

ESTUDO DA USINABILIDADE DO AÇO ABNT 1020 USANDO O MÉTODO DE FACEAMENTO RÁPIDO DE BRANDSMA

Antonio Santos Araujo Júnior, asaraujojr@ifma.edu.br¹

Alisson Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br²

Márcio Bacci da Silva, mbacci@mecanica.ufu.br³

Tiago do Espírito Santo Baldes Neves, tiago@ifma.edu.br⁴

Jean Robert Pereira Rodrigues, jrobert@ifma.edu.br⁵

^{1, 4 e 5}Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA, Departamento de Mecânica e Materiais, Av. Getúlio Vargas, nº 4 - Campus Monte Castelo, CEP: 65.030- 005 São Luis/MA.

^{2 e 3} Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica – Bloco 1M, CEP. 38.400-902 Uberlândia – MG.

Resumo: Usinabilidade é um termo bastante usado no estudo dos processos de usinagem, e diz respeito tanto ao material da peça quanto ao da ferramenta, e às variáveis de processo envolvidas no corte dos metais. Este trabalho tem como objetivo verificar a influência do ângulo de folga, do avanço e da aplicação do fluido de corte na usinabilidade do aço ABNT 1020, utilizando o método do faceamento rápido de Brandsma. O Método consiste em facear um disco do centro para periferia, utilizando ferramentas de aço-rápido, com rotação e avanços constantes, de maneira que a velocidade de corte vai aumentando gradativamente, até atingir o colapso da ferramenta. A medida de usinabilidade é determinada através do percurso de avanço até atingir a falha da ferramenta ou pelo valor da velocidade de corte neste ponto. Os resultados mostraram que existe um ângulo de folga igual a 5° que oferece vidas maiores. O aumento do avanço proporciona uma redução na vida da ferramenta e a aplicação do fluido pode apresentar melhores resultados, dependendo do valor do avanço utilizado.

Palavras-chave: Usinabilidade, torneamento de faceamento, ângulo de folga, teste de faceamento rápido de Brandsma.

1. INTRODUÇÃO

Os fabricantes de metais, de ferramentas e os usuários em geral necessitam conhecer a usinabilidade de um material, devido a sua grande influência na produtividade das empresas, razão pela qual inúmeros métodos de ensaios de usinabilidade têm sido propostos por diferentes pesquisadores para julgar o comportamento do material em usinagem (MILLS; REDFORD, 1983).

Segundo Machado et al. (2009) e Trent e Wright (2000), a usinabilidade de um material pode ser avaliada por meio de vários fatores, entre eles, podemos citar:

(1) Vida da Ferramenta - É o fator mais utilizado para expressar a usinabilidade dos materiais. A vida "T" de uma ferramenta é o tempo durante o qual a mesma trabalha efetivamente produzindo peças com qualidade exigidas em projeto, ou até que a mesma atinja níveis elevados de desgaste com limites estabelecido previamente, baseados em fatores que poderiam colocar a operação em risco;

(2) Força de Usinagem - O conhecimento da grandeza e da orientação da força de usinagem, F_u , ou de suas componentes (força de corte, F_c , força de avanço, F_f e força passiva, F_p) é a base para o projeto de uma máquina-ferramenta, isto é, para o dimensionamento correto das estruturas, acionamentos, fixação de ferramentas e guias, entre outros elementos, para a determinação das condições de corte, para a avaliação da precisão de uma máquina-ferramenta, (deformação da peça e da máquina), para avaliação de fenômenos que ocorrem na região de formação de cavaco e para a explicação de mecanismos de desgaste. Além disso, a força de usinagem é um parâmetro que exprime a usinabilidade de um material, sendo que geralmente materiais de baixa usinabilidade apresentam forças de usinagem elevadas;

(3) Acabamento Superficial – O acabamento superficial de componentes usinados pode, muitas vezes, ser o fator determinante para substituição de ferramentas de corte nas linhas de produção. A qualidade de superfícies geradas por usinagem pode ser um fator mais importante para a determinação dos parâmetros de entrada na usinagem, principalmente as condições de corte e a geometria da ferramenta, especialmente o avanço e o raio de ponta;

(4) Temperatura de corte – A temperatura desenvolvida durante a formação do cavaco é um forte indicativo da usinabilidade dos materiais. Materiais de difícil usinagem consomem muita energia para se deformar, desenvolvendo, portanto, elevadas temperaturas de corte.

(5) Características do Cavaco – Em usinagem a formação de cavacos longos e contínuos pode prejudicar a produção, além de representar riscos à integridade física de operadores de máquinas, tornando um fator preponderante para o sucesso da operação envolvendo materiais dúcteis. A disposição dos cavacos, portanto, é um bom indicativo da usinabilidade dos materiais. As principais influências sobre a disposição dos cavacos são as condições de corte e a geometria da ferramenta (MACHADO et al., 2009).

Ensaio de vida de curta duração foram criados como alternativa aos ensaios de vida de longa duração, com a finalidade de se atingir o critério de fim de vida da ferramenta de corte de forma mais rápida e econômica (SILVEIRA, 1983).

O ensaio consiste de usinagem em altas velocidades de corte onde o desgaste é típico por difusão, o tempo de vida da ferramenta é reduzido e o volume de material usinado também. Esta é a grande vantagem deste método de ensaio, principalmente quando se trata de avaliar a usinabilidade relativa de vários materiais, com a mesma ferramenta de corte (FILIPPI, 1975).

Nos ensaios de usinabilidade de curta duração em que as ferramentas de corte são utilizadas até a sua perda da capacidade de corte (queima das arestas de corte) o material mais usado é o aço rápido (HSS).

Com relação à confiabilidade desses ensaios, foi publicado por Brewer e Rueda (1964), um interessante trabalho no qual participaram várias escolas de engenharia e instituições da Alemanha Ocidental. Nesse trabalho, foi realizada a comparação estatística dos resultados do ensaio de curta duração, baseados no desgaste da ferramenta de corte com o correspondente ensaio de longa duração, na qual se conclui que existe um grau de correlação aceitável entre os dois tipos de ensaios (FERRARESI, 1977).

No presente trabalho, para estudar a influência de alguns parâmetros na usinabilidade do aço ABNT 1020, foi utilizado o teste de faceamento rápido de Brandsma, que será devidamente detalhado no próximo item.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio de faceamento rápido de Brandsma consiste em facear um corpo de prova em forma de disco, do centro para a periferia, com uma ferramenta na forma de barra de aço rápido, com geometria favorável ao desgaste rápido da ponta. Após a fixação do corpo-de-prova no torno, é executado um furo central, que nesta pesquisa foi de 12,7 mm de diâmetro e faceada totalmente para limpeza da superfície, como ilustrado na Figura 1.

Neste trabalho, na execução do ensaio propriamente dito, a ferramenta de corte se desloca do furo central do disco para a periferia a uma profundidade de corte de 1 mm, com avanço constante e o disco gira a uma rotação também constante de 1600 rpm, o que produz uma velocidade de corte uniformemente acelerada, pelo aumento do diâmetro de referência. A ferramenta vai se desgastando no trajeto, devido ao aumento da velocidade de corte, atingindo um ponto em que haverá o colapso da mesma, quando então se encerra o corte. Em consequência da destruição da ponta da ferramenta, a profundidade efetiva de corte diminui, deixando uma nítida marca na superfície faceada, permitindo determinar o ponto de falha. Isto pode ser medido no disco por meio de um relógio comparador (resolução 0,001 mm e com ponta apalpadora de 0,1 a 0,2 mm de raio) fixado no carro porta-ferramenta do torno.

O valor de referência do ensaio é o diâmetro usinado correspondente a uma diminuição de 0,20 mm na profundidade de corte (diâmetro crítico $D_{0,2}$), este parâmetro pode ser obtido pela média das medidas efetuadas a partir de 3 a 5 medições.

Para prevenir possíveis anomalias na realização do ensaio, como por exemplo, a não obtenção de $D_{0,2}$ dentro do diâmetro disponível do disco devido ao tipo de material ou outro fator qualquer, deve-se ajustar o avanço ou a rotação adequada, de maneira a garantir o colapso da ferramenta dentro do percurso de avanço disponível (que depende do diâmetro maior do disco) (MATHON e GRECIET, 1976; ORTIZ et al., 1986; SLATINEANU et al., 1984).

Foi investigada a influência da aplicação do fluido de corte, que neste caso foi um óleo solúvel para usinagem e resfriamento da Ingrax, aditivado 200 EP na concentração de 5 %, ação bactericida e antiespumante, aplicado na forma de jorro na posição sobre cabeça.



Figura 1. Corpos de prova utilizados no ensaio

Foram utilizadas ferramentas de corte de aço rápido (9, 525 mm 4 r2 HSS) retificadas com geometria favorável ao desgaste rápido da ponta, conforme características a seguir, controladas com um goniômetro:

- α_0 (ângulo de incidência) = variável, de 5° a 20°
- β_0 (ângulo de cunha) = variável, dependendo do ângulo de folga, de 50° a 65°
- γ_0 (ângulo de saída) = 20°
- ϵ_r (ângulo de ponta) = 60°
- χ_r (ângulo de posição) = 60°
- χ'_r (ângulo de posição secundário) = 60°
- λ_s (ângulo de inclinação) = 0°

A máquina ferramenta utilizada foi um torno mecânico Nardini \ Nodus ND 325 com potência instalada de 8,6 cv. A figura 2 apresenta uma vista de um disco montado na placa deste torno, pronto para iniciar um teste.



Figura 2. Ensaio de faceamento rápido de Brandsma

Após usinagem, o perfil usinado do corpo de prova foi medido com o auxílio de um relógio comparador com resolução de 0,001 mm acoplado ao próprio carro do torno, com o objetivo de verificar o ponto de colapso da ferramenta. Após identificação deste ponto, o diâmetro da peça foi medido utilizando-se um paquímetro, com resolução de 0,01mm. A figura 3 apresenta detalhes deste processo.



Figura 3. Verificação do recuo de ponta da ferramenta ($D_{0,2}$)

As figuras 4 e 5 apresentam respectivamente dois corpos de prova e uma ferramenta destruída, ao final dos ensaios.



Figura 4. Corpos de prova ao final dos ensaios



Figura 5. Ferramenta de corte de HSS com ponta destruída

O teste de Brandsman mostrou-se sensível, na determinação dos índices de usinabilidade do aço ABNT 1020, com as variações sugeridas de ângulo de folga e velocidade de avanço, mantendo-se a rotação e a profundidade de corte constante de acordo com as condições apresentadas na Tabela 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela (1) estão apresentados os resultados dos ensaios de faceamento rápido (em percursos de avanço e velocidades de corte na falha da ferramenta) com variações dos ângulos de folga, avanço e com e sem aplicação de fluido de corte emulsionável na direção sobre – cabeça. Como o diâmetro inicial do furo central dos corpos de prova foi de 12,7 mm e a rotação fixa em 1600 rpm, a velocidade de corte inicial em todas as condições foi constante e igual a 63,8 m / min.

Tabela 1. Resultados experimentais dos ensaios de faceamento rápido

Rotação: 1600 rpm; $a_p = 1$ mm; Ferramenta de HSS; Peça: aço ABNT 1020 $\gamma_0 = 20^\circ$; $\chi_r = 60^\circ$; V_c (inicial) = 63,80 m / min. Para um $\phi_{inicial} = 12,7$ mm (1/2"). Fluido de corte: Óleo solúvel aditivado 200 EP; Concentração: 5 %				
			Medidas de Usinabilidade	
Ângulo de Folga (α_0) em graus	Avanço (mm / rot.)	Fluido De Corte	Percurso de avanço da ferramenta até atingir a falha (mm)	Velocidade de Corte na falha (m / min.)
Variável de entrada (ângulo de folga)				
01	0,15	Sem	17,20	236,6
02	0,15		18,00	244,7
03	0,15		18,40	248,7
04	0,15		19,20	256,7
05	0,15		19,75	262,3
10	0,15		17,75	242,2
15	0,15		16,55	230,1
20	0,15		13,75	202,0
Variável de entrada (avanço)				
05	0,05	Sem	26,25	327,6
05	0,10		22,75	292,4
05	0,15		18,00	244,7
05	0,20		14,25	207,0
05	0,25		12,25	186,9
05	0,05	Com	23,25	297,4
05	0,10		21,75	282,4
05	0,15		21,25	277,3
05	0,20		19,75	262,3
05	0,25		19,15	256,2

O gráfico da Fig. (6) mostra o desempenho da vida das ferramentas (dadas em percurso de avanço e em velocidade de corte no ponto de falha) em função do ângulo de folga, mantendo-se o avanço, a rotação e a profundidade de corte fixas, na condição a seco, obtida a partir dos resultados da Tab. (1).

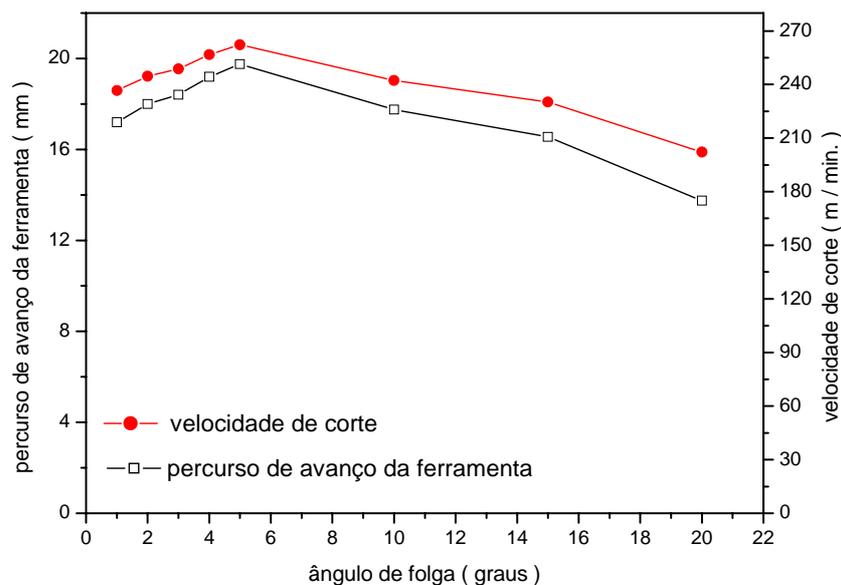


Figura 6. Variação do percurso de avanço da ferramenta de corte e da velocidade de corte em função da variação do ângulo de folga ou incidência.

Foi constatado que na variação de 1° a 5° do ângulo de folga ocorre um aumento na vida da ferramenta (percurso de avanço da ferramenta e velocidade de corte). Acredita-se que isso ocorra devido à diminuição do desgaste frontal em função da redução da área de atrito entre a ferramenta e a peça, principalmente para valores pequenos de $\alpha_0 < 5^\circ$. Com o crescimento do ângulo de folga ($\alpha_0 > 5^\circ$), acredita-se que ocorreu um enfraquecimento da cunha cortante, acelerando o desgaste e como consequência promovendo o colapso da ferramenta de corte mais rapidamente. Assim, observa-se um valor ótimo do ângulo de folga igual a 5°, confirmando valores recomendados para este ângulo em várias literaturas (MACHADO et al., 2009).

O gráfico da Fig. (7) mostra a influência do avanço e da aplicação do fluido de corte na vida da ferramenta, dada por percurso de avanço.

Independente do sistema lubri-refrigerante utilizado, o aumento do avanço promoveu uma redução no percurso de avanço da ferramenta até o ponto de falha. Com o aumento do avanço a área da seção de corte aumenta, exigindo maior energia para se formar o cavaco, promovendo uma maior geração de calor, elevando a temperatura da ferramenta, tendo como consequência uma redução na dureza e resistência ao desgaste da ferramenta, levando-a ao colapso mais rapidamente.

Observando-se a região de f_c baixo (0,05 a 0,10 mm / rot.), o percurso de avanço sem fluido de corte foi maior do que com fluido de corte, isso acontece, porque em maiores avanços, o fluido pode estar sendo mais efetivo em lubrificar, o que oferece maiores vidas. Com baixo avanço, a aplicação do fluido não oferece este benefício, refrigerando a peça e promovendo maior resistência e aumento da temperatura.

Fazendo um comparativo entre os dois resultados (com e sem fluido de corte), verifica-se que a participação do fluido de corte durante os ensaios possibilitou um pequeno aumento no percurso de avanço da ferramenta ($f_c > 0,10$ mm / rot.), devido à redução da temperatura de corte pela sua ação refrigerante e lubrificante.

Ao se fazer uma regressão linear do comportamento da vida da ferramenta com o avanço de corte (ver Figura 8), observa-se uma boa correlação entre estas variáveis, 97,53 % para o ajuste com fluido de corte e 98,47 % para o ajuste sem fluido de corte. Assim, a variação do percurso de avanço (ou vida da ferramenta) pode ser explicada em função da variação do avanço, neste caso existindo uma forte correlação linear negativa (quase perfeita) entre as variáveis em estudo, dentro dos limites estudados (de 0,05 a 0,25 mm/rot.).

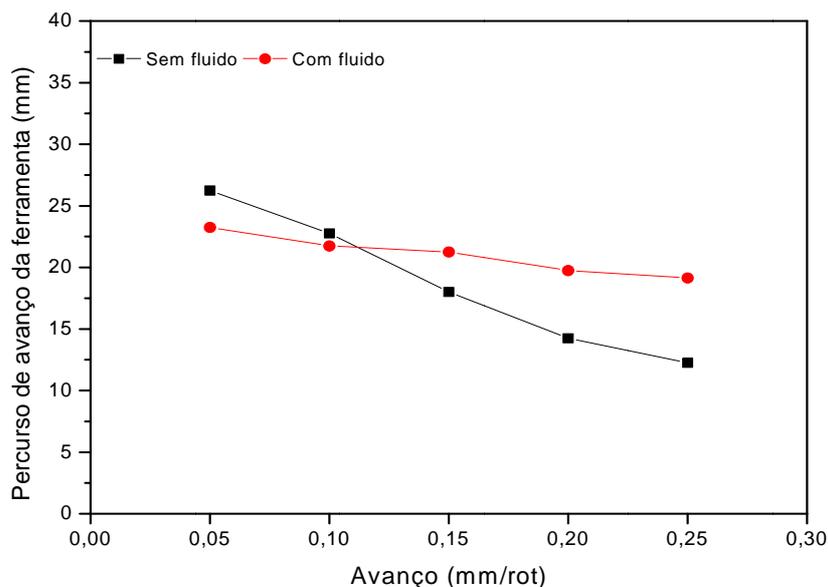


Figura7. Variação do percurso de avanço até atingir a falha (com e sem fluido de corte) em função da variação da velocidade de avanço.

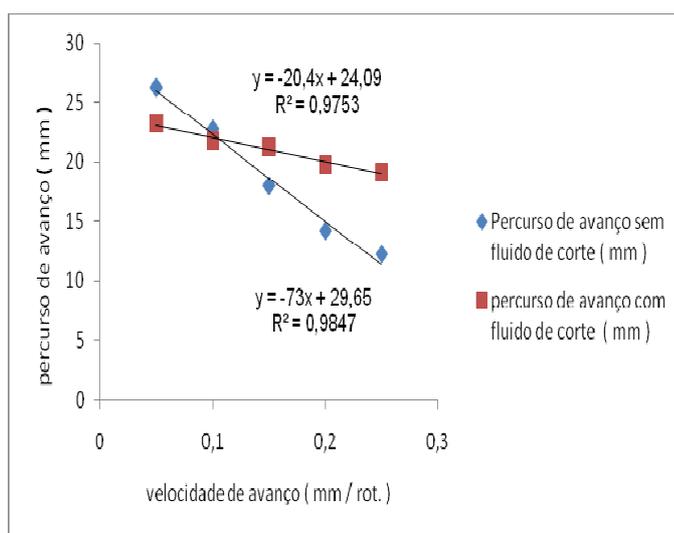


Figura 8. Modelo de regressão linear da velocidade de avanço versus o percurso de avanço (com e sem fluido de corte).

4. CONCLUSÕES

De acordo com a análise dos resultados obtidos, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

- Os ensaios realizados mostraram que existe um valor ótimo do ângulo de folga igual a 5° . O aumento deste ângulo a partir deste valor, influencia diretamente no desgaste da ferramenta de corte, reduzindo a sua resistência, levando ao colapso mais rapidamente, reduzindo a vida da ferramenta.
- A variação do avanço compromete significativamente a vida da ferramenta, reduzindo-a quando o avanço é aumentado, pois acelera o desgaste na ponta da cunha cortante.
- Há uma melhora significativa com relação ao desgaste da cunha cortante da ferramenta de corte, quando se utiliza fluido de corte para avanços maiores que 0,10 mm / rot., sua ação lubrificante e refrigerante favorece um melhor desempenho da mesma quando comparado com o corte a seco.

5. AGRADECIMENTOS

- Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Departamento de Mecânica e Materiais (DMM) por ter cedido às máquinas, materiais e instrumentos indispensáveis para a realização deste trabalho.

- A Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Laboratório de Pesquisa em Usinagem (LEPU), na pessoa do Prof. Álisson Rocha Machado, pelas orientações neste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Brewer, R.C. e Rueda, R. “ Die Ermittlung der wirtschaftlichsten Arbeitsbedingungen beim Drehen”. Werkstattstechnik, Stuttgart, 54 (6): 257 – 263, janeiro 1964.
- Ferraresi, D., 1977, “Fundamentos da usinagem dos metais”, vol. I, Editora Edgard Blucher Ltda.,
- Filippi, A. de, “Analysis and proposal for time machinability tests – Influence Of metallurgy on machinability”, pp. 396, 1975.
- Machado, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T.; Da Silva, M.B., 2009 “Teoria da Usinagem dos Materiais”, Editora Edgard Blucher, São Paulo – SP, 1ª Edição, março de 2009, 371 pp., ISBN: 978-85-212-0452-7.
- Mathon, R., Greciet, M., 1976, “ Usinage des fonts et alliages: Quels criteres retenir ?” Hommes et Fonderie, jun – jul, pp. 9 – 17.
- Mills, B., Redford, A.H., 1983, “Machinability of Engineering Materials”, Applied Science Publishers, London, 174 pp, ISBN 0-85334-183-4.
- Ortiz, M., Jourdan, G., Guimi, E.R. A. 1986, “Appreciation de l’ usinabilité a l’ aide d’ un Essai de chariotage accélère, memoires et etudes scientifiques revue de Metallurgie”, december, pp. 643 – 648. São Paulo – SP.
- Silveira, J., 1983, “Influencia de fatores metalúrgicos na Usinabilidade de ferros fundidos, FE 6002 e FE 4212”, Dissertação de mestrado, Unicamp.
- Slatineanu I., Gramescu t., Coman G., 1984, “Variante de La méthode Renault- Mathon pour l’ evaluation de l’ usinabilité, revue de metallurgie”, pp. 161 – 165.
- Trent, E.M. and Wright, P.K., 2000, “Metal Cutting”, 4th Edition, Butterworth Heinemann, ISBN 0-7506-7069-X, pp 446.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos neste trabalho.

STUDY OF THE MACHINABILITY OF ABNT 1020 STEEL USING BRANDSMA RAPID FACING TEST

Antonio Santos Araujo Júnior, asarauojr@ifma.edu.br¹

Alisson Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br²

Márcio Bacci da Silva, mbacci@mecanica.ufu.br³

Tiago do Espírito Santo Baldes Neves, tiago@ifma.edu.br⁴

Jean Robert Pereira Rodrigues, jrobert@ifma.edu.br⁵

^{1, 4 e 5}Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA, Departamento de Mecânica e Materiais, Av. Getúlio Vargas, nº 4 - Campus Monte Castelo, CEP: 65.030- 005 São Luis/MA.

^{2 e 3} Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica – Bloco 1M, CEP. 38.400-902 Uberlândia – MG.

Abstract: *The aim of the present work is to study the influence of the clearance angle, the feed rate and the application of a cutting fluid on the machinability of ABNT 1020 steel, using the Brandsma rapid facing test. A disc is face turned from the centre towards the periphery using High Speed Steel tools with constant rotating speed and feed rate, in a way that the cutting speed is gradually increased until the collapse of the tool. The feed length up to the tool failure point or the cutting speed at this point is the measure of the machinability. The results showed that there is an optimum clearance angle around 5°, that offers higher tool lives. Increasing the feed rate is accompanied by a reduction on tool life and application of a cutting fluid improves the tool performance, depending on the feed rate used.*

Keywords: *Machinability, face turning, clearance angle, Bandsma rapid facing test.*