

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO – Engenharia Mecânica
Disciplina MEC041 - Trabalho Final de Graduação II

INFLUÊNCIA DO USO DE FLUÍDOS DE CORTE SOBRE A TEMPERATURA E A FORÇA DE USINAGEM NO TORNEAMENTO DO ALUMÍNIO

Autor 1 – Samuel Baruffi
baruffisamuel@gmail.com

Autor 2 – Luiz Airton Consalter
lac@upf.br

Comissão Examinadora – Willian Haupt, Leandro Tagliari.

RESUMO

Os fluídos de corte são amplamente utilizados em operações de usinagem, a grande maioria dos fluidos utilizados atualmente são de origem petrolífera, a base de minerais os quais são de difícil descarte na natureza, uma das alternativas a ser adotada é a utilização de fluidos de origem vegetal. Este trabalho avalia o comportamento das forças e temperaturas de usinagem quando variado avanço e velocidade de corte como parâmetros, fazendo uso de fluido de corte mineral e vegetal aplicados em mínima quantidade de líquido (MQL) e em jorro, tendo como resultado uma grande influência do avanço nas forças e temperaturas de corte, o mesmo comportamento de força e temperatura para ambos os fluidos avaliados, tornando viável a substituição do fluido mineral pelo vegetal.

Palavras chaves: Torneamento; ferramentas de aço rápido; fluídos de corte.

1 INTRODUÇÃO

Entende-se por operações de usinagem aquelas em que ocorre remoção de material, levando a peça a uma nova forma, geometria e acabamento, resultando na produção de cavacos. Entre tantas operações de usinagem o torneamento destaca-se por ser uma das operações mais utilizadas dentro da indústria metal mecânica.

Visando a melhoria da técnica de usinagem, produtiva e economicamente, utilizam-se nas operações de usinagem produtos auxiliares conhecidos como meios lubri-refrigerantes, que são fluidos de corte e óleos de corte (CASTRO, 2001). Fluídos de corte tem influência direta relacionada ao desgaste das ferramentas de corte, aumentando a produtividade e a qualidade dos produtos finais. As melhorias de caráter funcional de tais fluídos de corte são aquelas que facilitam o processo de usinagem, conferido a este um melhor desempenho, reduzindo o coeficiente de atrito entre peça-ferramenta-cavaco, auxiliando na expulsão do cavaco da região de corte, refrigeração da ferramenta, refrigeração da peça em usinagem, qualidade dimensional, melhor acabamento da peça usinada, refrigeração da máquina-ferramenta e impedimento da corrosão da peça usinada. Distingue-se entre as melhorias de caráter econômicos: redução do consumo de energia de corte, redução do custo da ferramenta na operação ou redução do custo de fabricação (JUNIOR, 2013).

Apesar de gerarem certos benefícios, se associa aos fluídos de corte certos aspectos negativos, sua utilização, manutenção e descarte podem apresentar riscos à saúde e ao meio ambiente, o que pode elevar os custos da produção. Danos à saúde mais comuns causados pelos fluidos de corte são dermatites, danos no aparelho respiratório e diversos tipos de câncer. Os danos ao meio ambiente podem ocorrer durante a sua utilização, processamento e descarte, onde acidentes e

perdas por vazamento, arraste, emissões e descarga podem levar à contaminação do solo, do e da água (CASTRO, 2001).

Nos dias atuais com a conscientização ambiental, procura-se cada vez mais atingir a produção limpa amenizando danos ambientais, devido a criação de leis mais severas quando ao manuseio dos fluídos de corte tem encarecido sua utilização, de tal forma a indústria vem buscando novas alternativas para substituição dos fluídos convencionais.

Uma alternativa para minimizar o problema é a utilização da técnica de mínima quantidade de líquido (MQL), de preferência com fluídos não agressivos ao meio ambiente como o óleo vegetal. Tem-se revelado muito vantajosa a aplicação dessa técnica principalmente na operação de torneamento, pois consiste na pulverização de uma pequena quantidade de fluído lubrificante na região de corte (JUNIOR, 2013).

Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência de diferentes tipos de fluídos de corte nas forças e temperaturas no torneamento, com o intuito de avaliar uma possível substituição dos fluídos de corte de base mineral os quais são de difícil manuseio e descarte dentro da indústria, por fluídos de base vegetal os quais não são nocivos a saúde e de mais fácil descarte no meio ambiente, realizando a aplicação dos fluídos pelo método de MQL e métodos convencionais (jorro).

1.1 Objetivos Gerais e Específicos

Se tem por objetivo realizar uma avaliação sobre a influência de 2 tipos de fluídos de corte nas forças e temperaturas de usinagem no torneamento do alumínio com ferramenta de aço rápido para baixa velocidade de cortes.

Tem-se por objetivos específicos:

- Analisar a influência dos parâmetros de usinagem na força e temperatura de corte
- Avaliar o comportamento do fluido biodegradável em relação ao óleo mineral como fluido de corte.
- Analisar o comportamento de forças e temperaturas da usinagem relativa ao tipo de fluído a ser usado

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processo de torneamento

O torneamento é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução, com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. A peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar com o eixo referido (FERRARESI, 1977). É uma operação de usinagem com geração de cavaco, que se dá através da remoção de material da peça pela ferramenta monocortante, atribuindo à peça nova geometria e dimensões definidas. Processo em que a peça executa o movimento de corte rotativo e a ferramenta o movimento translativo de avanço.

É difícil citar algum produto que não necessite, direta ou indiretamente, o uso de uma operação de usinagem em algum processo de sua manufatura. O processo de torneamento é extremamente complexo, envolvendo fenômenos com efeitos mecânicos, metalúrgicos e térmicos que intervêm substancialmente no modo de formação do cavaco, nas forças de corte e na vida da ferramenta. Segundo Trent e Writing (2000) a usinabilidade de um material pode ser quantificada levando-se em consideração o número de componentes produzidos por hora, o custo de usinagem do componente ou a qualidade final da superfície trabalhada. O material removido no processo de

torneamento desliza na face da ferramenta, conhecida como superfície de saída, resultando em elevadas tensões normais e de cisalhamento.

Elevadas temperaturas na região de corte decorrentes da transformação de calor de uma grande parcela de energia mecânica utilizadas no processo de usinagem proporcionam a ferramenta maior taxa de desgaste. A introdução de elementos sólidos, líquidos ou gasosos nos processos de usinagem tem o objetivo de reduzir a temperatura através da lubrificação, refrigeração ou ambas. Tais agentes de melhoria de corte são denominados fluídos de corte, devido a maioria dos compostos utilizados para este fim estar no estado líquido (OLIVEIRA, 2003). Fluidos de corte normalmente utilizados na indústria metal mecânica vem de origem mineral o que causa altos custos de descarte bem como de difícil manuseio dentro da indústria, portanto fluidos de corte de origem vegetal aplicados de maneiras eficientes vêm sendo apontados como uma solução.

2.2.1 Torneamento do alumínio

Segundo Trent e Wright, 2000, o alumínio engloba características que o classificariam como um material de boa usinabilidade. Isto se deve ao fato de que alguns fatores favorecem a usinagem desse material como o baixo ponto de fusão (baixa temperatura gerada na usinagem). Porém, Diniz et al., 2013, ressaltam que se o alumínio e suas ligas forem avaliados com critérios de usinabilidade baseados na rugosidade da peça e na característica do cavaco gerado, pode-se dizer que este material não possui boa usinabilidade. A usinagem deste material oferece várias vantagens importantes, incluindo velocidade de corte quase ilimitada, baixas forças de corte, bom controle dimensional e longa vida da ferramenta (WEINGAERTNER e SCHROETER, 1990).

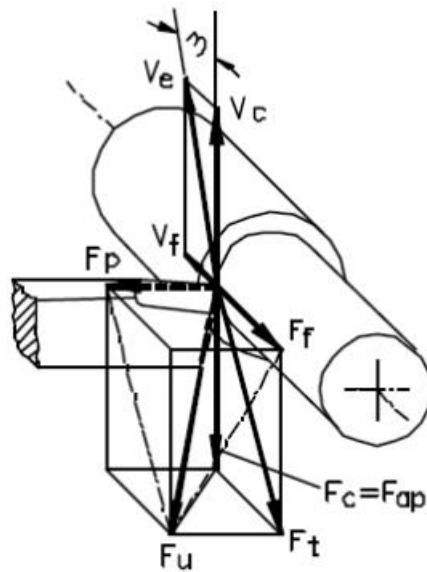
Quando os materiais dúcteis (como o alumínio) são usinados, é formada uma grande área de contato ferramenta cavaco e a relação entre a espessura do cavaco inicial e instantânea é alta, o que contribui para aumentar as forças de corte, a potência de usinagem, na geração de calor e para gerar cavacos longos e fibrosos, bem como acabamentos ruins de superfície. Por outro lado, a resistência ao cisalhamento é relativamente baixa, o que, mesmo com grandes áreas de contato ferramenta-cavaco, a usinagem de alumínio é relativamente fácil (REIS, 2015).

Ligas de alumínio oferecem muitas e importantes vantagens na usinagem, incluindo velocidade de corte quase ilimitada, excelente acabamento superficial, baixas forças de corte. A força de corte requerida para se usinar o alumínio e suas ligas é menor do que seria de se esperar, com base nas suas propriedades mecânicas. A energia consumida por unidade de volume de metal removido é muito baixa e a potência requerida para usinagem é proporcional à velocidade e à força de corte, caindo com o aumento do ângulo de saída. Devido ao grande volume de cavaco a ser removido na usinagem, dadas as grandes velocidades de trabalho, a forma de cavaco obtido é um critério fundamental para a manutenção do regime de produção, principalmente quando se utilizam equipamentos automáticos (WEINGAERTNER e SCHROETER, 1990).

2.1 Forças no processo de torneamento

Segundo Machado et al. (2015), é importante conhecer as forças de usinagem, que agem sobre a aresta cortante, pois a partir do estudo de suas componentes é possível calcular a potência necessária para o corte, bem como as forças atuantes nos elementos da máquina-ferramenta, além de manter relação com o desgaste das ferramentas de corte. A força de usinagem pode ser responsável direta pelo colapso da ferramenta de corte por deformação plástica da aresta, além de influenciar diretamente no desenvolvimento de outros mecanismos e processos de desgaste. Pode também representar um índice de usinabilidade do material da peça, e também ser utilizada como parâmetro para controle adaptativo do processo (SALES, 1999). A Figura 2.1 mostra, com corte tridimensional, os componentes da força de usinagem no processo de torneamento.

Figura 2.1- Componentes das forças de usinagem no processo de torneamento



Machado et al. (2015)

Os três componente básicos da força de usinagem são:

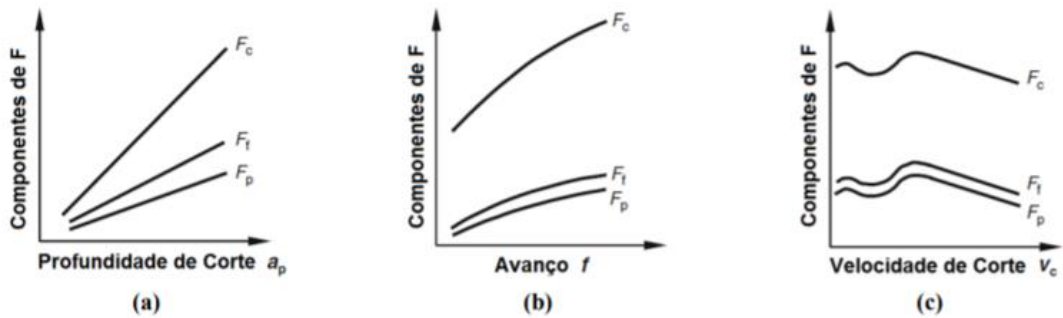
- Força de corte (F_c) é a projeção da força de usinagem sobre o plano de trabalho, na direção de corte, dada pela velocidade de corte.
- Força de avanço (F_f) é a projeção da força de usinagem sobre o plano de trabalho, na direção do avanço, dada pela velocidade de avanço.
- Força passiva ou de profundidade (F_p) é a projeção da força de usinagem perpendicular ao plano de trabalho.

$$F_u = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2}$$

Equação 2.1

Klocke (2011) mostra o aumento das forças com o incremento de 100% na profundidade de corte (a_p) e no avanço (f), e um ligeiro aumento das forças com a diminuição de 17% na velocidade de corte (v_c) em todas as condições de lubrificação. Para ilustrar, o aumento médio da força de usinagem (F_c) foi de 86,6% para o acréscimo de a_p , 78,2% para o acréscimo de f e 1,3% para o decréscimo de v_c , como ilustrado na figura 2.2

Figura 2.2. Dependência das componentes das forças de usinagem em relação a: (a) profundidade de corte; (b) avanço; (c) velocidade de corte.



(FEIX, 2019)

Ao analisar as forças de corte no torneamento de aço inox Cruz de Jesus, 2013 concluiu que a profundidade de corte apresentou significativa influência nas forças de usinagem enquanto a velocidade de corte não mostrou influência.

Schuitek (1997) avaliou a influência do fluido (emulsão de óleo 3%) em relação à usinagem a seco através do processo de torneamento da liga de alumínio AA2011-T3 e verificou pequena redução nas forças de corte somente para avanços maiores que $f = 0,167$ mm/volta, mesmo em pequenas velocidades ($v_c = 63$ a 160 m/min).

A Figura 2.3 mostra os gráficos das forças de corte (F_c), de avanço (F_f), passiva (F_p) e de usinagem (F) obtidos a partir dos ensaios realizados por Souza, 2019 na usinagem do aço AISI 420C no qual concluiu que a força de avanço sofre maior influência da profundidade de corte e que a força passiva sofre maior influência do avanço. O corte a seco apresentou bons resultados, entretanto, a presença do lubrificante promove a redução da força de usinagem e de suas componentes (força de corte e força passiva). Isso pode aumentar a vida útil da ferramenta, o que geraria uma redução de custos com ferramentas e com consumo de energia. Dentre os sistemas por lubrificação, a usinagem com QRF gerou os melhores resultados (menores forças de corte, avanço e usinagem), servindo de alternativa às operações que não dispensam o uso de lubrificante.

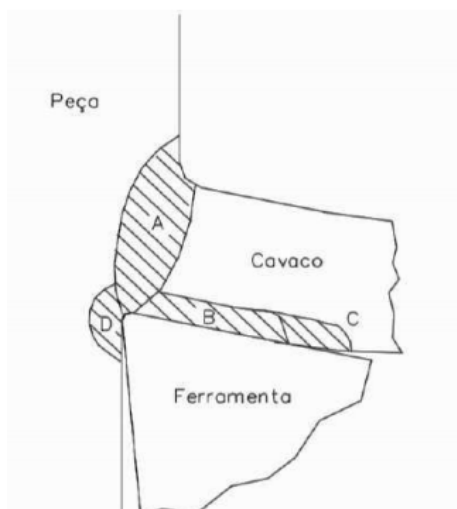
A medição da força de usinagem pode ser realizada de forma direta ou indireta. Na forma indireta, mede-se o deslocamento de molas, utilizando-se meios de medida mecânicos, elétricos, pneumáticos e hidráulicos. Por meio de correlações previamente estabelecidas, mede-se a força. Na forma direta, a força é medida baseado na piezoelectricidade, na magneto-estricção ou na magneto-elasticidade (FERRARESI, 1977). A evolução dos sistemas de medição de força de usinagem conduziu aos atuais dinamômetros piezoeletricos, com resolução, sensibilidade e faixa de operação adequadas às aplicações práticas e acadêmicas (MACHADO, et al., 2015).

2.2 Temperaturas no torneamento

Da energia total consumida em usinagem, quase toda ela (aproximadamente 98%) é convertida em calor, calor esse que pode produzir temperaturas muito elevadas na interface cavaco-ferramenta (TRENT e WRIGHT, 2000; MACHADO, et al., 2015; GROOVER, 2014). As temperaturas elevadas podem reduzir a vida da ferramenta, produzir cavacos quentes que colocam em risco a segurança do operador da máquina e causar imprecisões dimensionais na peça, devido à expansão térmica do material trabalhado. De acordo com Machado et al. (2015), o custo da usinagem depende da quantidade de material removido, e pode ser reduzido quando as velocidades de corte e/ou de avanço aumentam. Entretanto, há limites para essas velocidades, acima dos quais a vida da ferramenta é drasticamente reduzida. Em usinagem de ligas de níquel, por exemplo, é gerado um maior aquecimento da ferramenta, o que a leva a um colapso em um curto tempo de

usinagem. Por causa desses e outros motivos, é importante compreender quais fatores influenciam a geração de calor, bem como de que maneira os fluxos de calor e as temperaturas são distribuídos na ferramenta e na peça, próximo à aresta cortante. As fontes geradoras de calor no processo de usinagem são a deformação e o cisalhamento do cavaco no plano de cisalhamento e os atritos entre cavaco/ferramenta e ferramenta/peça (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 2008). Na figura 2.3 é possível observar as regiões onde o calor é percebido durante a formação dos cavacos.

Figura 2.3. Zonas de geração de calor em Usinagem. Fonte



A – Zona de Cisalhamento Primário

B e C – Zonas de Cisalhamento Secundário

D – Zona de Interface entre peça e superfície de folga

(MACHADO et al, 2015)

Uma boa parte do calor gerado na zona de cisalhamento primário é dissipada pelos cavacos, uma pequena porcentagem é dissipada pela peça e outra pelo ambiente. O restante vai para a ferramenta de corte. Como a região da ferramenta que recebe esse calor é reduzida (área da interface cavaco/ ferramenta e ferramenta/peça) e não muda com o tempo, altas temperaturas se desenvolvem ali, temperaturas essas que contribuem muito para o desgaste das ferramentas (DINIZ, 2013).

O calor gerado na zona secundária de cisalhamento tem a maior influência sobre o desempenho das ferramentas e é praticamente um fator limitante para a taxa de remoção de material, especialmente por meio do aumento da velocidade de corte. Esse fato torna as temperaturas na superfície de saída da ferramenta as maiores do sistema.

Na maioria das vezes, o aquecimento da peça é considerado benéfico, já que reduz a tensão de cisalhamento do material, tornando a usinagem mais fácil, mas também pode alterar as propriedades do material nas regiões próximas à superfície, e causar problemas dimensionais na peça (FEIX, 2019).

Por tantos motivos, a temperatura de usinagem é uma das variáveis mais influentes nos processos de usinagem, justificando a grande quantidade de trabalhos que buscam avaliar as influências no desempenho das ferramentas de corte. Apesar disso, medir a temperatura de corte não é uma tarefa fácil, por causa das condições dinâmicas do processo, além da interface ser praticamente inacessível, tornando os processos de medição imprecisos.

A quantidade de calor gerado na usinagem aumenta com acréscimos na velocidade de corte, avanço e profundidade de corte interferindo no aumento da temperatura. O acréscimo da temperatura em função do avanço pode ser explicado pelo aumento da área de contato da aresta de corte da ferramenta com o material da peça o que implica em maior atrito e conseqüentemente maior temperatura nesta região (CRUZ DE JESUS, 2013)

Cruz de Jesus, 2013 concluiu que a velocidade de corte, quando variado os parâmetros de ângulo de posição, avanço, velocidade de corte e profundidade de corte, não interferiu significativamente nos valores da temperatura na região de corte, notou também que o acréscimo na profundidade de corte contribui para o aumento da temperatura nesta região. Em contrapartida, maiores valores de avanço diminuem a temperatura nesta região.

A medição da temperatura de usinagem sempre foi um desafio experimental, e várias metodologias foram desenvolvidas, sendo a maioria delas empregada para medir a temperatura da ferramenta. Dentre essas metodologias, a mais utilizada é a medição da força termoelétrica entre a ferramenta e a peça, também chamado de método do termopar ferramenta-peça (MACHADO, et al., 2015).

Para a medição da temperatura a interface entre a ferramenta e a peça é tratada como uma junta quente de um termopar, já que esta região é bastante íntima e os materiais de peça e ferramenta possuem propriedades diferentes entre si.

O ponto Q de contato entre ferramenta e peça representa a junta quente. Os pontos F1, F2, F3 e F4 representam as juntas frias. A cuba é preenchida com mercúrio até que seja estabelecido o contato elétrico do disco com o elemento E, garantindo o fechamento do circuito. Os fios A1 e A2 fazem a conexão do sistema com o milivoltímetro V, que indica o valor da F.E.M (força eletromotriz) gerada. O sistema deve ser calibrado para fornecer valores de temperatura como função da tensão elétrica.

2.3 Fluidos de corte

As elevadas temperaturas na região de corte decorrentes da transformação de calor de uma grande parcela de energia mecânica utilizadas no processo de usinagem proporcionam a ferramenta maior taxa de desgaste. A introdução de elementos sólidos, líquidos ou gasosos nos processos de usinagem tem o objetivo de reduzir a temperatura através da lubrificação, refrigeração ou ambas. Tais agentes de melhoria de corte são denominados fluidos de corte, devido a maioria dos compostos utilizados para este fim estar no estado líquido (OLIVEIRA, 2011).

Segundo Belluco e De Chiffre (2004) o mercado de fluidos de corte apresenta um grande desenvolvimento, devido principalmente a produção sustentável e as regulamentações ambientais mais rigorosas. Para atender esses requisitos, novas tecnologias para a fabricação de óleos mais "limpos" são desenvolvidas e essa tendência é impulsionada pela redução de custos e desperdícios causados diretamente e indiretamente pelo uso de fluidos de corte não renováveis. De acordo com Sales (1999) os fluidos e lubrificantes utilizados no processo de usinagem possuem uma representatividade de 16 a 20% nos custos de fabricação. Por consequência dos efeitos negativos associados aos fluidos de corte, muitas pesquisas têm sido recentemente dirigidas no sentido de minimizar o uso de fluidos de corte ou evitá-los totalmente.

Ozcelik et al. (2011) descrevem que os fluidos de corte utilizados na usinagem de metais podem ser classificados em minerais, sintéticos, semi-sintético, solúveis e fluidos de corte de base vegetal. Com exceção do fluido vegetal, os demais possuem substâncias químicas prejudiciais ao ecossistema e quando evaporadas causam graves problemas de saúde. Seu uso incorreto polui o ar e o descarte inapropriado contamina a água, o solo e possivelmente os alimentos.

Conforme Ferraresi (1977), os fluidos de corte têm como funções:

- Diminuir o coeficiente de atrito entre ferramenta e cavaco
- Reduzir as forças e potências de usinagem
- Melhorar o acabamento da peça
- Auxiliar na remoção de cavacos na área de corte Refrigeração da peça e da ferramenta

Na usinagem do alumínio a ação do fluido lubrificante a peça usinada deve ser maior que a refrigeração, pois com o aumento da lubrificação as forças diminuem, já com o aumento da refrigeração as forças tendem a aumentar pelo fato de que a diminuição de temperatura afeta a resistência ao cisalhamento (FEIX, 2019). A utilização de um fluido de corte durante o processo de torneamento, influencia diretamente na alteração da pressão específica de corte (K_s) minimizando o atrito entre ferramentas-cavaco gerando uma diminuição de K_s . Logo quanto melhor for a lubrificação na área de corte maior será a penetração do fluido, menor será o K_s (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 1999).

Feix (2019) indica que, ao fazer uso de maiores velocidades de corte (v_c), a principal função do fluido é refrigerar, fazendo com que a temperatura média nas zonas de cisalhamento do cavaco seja reduzida.

Segundo Machado et al. (2011), a redução das forças de usinagem pela utilização de fluidos é proporcional à eficiência de penetração do mesmo no contato cavaco-ferramenta. Klocke (2011) explica que a resistência de materiais dúcteis de baixa dureza é diminuída pelo aumento na temperatura causada pelo aumento da velocidade de corte. Assim, conforme Diniz et al. (2013), em altas velocidades, o efeito lubrificante é reduzido (dificuldade de penetração das gotículas de óleo nas interfaces cavaco-ferramenta e ferramenta-peça) e o efeito refrigerante é aumentado (remoção de calor da zona de corte). Consequentemente, tem-se um aumento das forças na usinagem desses materiais. Schuitek (1997) avaliou a influência do fluido (emulsão de óleo 3%) em relação à usinagem a seco através do processo de torneamento da liga AA2011-T3 e verificou pequena redução nas forças de corte somente para avanços maiores que $f = 0,167$ mm/volta, mesmo em pequenas velocidades ($v_c = 63$ a 160 m/min)

Santos e Sales (2007) indicam que, ao fazer uso de maiores velocidades de corte (v_c), a principal função do fluido é refrigerar, fazendo com que a temperatura média nas zonas de cisalhamento do cavaco seja reduzida. Assim, a ductilidade do material também é reduzida, elevando as forças de corte, o que pode causar piora na rugosidade da superfície usinada. Para baixos valores de v_c , a lubrificação é fundamental para evitar aderência do cavaco na ferramenta evitando formação de aresta postiça de corte (APC)

Existem basicamente três tipos de aplicação de fluidos no processo de usinagem:

- Jorro a baixa pressão
- Sistemas de alta pressão
- Método de mínima quantidade de líquido MQL.

O método de jorro a baixa pressão é o mais utilizado pela simplicidade, enquanto os sistemas de alta pressão exigem equipamentos mais complexos.

3.2.1 Aplicação de fluido de corte em MQL.

A Mínima Quantidade de Lubrificação utiliza uma pequena quantidade de fluido associado ao ar comprimido e direcionados à zona de corte com o intuito de diminuir o atrito entre a ferramenta de corte e a peça (WALKER, 2013). A mínima quantidade de lubrificante (MQL) é definida como um sistema que emprega pequena quantidade de óleo, ou seja, menores ou igual a 200 ml/h misturada com ar comprimido e direcionada à região de corte, evitando as inundações de óleo observadas na refrigeração convencional (OBIKAWA; KAMATA; SHINOZUKA, 2006). A aplicação do MQL emergiu como uma alternativa à redução da utilização de refrigerantes em abundância, então alcançando uma produção mais limpa (OLIVEIRA et al., 2012). Essa técnica de lubrificarrefrigeração promove uma lubrificação mais eficiente pois jatos de ar carregando gotículas de óleo penetram diretamente na zona de corte (OBIKAWA et al., 2006), diferentemente do

modelo convencional, no qual procedimentos específicos devem ser tomados para que o fluido alcance esse mesmo espaço. Braga et al. (2002), comparou o desempenho de uma operação de torneamento com refrigeração abundante em relação à utilização da técnica de Mínima Quantidade de Lubrificação (10 ml/h de óleo em um fluxo de ar comprimido) torneando ligas de alumínio (A356), o resultado desta pesquisa demonstrou que o desempenho do processo (em termos de força, vida da ferramenta), quando usando mínima quantidade de lubrificação, era bem parecido ao obtido quando usado em lubrificação abundante.

2.3.2 Danos à saúde causados pelos fluidos de corte e seu descarte na natureza.

Diversos estudos demonstram que o contato prolongado com os fluidos de corte e seus subprodutos podem causar diversos tipos de doenças de pele e alguns tipos de câncer, além de doenças pulmonares, o contato prolongado de fluidos de corte com o trabalhador no chão-de-fábrica através de respingos, inalação de vapores, névoa no ambiente de trabalho, entre outros, tem demonstrado causar diversos tipos de problemas relacionados à saúde como dermatites, inflamações cutâneas, hiperpigmentação, alergias e outras irritações. Além do mais, no momento em que se deve descartar tais produtos após serem deteriorados pela sua utilização, provocam de uma forma ou de outra, algum tipo de agressão ao meio ambiente (DIAS, 2000).

Hoje a legislação, originada de pressões exercidas por agências de saúde e de meio-ambiente, torna os problemas de reciclagem e descarte dos fluidos de corte uma verdadeira preocupação para os gerentes de produção. Assim, torna-se necessário adotar alguns procedimentos, como:

- Decantação para remoção de material particulado grosseiro, como cavacos,
- Flotação para remoção de particulado fino,
- Uso de hidrociclones ou centrífugas para remoção de contaminantes muito finos,
- Filtração por gravidade, pressão ou a vácuo,
- Tratamento da água (correção de dureza, deionização e destilação),
- Controle biológico.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A avaliação do comportamento dos fluidos de origem vegetal e mineral no torneamento do alumínio, ocorre em torno convencional no qual se mensura a força exercida na usinagem e a temperatura, uma vez que força e temperatura estão diretamente relacionados com a formação do cavaco. Velocidade de corte e avanço são parâmetros influentes no que se refere a força e temperatura no torneamento, no entanto se busca realizar ensaios utilizando intervalos de velocidade de corte e avanços para fluido mineral vegetal, corte a seco e fluido vegetal aplicado em MQL. Com o intuito de melhor realizar o estudo, em busca de uma alternativa com fins ambientais e econômicos quanto ao uso de fluidos de corte na operação de torneamento, desenvolveu-se um modelo de procedimento metodológico representado na figura 3.1

Figura 3.1-Procedimento metodológico de estudo

Planejamento dos ensaios	Ensaio definitivo	Detalhamento dos resultados obtidos
Analises estruturais da realização dos ensaios	Definição do numero de ensaios a se realizar através de software	Elaboração de graficos
Definição de quais parametros de torneamento variar	Definição das velocidades de corte e avanço a serem mensurados	Análizer comparativas entre os resultados obtidos
Definição dos parametros de torneamento a serem mensurados	Definição da geometria da ferramenta a ser usada	Classificação dos resultados
	Usinagem dos ensaios realizando as medições	

AUTOR (2021)

3.1 Planejamento dos experimentos

Se definiu para a realização dos ensaios 4 tipos de fluidos de corte fluido: vegetal, mineral e a seco, também foi realizada a usinagem utilizando fluido vegetal aplicado em método MQL com uma vazão de 113 ml/h.

Quanto aos parâmetros de usinagem, serão utilizadas 2 velocidades de corte e 2 avanços diferentes, a tabela 1 mostra os valores de avanço e velocidade de corte usados para a realização dos ensaios.

Tabela 1 – Planejamento dos experimentos

Número do ensaio	Fluido	Avanço	Velocidade de corte
1	Mineral	0,3 mm/volta	85 m/min
2			65 m/min
3		0,15 mm/volta	85 m/min
4			65 m/min
5	Vegetal	0,3 mm/volta	85 m/min
6			65 m/min
7		0,15 mm/volta	85 m/min
8			65 m/min
9	corte a seco	0,3 mm/volta	85 m/min
10			65 m/min
11		0,15 mm/volta	85 m/min
12			65 m/min
13	MQL	0,3 mm/volta	85 m/min
14			65 m/min
15		0,15 mm/volta	85 m/min
16			65 m/min

Autor (2021)

Se realizou 3 repetições para cada combinação no qual cada fluido de corte será utilizado para 4 combinações de parâmetros de usinagem totalizando assim 16 combinações para os 4 fluidos com 3 repetições totalizando 48 ensaios

Os fluidos de corte foram aplicados em jorro ou inundação, o fluido vegetal aplicado pelo método de MQL utilizou vazão de 113 ml/h.

Para a profundidade de corte se utiliza 2 mm

A composição dos bits de aço rápido usados para a usinagem é especificado conforme a tabela 2

Tabela 2 - Composição química bits de aço rápido utilizados nos ensaios

Cobre (Cu)	Cobalto (Co)	Enxofre (S)	Fósforo (P)	Tungstênio (W)	Carbono (C)	Silício (SI)	Manganês (Mn)	Cromo (Cr)	Molibdênio (Mo)
0,14%	12,00%	0,00%	0,02%	6,09%	0,92%	0,29%	0,29%	3,91%	4,81%

Autor 2021

3.2 Geometria da ferramenta usada.

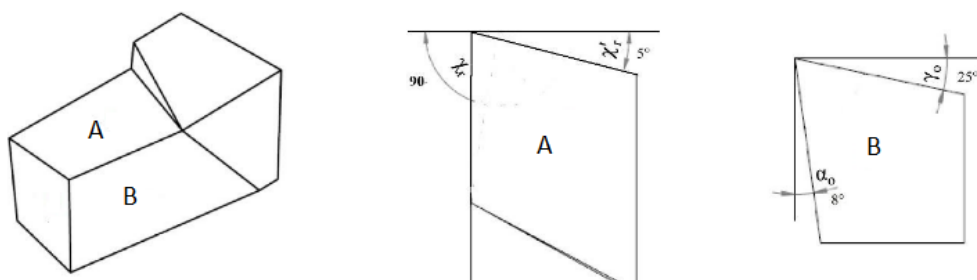
Todos os ensaios serão realizados com uma ferramenta padrão, ou seja, com uma mesma geometria, segundo recomendações e catálogos de fabricantes se define a geometria da ferramenta usada. Logo ao analisar as propriedades do alumínio, classifica-se como um material de boa usabilidade. Segundo Gorla (2015) ao realizar um estudo quanto aos ângulos de ferramenta e sua influência na usinagem do alumínio, concluiu que os ângulos que melhor satisfazem a usinagem do alumínio foram ângulo de saída (γ_0) de 20° , ângulo de folga (α_0) de 6° , superfície secundária de folga ($A\alpha'$) 3° , ângulo de posição primário (κ_r) de 90° e ângulo de posição secundário (ϵ_r) de 15° . Para a realização dos ensaios serão adotados os ângulos descritos na tabela 3.2.

Tabela 3- Ângulos de ferramenta para realização dos ensaios

γ_0	α_0	λ	κ_r	χ_r'
25°	8°	0°	90°	5°

Autor (2021)

Figura 3.2-Geometria da ferramenta.



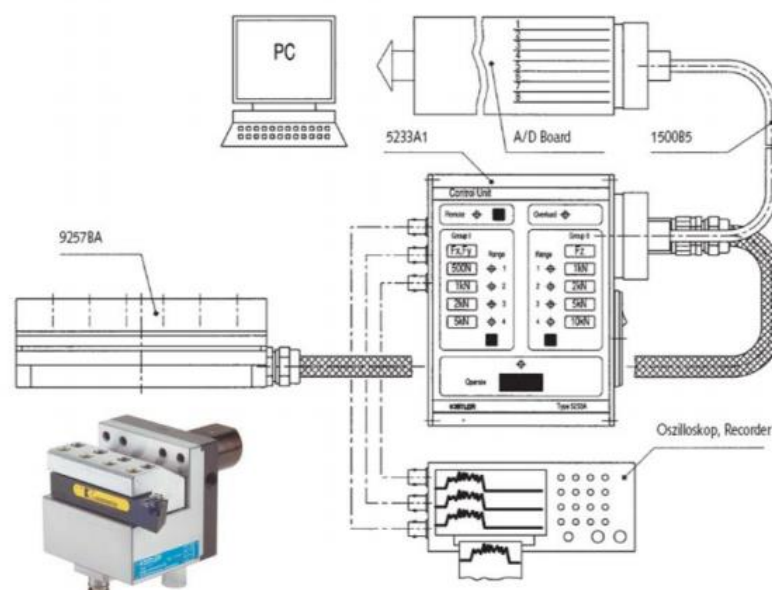
Auto (2021)

3.3 Métodos de mensuração de forças e temperaturas na usinagem.

Para a mensuração da força se utiliza um dinamômetro acoplado no torno mecânico, uma vez acoplado no torno mecânico conecta-se a um computador realizando a leitura das forças decorrentes na usinagem, o torno mecânico utilizado para a realização dos ensaios é um torno Romi modelo ES 40A, com potência máxima de 15 CV (11 kW), e rotação máxima de 1700 rpm, placa universal de três castanhas.

Para a medição das forças no torneamento se utiliza um dinamômetro piezelétrico Kistler modelo 9121 com capacidade de carga de ± 6 kN no eixo Z e de ± 3 kN em cada um dos eixos X e Y. O suporte da pastilha foi montado (acoplado) no porta-ferramentas da plataforma 9153 A20 do dinamômetro. O software Kistler Dynoware interligado a um computador registra a aquisição dos dados em uma taxa de 1000 pontos por segundo (1 kS/s) das componentes das forças de usinagem (F_c , F_p e F_f). A figura 3.3 mostra detalhadamente o monitoramento das forças através do dinamômetro.

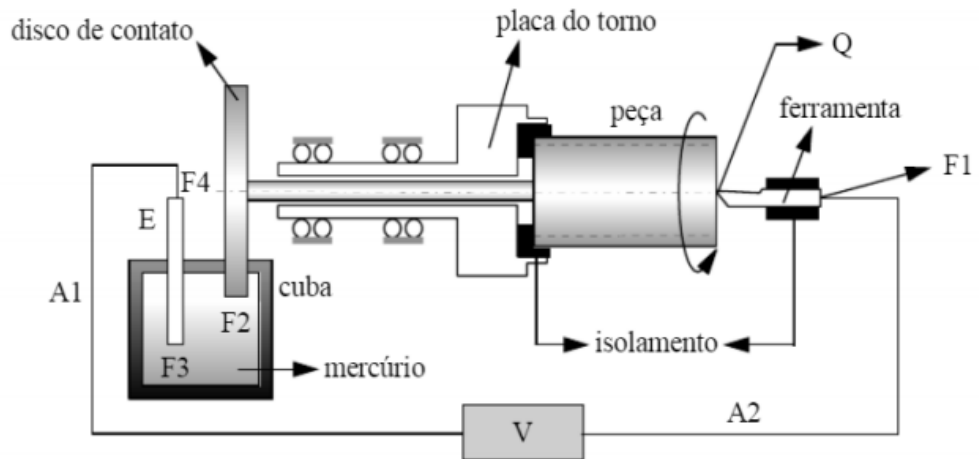
Figura 3.3-Modelo de dinamômetro para medição das forças (GROUP, 2015).



(GROUP, 2015.)

Visando realizar a leitura da temperatura decorrente da usinagem do alumínio, utiliza-se o método de termopar ferramenta-peça. A técnica do termopar ferramenta-peça pode ser melhor explicada através da observação da Figura 3.4

Figura 3.4- Esquema para medição da temperatura de corte pelo método do termopar ferramenta-peça.



(MACHADO, COELHO, et al., 2012)

O ponto Q de contato da peça com a ferramenta representa a junção quente. Os pontos F1, F2, F3 e F4 representam as junções frias. A cuba é preenchida com mercúrio até que seja estabelecido o contato elétrico do disco com o elemento E, garantindo desta forma o fechamento do circuito. Os fios A1 e A2 fazem a conexão do sistema com o milivoltímetro. O sistema é calibrado para fornecer valores milivolts, fazendo a substituição na equação 3.1 se os valores de temperatura.

$$T=100,68.V+46,25 \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde:

T= temperatura em °C

V= Valor em milivolt obtido no multímetro

3.4 Realização dos ensaios

Devido à realização dos ensaios fazer uso de 4 diferentes de fluidos de corte, se realiza todos os ensaios com fluido de origem mineral, a seguir se realiza a troca do fluido no torno mecânico realizando posteriormente os ensaios com o fluido de origem vegetal, após se realiza a aplicação por MQL e a usinagem a seco.

Quanto a velocidade de corte, por ser a velocidade do ponto da peça que está em contato com a ferramenta de corte, ou seja, o perímetro da peça, se calcula através da equação 3.2 o rpm que deverá se regular no torno mecânico.

$$n = \frac{Vc.1000}{\pi.d} \quad \text{Equação 3.2}$$

Onde:

n = rpm (rotações por minuto)

Vc = Velocidade de corte

d= Diâmetro da peça

Os bits de aço rápido são afinados anteriormente da realização dos ensaios, cada ensaio fez uso de um bit afiado, ou seja para cada ensaio se realizou a troca do bit de aço rápido por um afiado, a figura 3.5 mostra o equipamento utilizado para a afiação.

Figura 3.5 - Equipamento usado para afiação das ferramentas de aço rápido.



Autor (2021)

A obtenção da força e da temperatura de usinagem foram realizadas de formas independentes, primeiro se realizou 48 ensaios obtendo-se as temperaturas, posteriormente equipando o dinamômetro no torno mecânico Romi modelo ES 40A mensurando as forças para os 48 ensaios, totalizando 96 ensaios realizados para obtenção dos resultados de força e temperatura. A figura 4.6 mostra o dinamômetro usado para a realização dos ensaios, junto com o equipamento para aplicação em MQL em sua respectiva posição.

Figura 3.6 - Dinamômetro e equipamento para aplicação em MQL.



Autor (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta uma discussão quanto aos resultados que foram coletados por meio de ensaios em laboratório.

4.1 Dados coletados em laboratório

A tabela 3 apresenta os valores de temperaturas na usinagem junto com a força principal de corte no torneamento do alumínio para a variação dos 2 parâmetros de usinagem V_c e f utilizando 4 variações de fluido de corte. Os valores apresentados para forças e temperaturas são a média das 3 repetições de cada ensaio.

Tabela 4- Resultados forças de usinagem e temperaturas de usinagem obtidos em laboratório.

Fluido de corte	N Ensaio	Parâmetros	Temperaturas (°C)	Força usinagem (N)
vegetal	1	Vc 85 m/min	119	697
		f 0,3 mm/volta		
	2	Vc 65 m/min	111	663
		f 0,3 mm/volta		
	3	Vc 85 m/min	109	363
		f 0,15 mm/volta		
	4	Vc 65 m/min	101	361
		f 0,15 mm/volta		
Mineral	5	Vc 85 m/min	121	699
		f 0,3 mm/volta		
	6	Vc 65 m/min	112	673
		f 0,3 mm/volta		
	7	Vc 85 m/min	110	369
		f 0,15		
	8	Vc 65 m/min	101	362
		f 0,15 mm/volta		
MQL	9	Vc 85 m/min	120	695
		f 0,3 mm/volta		
	10	Vc 65 m/min	109	668
		f 0,3 mm/volta		
	11	Vc 85 m/min	108	365
		f 0,15		
	12	Vc 65 m/min	101	363
		f 0,15 mm/volta		

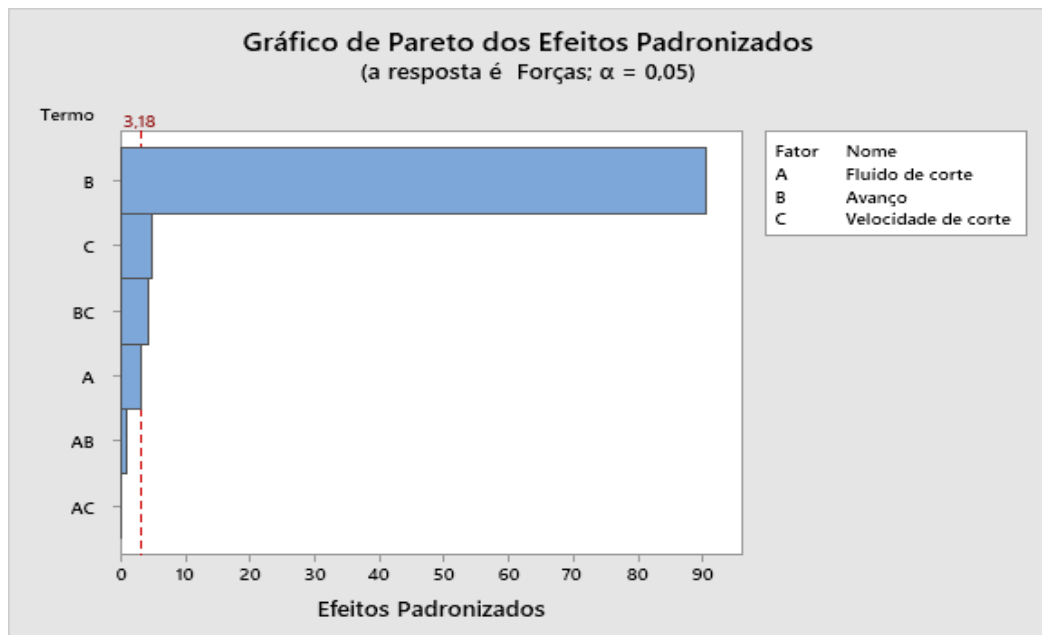
Corte a Seco	13	Vc 85 m/min	131	734
		f 0,3 mm/volta		
	14	Vc 65 m/min	120	688
		f 0,3 mm/volta		
	15	Vc 85 m/min	116	375
		f 0,15		
16	Vc 65 m/min	110	380	
	f 0,15 mm/volta			

(Autor, 2021)

4.2 Influência dos parâmetros de usinagem na força principal de corte

Com os ensaios coletados em laboratório foi possível analisar a influência de cada parâmetro de corte no torneamento, e suas influências na força principal de corte e temperatura no torneamento. De acordo com o gráfico de Pareto na figura 4.1, os parâmetros que ultrapassam a linha tracejada vermelha, são os que apresentaram influência significativa.

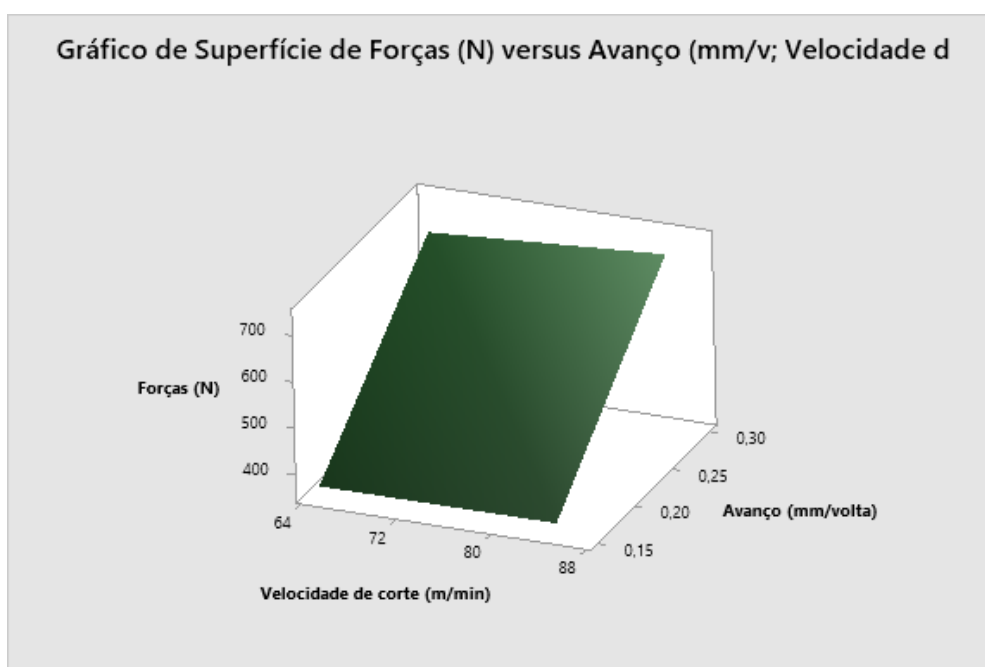
Figura 4.1- Gráfico de Pareto para efeito na força principal de corte



(AUTOR, 2021)

Conforme mostra o gráfico de Pareto o avanço apresentou grande influência nas forças de usinagem, apresentando quase 90 por cento de significância, fazendo com que os demais parâmetros se tornem quase insignificantes, a velocidade de corte e o fluido de corte apresentam pouca influência nas forças de corte.

Figura 4.2– Gráfico de superfície, parâmetros de usinagem e forças de corte.



(Autor, 2021)

A figura 4.2, mostra a grande influência do avanço e da velocidade de corte nas forças, segundo Feix (2015) ao analisar as forças de usinagem para o torneamento do alumínio obteve os mesmos resultados, pouca influência da velocidade de corte e uma grande influência do avanço, leva-se em consideração a produtividade pois com quanto maior o avanço maior a produtividade, no entanto se ressalta o acréscimo grande na força de usinagem do avanço 0,15 mm/volta para 0,3 mm/volta, analisando as forças de corte no gráfico de pareto nota-se que as forças praticamente dobram partindo de 350 N em f de 0,15 mm/volta para 700 N em f de 0,3 mm/volta

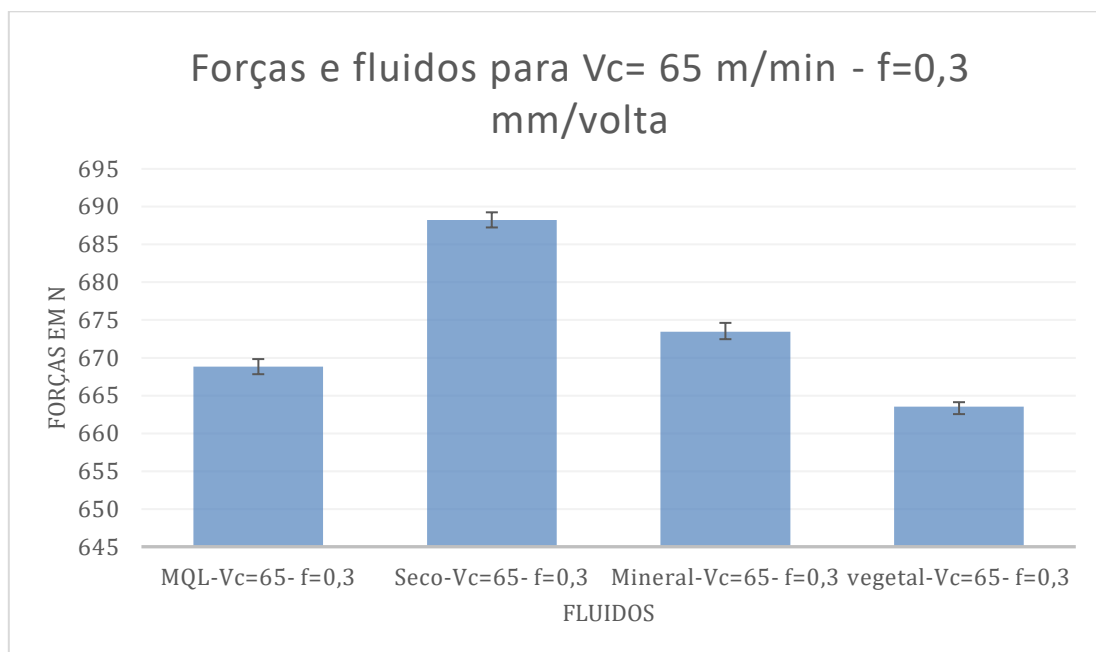
Se verifica a importância de trabalhar em velocidades de corte mais elevadas para a usinagem do alumínio, optando-se em manter avanços menores pois influenciam de forma significativa na força principal de usinagem, ou seja, compensar a produtividade trabalhando em velocidades mais elevadas e avanços menores para o torneamento de alumínio com ferramenta de aço rápido, fazendo com que se ganha uma maior vida útil da ferramenta de corte. Sales (1999)

verificou em seu trabalho ao analisar a rugosidade superficial em peças de alumínio uma grande influência do avanço, provando que, quanto maior o avanço pior a rugosidade da peça final. Portanto, em condições de acabamento, principalmente deve-se optar pela utilização de V_c maiores e f menores.

4.3 Influência dos fluidos de corte na força principal de usinagem

Os fluidos de corte apresentam comportamento semelhante sobre as forças de usinagem para as variações de velocidade de corte e avanço, o gráfico 4.3 mostra uma significativa diferença entre o corte a seco e o corte fazendo uso de fluido, no entanto os demais fluidos vegetal, mineral e MQL apresentaram comportamento semelhante.

Figura 4.3- Efeito do tipo de fluido na força de corte.

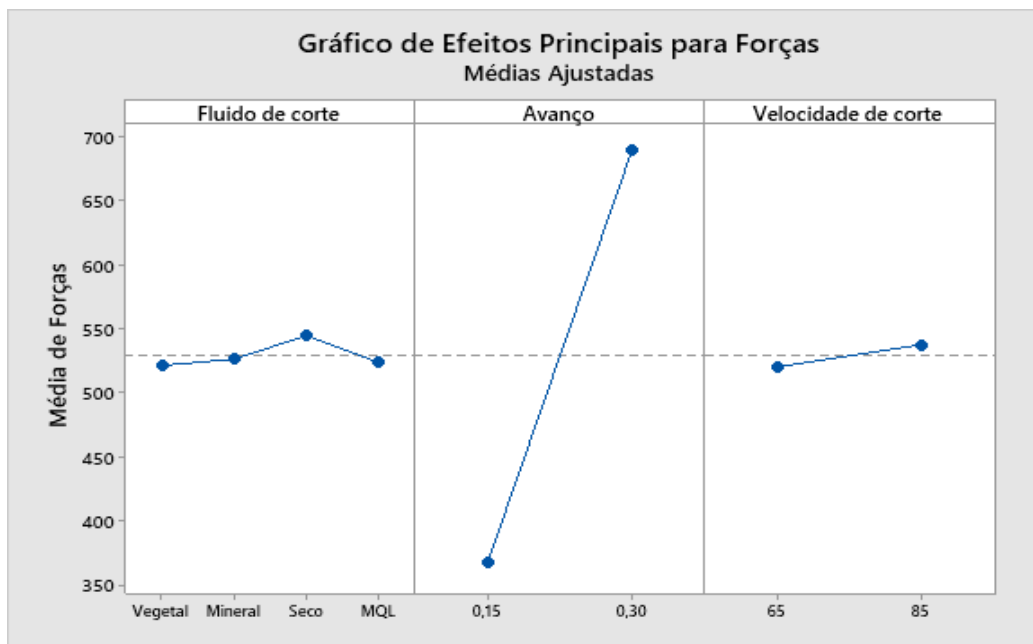


(autor, 2021)

A diferença de forças entre o corte a seco e o corte fazendo uso de fluido ocorre devido ao poder de lubrificação dos fluidos de corte, fazendo com que forme um filme de óleo lubrificante entre o cavaco e a ferramenta, aliviando as forças decorrentes no corte. Se analisa um poder de lubrificação melhor do fluido vegetal quando comparado com o mineral, nota-se temperaturas mais elevadas quando o fluido vegetal é aplicado em MQL, no entanto ainda são temperaturas menores que o fluido mineral aplicado em jorro, logo o fluido vegetal mesmo aplicado em MQL apresenta poder de lubrificação satisfatório.

Se observa no gráfico 4.4, como nos gráficos 4.1 e 4.2 grande influência do avanço nas forças de usinagem, no entanto cabe ressaltar o comportamento semelhante entre o fluido vegetal aplicado em forma de inundação (jorro) e o fluido vegetal aplicado em MQL, provando que a substituição do fluido mineral pelo vegetal pode ser realizada.

Figura 4.4 - Gráfico de efeitos principais



(autor, 2021)

Com ideais sustentáveis, se avalia uma condição semelhante de forças para o fluido vegetal aplicado em jorro e aplicado em método MQL, buscando a otimização da aplicação de fluido de corte torna-se interessante a substituição do fluido aplicado em jorro pelo fluido aplicado em MQL.

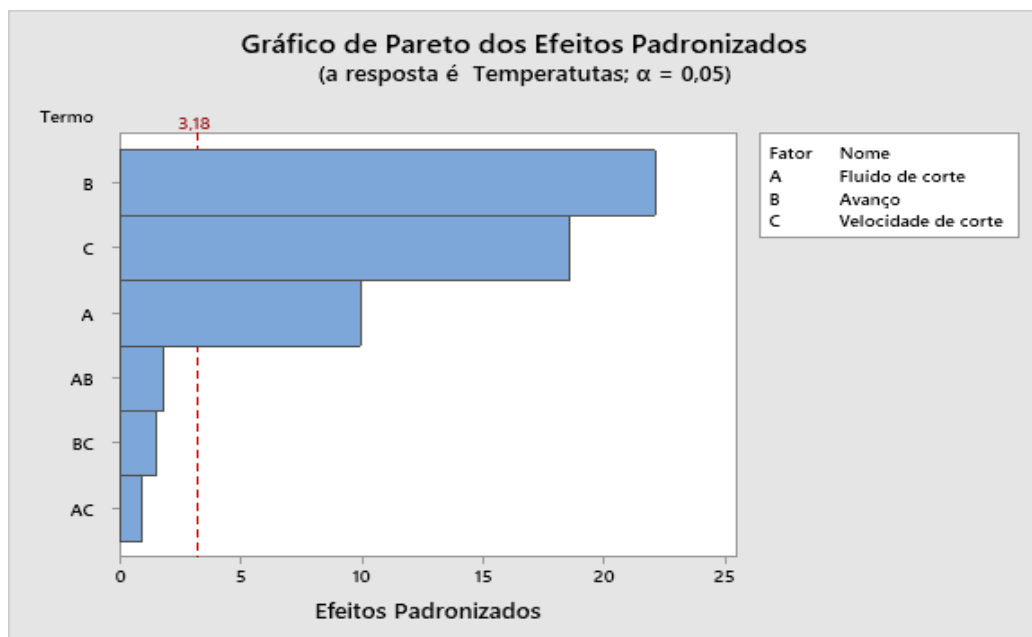
4.4 Influência dos parâmetros de usinagem na temperatura de corte

Como resultado dos ensaios realizados em laboratório se avalia através do gráfico de pareto uma importante contribuição dos 3 fatores analisados sendo força de avanço a de maior influência. As combinações dos parâmetros não apresentam significância.

Como mostra o gráfico de pareto na figura 4.5, a velocidade de corte e o fluido de corte se mostraram influentes nas temperaturas de usinagem, com a velocidade de corte chegando a 20 % de influência, o avanço assim como nas forças de usinagem é o parâmetro com mais influência,

chegando a quase 25 %, os fluidos de cortes influenciam mais de 10% nas temperaturas de usinagem, dado expressante.

Figura 4.5 - Gráfico de Pareto dos efeitos nas temperaturas de corte.



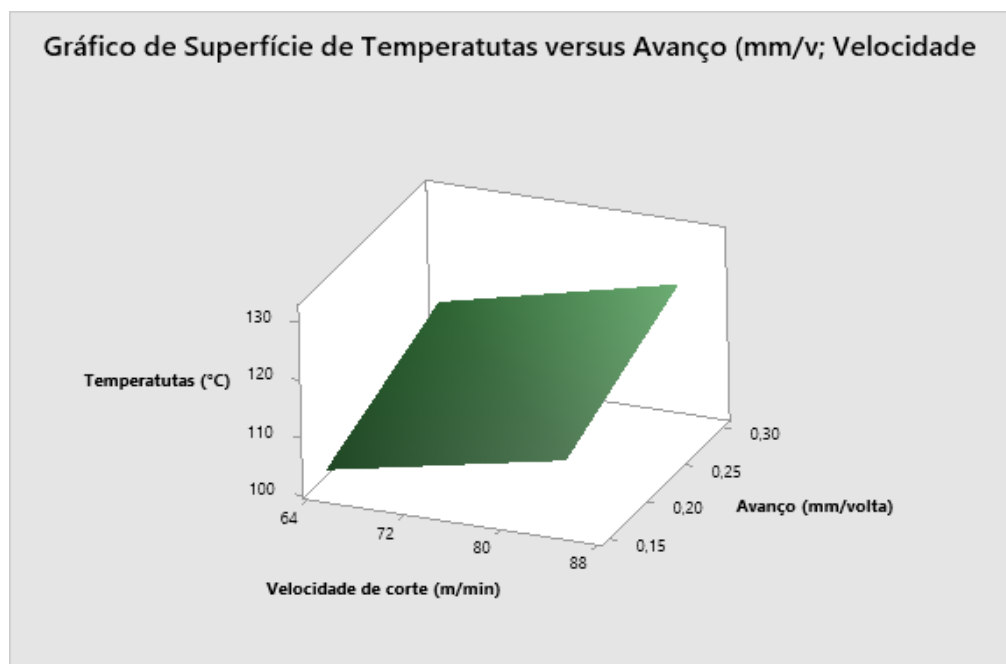
(Autor, 2021)

Cruz de Jesus, 2013 concluiu que quando alterando valores de parâmetros como ângulo de posição, velocidade de corte e profundidade de corte não interferem significativamente nos valores da temperatura na região de corte, no entanto notou que o acréscimo do avanço contribui mais significativamente para o aumento da temperatura, o acréscimo da temperatura em função do avanço pode ser explicado pelo aumento da área de contato da aresta de corte da ferramenta com o material da peça, o que implica em maior atrito e conseqüentemente maior temperatura gerando nesta região, por conseqüência maiores forças de usinagem (CRUZ DE JESUS,2013).

Se analisa no gráfico de superfície na figura 4.6 que na medida que a velocidade de avanço e corte aumentam a temperatura de usinagem aumenta quase de forma linear, Braga (2001) analisa em seu trabalho sobre torneamento do alumínio que a quantidade de calor gerado na usinagem

aumenta com acréscimos na velocidade de corte, avanço e profundidade de corte interferindo no aumento da temperatura, posto que na medida que se aumenta velocidade de corte e avanço ocorre maior geração de calor nas zonas de cisalhamento principal e secundárias por consequência maiores temperaturas de corte.

Figura 4.6 - Efeitos da velocidade de corte e do avanço na temperatura.



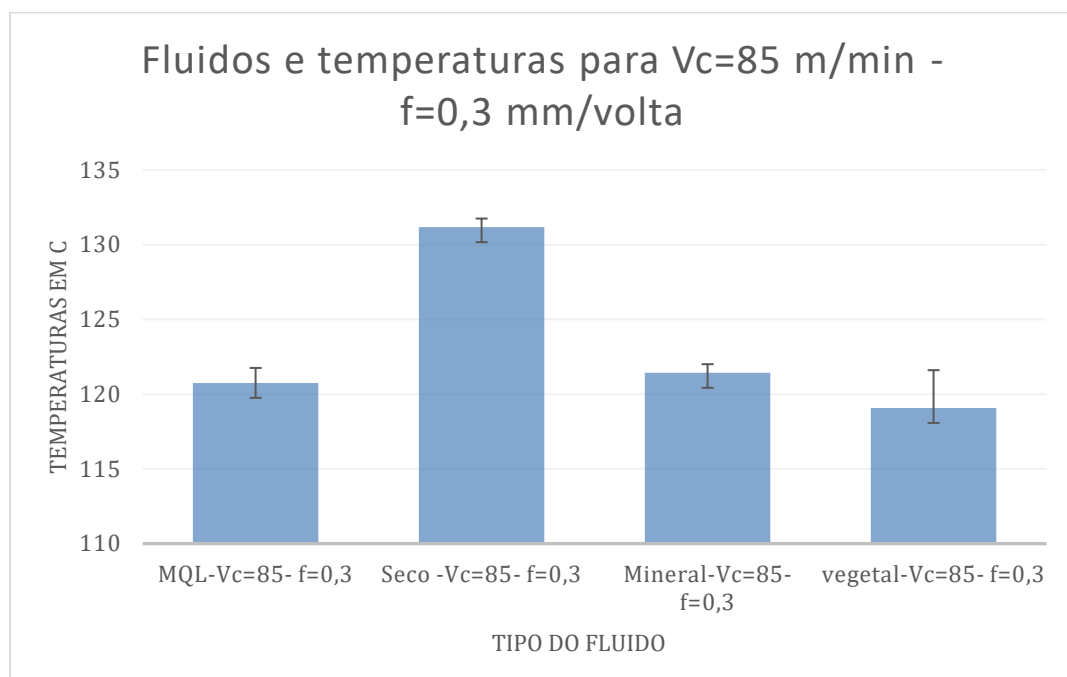
(Autor, 2021)

Segundo Borelli (2001), a variação do avanço bem como da velocidade de corte influem diretamente nas áreas de cisalhamento primário e secundário, causando aumento da força de corte e temperatura numa proporção quase direta, quase linear.

4.5 Influência dos fluidos de corte nas temperaturas de usinagem

Na análise dos fluidos e sua influência nas temperaturas de usinagem pode-se verificar na figura 4.7, uma grande variação entre os ensaios utilizando fluido de corte e o corte sem fluido.

Figura 4.7 -Efeito do tipo de fluido na temperatura.



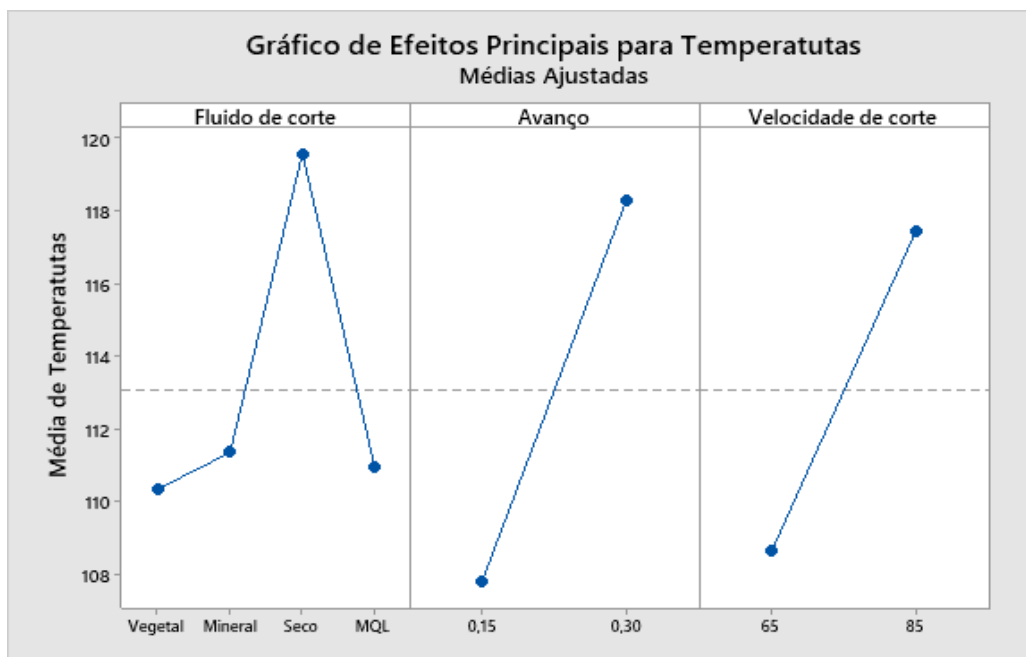
(Autor, 2021)

Esta variação de 17 graus ocorrendo entre o corte a seco e os demais fluidos se deve ao poder lubrificante do fluidos de corte através da formação de uma película de óleo entre ferramenta e cavaco, segundo Denis (2014) o fluido de corte penetra entre as superfícies que estão em contato através do fenômeno da capilaridade ajudado pela vibração entre a peça e ferramenta diminuído assim as forças na usinagem por consequência as temperaturas.

Verifica-se na figura 4.8 uma faixa de temperatura muito parecida para o fluido mineral vegetal e o vegetal aplicado em MQL, ficando entre as faixas de temperaturas de 110 a 112 graus celsius, comprova-se através de anovas na tabela 1 do apêndice que não há diferença entre os três fluidos avaliados em nem uma das condições de velocidade de corte e de avanço. Junior (2013) encontrou em seu trabalho diferenças não significativas entre o uso de fluido vegetal e mineral em

baixas velocidades de corte, concluído a viabilidade do uso do fluido vegetal em substituição do mineral em baixas velocidades de corte.

Figura 4.8 - Efeitos principais para temperaturas



(Autor 2021)

O método de aplicação de fluido vegetal por MQL se mostrou muito eficiente mostrando resultados satisfatórios, não apresentando diferença nas temperaturas de usinagem em relação ao fluido vegetal e mineral aplicados em jorro, isso se deve pelo fluido ser aplicado em alta pressão na interface ferramenta e cavaco fazendo com que o fluido mantenha sua característica lubrificante.

5 CONCLUSÃO

Através dos ensaios realizados e analisados pode-se concluir que o avanço foi o parâmetro mais influente tanto nas forças de corte quanto nas temperaturas, velocidade de corte e fluido de

corte não apresentaram pouca influência nas forças de corte, no entanto apresentaram maior influência nas temperaturas de corte.

Com o objetivo de se realizar uma análise sustentável quanto ao uso do fluido de corte no torneamento, se conclui que o corte a seco apresenta diferença considerável em relação ao corte utilizando fluido. Fluido mineral, vegetal e vegetal aplicado em MQL mostram os mesmos resultados de forças e temperaturas no torneamento do alumínio, tornado assim possível a substituição do fluido de corte de origem mineral de difícil manuseio e descarte pelo fluido de corte vegetal, aplicando o fluido vegetal em MQL obtendo os mesmos resultados que aplicado em jorro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLUCO, W., DE CHIFFRE, L. **Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel**. Journal of Materials Processing Technology, v. 148, ed. 2, pp. 171-176, Mai. 2004.

BORELLI, J.E.; FRANÇA, C.A.; MEDEIROS, C.F.; GONZAGA, A., **Análise da temperatura na região de contato entre a peça e a ferramenta**. Revista Máquinas e Metais, p. 114-125, Abril, 2001.

BRAGA, D. U, **A técnica de mínima quantidade de fluido de corte aplicada no processo de furação de uma liga de alumínio-silício**, Tese (doutorado) em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 178p, 2001.

CASTRO, P. R. A. **Aspectos tecnológicos na usinagem a seco e com mínima quantidade de fluido na furação com broca helicoidal**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina 2001.

CRUZ DE JESUS, Reinaldo Emílio, **Avaliação dos esforços, temperaturas e integridade superficial em torneamento de aço inoxidável super duplex UNS S32760 quando alterando o ângulo de posição da ferramenta e os parâmetros de corte**, Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São João Del Rei, João Del Rei 2013.

DIAS, A. M. D. P. **Avaliação ambiental de fluidos de corte utilizados em processos convencionais de usinagem**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade federal de Santa Catarina, Santa Catarina 2000.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: MM Editora Ltda, 2013. 242 p.

FEIX, E. C. **Otimização do torneamento de acabamento a seco e com MQL nas ligas de alumínio 6082-T6 e 7075-T6 utilizando box behnken design**. Dissertação - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2019.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: [s.n.], 1977

GORLA, F. F. L. **Torneamento da liga de alumínio da classe 6005 utilizando ferramenta cerâmica**. Trabalho de Graduação. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Guaratinguetá, 2015.

JUNIOR, A. S. A. **Desempenho de óleos vegetais comestíveis aplicados por MQF no fresamento frontal do aço SAE 1045**. Tese (Pós-graduação) – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia 2013.

KLOCKE, F., 2011, **Manufacturing Processes 1: Cutting**, RWTH Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 506p

MACHADO, A. R. et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 3.ed. ed. São Paulo: [s.n.], 2015. 384 p.

SANTOS, S. C., SALES W. F., 2007. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo, Artliber, 2007, 246p

SALES, W. F. **Influência das características refrigerantes e lubrificantes de fluidos de corte**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1999. 166 p. Tese de Doutorado.

SOUZA, R. T. **Análise de influência dos métodos de aplicação do fluido de corte na rugosidade e na força geradas no torneamento do aço inoxidável AISI 420C**. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio grande do Sul, 2019.

SCHUITEK, A., J.; “**Usinabilidade de Ligas de Alumínio Tratáveis Termicamente**”, Dissertação (Mestrado) em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997, 117p.

OBIKAWA, T.; KAMATA, Y.; SHINOZUKA, J. **High-speed grooving with applying MQL**. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 46, n. 14, p. 1854–1861, 2006.

OLIVEIRA, A. J. D. **Otimização das operações de usinagem visando o torneamento a seco do aço SAE 1045 em operação de desbaste**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Univercidade Estadual de Campinas, São Paulo 2003.

OLIVEIRA, Danilo de Jesus. **Aprimoramento da técnica da mínima quantidade de lubrificante (MQL) no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho de aços endurecidos**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, 2011.

OZCELIK, B., KURAM, E., CETIN, M. H., DEMIRBAS, E. “**Optimization of surface roughness in drilling using vegetable-based cutting oils developed from sunflower oil**”. Industrial Lubrication and Tribology, v. 63, ed. 4, pp. 271-276, 2011b.

REIS, Roberto. **Estudo da influência da geometria na cunha de ferramenta de aço rápido ABNT 1045 em diferentes condições lubri- refrigerantes**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2015.

SALES, W. F. **Influência das características refrigerantes e lubrificantes de fluidos de corte**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1999. 166 p. Tese de Doutorado.

SUAREZ, M.P.; COSTA, E.S.; MACHADO, A.R., “**Influência dos Parâmetros de Corte no Acabamento de Canais em Alumínio Aeronáutico 7075-T7**”, V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, 25 a 28 de agosto de 2008, Salvador – BA. Anais em CD ROM – Artigo CON08-0317, 10 pags.

TRENT, E. M., WRIGHT, P. K. **Metal Cutting. ed. 4**, Boston, Butterworth Heinemann, 2000

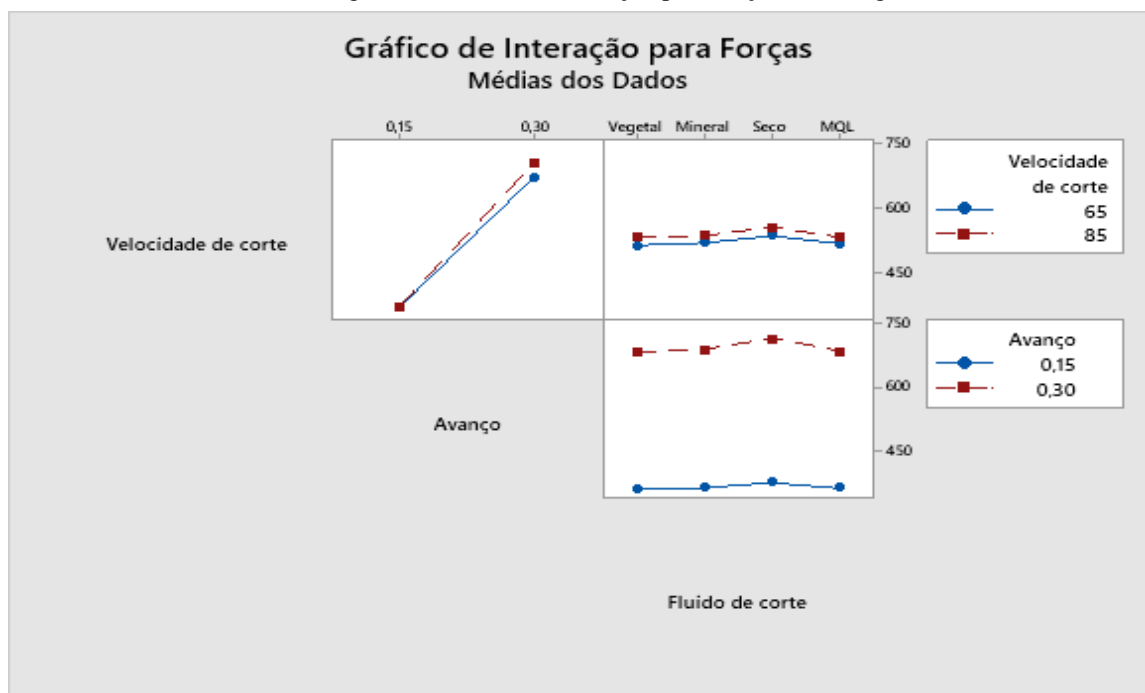
KLOCLE, F.; “**Manufacturing Processes 1: Cutting**”, RWTH-Aachen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, 504p.

WALKER, T. **The MQL Handbook – A guide to machining with Minimum Quantity Lubrication**. Copyright © Unist, Inc. v1.0.3, 2013.

WEINGAERTNER, W. L.; SCHROETER, R. B. **Tecnologia de Usinagem do Alumínio e suas ligas: Tornear, Fresar, Furar e Serrar**. (1ª edição - 1990) Alcan Alumínio do Brasil, São Paulo, 80p

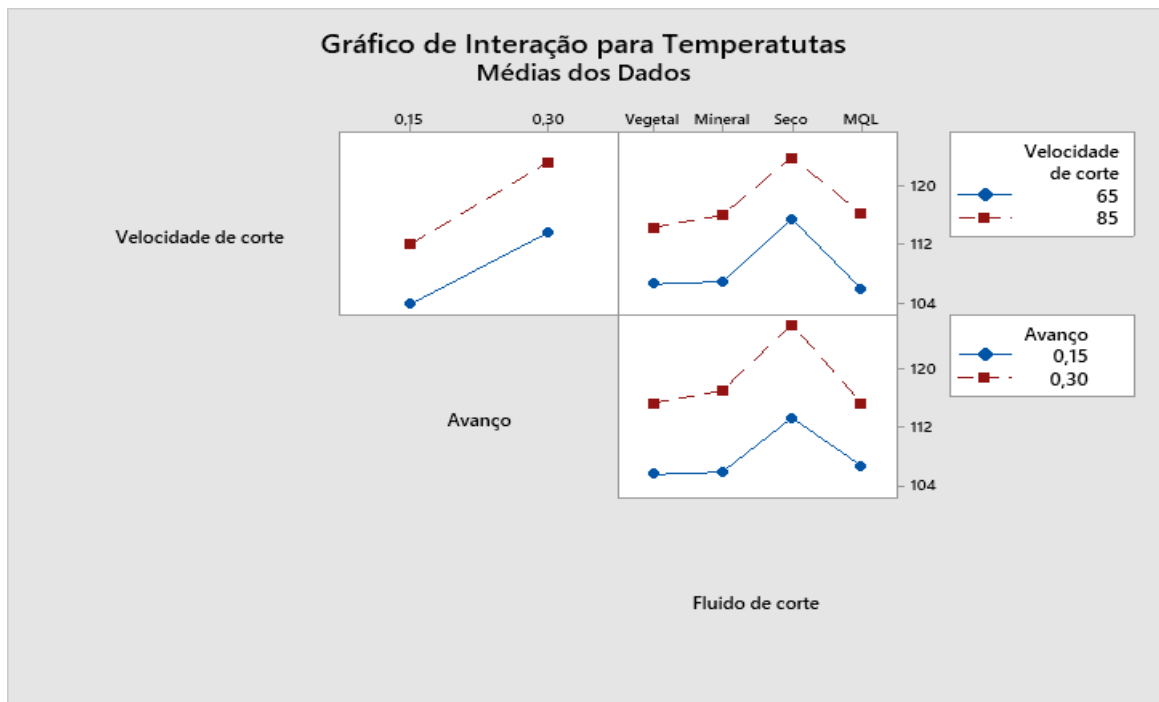
APÊNDICE

Figura 1 - Gráfico de interação para forças de usinagem.



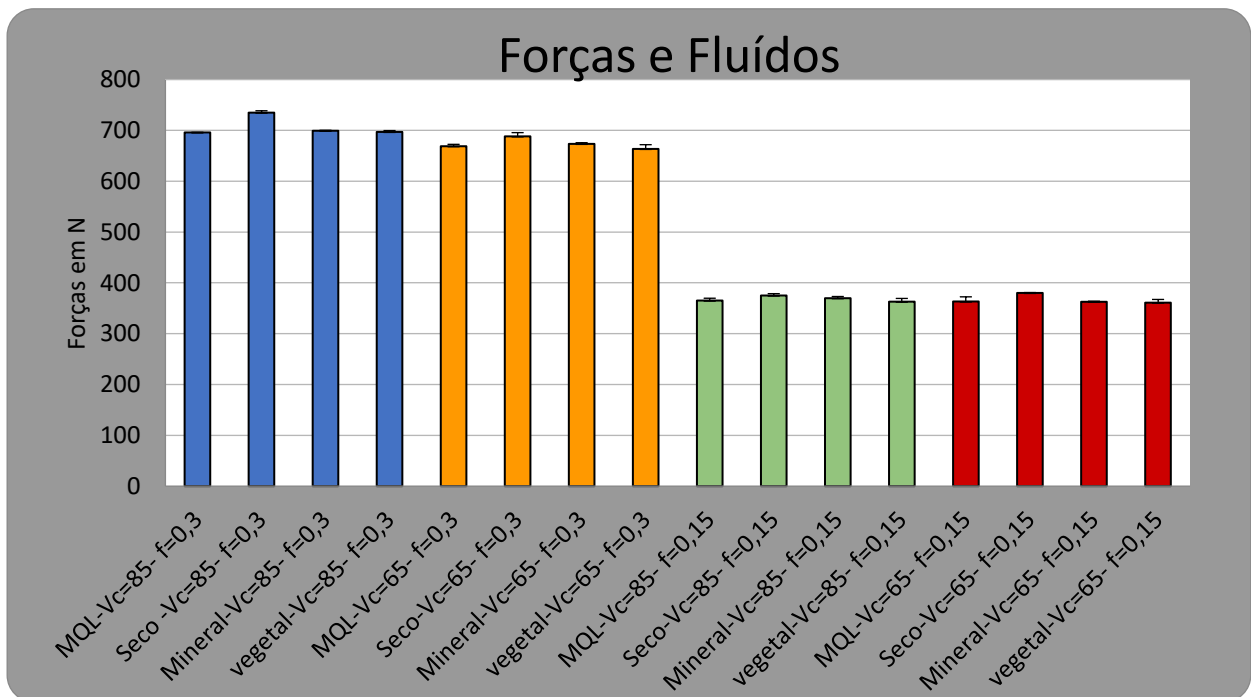
Autor (2021)

Figura 2 - Gráfico de interação para temperaturas de usinagem.



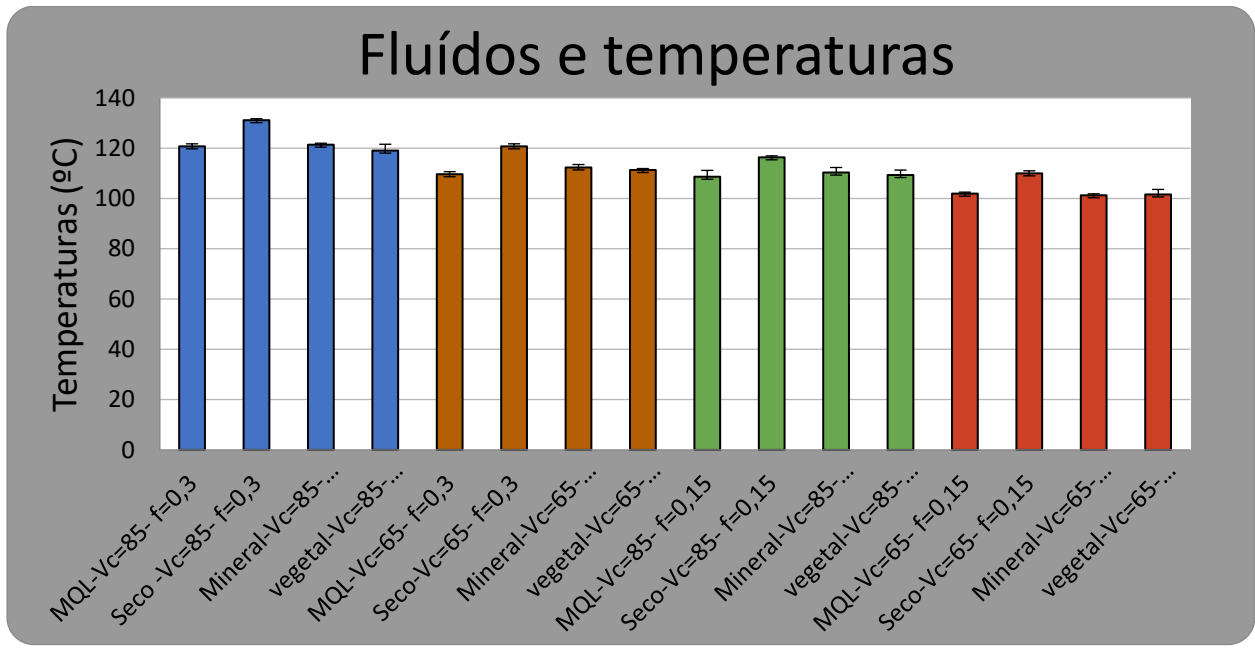
Autor (2021)

Figura 3 - Gráfico de efeitos para forças de usinagem.



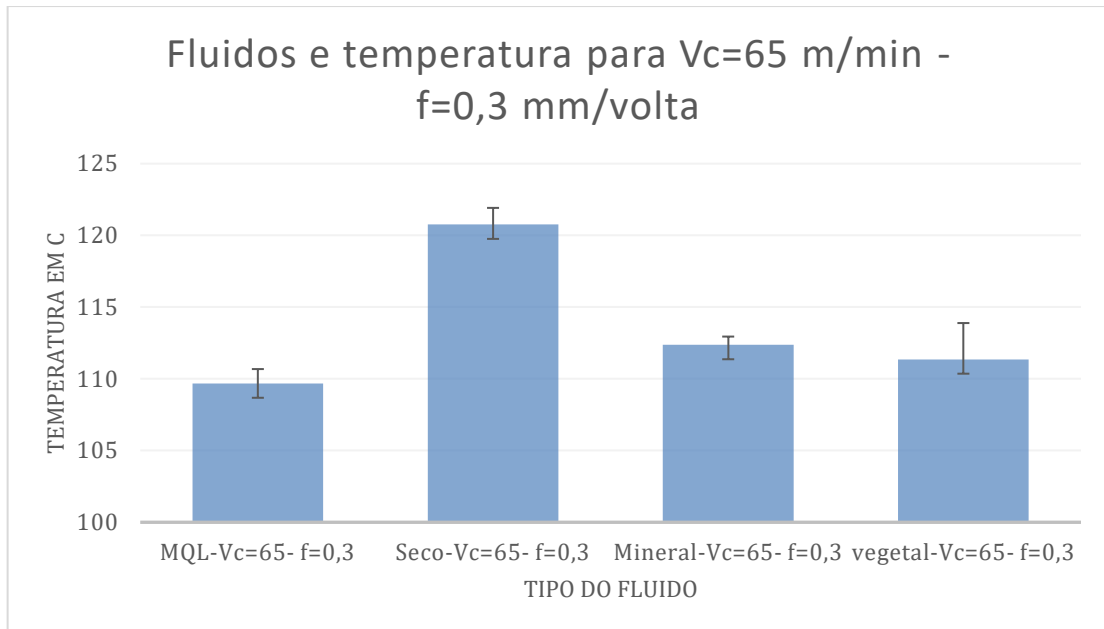
Autor (2021)

Figura 4 - Gráfico de efeitos para temperatura de usinagem.



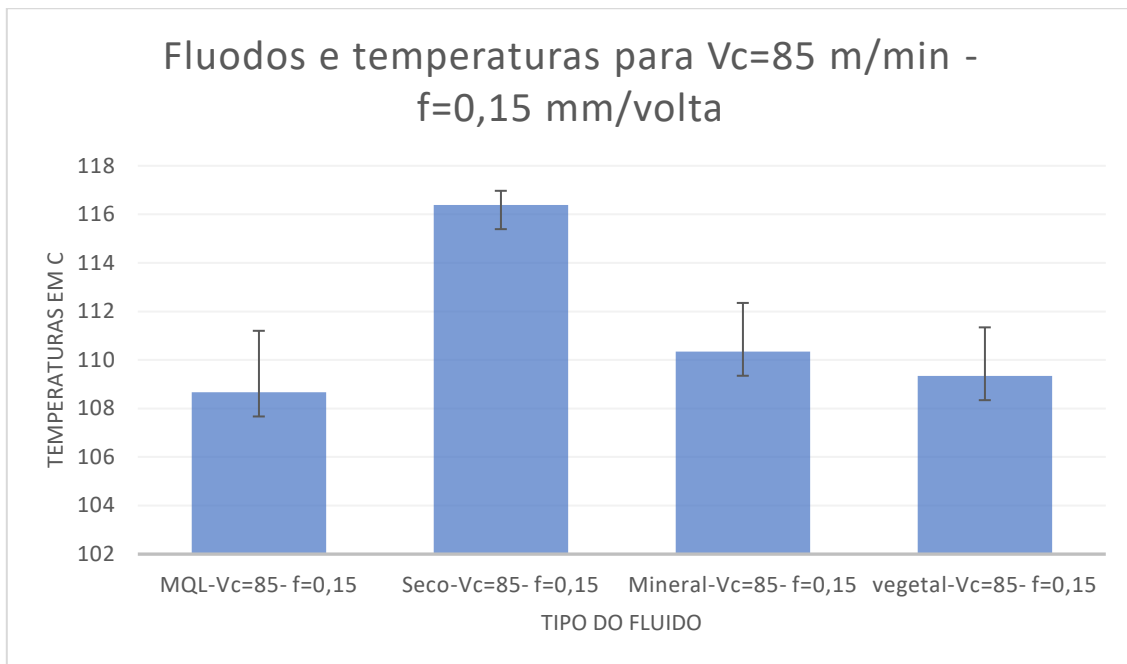
Autor (2021)

Figura 5- Gráfico de efeitos para temperatura de usinagem.



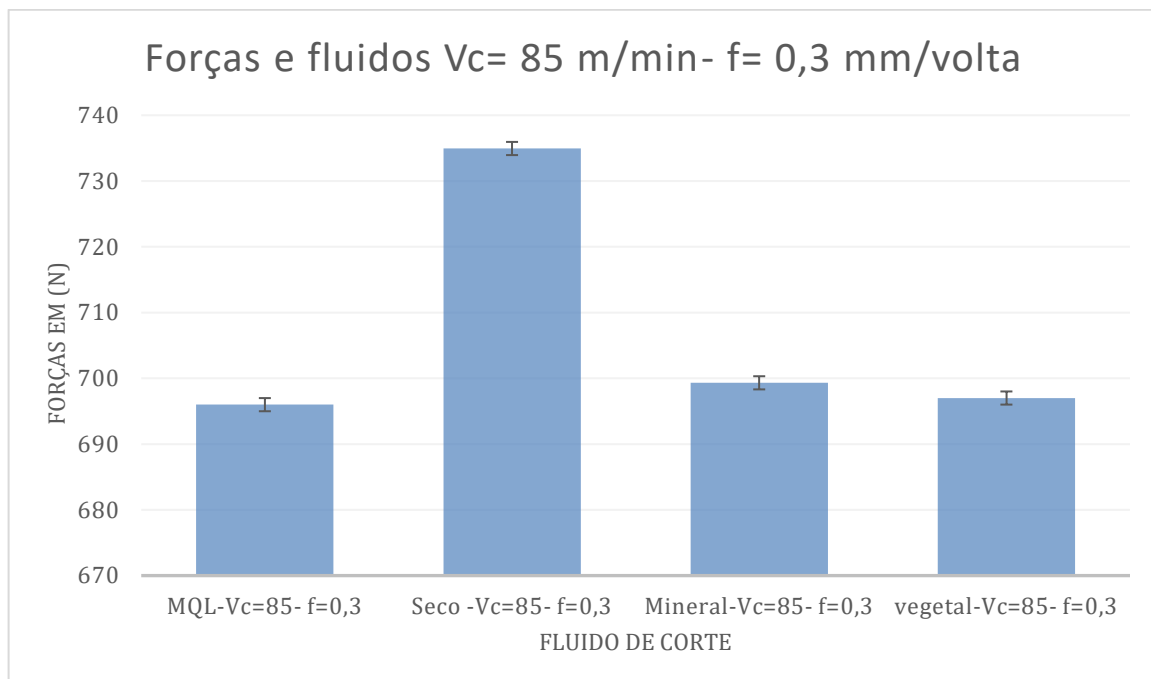
Autor (2021)

Figura 6- Gráfico de efeitos para temperatura de usinagem.



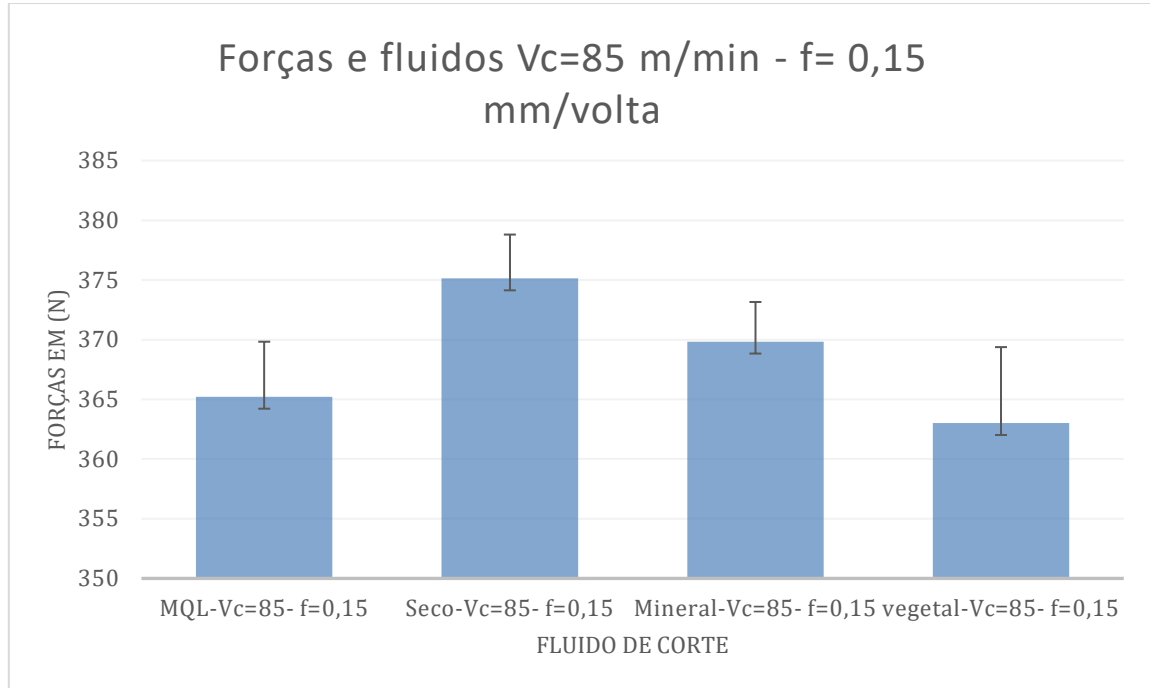
Autor (2021)

Figura 7- Gráfico de efeitos para forças de usinagem.



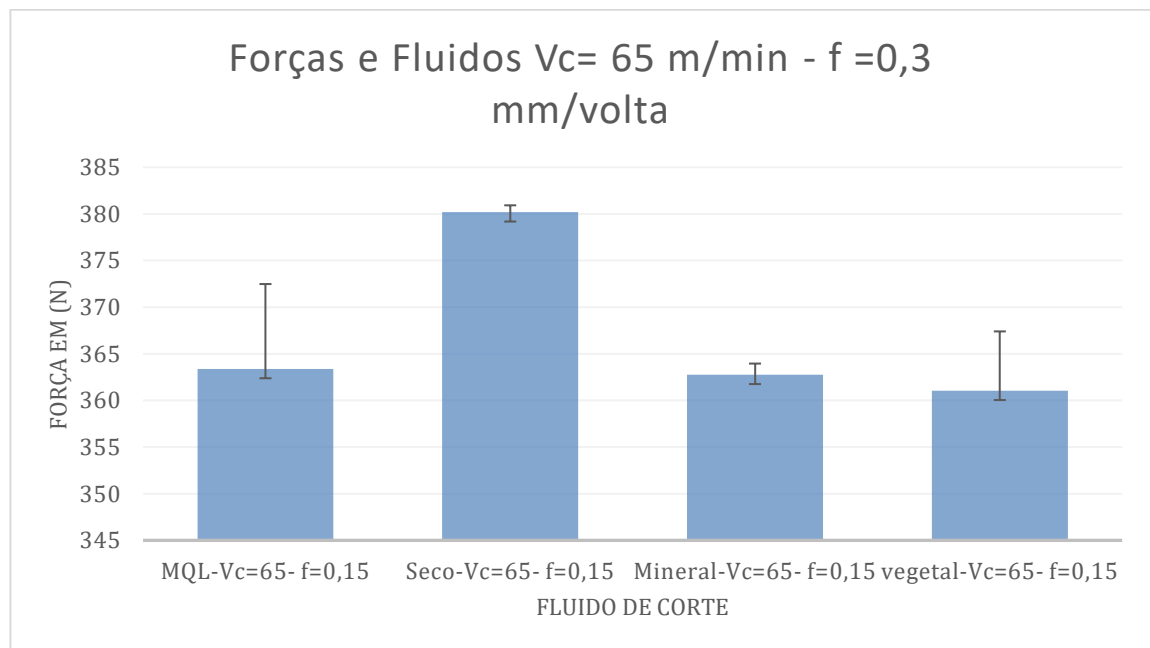
Autor (2021)

Figura 8- Gráfico de efeitos para forças de usinagem.



Autor (2021)

Figura 9- Gráfico de barras para forças de usinagem.



Autor (2021)

Tabela 1- Tabela de ANOVA para temperaturas

Análises de diferenças resultados das temperaturas considerando Fluido vegetal, mineral e MQL através de ANOVA		
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 1 - f=0,3mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,12	
<hr/>		
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 2 - f=0,3mm/volta Vc=65 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,4271801352	
<hr/>		
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 3 - f=0,15mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,1706151664	
<hr/>		
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 4 - f=0,15mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,3197646209	
<hr/>		
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 1 - f=0,3mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	mineral	
<i>valor-P</i>	0,0567889867	
<hr/>		
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 3 - f=0,15mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	mineral	
<i>valor-P</i>	0,1543564795	
<hr/>		
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 1 - f=0,3mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,1115172222	
<hr/>		
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 3 - f=0,15mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	MQL	

<i>valor-P</i>	0,0548845	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 1 - f=0,3mm/volta Vc=85 m/mim	Há diferença
FLUIDO COMPARADO	Seco	
	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,0000004	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 2 - f=0,3mm/volta Vc=65 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	seco	
	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,847534	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 3 - f=0,15mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	seco	
	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,197528	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 4 - f=0,15mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	seco	
	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,1003513	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 1 - f=0,3mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	mineral	
<i>valor-P</i>	0,05939767082	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 1 - f=0,3mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,8699544761	

Autor (2021)

Tabela 2- Tabela de ANOVA para forças de usinagem.

Análise dos resultados buscando diferença entre as forças de corte para fluidos de corte através de ANOVA		
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 1 - f=0,3mm/volta Vc=85 m/mim	Há diferença
FLUIDO COMPARADO	Seco	
	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,0000004	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 2 - f=0,3mm/volta Vc=65 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	seco	
	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,847534	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 3 - f=0,15mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	seco	
	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,197528	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 4 - f=0,15mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	seco	
	vegetal	
	mineral	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,1003513	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 1 - f=0,3mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	mineral	
<i>valor-P</i>	0,05939767082	
CONDIÇÃO DE CORTE	Condição 1 - f=0,3mm/volta Vc=85 m/mim	Não há diferença
FLUIDO COMPARADO	vegetal	
	MQL	
<i>valor-P</i>	0,8699544761	

Autor (2021)



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
ENGENHARIA MECÂNICA - www.upf.br/engmecanica



**TERMO DE ENTREGA ARTIGO TÉCNICO MEC041 – TRABALHO
FINAL DE GRADUAÇÃO II**

TÍTULO DO TRABALHO:

**INFLUÊNCIA DO USO DE FLUÍDOS DE CORTE SOBRE A TEMPERATURA E A
FORÇA DE USINAGEM NO TORNEAMENTO DO ALUMÍNIO.**

ALUNO: Samuel Baruffi

PROFESSOR ORIENTADOR: Luiz Airton Consalter

ÁREA: Usinagem do materiais

Após a revisão do trabalho, com respeito a estrutura e os conteúdos desenvolvidos, informo que o trabalho está apto a ser submetido à banca examinadora para avaliação.

Data: 22/11/2021

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. M. L. S.', written in a cursive style.

Professor Orientador