INFLUÊNCIA DO USO DO ÓLEO DA CARAPA GUIANENSIS (ÓLEO DA ANDIROBA) COMPARADO COM FLUIDO DE CORTE COMERCIAL NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO AÇO ABNT 1045**INFLUENCE OF THE USE OF CARAPA GUIANENSIS OIL (ANDIROBA OIL) COMPARED WITH COMMERCIAL CUTTING FLUID IN THE TURNING PROCESS OF THE ABNT 1045 STEEL GRADES**

BOTELHO, Tamires Isabela Mesquita^{1*}; FIGUEIREDO, Gleidson Silva¹; PRAXEDES Fernanda Malato²; TEIXEIRA, Jean Valdir Uchôa²; MONTEIRO, Elane Botelho³;

¹ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Belém, Belém – PA, Brasil

² Instituto Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Materiais, Campus Belém, Belém – PA, Brasil

³ Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), Programa de Pós-Graduação em Sistemas Ambientais Sustentáveis, Lajeado/RS – Brasil

* Autor correspondente

e-mail: tamiresisabela@yahoo.com.br

Received 19 July 2019; received in revised form 15 October 2019; accepted 13 November 2019

RESUMO

Os crescentes avanços tecnológicos obtidos tanto no desenvolvimento de novos materiais como de máquinas ferramenta aumentaram a demanda pelos processos de usinagem e aliado a isto o uso de fluidos de corte aumentou. Entretanto é necessário que os fluidos de corte possuam características que não agredam o ambiente ou o operador. Nos processos de usinagem os fluidos de corte, quando escolhidos e aplicados apropriadamente, podem refletir em benefícios durante o processo de fabricação. Este trabalho avaliou o desempenho de um fluido de corte comercial comparando-o com óleo vegetal extraído da carapa guianensis no processo de torneamento do aço abnt 1045. Manteve-se a velocidade de corte (vc), avanço da ferramenta (f) e a profundidade de corte (ap) e verificou-se a influência do uso de ambos a quais exerciam sobre o metal com as seguintes variáveis: análise do cavaco, acabamento superficial, temperatura de corte e desgaste da ferramenta. Foi observado que com a utilização do com óleo da andiroba gerou-se melhor cavaco para a segurança do operador, maiores temperaturas de corte na peça, maior desgaste da ferramenta e melhor acabamento superficial com diferença de 23%, comparado com fluido de corte comercial. Sendo assim o fluido à base da andiroba pela aplicação convencional comparado com o fluido de corte comercial demonstrou uma alternativa viável no processo de torneamento do aço abnt 1045, pelo fato de ser biodegradável e redução dos fluidos de corte derivados do petróleo.

Palavras-chave: *fluido de corte comercial, óleos vegetais, carapa guianensis, temperatura da peça, desgaste da ferramenta.*

ABSTRACT

The increasing technological advances obtained both in the development of new materials and of machine tools increased the demand for the machining processes and in addition, the use of increased cutting fluids. However, it's necessary to have characteristics that don't harm the environment and the operator. In machining processes, cutting fluids, when properly chosen and applied, may reflect benefits during the manufacturing process. This work evaluated the performance of a commercial cutting fluid by comparing it with vegetable oil extracted from carapa guianensis in the abnt 1045 steel turning process. The cutting speed (vc), tool feed (f) and depth (ap) and the influence of the use of both of them on the metal was verified with the following variables: chip analysis, surface finish, cutting temperature and tool wear. It was observed that with the use of andiroba oil, better chip was generated for the safety of the operator, higher cutting temperatures in the piece, higher tool wear and better surface finish with a difference of 23% compared to commercial cutting fluid. Thus, the fluid from andiroba based on the conventional application demonstrated a viable alternative in the turning process of abnt 1045 steel, because it's biodegradable and reduces petroleum-based cutting fluids.

1. INTRODUÇÃO

A usinagem está presente na confecção dos mais variados produtos de diferentes ramos setoriais. É um processo de fabricação por remoção de cavacos. Sendo assim, todo processo em que há uma peça bruta que, após ser removido material em forma de cavaco de seu interior e exterior, formando uma peça com superfícies desejadas, detalhadas e acabadas de forma que satisfaça plenamente ao cliente, é considerado um processo de usinagem (Santos e Dias, 2010). Durante os processos de usinagem as ferramentas aquecem e sofrem altos desgastes que exigem trocas constantes de suas arestas de corte. Além disto, há o aquecimento das peças usinadas, o que pode provocar dois efeitos indesejáveis: alterações nas dimensões pretendidas e geração de tensões internas que podem comprometer a utilização das mesmas. Para minimizar os desgastes das ferramentas e o aquecimento das peças, vários recursos podem ser utilizados, entre os quais o emprego de um fluido de corte.

Com o aumento das atividades industriais e a evolução dos processos de usinagem, houve um acréscimo no consumo dos fluidos de corte, e também a necessidade dos fluidos serem mais eficientes. Surgiram então os fluidos de corte de extrema pressão (E.P.) que são óleos emulsionáveis, usados quando a lubrificação é um fator importante, isto é, em velocidades reduzidas de corte (onde o coeficiente de atrito é grande) e para usinagem de materiais mais duros. Nos dias de hoje, após constantes desenvolvimentos, surgiram óleos contendo cloro, associações de cloro e enxofre, fósforo enxofre e cloro (Diniz e Scandiffio, 2001).

O emprego de fluidos de corte melhora a eficiência dos processos de usinagem proporcionando: aumento da vida da ferramenta de corte, maior controle de tolerâncias dimensionais, melhoria no acabamento superficial da peça usinada, promove a redução nas forças de usinagem e amenização de vibrações (Rodrigues, 2005; Stemmer, 2005). O efeito do uso de fluidos de corte depende não somente das propriedades do fluido, mas também das condições de usinagem, ou seja, da ferramenta de corte, material peça e parâmetros de corte.

No entanto, apesar de todos os benefícios dos fluidos de corte, pesquisas ressaltam que

sua aplicação cria severos impactos ambientais, como a poluição ou contaminação da água, do solo, e do ar, além de problemas para a saúde dos operadores. Neste cenário, tendências tecnológicas e de aplicação visam à redução, substituição ou à eliminação do uso dos fluidos de corte nos processos de usinagem (Vacaro, 2009; Souza, 2011; Lawal *et al.*, 2012). Dentre os diversos tipos de fluidos de corte existentes, os fluidos de corte emulsionáveis, principalmente aqueles de base mineral, ainda são os mais utilizados nas indústrias metal-mecânica devido ao custo-benefício. Esses fluidos, dependendo da sua concentração, apresentam alto poder refrigerar a peça-ferramenta, fundamental para usinagem com altas rotações. Estudos realizados comparam fluidos sintéticos, semi-sintético, emulsionáveis e concluem que aqueles que utilizam emulsão são mais favoráveis que os demais para a propagação de microrganismos (Moore *et al.*, 2000; Veillette *et al.*, 2004).

Atualmente existe um crescente desenvolvimento de fluidos de corte com base em diversos óleos vegetais, por serem biodegradáveis e ambientalmente amigáveis. Alguns trabalhos como os óleos de milho, mamona, soja e recentemente a andiroba (Botelho *et al.*, 2019 e Grosse *et al.*, 2016). Com isso existe uma utilização e potencial como fluido de corte, nos processos de usinagem, no entanto segundo Gonçalves (2013) poucas pesquisas relatam estudos sobre a reologia e tribologia de óleos vegetais.

O aço ABNT 1045 é muito utilizado no setor metal-mecânica, possui características de boa usinabilidade, boa resistência mecânica, média soldabilidade e alta forjabilidade, sendo aplicado na fabricação de eixos e peças para indústria agrícola, automobilística, de máquinas e equipamentos em geral (Araújo, *et al.*, 2015).

O objetivo deste trabalho é investigar a temperatura de corte, acabamento superficial, desgaste da ferramenta e análise do cavaco resultante em operação de torneamento do aço ABNT 1045, com velocidade de corte (v_c), avanço da ferramenta (f) e a profundidade de corte (ap) iguais, comparando a influência do fluido de corte comercial com óleo vegetal extraído da *Carapa Guianensis*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Para a realização da usinagem dos metais, foi utilizado um torno mecânico convencional, modelo Nardini NZ VS (figura 1). Foram utilizadas ferramentas bits de aço rápido 3/8 x 3" 12, com ângulos $\alpha_0 = 02^\circ$; $\gamma_0 = 46^\circ$.

Figura 1. Torno mecânico convencional

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos-de-prova foram 2 (duas) barras cilíndricas (tarugos) de 38mm de comprimento x 23mm de diâmetro de aço ABNT 1045 (Figura 2). Não foi feita nenhum tratamento térmico, sendo ensaiados em estado bruto, com dureza apresentada na Tabela 1. O fluido de corte utilizado foi o óleo emulsionável, fluido biodegradável elaborado a partir de aditivos de extrema pressão, aditivos (anti-ferruginosos), bactericidas, anti-espumantes e corantes, o fabricante recomenda a utilização pura ou diluída em água sendo a cada 1 litro para 19 litros de água.

O sistema utilizado para aplicação do fluido foi de forma convencional, métodos como este encontram-se na literatura (Biscione, 2010; Magri, 2015) que proporcionou uma vazão em torno de 757,23 mL/s. O fluido aplicado não foi diluído em água, pois segundo Muniz (2008), a estabilidade das emulsões de um fluido de corte pode ser afetada pela qualidade da água; esta deve ser isenta de impurezas, microorganismos e excesso de cloro. A dureza da água é uma propriedade de grande importância no preparo das emulsões.

Figura 2. Corpo-de-prova do aço ABNT 1045.

Tabela 1. Dureza do aço ABNT 1045

Aço ABNT	HB
1045	174 ± 0,5

2.1. Métodos

O fluido de corte, óleo da *carapa guianensis*, foi coletado de forma artesanal no município de Igarapé-Mirim (PA), sendo este material rejeito do processo de fabricação artesanal da região. O fluido foi aplicado na zona de corte via a técnica convencional por inundação (vazão de 630,93 ml/s) e na direção (sobrecabeça, como ilustrado na Figura 3).

A análise do pH foi realizada com pHmetro portátil digital da marca HI221. A viscosidade dinâmica da *carapa guianensis* utilizou-se um viscosímetro do fabricante Hake à temperatura de 40°C, uma vez que abaixo de 25°C o óleo permanece solidificado. Esta temperatura foi mantida constante durante o experimento utilizando um cilindro coaxial modelo VT-550, segundo a norma ASTM D 2770-4.

Figura 3. Detalhe da montagem do sistema ferramenta-peça, com a seta 1 indicando o bocal, seta 2 a ferramenta de corte e a seta 3 a disposição da peça entre ponta.

Foram definidos os seguintes parâmetros de corte como variáveis de entrada: velocidade de corte (Vc), avanço (f) e profundidade (ap), sendo obtida a Vc através da Equação (1).

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (\text{Eq. 1})$$

Aplicada as condições de $d = 23 \text{ mm}$ e “n” igual à velocidade de rotação (m/min), idênticas às todas as operações de usinagem, tem-se, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de corte como variáveis de entrada.

Vc (m/min)	f (mm/volta)	ap (mm/volta)
298	0,053	0,5

No processo de torneamento, após o primeiro e o último passe da usinagem de cada corpo-de-prova, foram coletados os cavacos resultantes, que foram analisados de acordo com a norma ISO 3685 para todas as amostras. Uma técnica de medição encontrada na literatura (Silva, Konno, *et.al.*, 2015) foi seguida. O termômetro infravermelho digital foi colocado de maneira que os pontos de corte sempre estivessem direcionados na zona do corte conforme mostra a Figura 4.a.

As aquisições dos dados foram possíveis através da interface do computador com o software de dados térmicos da termocâmera FLIR Tool®. Antes e após os processos de torneamento foi feita a captura das imagens para a identificação e análise visual do desgaste da ferramenta de corte. Para esta análise, utilizou-se o Microscópio Cooling Tech U200X (figura 4.b), com a ampliação do local específico da ponta da ferramenta nas vistas superior e lateral (figura 4.c).

Por fim, após a usinagem dos corpos-de-prova foi realizada a análise do acabamento superficial de cada amostra em todas as condições citadas anteriormente, através do rugosímetro portátil digital modelo TR200 (figura 4.d). O parâmetro utilizado foi o desvio aritmético médio (Ra), cujo valor representa a média dos valores absolutos das coordenadas em relação à linha média no comprimento de amostragem (NBR ISO 4287, 2002).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Viscosidade Dinâmica a 40°C e pH

O fluido de corte comercial utilizado no procedimento experimental possui a viscosidade cinemática de 2,2 Pa.s na temperatura de 20°. O valor de viscosidade dinâmica do óleo da *Carapa Guianensis* a 40°C, foi de 0,11 Pa.s (110 cP). Utilizando valores de densidade da literatura de 0,87 kg/m³ (Maia et al., 2014), estima-se que a viscosidade cinemática seja de 12,64 cSt.

Segundo Souza (2009), a viscosidade deve ser satisfatoriamente baixa para permitir uma boa movimentação do fluido e alta o suficiente para que ocorra uma boa aderência do fluido às superfícies da ferramenta, comportamento observado no óleo da andiroba. Ao satisfazer estes aspectos, o óleo de andiroba atua como lubrificante, reduzindo o atrito na interface peça-ferramenta. Como consequência, pode ocorrer uma redução das forças de corte e da rugosidade, este último analisado posteriormente. A elevada precisão de lubrificação torna-se uma vantagem do uso de fluidos de corte de base vegetal em relação os fluidos de cortes solúveis, independentes da condição de corte empregada (Gonçalves, 2013). Contudo, segundo Silva (2000), quanto menos viscoso for o fluido de corte melhor será a operação de usinagem.

O pH (potencial hidrogeniônico) é um indicativo da ação de microrganismos no fluido de corte devido a produção de subprodutos ácidos em seu metabolismo, além do consumo de emulgadores e agentes anticorrosivos. Como efeito, ocorre a redução do pH da emulsão e da proteção anticorrosiva (Boufleuer, 2004). O fluido de corte comercial utilizado possui pH 10,0, sendo este um valor ótimo de trabalho (Grub apud Runge e Duarte, 2013).

A análise de pH do óleo de andiroba revelou uma média de 2,3. Este valor se encontra abaixo dos valores encontrados na literatura. Melo da Silva et al. (2014) avaliaram parâmetros físico-químicos dos óleos de andiroba comercializados em 3 localidades, onde as médias de pH foram de 4,95 (supermercado), 5,80 (Bragança) e 5,83 (Ver-O-Peso). O pH encontrado para óleo de andiroba é significativamente mais ácido que o recomendado para os fluidos comerciais. Contudo, o pH ácido não é favorável ao crescimento de bactérias, os quais preferem

ambientes de neutralidade (6,5-7,5) (Grub apud Tortora, 2013), de forma que o crescimento de bactérias pode não ser favorecido. Deve-se ressaltar, no entanto, que elevada acidez não é desejável, pois contribui para os processos corrosivos (Maia *et al.*, 2015).

3.2. Análises do Cavaco

A análise realizada nos cavacos resultantes no processo de usinagem do aço ABNT 1045 com aplicação do fluido de corte comercial e óleo da andiroba é mostrada na Tabela 2. Sua obtenção foi no decorrer de cada torneamento correspondente a cada condição e conforme a norma ISO 3685.

Observa-se que na condição com fluido de corte comercial o cavaco obtido é contínuo e helicoidal tipo arruela longo, isso acontece na usinagem de materiais dúcteis como aços, o metal cisalha na zona primária de cisalhamento com grandes deformações e permanece homogêneo, sem fragmentação mesmo de forma de fita externa não é possível observar nenhuma evidência clara de fratura ou trinca, esses fenômenos ocorrem para que uma nova superfície seja formada. Com o óleo da andiroba comportou-se como tubular emaranhada longo é um processo diferente do cavaco contínuo devido à diminuição da resistência mecânica do metal pelo aumento da temperatura (Machado, 2011).

3.3. Rugosidade

Na Figura 5 são mostrados os valores parâmetro Ra (μm), obtidos dos corpos de prova para as condições com o óleo da andiroba e com fluido de corte comercial do aço ABNT 1045.

Figura 5. Rugosidade da peça.

Quanto aos valores de rugosidade, da Figura 5 observa-se que houve um melhor acabamento superficial com o uso do óleo da *Carapa Guinanesis* diminui 23% em relação ao fluido de corte comercial. A redução da rugosidade corrobora o bom desempenho do óleo de andiroba como lubrificante na viscosidade de trabalho encontrada.

Pesquisas vêm sendo realizadas para maior otimização dos processos de usinagem, para que se tenha uma melhor peça acabada, desta forma, irá agir de maneira direta ao desgaste da ferramenta. Botelho (2019) comparou a análise de acabamento superficial em aços ABNT 1020 e 1045 e apresentou comportamento semelhante com o uso do óleo da andiroba.

O desempenho do óleo do coco babaçu usado na técnica mínima quantidade de fluido – MQF, com diferentes vazões, durante o processo de usinagem o fresamento, apresentou menores resultados, ou seja, melhor acabamento superficial, comparado com o fluido de corte comercial, devido o atrito na interface cavaco-ferramenta (Araújo *et al.*, 2013).

Um estudo da minimização do custo-benefício de usinagem por torneamento de aço ABNT 52100, aplica-se o método de superfície de resposta foi realizado por Mendes *et al.* (2007), considerando a vida da ferramenta e o acabamento superficial da peça. Seus resultados indicam que a diminuição do custo é obtida com as maiores rotações, ou seja, velocidades de corte utilizadas no seu experimento, com maiores taxas de remoção de material da peça usinada.

3.4. Temperatura da Peça

A temperatura de corte é um resultado da união dos seguintes parâmetros: Processo de torneamento, máquina ferramenta, ferramenta de corte, material e os diferentes fluídos de corte. A Figura 6 mostra a comparação das curvas de temperatura em função do tempo para as condições com o óleo da andiroba e com fluido de corte comercial.

Figura 6. Temperatura pelo tempo do aço ABNT 1045 com óleo da andiroba e com fluido de corte comercial.

Segundo Diniz (2013) O aumento da temperatura está diretamente ligada com a velocidade de corte e consequentemente o conjunto ferramenta/peça, com a elevação da temperatura haverá alteração nas propriedades mecânica da ferramenta que diminuirá sua vida útil e reduzirá de maneira drástica sua produtividade, elevando o custo e tempo.

A redução da temperatura para o caso do uso de fluido de corte comercial é devido o fluido reduzir a área de contato na interface cavaco-ferramenta, diminuindo, dessa forma, a zona de aderência na superfície de saída do cavaco (Machado *et al.*, 2009). Fluido de corte emulsionável possui em sua composição aditivos de extrema pressão, aditivos (anti-ferruginosos), bactericidas, anti-espumantes e corantes, o que contribui para a diminuição da temperatura de corte no processo de torneamento. E a inconstância na curva de temperatura de corte no caso de utilização do fluido provavelmente deve-se ao sistema de aplicação utilizado (convencional).

Neste caso, devido à velocidade de corte estipulada e com o uso da *Carapa Guianensis*, houve um aumento na velocidade de escoamento do cavaco que consequentemente, ocasionou um aumento significativo da temperatura sobre a superfície de saída da ferramenta, fato também observado por Nouari *et al.* (2005) e Botelho *et al.* (2019).

Suarez *et al.* (2009) estudaram as temperaturas de usinagem que influencia no controle dimensional no processo de fabricação e no rugosidade final das peça. O aumento da temperatura somou-se ainda para diminuir as forças e a potência de usinagem. Sabe-se que a interface de contato entre a ferramenta-peça

trabalho no processo de usinagem na superfície de flanco está sujeita a pressões elevadas e consequentemente a altas temperaturas (Tönshoff, 2004). Durante o processo de torneamento, observou-se que houve várias oscilações de temperatura para todas as condições. Tais resultados já são conhecidos da literatura (Guimarães, 2014; Haddag e Nouari, 2013).

3.5. Desgaste da Ferramenta

A seguir são apresentadas as imagens laterais e de topo, com seus respectivos desgastes e $VB_{Máx}$ das ferramentas utilizadas no processo experimental (figura 7).

O calor gerado durante a usinagem desses materiais é concentrado na região de corte, resultando em elevadas temperaturas nessa região, que aumentam os desgastes da ferramenta de corte por processo termicamente induzido, como difusão e a reação química entre a ferramenta e o material da peça (Shokrani *et al.* 2012). A usinagem com o óleo da andiroba apresenta maior desgaste da ferramenta de corte, para os parâmetros de corte definidos nesta pesquisa, isso se deve pela falta de aditivos, por ser um óleo vegetal puro comparado com o fluido de corte que obteve menor desgaste da ferramenta, ou seja, maior vida útil. Consequentemente, esses parâmetros irão refletir na baixa qualidade e alto custo de fabricação da peça (Korkut *et al.* 2003).

4. CONCLUSÕES:

Os resultados obtidos dos testes de torneamento, nas condições impostas pela metodologia do presente trabalho, possibilitaram as seguintes conclusões:

- O óleo da *carapa guianensis* apresentou valores para a análise da viscosidade dinâmica a 40°C de 0,11 Pa.s e o fluido de corte comercial a 20°C de 2,2 Pa.s. Para a análise de pH o resultado adquirido foi de 2,3 e 10, respectivamente para a andiroba e fluido comercial;
- Em relação ao estudo do cavaco, a condição com óleo da andiroba gera melhor segurança ao operador;
- Os valores de rugosidade média, R_a , a diferença de 23%, para o óleo da andiroba que obteve melhor acabamento superficial;
- A aplicação da andiroba proporcionou maiores temperaturas de corte na peça.

- Por fim, relacionado ao desgaste da ferramenta de corte, com o óleo da andiroba obteve maior VBmáx.

5. AGRADECIMENTOS:

Agradecemos a Base Naval de Val-de- Cans (BNVC), pelo espaço experimental, ao Instituto Federal Pará (IFPA), pelas análises e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6. REFERÊNCIAS

1. ASTM D (2004), 2770-04: *Standard practice for calculating viscosity index from kinematic Viscosity at 40 and 100*. Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Con-shohocken.
2. Araujo, A. S., Machado, A. R., Neves, T. E. S., Paiva, A. E., Rodrigues, J. R. P.; Esforços de usinagem e acabamento superficial no fresamento frontal do aço abnt 1045 com aplicação mqf do óleo refinado vegetal de coco babaçu. 7º Congresso brasileiro de engenharia de fabricação, Penedo, Rio de Janeiro, Brasil, 20-24 de maio de 2013.
3. Araujo, A. S., Farias, F. P, Morais, L. O. Anais do 8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2015.
4. Biscione, R. P. B. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Bauru, 2010.
5. Botelho, T. I. M, Monteiro Junior, P. L., DA Silva, M. A. S., Da Silva, R. B., Saldanha, A. Periódico Tchê Química, v. 31, p. 12, 2019.
6. Boufleuer, N. T. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC, Brasil, 2004.
7. Diniz, A. E., Scandiffio, I. Anais do 1º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2001.
8. Diniz, A. E., Coppini, N. L. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. 8 ed. Janeiro 2013, p. 26.
9. Gonçalves, J.F.S. Proposição de método de desenvolvimento de fluido de corte de base vegetal. Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 2013.
10. Grosse, T., Winter, M., Baron, S., Hoffmeister, H., Herrmann, C., Droder, K. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. p. 89-98, 2016.
11. Guimarães, C. B. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Pará, Pará, Brasil, 2014.
12. Haddag, B., Nouari, M. Wear. 302, 1158–1170, 2013.
13. Korkut, I; Kasap, M.;Ciftci, I; Seker, U. *Materials and Desing*. Turkey, v.25, p.303-305, out. 2003.
14. Grub, A. M. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. Brasil, 2013.
15. ISO (1993) 3685: *Tool Life Testing with Single-Point Turning Tools*. ISO - International Organization for Standardization.
16. Lawal, S.A., Choudhury, I.A., Nukman, Y. J. Clean. Prod. 41, 210 e 221. 2013.
17. Magri, A. XIX Colóquio de Usinagem, Anais em CD Rom, Artigo: 12. 2010.
18. Machado, Á. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T.; Da Silva, M. B. Teoria da Usinagem dos Materiais. 2.ed. São Paulo - SP: Editora Edgard Blucher, 2011. 397p.
19. Machado, A.R.; Da Silva, M.B.; Coelho, R. T; Abrão, A. M. Teoria da Usinagem dos Materiais. 1ªed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
20. Maia, D. J., Segre, N., Scatigno, A. G., Stella, M. B. Experimentação no Ensino de Química. P. 71-75, 2015.
21. Melo da Silva, P. M, Da Silva, D. P, De Souza, E. C, Dos Silva, A. S, Muller, R. C. S. 54º Congresso Brasileiro de Química. Natal, Rio Grande o Norte, Brasil, 3 – 7 de outubro de 2014.
22. Mendes, R. R. A, Paiva, A. P, Ferreira, J. R., 4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Águas de São Pedro, SP, Brasil, 15-18 de abril de 2007.
23. Moore, J.S., Christensen, M., Wilson, R.W., Wallace Jr.,R.J., Zhang, Y., Nash, D.R., Shelton, B. AIHAJ. USA, v. 61, nº2, p. 205-13, abr. 2000
24. Muniz, C.A.S. Tese de Doutorado. Universidade federal do Rio Grande do Norte, RN, Natal, Brasil, 2008.

25. NBR ISO (2002) 4287: Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. NBR - Norma Brasileira. International. ISO - Organization for Standardization
26. Nouari M., List G., Gehin D., Gomez B., Manaud J. *Wear behaviour of cemented carbide tools in dry machining of aluminum alloy*. França, **2005**.
27. Rodrigues, J. R. P. Revista Maquinas e Metais, v.476, pp.42-53, **2005**.
28. Santos, L. K; Dias, S. Estudo da viabilidade de modernização de um setor de usinagem de uma metalúrgica. <<https://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Usinagem/43891630.html>> Acessado em 01 de maio de 2016.
29. Shokrani, A.; Dhokia, V.; Newman, S.T.. International Journal of Machine Tools and Manufacture. United Kingdom, v.57, p. 83-101, Fev. **2012**.
30. Souza, A. J. de. Processos de fabricação por usinagem <http://en.lccv.ufal.br/wpcontent/uploads/sites/17/2015/04/ApostilaUsinagem_Parte1.pdf>. Acessado em 29 dez. 2015.
31. Souza, J. Dissertação (mestrado) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São Paulo, SP, Brasil, **2009**.
32. Stemmer, C.E. Ferramentas de Corte I. Editora da UFSC, 6ª Edição, Florianópolis, **2005**.
33. Suarez, M. P., Costa, E.S., Machado, A.R., Abrão, A.M., V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Belo Horizonte, MG, Anais em CD Rom, Artigo: 011072262, 14-17 de Abril de **2009**.
34. Tönshoff, T., Ben Amor, R., Pereira, A. A., Boehs L. III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém, PA, Brasil, 10-13 de agosto de **2004**.
35. VACARO, Tiago. Redução da utilização de fluidos de corte: uma abordagem ecológica na gestão de processos de usinagem.<https://www.uces.br/ucs/pesquisa/jovenspesquisadores2009/trabalhos/poster/e_TiagoVacaro.pdf>. Acessado em 24 julho 2016.
36. Veillete, M., Thorne, P.S., Gordon, T.; Duchaine, C. *Six Month Tracking of Microbial Growth in a Metalworking Fluid After System Cleaning and Recharging*. *Ann Occup Hyg*. Canadá, v. 48, nº 6, p. 541-546, Agosto. **2004**

Figura 4. a) Disposição do termômetro infravermelho em relação ao torno; b) microscópio cooling tech; c) vistas superior da ponta da ferramenta; d) rugosímetro digital.

Tabela 2. Cavaco gerado no torneamento, com fluido de corte comercial e óleo da andiroba.

Fluido de Corte Comercial	Óleo da Andiroba