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2011.

SILVA, Lucas Kling e. Caracterização magnética dos efeitos de deformação em aços ferríticos através da técnica bitter modificada. 2015. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Metalúrgico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Fundamentos dos processos de Usinagem**. Disponível http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS1.pdf>. Acesso em 20 set 2020.

TEIXEIRA FILHO, Fernando. A utilização de fluido de corte no fresamento do aço inoxidável 15-5PH. 2006. 230 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

ANEXO A

Declaração de correção ortográfica

DECLARAÇÃO DE REVISÃO ORTOGRÁFICA E GRAMATICAL

Eu, LETÍCIA SCHULER GONÇALVES, RG 9075170441, CPF 80858880091, e-mail letty.schuller@gmail.com, telefone 55991523287, declaro para os devidos fins que fiz a correção ortográfica e gramatical da monografia intitulada USINAGEM DE AÇO INOX 304 VISANDO A MINIMIZAÇÃO NO USO DE LUBRIFICANTE de autoria de MATHEUS VICENTE BUDNAK FERRARI, acadêmico(a) regularmente matriculado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Assis Gurgacz.

Por ser verdade, firmo o presente documento.

Cascavel, 06 de novembro de 2020.

Nome e assinatura do professor de português

Anexo B Declaração de pós-banca

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ MATHEUS VICENTE BUDNAK FERRARI

USINAGEM DE AÇO INOX 304 VISANDO A MINIMIZAÇÃO NO USO DE LUBRIFICANTE

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor (a) Carlos Alberto Breda.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Msc. Carlos Alberto Breda Faculdade Assis Gurgacz – FAG Engenheiro Mecânico

Msc. Cleberson Pereira
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenbeiro Mecanico

Faculty of Assis Gurgaez – FAG Engenheiro Mecânico

Cascavel, 25 de novembro de 2020.