

FLUIDOS BIODEGRADÁVEIS E A POTÊNCIA CONSUMIDA NO FRESAMENTO FRONTAL DE AÇO MÉDIO CARBONO

Matheus Augusto Garcia Buzo, matheus.a.g.buzo@gmail.com¹

José Aécio Gomes de Sousa, aeciosousa@yahoo.com.br¹

Juan Manoel da Silva Blanes, ingjuanblanes@gmail.com¹

Antônio Santos Araújo Junior, asaraujojr@ifma.edu.br²

Matheus Gonçalves de Ataíde, matheus.ataide@ufu.br³

Luiz Leroy Thomé Vaughan, lvaughan@unifei.edu.br⁴

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, Av. dos Pioneiros, 3131, Londrina, PR, 86036-370, Brasil;

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Av. Colares Moreira, 477 - Jardim Renascença, São Luís - MA, 65075-441

³Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. Joao Naves de Avila, 2121, Uberlândia, MG 38.400-089, Brazil

⁴Universidade Federal de Itajubá - R. Irmã Ivone Drumond 200, Itabira-MG, 35903-087, Brasil

Resumo: O aumento da preocupação com os impactos ambientais causados pelos descartes de resíduos tóxicos torna-se indispensável pesquisas que buscam alternativas sustentáveis para fabricação de produtos que causam menos impactos ambientais. A utilização do fluido de corte na usinagem tornou-se uma técnica imprescindível para alcançar altos níveis de produtividade propiciando, assim, baixos níveis de desgastes nas ferramentas de corte. Por outro lado, os atuais fluidos de corte de base sintética amplamente utilizados pela indústria apresentam alta nocividade para o meio-ambiente e para a saúde humana. Juntamente, há a preocupação com o consumo de energia. O objetivo deste trabalho é estudar o desempenho do óleo vegetal de babaçu no fresamento frontal do aço ABNT 1045. Foi utilizado como critérios de avaliações a força de corte e a potência de corte. Todos os resultados foram comparados com o desempenho do óleo comercial LB 2000. Os óleos foram aplicados pela técnica de Mínima Quantidade de Lubrificação – MQL. Os resultados indicaram que o desempenho do óleo de babaçu foi similar ao óleo comercial LB 2000, quando comparado entre parâmetros semelhantes.

Palavras-chave: óleo vegetal de babaçu, força de corte, potência de corte, aço ABNT 1045

1. INTRODUÇÃO

Com padrões de produção cada vez mais elevados na indústria metalomecânica, torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas que buscam alta produtividade e garantam maior qualidade do produto final. É fato que para elevar a produtividade nos processos de usinagem é necessário o aumento da taxa de remoção do material. Através do aumento dos parâmetros de usinagem, como a velocidade de corte, avanço e profundidade de corte. Todavia, o aumento desses parâmetros traz, como consequência, temperaturas cada vez mais elevadas e, consequentemente, piores acabamentos, colaborando, assim, o desgaste da ferramenta e, por conseguinte, a necessidade de manutenções (Junior, 2004; Pereira, 2007; Machado et al, 2018).

Atualmente, é muito empregado o fluido de corte nos processos de usinagem, visto que sua utilização torna possível alcançar velocidades de corte maiores, maior vida útil da ferramenta, maior precisão de corte e melhores acabamentos de superfície, além de forças de corte menores quando comparado a usinagem a seco. Os fluidos de cortes utilizados, até então, são de base petrolífera, caracterizados por sua alta performance, porém são severamente prejudiciais ao meio ambiente e a saúde humana. Dessa forma, são responsáveis pela contaminação de lençóis freáticos, cânceres e doenças de pele, acarretando inúmeras consequências para o meio ambiente (Grzesik, 2008).

Tendo em vista isso, pesquisadores começaram a buscar alternativas sustentáveis que conseguissem alcançar o mesmo desempenho de um fluido sintético, de base mineral. Porém, alcançar esse desempenho é uma tarefa difícil para um fluido de base vegetal, pois apresentam propriedades diferentes. A escolha do fluido deve levar em conta o tipo de material a ser usinado, velocidade e material da ferramenta de corte e tipo de máquina utilizada no processo para garantir a usinabilidade correta e resultar numa maior vida útil da ferramenta e do maquinário, mas também deve levar em conta seus impactos além da operação de usinagem. Existem três tipos de fluidos: a base de óleo (óleos minerais, óleos animais

e óleos vegetais), a base de água e a base de gás. Os fluidos a base de água, solúveis, apesar de serem utilizados na indústria e possuírem boas propriedades refrigerantes, apresentam corrosividade, enquanto os fluidos de base mineral, apresentam uma elevada proteção contra a corrosão. Considerando o impacto ambiental desses óleos, a melhor alternativa são os óleos de base vegetal que apresentam uma alta viscosidade, ponto de fulgor e lubrificação superiores, além de serem biodegradáveis (Seifert, 2021).

Atualmente, existem várias maneiras para inserir o fluido de corte na operação de usinagem. A técnica MQL (Mínima Quantidade de Líquido) é a que se apresenta mais vantajosa. Seu princípio de funcionamento consiste no arrastamento de uma pequena quantidade de lubrificante por uma corrente de ar comprimido que é dirigido sobre a zona de corte. Esse arrastamento provoca a atomização do lubrificante, fazendo com que a sua distribuição na zona de corte seja uniforme (Correia, 2006).

O óleo de babaçu, *Orbignya martiniana*, é extraído através das amêndoas de seus frutos. Além de muito utilizado na culinária do norte e nordeste, também é empregado para produção de biocombustíveis, bem como na indústria dos itens de higiene pessoal. O Coco de babaçu possui dimensões de 8 a 15 cm e suas amêndoas, apresenta de 6 a 8 % do peso do coco. O estado do Maranhão, é responsável por 94,2 % da produção nacional, produzindo aproximadamente 117 a 150 toneladas por ano (Santos, 2008).

Shokoohi et al., (2015) estudou a aplicação do óleo vegetal de girassol como fluido de corte no torneamento do aço AISI 1045 temperado e revenido. Foi constatado que o óleo vegetal de girassol acrescido de aditivos químicos teve melhor performance, porém a diferença não foi discrepante. Portanto, o uso do óleo vegetal de girassol com aditivos obteve melhores acabamentos superficiais, maior vida da ferramenta e menores potências de corte.

Em outro trabalho, D'Amato et al., (2019) investigou em seu trabalho a utilização do óleo vegetal de pinhão-manso como fluido de corte, no fresamento das ligas de alumínio AA2030 e aço carbono AISI 1050. Além da proteção contra a oxidação, foram obtidos resultados da potência consumida menores com o óleo vegetal, quando comparado ao óleo mineral a base de petróleo e a operação a seco.

O fresamento frontal é a operação de usinagem mais utilizada pela indústria devido ao seu alto rendimento, juntamente com precisão superficial e dimensional. Ele é caracterizado pela sua respectiva ferramenta, a fresa, que possui arestas cortantes dispostas simetricamente em torno de um eixo. O movimento de corte é dado pela rotação da fresa ao redor de seu eixo, e o movimento de avanço é realizado pela própria peça em usinagem. O fresamento confere mais versatilidade ao processo de usinagem, podendo realizar diversos tipos de geometrias. No fresamento frontal, o eixo é localizado perpendicular a superfície usinada, em que os dentes ativos da fresa se localizam na superfície frontal da ferramenta. Normalmente, é empregado para operações de faceamento (Braga, 2011; Diniz et al., 2008).

A análise dos esforços de corte torna possível o aperfeiçoamento de seus parâmetros de corte, resultando em menores consumos de energia, melhores acabamentos do produto final e maior vida da ferramenta de corte. Monitorando os esforços, é possível acompanhar a execução da operação, visto que ela é afetada por diversos fatores como: o tipo de material a ser usinado e seu estado de dureza; a velocidade, o avanço e a profundidade de corte; o material da ferramenta; o material de recobrimento; a geometria da ferramenta escolhida; o uso ou não de fluido de corte; o desgaste da ferramenta; os efeitos térmicos; o atrito e as tensões geradas na remoção do cavaco (Ribeiro et al., 2006).

A potência de usinagem é a resultante das potências obtidas pelas componentes das forças de usinagem através das respectivas componentes de velocidade. “A energia efetiva será consumida de várias maneiras, mas muitas delas desprezíveis, e as que realmente são de peso, são as parcelas consumidas para cisalhar o material nos planos de cisalhamento primário e secundário” (Machado et al, 2018).

O objetivo deste trabalho é estudar o desempenho do óleo vegetal de babaçu como fluido de corte através da análise da potência de corte consumida. Os resultados foram comparados com o desempenho do óleo comercial LB2000, amplamente utilizado como fluido de corte. Para isso, foram realizados ensaios de fresamento frontal do aço ABNT 1045 utilizando a técnica MQL com o óleo de babaçu e com o óleo comercial LB2000.

2. MÉTODO EXPERIMENTAL

2.1 Material Usinado e Ferramenta de Corte

O material utilizado foi o aço carbono ABNT 1045, com dureza Brinell de 205 HB. Este material apresenta excelente resistência mecânica, ductilidade e tenacidade, é amplamente utilizado na fabricação de virabrequins, barras de torção, eixos, bielas, pinos e peças de resistência ao desgaste em indústrias automobilísticas e marítimas (NBR NM 87:2000; Ham et al., 2021).

A ferramenta de corte recorrente neste trabalho foi a fresa fabricada pela Sandvik Coromant, cujo diâmetro possui 80 mm, e com capacidade para 6 insertos. Como o intuito do teste é medir a força e potência de corte, para simplificar os resultados e para economia, foi utilizado apenas um inserto. Este conta com um formato quadrado, com 8 arestas de corte com pastilhas dupla face com oito arestas de corte e código 345R-1305M-PM, além de disporem de revestimento de $TiCN + Al_2O_3 + TiN$.

2.2 Fluido de corte

Os fluidos de corte utilizados neste trabalho foi o óleo de base vegetal de babaçu e o óleo comercial LB2000. O óleo LB2000, é um produto biodegradável produzido pela da ITW Chemical Products Ltda. Este óleo é recomendado na usinagem de materiais ferrosos em que se busca uma vida máxima para a ferramenta de corte. É composto de aditivos de extrema pressão clorados e elementos não tóxicos e renováveis. A Tab. 1 apresenta as principais propriedades do óleo LB2000.

Tabela 1. **Propriedades do óleo LB 2000** (ITW, 2015)

Dados	Valores
Viscosidade CST a 40 °C	39
Ponto de fulgor (ASTM D92) (°C)	Acima de 204 °C
Ponto de congelamento (°C)	-15
Ponto de ebulição	Acima de 279 °C
Densidade (20/4 °C) (kg/l)	0,92

O óleo de Babaçu (*Orbignya martiniana*) é um produto de origem vegetal renovável e biodegradável. Sua composição química é dada por uma cadeia de ácidos orgânicos. Suas propriedades são apresentadas na Tab. 2.

Tabela 2. **Propriedades do óleo de Babaçu** (Melo, 2010)

Dados	Valores
Viscosidade Cinemática (mm ² /S)	30,30
Índice de Oxidação	0,047
Temperatura de Oxidação (°C)	182,34
Ponto de ebulição (°C)	350 a 380
Densidade (20/4 °C) (kg/l)	0,914
Ponto de Fusão (°C)	34

Para os testes com MQL foi utilizado um aparelho aplicador de micro-lubrificação, modelo Accu-Lube, fabricado pela ITW Chemical, operando com um fluxo contínuo de ar comprimido ajustado em torno de 6 kg/cm² e “spray” intermitente de fluido na frequência de 1 pulso/s. Todos os fluidos utilizados nesta condição operaram na vazão de 50 ml/h.

2.3 Ensaios de usinagem

O planejamento experimental foi elaborado com base num planejamento fatorial 2⁴, sendo três quantitativas (velocidade de corte - v_c , avanço de corte - f_z e profundidade de corte - a_p), variando em 2 níveis cada, e uma variável qualitativa (fluido de corte utilizado), variando em 2 níveis cada. A penetração de trabalho (a_e) foi mantida constante. Para cada condição de corte, foram realizados um teste e duas repetições. A Tab. 3 apresenta as variações utilizadas no planejamento experimental detalhadamente.

Tabela 3. **Parâmetros de corte utilizados**

v_c (m/min)	f_z (mm/dente)	a_p (mm)	a_e (mm)
165	0,15	1,0	62
210	0,30	2,0	

O centro de usinagem vertical Romi/Bridgeport, modelo Discovery 560, com comando numérico CNC GE SIEMENS 21i-MB, foi utilizado para a realização dos ensaios de usinagem. Seu eixo-árvore possui uma rotação máxima de 7500 rpm, potência máxima de 12,5 CV e a interface de fixação de ferramenta no fuso da máquina é do tipo sede cônica ISO-40.

Para não haver interferências do desgaste dos inserts nos resultados, a cada 4 passes sobre o corpo de prova, o inserto foi trocado, assim seu desgaste médio de flanco não passou de 0,1 mm.

Na obtenção de dados da potência corte, um sensor de corrente não invasivo SCT-013-000, que utiliza o princípio da lei de indução eletromagnética de Faraday, foi empregado. Para conferir a tensão de linha deste equipamento, utilizou-se um multímetro digital da marca Multitoc, modelo DT-830BXXX com escala de tensão AC até 650 VAC e corrente AC até 10 A. Também foi utilizado um microcontrolador Arduino® DUE com uma taxa de amostragem de 600 Hz e 12 bits. Todos os dados foram processados no software MatLab® após serem obtidos. Para medir os sinais de vibração foi utilizado acelerômetros, modelo MV 670, fabricados pela Instrutherm.

Para realizar o cálculo do custo de energia envolvido durante os ensaios de usinagem, foi adotado o valor do kWh como R\$ 0,62, visto que é o valor médio geral do kWh na cidade de São Luís, no estado do Maranhão. O tempo gasto em

cada ensaio de usinagem foi de 1 minuto portanto, para calcular o preço do kW por minuto. Logo, foi anotado os valores consumidos em cada ensaio de usinagem em kW, e multiplicado pelo valor do kW por minuto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figs. 1 e 2 apresentam, respectivamente, o comportamento da potência de corte nas velocidades 165 e 210 m/min.

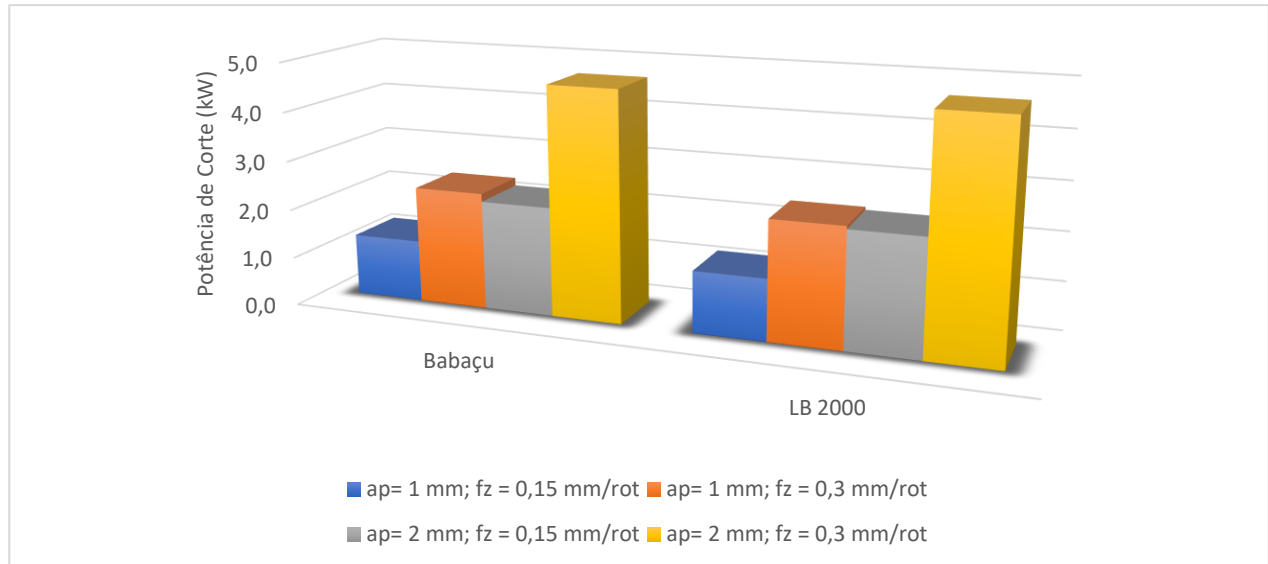


Figura 1 - Gráfico da potência de corte consumida por cada parâmetro a velocidade de corte de 165 m/min

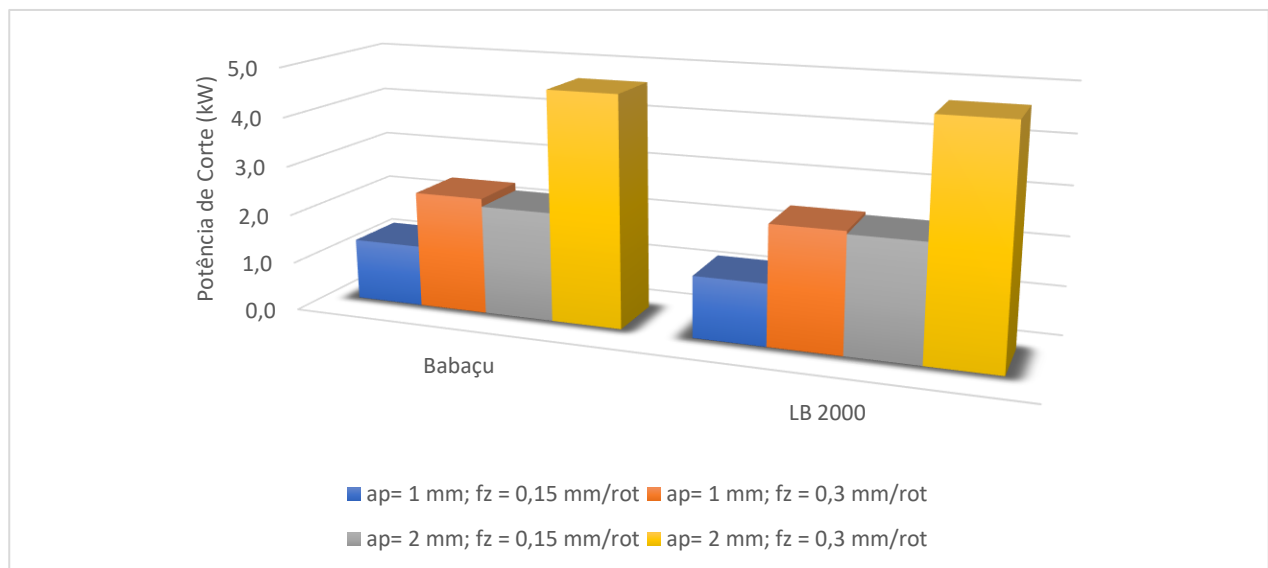


Figura 2- Gráfico da potência de corte consumida por cada parâmetro a velocidade de corte de 210 m/min

Pode-se observar que os menores consumos de energia se dão a velocidade de 165m/min, com taxa de avanço de 15 mm/rot e profundidade de corte de 1 mm. Isso se deve ao fato que os esforços de corte aumentam na medida em que se aumenta a profundidade de corte e a taxa de avanço, juntamente com uma redução na velocidade de corte e, portanto, reduz os esforços do centro de usinagem, e com isso o seu consumo elétrico.

Foi adotado neste trabalho o nível de significância corresponde a 0,05. Analisando o p-valor obtido da comparação entre as potências de corte do óleo de babaçu com o óleo LB2000 na Tab.5, conclui-se estatisticamente que não há diferença, visto que seu valor é maior que 0,05 apresentando, ambos os óleos, o mesmo desempenho. Porém, a uma velocidade de corte de 210 m/min, 0,15 mm/rot e uma profundidade de corte de 2 mm, há uma tendência significativa de diminuir a potência consumida no processo em 6,20%.

Tabela 4. Comparação entre as potências de corte empregadas com o uso do Óleo de babaçu com a do Óleo LB2000

Comparação	v_c (m/min)	f (mm/rot)	a_p (mm)	Diferença Média Percentual	p-valor
Óleo de Babaçu → Óleo LB2000®	165	0,15	1	2,60%	0,9312
			2	-2,70%	0,8782
		0,3	1	-3,90%	0,8363
			2	6,60%	0,4396
	210	0,15	1	0,00%	1
			2	-6,20%	0,6902
		0,3	1	-1,60%	0,8954
			2	0,00%	1

Nota-se também uma grande diferença de consumo entre os parâmetros mínimos com os máximos. Tal fato conclui a necessidade de encontrar um equilíbrio entre o número de peças fabricadas e o seu consumo de energia, tendo em vista que à medida que o tempo de fabricação diminui, aumenta-se drasticamente o consumo de energia quando comparado em uma linha de produção industrial. Considerando o custo da energia um valor significativo no custo do produto final, a Tab. 5 apresenta o gasto monetário envolvido em cada ensaio de fresamento, considerando 1 minuto como o tempo de corte. Os ensaios foram realizados em São Luís no estado do Maranhão, onde o valor do kWh é R\$ 0,62.

Tabela 5. Custo monetário utilizado em cada tipo de ensaio.

Comparação	v_c (m/min)	f (mm/rot)	a_p (mm)	Diferença Média Percentual	Valor (R\$)
Óleo de Babaçu → Óleo LB2000®	165	0,15	1	1,15	0,01
			2	2,16	0,02
		0,3	1	2,30	0,02
			2	5,23	0,05
	210	0,15	1	1,258	0,01
			2	2,23	0,02
		0,3	1	2,39	0,02
			2	4,68	0,04

Analisando a tabela 5, podemos concluir que o maior equilíbrio de custo-benefício é encontrado a uma velocidade de 210 m/min, uma taxa de 0,15 mm/rot de avanço e uma profundidade de corte de 1 mm, visto que obteve o menor custo com os parâmetros mais elevados.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram chegar as seguintes conclusões:

- O óleo de babaçu apresentou desempenho próximo do óleo comercial LB2000.
- Como a potência de corte é um produto da força de corte, ela também é proporcional ao seu valor, o que significa que uma redução na força de corte, significa uma redução na potência de corte. Tal fato comprova o custo-benefício na utilização de fluídos de corte efetivos, visto que reduzem a força de corte e, portanto, aumentam a vida útil da ferramenta e reduzem o consumo de energia.
- O óleo de babaçu utilizado como fluído de corte se mostrou eficiente e sustentável.
- O equilíbrio entre o consumo de energia elétrica e maior produtividade utilizado o óleo de babaçu é alcançado a uma velocidade de corte de 210 m/min, uma taxa de 0,15 mm/rot de avanço e uma profundidade de corte de 1 mm.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal Tecnológica do Paraná, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, a Universidade Federal de Uberlândia e a Universidade Federal de Itajubá.

6. REFERÊNCIAS

- Braga, D. U., Parreira, L. G. S., Neves, F. O., and SILVA, A., 2011. Fresamento Frontal do Aço ABNT 1045 Quando Utilizada Fresa com Diferentes Números de Arestas. In 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Caxias do Sul-RS-Brasil.
- Correia, A. E., and Davim, J. P., 2006. Efeito da lubrificação mínima (mql-minimal quantity of lubricant) na maquinagem de uma liga de alumínio. Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões ISSN, 122, 922.
- D'Amato, R., Wang, C., Calvo, R., Valášek, P., and Ruggiero, A. , 2019. Characterization of vegetable oil as cutting fluid. Procedia Manufacturing, 41, 145-152.
- Diniz, A. E., 2008. Coppini NL E Marcondes FC Tecnologia da usinagem dos materiais. 6º edição Editora MM. São Paulo.
- Grzesik, W., 2008. Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications. Elsevier
- Ham, G. S., Kreethi, R., Kim, H. J., Yoon, S. H., and Lee, K. A., 2021. Effects of different HVOF thermal sprayed cermet coatings on tensile and fatigue properties of AISI 1045 steel. Journal of Materials Research and Technology, 15, 6647-6658.
- ITW Chemical Products Ltda, 2015, acesso em <https://www.itwchem.com.br/produtos/>.
- Junior, A. J. S., 2004. "Análise do processo de torneamento a quente auxiliado por resistência elétrica de quartzo", 93p. *Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, , Bauru – SP*
- Machado, A.R., Abraão, A.M., Coelho, R.T., 2018. "Teoria da Usinagem dos Materiais", 4ª Edição, Editora Edgard Blücher, São Paulo.
- Melo, M. A. M. F. (2014). Avaliação das propriedades de óleos vegetais visando a produção de biodiesel.
- Pereira, Sidnei, 2007. "Melhoria da produtividade do processo de usinagem de uniões em ferro fundido maleável preto: um estudo de caso.".
- Ribeiro, J. L. S., Abrão, A. M., and Sales, W. F., 2006. Forças de usinagem no fresamento de aços para matrizes. 16º POSMEC, 1-10.
- Santos, J. D. J., 2008. Biodiesel de babaçu: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias. Universidade Federal da Paraíba.
- Seifert, S. S., 2021. Fluidos de corte a base vegetal para usinagem: tomada de decisão multicritério para ranqueamento com base nas propriedades (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Shokoohi, Y., Khosrojerdi, E., and Shiadhi, B. R., 2015. Machining and ecological effects of a new developed cutting fluid in combination with different cooling techniques on turning operation. Journal of Cleaner Production, 94, 330-339.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

BIODEGRADABLE FLUIDS AND THE POWER CONSUMED IN FRONT MILLING OF MEDIUM CARBON STEEL

Matheus Augusto Garcia Buzo, matheus.a.g.buzo@gmail.com¹

José Aécio Gomes de Sousa, aeciosousa@yahoo.com.br¹

Juan Manoel da Silva Blanes, ingjuanblanes@gmail.com¹

Antônio Santos Araújo Junior, asaraujojr@ifma.edu.br²

Matheus Gonçalves de Ataíde, matheus.ataide@ufu.br³

Luiz Leroy Thomé Vaughan, lvaughan@unifei.edu.br⁴

¹Federal Technological University of Paraná, Campus Londrina, Av. dos Pioneiros, 3131, Londrina, PR, 86036-370, Brasil;

²Federal Institute of Education, Science and Technology of the Maranhão, Av. Colares Moreira, 477 - Jardim Renascença, São Luís - MA, 65075-441

³Federal University of Uberlândia, Av. Joao Naves de Avila, 2121, Uberlandia, MG 38.400-089, Brazil

⁴Federal University of Itajubá - R. Irmã Ivone Drumond 200, Itabira-MG, 35903-087, Brasil

Abstract. *The increasing concern about the environmental impacts caused by the disposal of toxic waste becomes essential research that seeks sustainable alternatives that maintain the same level of production and even increase them. The use of cutting fluid in machining has become an essential technique to achieve high levels of productivity providing low levels of wear on cutting tools. However, the current synthetic-based cutting fluids widely used by the industry, despite having excellent performances, are highly harmful to the environment and human health. The objective of this work is to analyze the performance of babassu vegetable oil in the face milling of ABNT 1045 steel. Cutting force and cutting power were used as evaluation criteria. All the results were compared with the performance of the commercial oil LB 2000. The oils were applied by the technique of minimum quantity of lubrication - MQL. The experiment consisted of eight tests, four with cutting speeds of 165 m/min and four with 210 m/min for each fluid. The results indicated that the performance of babassu oil was similar to commercial oil LB 2000, when compared between equivalent parameters.*

Keywords: *babassu oil, cutting force, cutting power, ABNT 1045 steel*