

INFLUÊNCIA DO ÓLEO DA COPAÍBA COMO FLUIDO DE CORTE NO MICROFRESAMENTO DO AÇO ABNT H13

Tamires Isabela Mesquita Botelho

Arthur Vieira de Souza

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP 38408-100

tamiresisabela@yahoo.com.br

arthurvieira@ufu.br

Lucas Barbosa Queiroz

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP 38408-100

lucasbqueiroz@ufu.br

Samuel Alves de Freitas

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP 38408-100

samuelengmec@gmail.com

Márcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP 38408-100

mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo. A demanda por componentes de dimensões cada vez menores vem ganhando espaço em diversas áreas. Por essa razão, pesquisas na área de microusinagem vem ganhando cada vez mais destaque. Devido as reduzidas dimensões das ferramentas de corte, microfresas com diâmetros na faixa de 1 a 1000 μm , um dos grandes desafios é a diminuição das rebarbas formadas durante a usinagem. Para os processos de microusinagem, a aplicação de fluido de corte é imprescindível. A consciência de sustentabilidade na fabricação força a busca por alternativas de fluidos de corte de base vegetal e utilização de menor quantidade de fluido, através da utilização de técnicas de mínima quantidade de lubrificante (MQL). Dessa forma, esse trabalho avalia o desempenho do óleo vegetal puro da copaíba num processo de microfresamento de topo, comparando com fluidos de corte comerciais. Os fluidos são aplicados pela forma de MQL no processo de microfresamento do aço ABNT H13. Para todos os fluidos de corte foram realizadas análises de viscosidade e densidade. Foram utilizados parâmetros de corte constantes, rotação de 40.000 (rpm), velocidade de corte (v_c) de 50,26 m/min, avanço por dente (fz) 5 μm /volta/dente e profundidade de corte (ap) 40 μm . O processo de microfresamento utilizado consiste na fabricação de microcanais utilizando fresas de topo de metal duro de 400 μm de diâmetro, revestidas com TiAlN. Para avaliar a qualidade dos microcanais, analisou-se a rugosidade média (Ra), avaliação visual da superfície usinada por meio de imagens no microscópio eletrônico de varredura e a quantificação das rebarbas. Os resultados obtidos resultam que para todos os fluidos de corte utilizados as rebarbas no lado concordante são maiores do que o lado discordante. O óleo vegetal da copaíba apresentou menores rugosidades e quantidade de rebarbas em relação aos demais fluidos. Assim, este fluido contendo em sua composição elementos medicinais poderá contribuir de forma positiva na saúde do operador e ao meio ambiente, por ser biodegradável e atender a tendência a nível mundial por fluidos de corte mais amigáveis.

Palavras-chave: Microfresamento; Fluido de Corte; Óleo da Copaíba; Aço ABNT H13.

1. INTRODUÇÃO

A alta demanda por componentes mecânicos cada vez menores tem alavancado o avanço da tecnologia em processos e máquinas no intuito de fabricar peças com escalas cada vez menores. Dessa forma, o processo de microusinagem torna-se uma área em desenvolvimento (Onler *et al.*, 2019). A microusinagem ainda não possui uma definição concreta, no entanto, considerando o processo de fresamento de topo, uma definição amplamente utilizada é relacionada ao diâmetro das ferramentas. Considera-se microfresamento quando o diâmetro da ferramenta está entre 1 μm a 999 μm . No entanto, é importante considerar também a comparação do raio de aresta com a espessura de corte e o tamanho de grão do material da peça usinada (Masuzawa, 2000; Pratap e Patra, 2020).

A aplicação de fluido de corte é imprescindível no processo de microfresamento. Em 1883 F.W. Taylor, conseguiu aumentar a velocidade de corte cerca de 30 a 40% utilizando água como fluido de corte. Entretanto essa ação trouxe o prejuízo da oxidação do conjunto máquina-ferramenta-peça. Desde então, fluidos de corte têm sido desenvolvidos para melhorar o desempenho e melhorar as propriedades de lubrificação e refrigeração (Trent e Wright, 2000; Machado, *et al.*,

2015). Frequentemente novos fluidos são testados, buscando atender todas as adequações e principalmente diminuir os efeitos nocivos ao meio ambiente e saúde humana devido as intensas exigências das agências de proteção ambiental (Finzi, 2017). Uma das técnicas utilizadas afim de minimizar estes efeitos indesejáveis foi a aplicação de mínima quantidade de lubrificante, que é uma técnica conhecida como MQL que basicamente combina as propriedades lubrificantes de um fluido e as propriedades refrigerantes do ar comprimido.

Algumas operações de usinagem não têm bom desempenho sem o uso de fluido de corte. O microfresamento é uma destas operações, apesar de ser pouco investigada se comparado com os processos de usinagem convencionais. Saha *et al.*, (2021) avaliaram o desgaste de microfresas de topo de 500 μm de diâmetro nas condições a seco e MQL durante o microfresamento da liga Ti-6Al-4V. Os autores observaram que a aplicação de fluido contribuiu para a diminuição da taxa de desgaste por abrasão, auxiliando na remoção do cavaco e prolongando a vida da microferramenta. Wang *et al.* (2020), ressaltam que essa a aplicação de fluido por MQL não apenas reduz o desgaste da ferramenta, as rugosidades e as forças de corte, mas também contribuem para melhor estabilidade do processo, sustentabilidade e saúde do operador.

A técnica MQL no entanto possui algumas desvantagens. Jabbar e Hashim, (2018) citam que durante o processo, devido a névoa e a fumaça de fluido, são gerados subprodutos indesejáveis que podem causar problemas de respiração do operador. Assim, pesquisas com fluidos de corte alternativos e menos nocivos podem ser aliados neste aspecto.

O óleo da copaíba já demonstrou ter ações medicinais. Na cardiologia, um grupo de pesquisadores tornaram-se referência internacional neste tema, mostrando o uso do óleo da copaíba como uma alternativa terapêutica para o tratamento de hipertensão pulmonar, patologia grave de difícil tratamento e limitações (Gelpi, 2021). Na odontologia, um estudo de caso de um paciente com diabetes tipo 2 que apresentou periodontite, doença caracterizada por inflamação nas gengivas, concluiu que o uso do óleo da copaíba nas áreas afetadas resultou em uma melhora considerada (Ramos-Perfecto, *et al.* 2021). O óleo da copaíba é antibacteriano (Ziech, *et al.* 2013) e antifúngicas (Nakamura, *et al.*, 2017).

Pesquisas com microusinagem e aplicação de óleos medicinais ainda são pouco estudados, assim esse trabalho tem como objetivo avaliar a influência do óleo da copaíba e comparar com fluidos de corte comerciais no microfresamento do aço ABNT H13.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A avaliação do desempenho dos fluidos de corte foi feita através de operação de microfresamento de canais utilizando microfresas de topo reto de 400 μm de diâmetro. Os ensaios foram realizados em uma microfresadora CNC de 4 eixos, fabricada pela *Minitech Machinery Corporation*. Esta máquina possui eixo árvore com rotação máxima de 60000 rpm e resolução de posicionamento de 0,1 μm . As ferramentas empregadas foram microfresas de metal duro revestidas com (Al, Ti)N, fabricadas pela *Mitsubishi Materials*, com diâmetro de 400 μm . O trabalho consistiu em usinar 10 microcanais de 10 mm cada para cada condição de corte, totalizando um comprimento usinado de 100 mm. Para isso os parâmetros de corte como variáveis de entrada foram a rotação de 40.000 (rpm), velocidade de corte (V_c) de 50,26 m/min, avanço (fz) 5 μm , a profundidade de corte (ap) 40 μm e o fluido de corte, enquanto as variáveis de saída foram as rugosidades médias (Ra), quadrática (Rq) e a formação de rebarbas para cada microcanal usinado.

Os fluidos de corte utilizados foram um fluido de corte sintético comercial (Fluido A), fluido comercial de base vegetal (Fluido B) e óleo vegetal puro de copaíba fornecido pelo fabricante *AMAZON OIL*, originado da matéria prima encontrada na floresta amazônica. Os fluidos de corte foram aplicados pela técnica da mínima quantidade de lubrificante (MQL), com vazão de 100 ml/h operando com um fluxo contínuo de ar comprimido a 6 bar de pressão com 55 pulsos por minuto. A distância entre o bocal de aplicação de fluido e a microfresa foi de 10 mm com um ângulo de 30° em relação a amostra, como ilustrado na Fig. (1a). A fim de comparação foram realizados testes de viscosidade cinemática e densidade para todos os fluidos de corte com variação de temperatura de 20° C a 80° C com incremento de 10° C, por meio do viscosímetro Modelo *Stabinger™ SVM™ 3000* Fig. (1b).



Figura 1. Montagem experimental para os ensaios pela técnica MQF no microfresamento (a) e o viscosímetro Modelo *Stabinger™ SVM™ 3000* (b).

O material do corpo de prova utilizado para os ensaios foi o aço ABNT H13 laminado. A Tabela 1 apresenta os resultados da composição química da amostra, obtidos pelo método de Espectroscopia de Emissão Ótica, utilizando equipamento *SPECTROMAXx*, segundo a norma ASTM E 415:2017 (2017). Análise de dureza resultou em 193,7 HB, conforme a norma ABNT NBR ISO 6506-1:2019 (2019) feita em temperatura ambiente, a partir de 3 medições.

Tabela 1. Resultado da composição química do Aço H13.

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Cu	Ni	V
% em peso - SPECTROMAXx	1,9	0,91	0,3	0,01	0,005	5,09	1,27	0,01	0,08	0,31	0,85

Após a microusinagem, as amostras foram analisadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo TM 3000 (Fig. 2.a) para avaliação da formação de rebarbas e a integridade dos canais. Por meio de um perfilômetro *Form Talysurf 50 mm Intra 2* da *Taylor Hobson* (Fig. 2.b), com resolução de 0,016 μm , foi medido a rugosidade média aritmética (Ra). Foram realizadas 3 medidas em cada canal e o resultado é a média.



(a)



(b)

Figura 2. Microscópio Eletrônico de Varredura (a) e o perfilômetro para medição da Ra (b).

A análise da área da rebarba foi realizada selecionando três imagens referente ao início, meio e fim ao longo de cada canal afim de analisar a evolução do tamanho da rebarba. A Figura 3 ilustra a técnica aplicada. As medições foram feitas para os lados concordantes e discordante de forma separada, para uma avaliação mais aprofundada. Para medição da área das rebarbas foi utilizado o software *ImageJ*®. As setas pretas indicam o sentido de rotação e avanço da microferramenta.

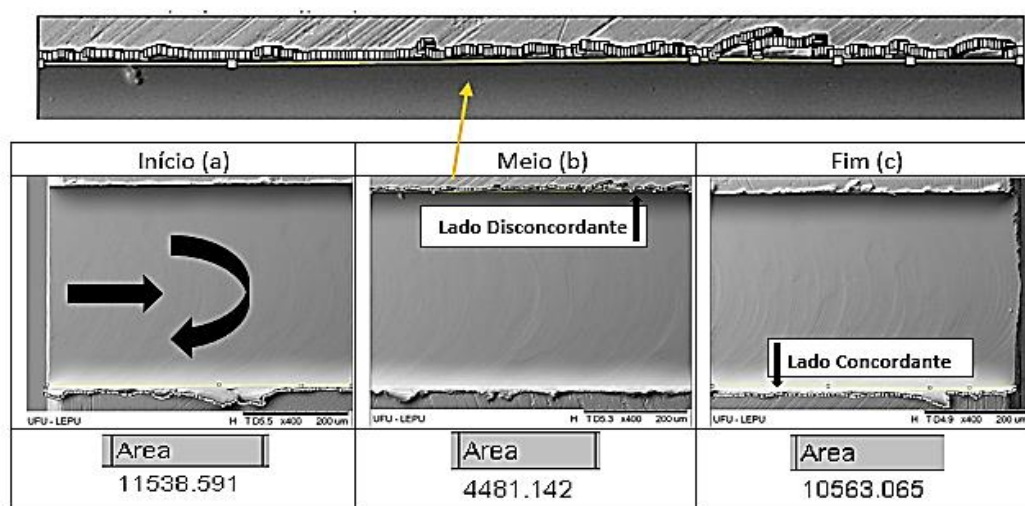


Figura 3. Imagens utilizadas para a medição da área da rebarba: (a) Início, ilustrando o sentido de avanço e rotação da microferramenta, (b) meio, com indicação do lado discordante, (c) fim do microcanal, indicação do lado concordante todos com as áreas resultantes a seta em amarelo indica a área selecionada pelo o software *ImageJ*®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Viscosidade e Densidade

A Figura 4(a) apresenta a viscosidade cinemática e densidade (Fig. 4b) dos fluidos de corte avaliados, onde o fluido de base vegetal (Fluido B), o óleo da copaíba e o fluido de corte sintético (Fluido A), respectivamente resultou em maiores viscosidade. Este comportamento para o Fluido B e o óleo da copaíba pode ser explicada por serem fluidos de base vegetal e possuírem moléculas polares que funcionam como imãs e se alinham à superfície do metal, formando um filme lubrificante capaz de suportar grandes tensões superficiais, facilitando a usinagem e melhorando a vida da ferramenta. (Stemmer, 2005). Os fluidos sintéticos, por sua vez são bons refrigerantes e possuem boas propriedades lubrificante e refrigerantes (Machado *et al.*, 2015).

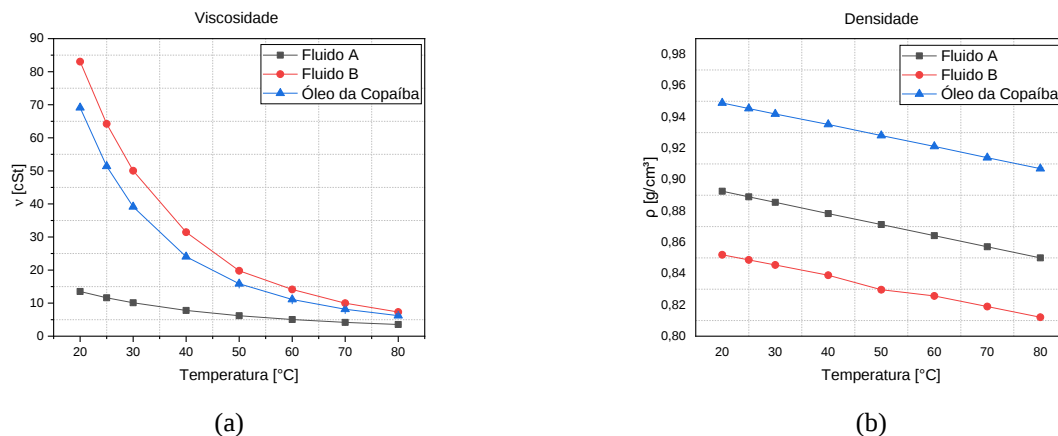


Figura 4. Viscosidade cinemática (a) e a densidade (b) em função da temperatura dos fluidos de corte.

Em relação a densidade dos fluidos de corte, o óleo da copaíba, fluido A e Fluido B, simultaneamente apresentou maior densidade. Os valores de viscosidade e densidade para o óleo da copaíba podem sofrer variações físicas decorrentes de atributos genéticos e ambientais, bem como, aspectos visuais (líquido, odor, coloração), assim como as características do local de crescimento das árvores que também afetam até mesmo na coloração final dos óleos vegetais puro da copaíba, afirmam os autores Silva, *et al.* (2012) que analisaram diferentes espécies na Floresta Nacional do Tapajós no Pará, e obtiveram valores a 50°C de viscosidade variando de 18 a 187 (Pa-s) e densidade média de 0,975 (g.cm-3). De Sousa *et al.* (2018) realizou análise química e a avaliação do efeito antifúngico de óleos vegetais nas mais diversas regiões norte e nordeste, os óleos avaliados estavam puros e com aditivos de iodo (I_2) onde encontraram a 40° C o óleo puro da copaíba apresentou a viscosidade e densidade 67,46 (cSt) e 1,044 (g.cm-3), respectivamente.

3.2 Rugosidade

Os resultados da rugosidade média (R_a) e a quadrático (R_q) em função do comprimento usinado estão mostrados na Fig. 5. Nota-se que maiores rugosidades, no início dos canais foram gerados com o fluido B. Para o fluido A, observa-se uma certa equivalência com o óleo da copaíba, obtendo menores desvios médios, comportamento distinto em relação ao fluido B. O óleo da copaíba resultou em menor rugosidade média até o canal 50 mm de comprimento usinado, a partir deste ponto houve um aumento singular e resultados próximos com os demais fluidos de corte.

Acredita-se que este comportamento para o óleo da copaíba, pode ter influência na composição química, mesmo tendo menor viscosidade do que o fluido B, pode apresentar características físico-química diferente devido sua espécie de gênero *Copaifera* cerca de 90% da sua composição química é constituída por sesquiterpenos, sendo β -cariofileno o principal deles, representando 60% da composição total destes óleos, por isso suas propriedades podem ter variações. (De Lima *et al.*, 2020), assim análises de cromatografia em fase gasosa (CG-EM), pode ser técnicas para avaliar e quantificar o β -cariofileno e seus óxidos nestes óleos para buscar uma padronização da composição química através da variação da concentração desse marcador químico (Xavier-Junior *et al.*, 2017; Carneiro *et al.*, 2018). Nas tabelas 2, 3 e 4 as imagens topográficas das superfícies microfresadas para todos os fluidos.

Ainda assim, os valores obtidos para estes parâmetros de R_a e R_q , variaram 0,05 a 0,08 μm e 0,06 a 0,1 μm respectivamente, são valores baixos, próximo a rugosidades de processos de acabamento, como a retificação por exemplo, de acordo com a NBR 8404 (1984). Dos Santos, *et al.* (2015) ao avaliarem a qualidade superficial com diferentes parâmetros de corte no microfresamento do aço inoxidável duplex UNS 32205, com microfresas de metal duro de 381 μm revestidas com TiN encontraram resultados de R_a variando de 0,073 a 0,085 μm , próximos ao encontrados neste trabalho. O que sugere que as rugosidades no microfresamento são baixas.

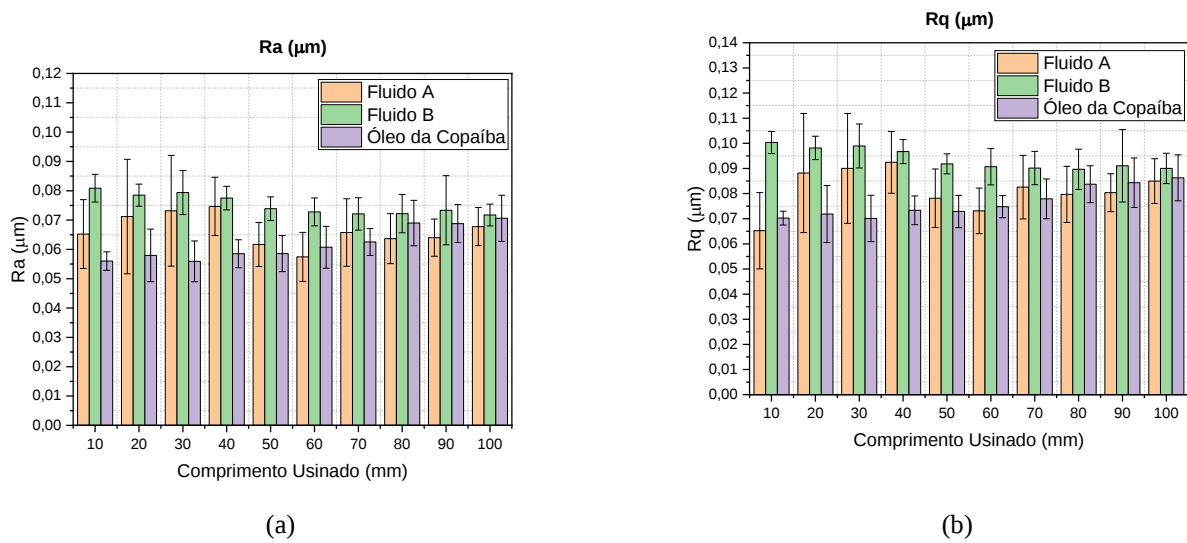


Figura 5. Rugosidade superficial Ra (a) e Rq (b) em função do comprimento usinado.

3.3 Rebarba

As Tabelas 2, 3 e 4 mostram imagens do MEV das rebarbas formadas nas bordas do início, meio e fim dos canais 1, 5 e 10 (vista superior). As direções de avanço e rotação da ferramenta está indicada na figura abaixo. De maneira qualitativa observa-se que maiores rebarbas formaram com a aplicação do fluido de corte A.

Tabela 2. Microcanais usinados com fluido de corte A.

Início	Meio	Fim
Canal 1		
Canal 5		
Canal 10		

Tabela 3. Microcanais usinados com fluido de corte B.

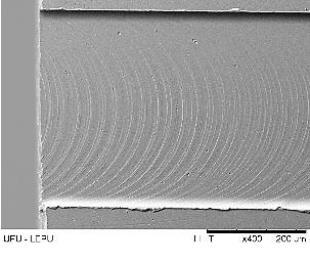
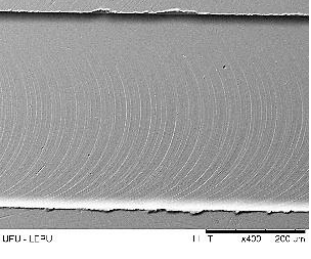
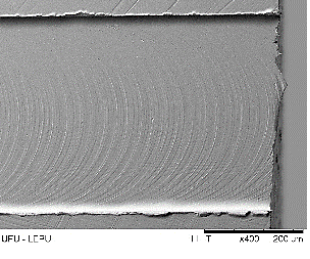
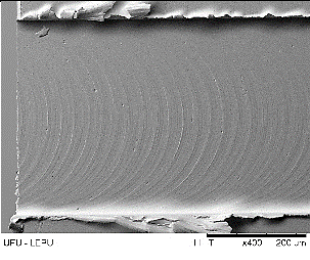
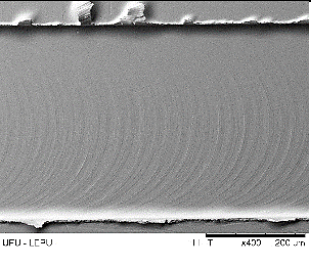
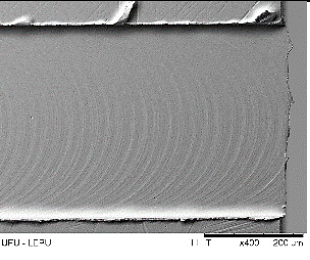
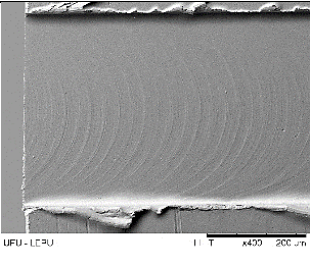
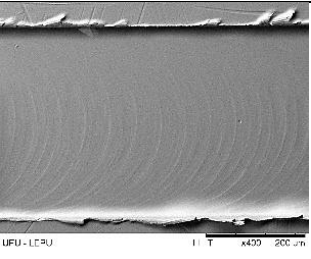
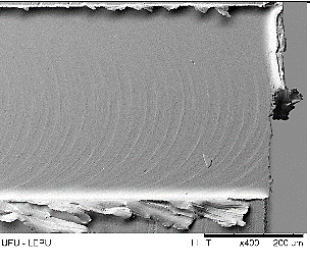
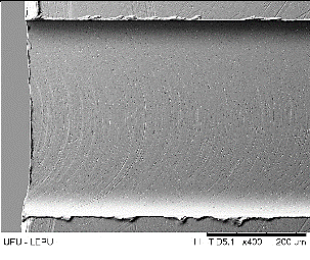
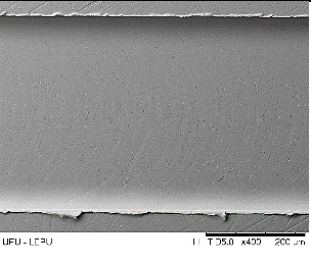
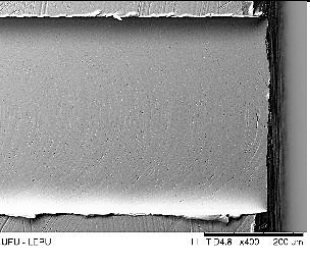
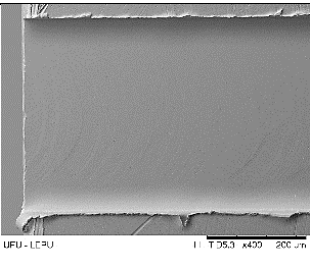
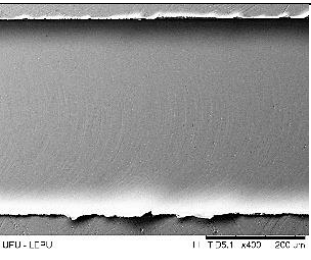
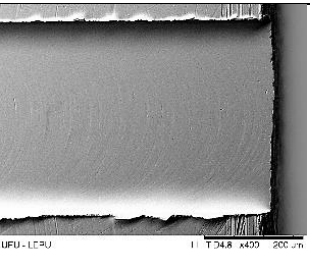
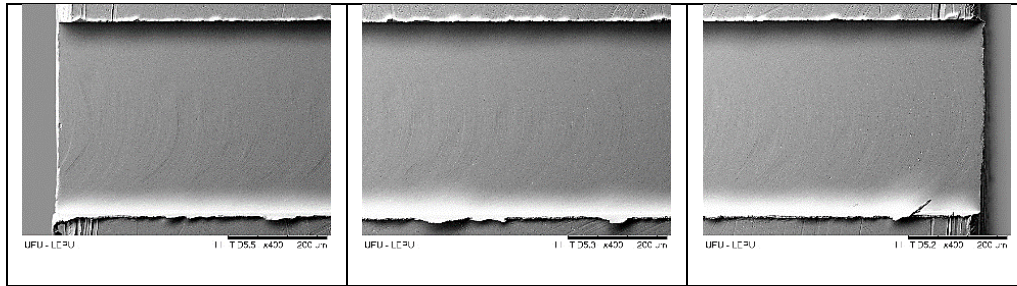
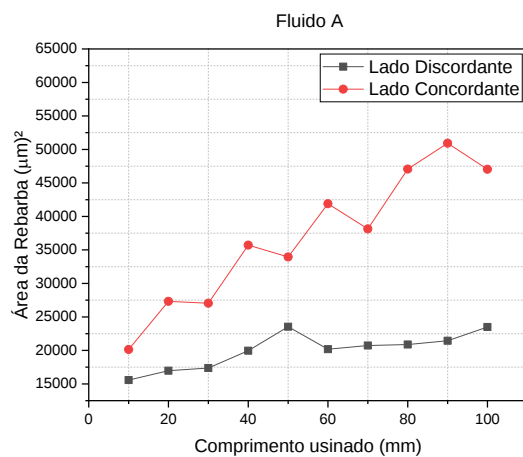
Início	Meio	Fim
Canal 1		
		
Canal 5		
		
Canal 10		
		

Tabela 4. Microcanais usinados com fluido de corte Óleo da Copaíba.

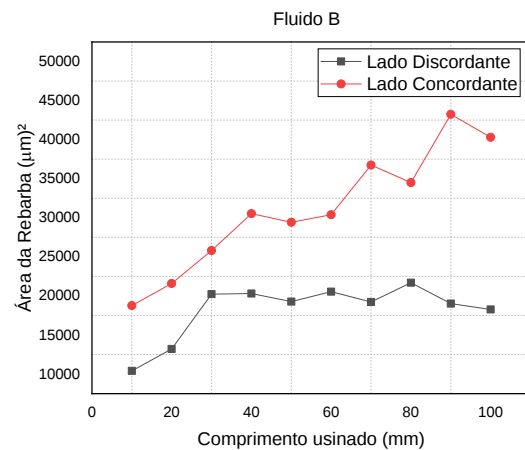
Início	Meio	Fim
Canal 1		
		
Canal 5		
		
Canal 10		



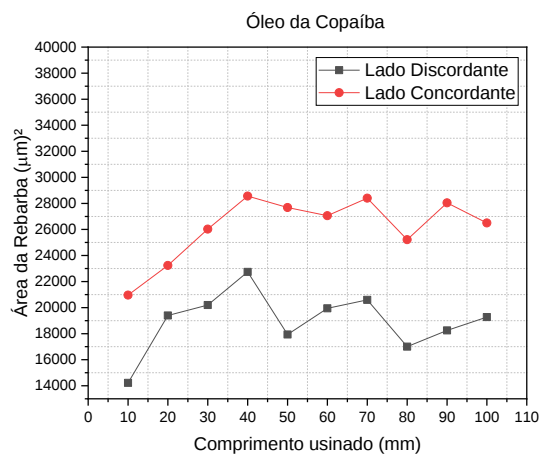
A Figura 6 mostra os gráficos da área das rebarbas em função do comprimento usinado, para os lados discordante e concordante para os fluidos de corte utilizados. Segundo, Biermann e Steiner (2012) no lado discordante, a espessura de corte começa de zero, comprimindo e empurrando o material no primeiro momento. Com o aumento da espessura de corte, a sustentação do material a ser usinado também é aumentada e, então, o material é cortado. De forma oposta, no lado concordante, a sustentação do material a ser usinado é menor. Quando a espessura de corte diminui, o material não é cortado claramente. Assim, o material que não foi removido na forma de cavaco, é empurrado na direção que possui menor resistência. Dessa forma, observa-se uma tendência de maiores área de rebarbas do lado concordante, isso para todos os fluidos utilizados. Dos Santos *et al.* (2015) cita que independente da condição lubri-refrigerante o lado concordante forma uma rebarba maior. Este fato também foi constatado por Silva e Da Silva (2019). Estes autores investigaram a formação de rebarbas no aço inoxidável duplex UNS S32205, utilizando processo similar, mas com ferramentas de diferentes diâmetros (200 e 400 μm). Os resultados mostraram que o uso do fluido de corte reduziu a formação das rebarbas e que, em todos os ensaios, as rebarbas no lado concordante foram maiores que no lado discordante do canal.



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Área da rebarba resultante dos fluidos de corte A (a), B(b) e o óleo da copaíba (c).

A Figura 7 ilustra a combinação da área da rebarba formada do lado concordante para todos os fluidos de corte, resultando em menores rebarbas com a aplicação do óleo da copaíba, fluido B e fluido A, respectivamente. Isso ocorre, devido a maior lubrificidade dos fluidos de corte de base vegetal. Anand e Matthew (2020) avaliaram o efeito do óleo de girassol e com a técnica MQL no microfresamento do Inconel 718, resultando a quase 32% na redução da rugosidade e 36% na largura da rebarba e 37% na altura da rebarba se comparada com a usinagem a seco, isso porque, a capacidade de lubrificação do óleo de girassol é maior, uma das vantagens dos óleos integrais (Machado, *et al.*, 2015). O óleo de canola foi investigado como fluido de corte no processo de torneamento do Ti-6Al-4V, uma emulsão de 10% misturado em água resultando na diminuição da rugosidade em 47% em relação a condição a seco, devido sua excelente propriedade de lubrificação (Airao, *et al.*, 2022).

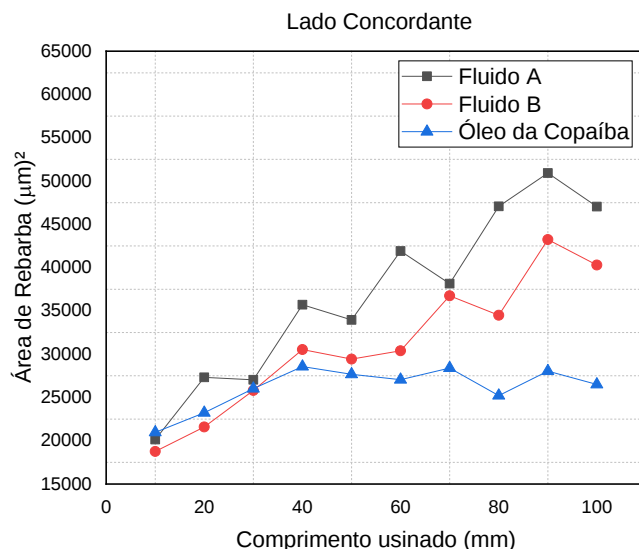


Figura 7. Combinação da área da rebarba do lado concordante para todos os fluidos de corte.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa, nas condições impostas pela metodologia apresentada nos possibilitou as seguintes conclusões:

Maiores viscosidades foram obtidas com o Fluido B, seguido do óleo da copaíba e o Fluido A. O óleo da copaíba aplicado pela técnica MQL apresentou valores de R_a e R_q equivalentes com os fluidos de corte A e B, isso acontece devido suas variações genéticas, assim, sua característica físico-química pode sofrer mudanças. Os valores obtidos para estes parâmetros de saída, variaram 0,05 a 0,08 μm e 0,06 a 0,1 μm respectivamente, são valores baixos, próximo a rugosidades de processos como a retificação.

Em relação a formação da área da rebarba com óleo da copaíba menores áreas ao longo do comprimento usinado foram encontradas em relação aos fluidos B e A, respectivamente e para todas as condições as maiores quantidade de rebarbas foram formadas no lado concordante para todos os fluidos de corte.

Esta pesquisa é pioneira com está aplicabilidade do óleo da copaíba, onde é um fluido que contém em sua composição elementos medicinais efeito este que pode contribui com a saúde do operador e ao meio ambiente. Dessa forma, o mesmo na forma de MQL pode ser uma alternativa interessante no processo de microfresamento do Aço ABNT H13 pelo fato de ser biodegradável e atender as tendências a nível mundial por fluidos de corte mais amigáveis.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências CAPES, CNPq e a FAPEMIG, ao suporte oferecido pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Faculdade de Engenharia Mecânica e ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU).

6. REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 6506-1:2019. 2019. Materiais metálicos – Ensaio de dureza Brinell – Parte 1: Método de Ensaio. Pg 16.
ABNT NBR 8404. 1984. Indicação do Estado de Superfícies em Desenhos Técnicos. Pg 02.

- Airao, J.; Nirala, C. K.; Outeiro, J.; Khanna, N. 2022. Surface integrity in ultrasonic-assisted turning of Ti6Al4V using sustainable cutting fluid. *Procedia CIRP*, Vol. 108, P. 55-60 <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.068>>.
- Anand, KN, & Mathew, J. 2020. Avaliação do efeito de tamanho e melhoria nas características de superfície usando MQL à base de óleo de girassol para microfresamento sustentável de Inconel 718. *Revista da Sociedade Brasileira de Ciências Mecânicas e Engenharia*, Vol. 42, p. 1-13. <DOI: 10.1007/s40430-020-2239-0>.
- ASTM E415-17. 2017. Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry Active Buy Now. Pg 11.
- Biermann, D.; Steiner, M. 2012. Analysis of Micro Burr Formation in Austenitic Stainless Steel X5CrNi18-10. *Procedia CIRP*, v. 3, p. 97 – 102. <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.018>>.
- Carneiro, L. J., Bianchi, T. C., da Silva, J. J., Oliveira, L. C., Borges, C. H., Lemes, D. C.; Ambrósio, S. R. 2018. Development and Validation of a Rapid and Reliable RP-HPLC-PDA Method for the Quantification of Six Diterpenes in *Copaifera duckei*, *Copaifera reticulata* and *Copaifera multijuga* Oleoresins. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 29, n. 4, p. 729-737.
- De Lima, M. C.; Da Silva, L. S.; Veiga Junior, V. F.; Wiedmann, L. S. M. 2020. Quantificação da B-cariofileno e óxido de cariofileno para o controle de qualidade dos óleos de copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne). *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v. 6, n. 1, p. 608-623. < DOI:10.34117/bjdv6n1-043>.
- Dos Santos, A. G.; Cunha, D. F.; Ziberov, M., Hung, Wayne, Jackson M. J.; Da Silva, M. B. 2015. Avaliação da Qualidade de Microcanais Fabricados por Microfresamento no Aço Inoxidável Duplex UNS 32205. *8º Congresso de Engenharia de Fabricação*. Salvador, Bahia, Brasil.
- De Sousa, S. F.; Paes, J. B.; Arantes, M. D. C.; Lopez, V. F. B. 2018. Análise Física e Avaliação do Efeito Antifúngico dos Óleos de Andiroba, Copaíba e Pinhão-Manso. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 48, n. 2, p. 153-162, <DOI: 10.5380/rf.v48i2.52280>.
- Finzi, M. B. A. 2017. *Estudo do desempenho de fluidos de corte nos processos de usinagem*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais.
- Gelpi, R. J. A 2021. New Therapeutic Alternative for the Treatment of Pulmonary Hypertension?. *Arq Bras Cardiol*. Dec, 117(6):1113-1114 <<https://doi.org/10.36660/abc.20210935>>.
- Jabbar, M.A., Hashim, Z., & Zainuddin, H. 2018. Metalworking fluid exposure and consequences on skin health in a metal machining factory: review article. <DOI:10.35935/edr/24.3527>.
- Machado, A. R. Abrão, A. M., Coelho, R. T., Bacci, M. 2015. *Teoria da Usinagem dos Materiais*. 3ª edição. São Paulo.
- Masuzawa, T. 2000. State of the art of micromachining. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 49, p. 473-488. <[https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63451-9](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63451-9)>.
- Nakamura, M. T.; Endo, E. H.; Sousa, J. P. B.; Callejon, D. R.; Ueda-Nakamura, T.; Dias Filho, B. P.; Freitas, O.; Nakamura, C. V. 2017. Copaiba Oil and Its Constituent Copalic Acid as Chemotherapeutic Agents against Dermatophytes. *J. Braz. Chem. Soc.*, Vol. 28, No. 8, p. 1377-1383. <<https://doi.org/10.21577/0103-5053.20160309>>.
- Pratap, T e Patra, K. 2020. Desempenhos tribológicos da liga Ti-6Al-4V simetricamente microtexturizada para a articulação do quadril. *Jornal Internacional de Ciências Mecânicas* 182 (2020): 105736. <DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2020.105736>.
- Onler, R., Korkmaz, E., Kate, K., Chinn, R., Atre, S. V., Ozdoganlar, B.O. 2019. Green micromachining of ceramics using tungsten carbide micro-endmills. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 267, p. 268-279. <<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.12.009>>.
- Saha, S.; Deb, S.; Bandyopadhyay, P. P. 2021. Progressive wear based tool failure analysis during dry and MQL assisted sustainable micro-milling. *International Journal of Mechanical Sciences*. Vol. 212, p. 15-23. <<https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2021.106844>>.
- Silva, L. C.; Silva, M. B. 2019. Investigation of burr formation and tool wear in micromilling operation of duplex stainless steel. *Precision Engineering*. Vol. 60, p. 178 – 188.
- Silva, E. S.; Mathias, C. S.; De Lima, M. C. F.; Veiga Junior, V. F.; Rodrigues, D.P.; Clement, C.R. 2012. Análise Físico-Química do Óleo-Resina e Variabilidade Genética da Copaíba na Floresta Nacional do Tapajós. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, n. 11, v.47, p.1621-1628.
- Stemmer, C.E., 2005. *Ferramentas de Corte I*. 6ª Edição, Edidora da UFSC, Florianópolis.
- Trent, E. M.; Wright, P. K. 2000. *Metal Cutting*. 4ª edição. Londres.
- Xavier-Junior, F. H., Maciuk, A., Rochelle do Vale Moraes, A., Alencar, E. D. N., Garcia, V. L., Tabosa do Egito, E. S.; Vauthier, C. 2017. Development of a gas chromatography method for the analysis of copaiba oil. *Journal of chromatographic science*, v. 55, n. 10, p. 969-978.
- Ziech, R. E.; Farias, L. D.; Balzan, C.; Ziech, M. F.; Heinzmann, B. M.; Lameira, O. A.; Vargas, A. C. 2013. Atividade antimicrobiana do oleorresina de copaíba (*Copaifera reticulata*) frente a *Staphylococcus coagulase positiva* isolados de casos de otite em cães. *Pesq. Vet. Bras.* Vol. 33(7). p. 909-913. <<https://doi.org/10.1590/S0100-736X2013000700011>>.
- Wang, Z. Yu, B., Liu, K., Yin, Z., Yuan, J. e Zhu, Y. 2020. Performance and wear mechanism of spark plasma sintered WC-Based ultrafine cemented carbides tools in dry turning of Ti-6Al-4V. *Ceramics International*, Vol. 46, p. 20207-20214. <<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.05.101>>.

7. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.

INFLUENCE OF COPAIFERA OIL AS CUTTING FLUID IN MICRO-MILLING OF ABNT H13 STEEL

Tamires Isabela Mesquita Botelho

Arthur Vieira de Souza

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP 38408-100

tamiresisabela@yahoo.com.br

arthurvieira@ufu.br

Lucas Barbosa Queiroz

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP 38408-100

lucasbqueiroz@ufu.br

Samuel Alves de Freitas

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP 38408-100

samuelengmec@gmail.com

Márcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP 38408-100

mbacci@mecanica.ufu.br

Abstract. The demand for components of increasingly smaller dimensions has been gaining ground in several areas. For this reason, research in the area of micromachining has been gaining more and more prominence. Due to the reduced dimensions of the cutting tools, micromills with diameters in the range of 1 to 1000 μm , one of the great challenges is the reduction of burrs formed during machining. For micromachining processes, the application of cutting fluid is essential. The awareness of sustainability in manufacturing forces the search for alternatives of vegetable-based cutting fluids and the use of less fluid, through the use of techniques of minimum quantity of lubricant (MQL). Thus, this work evaluates the performance of pure copaiba vegetable oil in a micro-end milling process, comparing it with commercial cutting fluids. The fluids are applied in the form of MQL in the micro-milling process of ABNT H13 steel. For all cutting fluids, viscosity and density analyzes were performed. Constant cutting parameters, rotation of 40,000 (rpm), cutting speed (vc) of 50.26 m/min, feed per tooth (fz) 5 $\mu\text{m}/\text{turn}/\text{tooth}$, and depth of cut (ap) 40 μm were used. The micromilling process used consists of the fabrication of microchannels using 400 μm diameter carbide end mills, coated with TiAlN. To evaluate the quality of the microchannels, the average roughness (Ra), visual evaluation of the machined surface through images in the scanning electron microscope, and the quantification of burrs were analyzed. The results found suggest smaller roughness and burr size when using copaiba vegetable oil. It is observed that for all cutting fluids used, the burrs on the upstream side are larger than the downstream side.

Keywords: Micromilling; Cutting Fluid; Copaiba oil; ABNT H13 steel.

8. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.