

# DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE (VELOCIDADE DE CORTE, AVANÇO E PROFUNDIDADE DE CORTE) NA QUALIDADE DA USINAGEM DE MOENDAS DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

Thiago Henrique Bezerra de Santana<sup>1</sup>

Kaciê Karoline de Araújo Trindade<sup>1</sup>

Ulisses Borges Souto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife/PE

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Candelária, Natal/RN

tenbezerra@yahoo.com.br, kacietrindade@gmail.com, ubsouto@ct.ufrn.br

**Resumo.** Este trabalho teve como objetivo padronizar os parâmetros de usinagem utilizados durante torneamento de rolos de moenda de cana de açúcar produzidos em ferro fundido cinzento de forma a garantir a redução nos custos de produção e o crescimento no volume de peças produzidas. Foram realizados testes de usinabilidade, em perfilamento cilíndrico externo, relacionando às variáveis “ $v_c$ ”, “ $f$ ” e “ $a_p$ ”. Foram analisados o tempo total de usinagem, o desgaste de flanco médio e máximo e a quantidade de perfis fabricados antes do fim da vida útil da ferramenta. Os ensaios foram realizados com ferramentas de metal duro. Analisando os resultados dos experimentos, foi encontrada grande influência do avanço ( $f$ ) no tempo total de usinagem e no desgaste de flanco médio ( $VB$ ). Verificou-se uma grande influência da velocidade de corte ( $v_c$ ) no desgaste de flanco máximo ( $VB_{Máx}$ ). Não foi possível verificar claramente qual dos parâmetros teve maior influência no percentual de perfis fabricados antes da perda da afiação da ferramenta, pois os parâmetros apresentaram resultados similares.

**Palavras chave:** Parâmetros de usinagem. Ferro fundido cinzento. Rolo de moenda.

## 1. INTRODUÇÃO

A usinagem é um dos principais processos de manufatura utilizados em empresas metalúrgicas em todo o mundo. Segundo Preez e Oosthuizen (2019), na indústria de manufatura, o conhecimento do processo de usinagem pode levar à redução de custos, economia de tempo, aumento da qualidade do produto e redução de desperdício. O mercado de peças usinadas esbarra em grandes desafios: fabricar peças com alta qualidade dimensional, alto nível de acabamento superficial, alta taxa de produção, menor desgaste em ferramentas de corte e aumento no desempenho do produto. Estes fatores são determinantes e responsáveis pela sobrevivência de uma empresa de usinagem diante a competitividade (Jha, 2016). Grigoriev, et al. (2012) mostraram que assegurar a confiabilidade de processos de usinagem sob as condições de produção de pequenos lotes através do controle dos parâmetros de corte no curso da usinagem de uma peça é fundamental para otimizar o tempo de usinagem.

A motivação desse trabalho partiu através de observações *in loco* na Empresa Simisa Simioni Metalúrgica LTDA. Constatou-se a falta de padronização dos parâmetros de corte utilizados para a usinagem de rolos de moenda de cana-de-açúcar. As atividades operacionais eram dependentes exclusivamente do conhecimento e experiência dos próprios operadores. As peças eram usinadas, na maioria das vezes, dentro das horas previstas em orçamento, mas era perceptível a variação do tempo de processamento devido à mudança de operador. Previamente a esse trabalho, a empresa Simisa Simioni Metalúrgica LTDA em cooperação com a PALBIT S/A (empresa fabricante de ferramentas de corte) realizaram testes experimentais com diferentes classes de inserto de metal duro para o perfilamento dos rolos de moenda e os resultados mostraram melhor custo-benefício no uso de inserto de metal duro classe ISO K20. Portanto, o objetivo desse trabalho é otimizar o processo de usinagem dos rolos de moedas com a ferramenta de metal duro classe ISO K20 buscando uma melhor combinação dos parâmetros para alcançar um alto índice de produtividade.

Os rolos de moenda de cana-de-açúcar são responsáveis pelo processo de moagem para extração do caldo através do esmagamento da cana e, também, responsáveis pelo correto direcionamento dos seus produtos: caldo e bagaço. Esses rolos são geralmente construídos de ferro fundido cinzento. A vida útil média dos rolos de moendas antes da primeira restauração é de, aproximadamente, um ano e o principal dano que ocorre à superfície é o desgaste abrasivo. Para restaurar a superfície desgastada, é realizada a usinagem dos rolos através de torneamento. A restauração é feita três vezes até que o diâmetro seja drasticamente reduzido e o rolete do moinho seja retirado do serviço (ELSAwy, *et al.*, 2017).

Devido à grande quantidade de variáveis relacionadas ao processo de usinagem de um material, faz necessário buscar o conhecimento da influência de cada variável no processo. No torneamento de ferro fundido cinzento, Thamizhmanii e

Hasan (2006) analisaram a rugosidade superficial, a força de usinagem e o desgaste da ferramenta para diferentes valores de " $v_c$ ", " $f$ " e " $a_p$ ". Os resultados mostraram que a rugosidade superficial diminuiu com o aumento da velocidade de corte e do avanço e as ferramentas apresentaram micro lascamentos e trincas. Contudo, é importante destacar que os autores utilizaram pastilhas de CBN como ferramenta de corte. Chen, *et al.*, (2016) construíram a curva de vida de uma ferramenta de metal duro no torneamento de ferro fundido cinzento e mostraram que a velocidade de corte tem o efeito mais significativo na vida útil da ferramenta, seguida, respectivamente, pela profundidade de corte e pelo avanço. Li (2014) analisou o comportamento da força de usinagem no torneamento à seco de ferro fundido cinzento também utilizando ferramenta de metal duro, seus resultados mostraram que a otimização do processo foi obtida aumentando a velocidade de corte e diminuindo a profundidade de corte, visto que o aumento da profundidade de corte provocou aumento gradual da força de usinagem e o aumento da velocidade de corte, o decréscimo da força. O autor afirma que isso ocorreu porque quando a velocidade de corte aumentou, a temperatura de corte subiu, resultando na redução da dureza e resistência do ferro fundido cinzento, conseqüentemente, a resistência ao escoamento diminuiu, portanto, o desgaste da ferramenta também diminuiu.

Motivado a otimizar o processo de recuperação de rolos de moendas de cana-de-açúcar por meio do torneamento, este trabalho tem o objetivo de verificar a influência dos parâmetros de usinagem (velocidade de corte, avanço e profundidade de corte) no tempo total de usinagem, no desgaste de flanco médio e máximo e na quantidade de perfis fabricados antes do fim da vida útil da ferramenta.

## 2. MATERIAIS DE MÉTODOS

Na realização deste trabalho foram utilizados rolos de moenda de ferro fundido cinzento FS 25 (com dureza de  $205 \pm 25$  HB), sendo ensaiado em seu estado bruto de fundição, dentro da especificação comercial fornecido pela empresa Simisa Simioni Metalúrgica LTDA. A composição química do material é mostrada na Tab. 1.

Tabela 1. Composição química do ferro fundido cinzento FS 25.

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	Ceq
2,80 a 3,10	1,60 a 1,90	0,50 a 0,70	0,15 Max.	0,06 a 0,12	0,12 a 0,30	-	-	0,30 Max.	3,36 a 3,78

As ferramentas utilizadas foram pastilhas de metal duro (PIMO 56811440, classe ISO K20, do fabricante PALBIT S/A). As partilhas possuíam formato triangular para permitir o perfilamento (abertura de frisos) da superfície dos rolos. A máquina-ferramenta usada foi um torno WMW Niles, modelo DPS/S2, com as seguintes características: distância entre pontas de 4000 mm, diâmetro máximo de 1150 mm, rotação máxima de 180 rpm e potência de 30 CV. Para realizar a usinagem dos rolos de moenda em tornos horizontais, os rolos são montados em eixos e fixados por parafusos. Esses parafusos possuem uma esfera móvel em sua cabeça que possibilita o deslizamento do eixo dentro do rolo de moenda durante sua montagem (ver Fig.1). Para a correta centralização da peça utilizou-se um compasso para medições internas (Fig.1.d), garantindo que a medida entre o diâmetro externo do eixo e o diâmetro interno da peça fossem iguais nos pontos  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  e  $360^\circ$ .

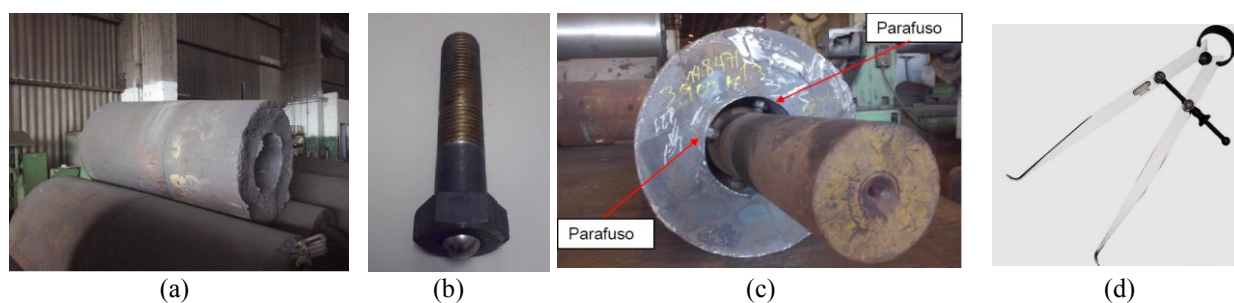


Figura 1. (a) rolo de moenda em estado bruto, após fundição, (b) parafuso especial utilizado na fixação do rolo de moenda no eixo de suporte, (c) montagem do eixo no rolo de moenda e (d) compasso para medições internas.

O desgaste de flanco foi medido com uma lupa estereoscópica marca Zeiss, modelo Stemi 2000-C, disponíveis no laboratório da Simisa e no laboratório do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Esta lupa possui uma resolução de 0,01 mm. Também foi usada uma câmera digital, marca Duratool, modelo BW1008-500X, com o programa Micromeasure para análise de imagens, disponível no Laboratório de Manufatura do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Para determinar os valores de profundidade de corte ( $a_p$ ), a velocidade de corte ( $v_c$ ) e o avanço ( $f$ ) utilizados nesse trabalho, observou-se os parâmetros de corte que diferentes operadores usaram na usinagem de 25 rolos de moenda na

empresa Simisa Simioni Metalúrgica LTDA. Para cada variável, “ $v_c$ ”, “ $f$ ” e “ $a_p$ ”, foram adotados dois níveis, mostrados na Tab. 2, portanto, a combinação delas, resultou em oito condições de usinagem.

Tabela 2. Variáveis de entrada e seus respectivos valores.

Velocidade de corte (m/min)	Avanço (mm/volta)	Profundidade de corte (mm)
20	0,75	45
26	1,5	50

Cada ciclo de teste compreendeu o perfilamento total do rolo de moenda (Fig. 2), após o qual a ferramenta era retirada do suporte para que fosse possível a realização da medição de desgaste de flanco médio (VB) e máximo ( $VB_{Máx}$ ). As medições do desgaste de flanco médio (VB) e máximo ( $VB_{Máx}$ ) foram realizadas, em três pontos diferentes da ferramenta, com cada medição sendo realizadas duas vezes, por operadores diferentes. Determinou-se que o desgaste de flanco máximo seria o maior valor do desgaste medido e o que desgaste de flanco médio seria a média dos valores das demais medições.

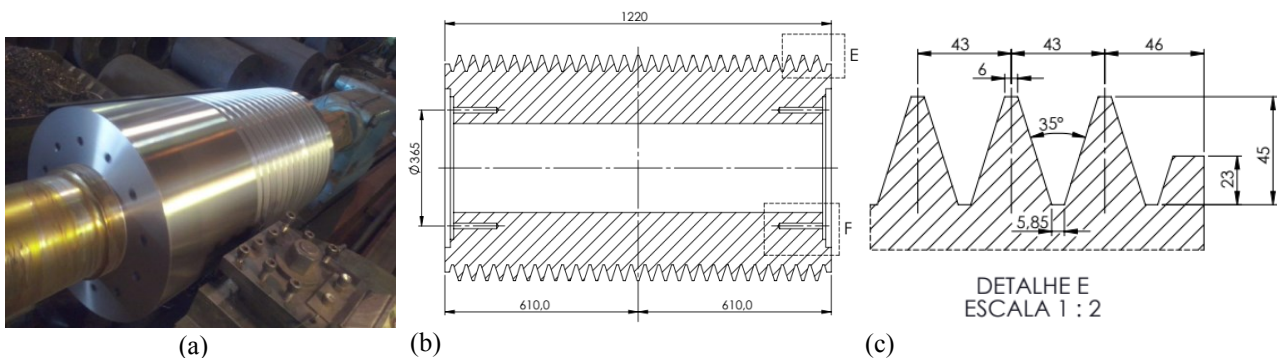


Figura 2. (a) Perfilamento do rolo de moenda, (b) camisa de moenda - Ø710x1220mm e (c) friso.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados alcançados para o tempo total de usinagem, a quantidade de perfis fabricados e desgaste de flanco médio e máximo para o perfilamento de ferro fundido FS 25 com ferramenta de metal duro estão registrados na Tab. 3, a análise gráfica e discussões desses resultados são apresentados no decorrer dessa sessão.

Tabela 3. Resultados experimentais.

Dados do projeto    
  Parâmetros de entrada    
  Parâmetros de saída

Nº	Ø Ext. (mm)	L (mm)	n (rpm)	$a_p$ (mm)	$f$ (mm/volta)	$V_c$ (m/min)	$VB_{Máx}$ (mm)	VB (mm)	Quantidade de perfis fabricados	Tempo (min)
1	920	1980	9	45	0,75	26	1,42	0,38	37	257,63
2	710	1220	9	45	1,50	20	2,20	0,50	22	73,33
3	920	1835	9	50	1,50	26	0,94	0,24	35	140,82
4	920	1980	9	45	1,50	26	1,15	0,32	28	156,67
5	920	1676	9	50	0,75	26	1,95	0,11	33	248,36
6	710	1219	9	45	0,75	20	1,84	0,14	23	153,33
7	700	1235	9	50	1,50	20	2,3	0,28	22	182,96
8	700	1222	9	50	0,75	20	0,9	0,19	22	172,55

Na Tabela 3, observa-se que o menor tempo total de usinagem foi de 73,33 minutos. Este tempo é obtido quando se utilizou o maior avanço ( $f$ ), a menor velocidade de corte ( $v_c$ ) e a menor profundidade de corte ( $a_p$ ) – Experimento 2. Pode-se observar, também, que a maior quantidade de perfis fabricados antes da perda da afiação da ferramenta foi de 37. Esta quantidade foi obtida quando se utilizou a maior velocidade de corte ( $v_c$ ), o menor avanço ( $f$ ) e a menor profundidade de corte – Experimento 1. O menor valor medido para o desgaste de flanco médio foi de 0,11 mm, sendo obtido quando  $a_p = 50$  mm,  $f = 0,75$  mm/volta e  $v_c = 26$  m/min (Experimento 5). Enquanto que o menor valor de  $VB_{máx}$  foi de 0,90 mm, quando  $a_p = 50$  mm,  $f = 0,75$  mm/volta e  $v_c = 20$  m/min (Experimento 8). No experimento 1, fabricou-se a maior quantidade de perfis no maior tempo de usinagem e com o segundo maior desgaste da ferramenta. Em contrapartida, no experimento 3, foram fabricados quase a mesma quantidade de perfis, com um “ $a_p$ ” maior, um “ $f$ ” maior e com uma redução de tempo considerável, além de valores de VB e  $VB_{máx}$  relativamente baixos.

Verificou-se que somente em um dos experimentos (experimento 4) houve a substituição da ferramenta. Isso ocorreu devido a perda da afiação da ferramenta, que foi identificada visualmente pelo surgimento de rugosidade excessiva na peça. Esta rugosidade não foi medida, pois o processo analisado é um processo de desbaste e sabia-se que um processo de acabamento seria realizado após os experimentos (esse último processo estava fora do escopo desse trabalho).

No final de cada experimento, foi realizada a medição de desgaste de flanco médio (VB) e máximo (VB<sub>Máx</sub>). Os maiores valores para o desgaste de flanco foram medidos na ponta da ferramenta, região da ferramenta que permanece em contato com a peça durante toda a usinagem. Mesmo a Norma ISO 3685 (1993) determinando que o desgaste de flanco máximo admissível seja de 0,6 mm, no caso da usinagem de moendas não é interessante seguir a norma, pois a ponta da ferramenta atinge rapidamente o valor de desgaste de flanco admissível permanecendo, ainda, as outras duas arestas de corte praticamente sem nenhum desgaste.

Para análise individual do tempo de usinagem, da quantidade de perfis fabricados e do desgaste de flanco médio e máximo utilizou-se de métodos estatísticos para identificar a influência individual das variáveis “v<sub>c</sub>”, “a<sub>p</sub>” e “f”. Os gráficos dos efeitos principais são mostrados na Fig. 3.

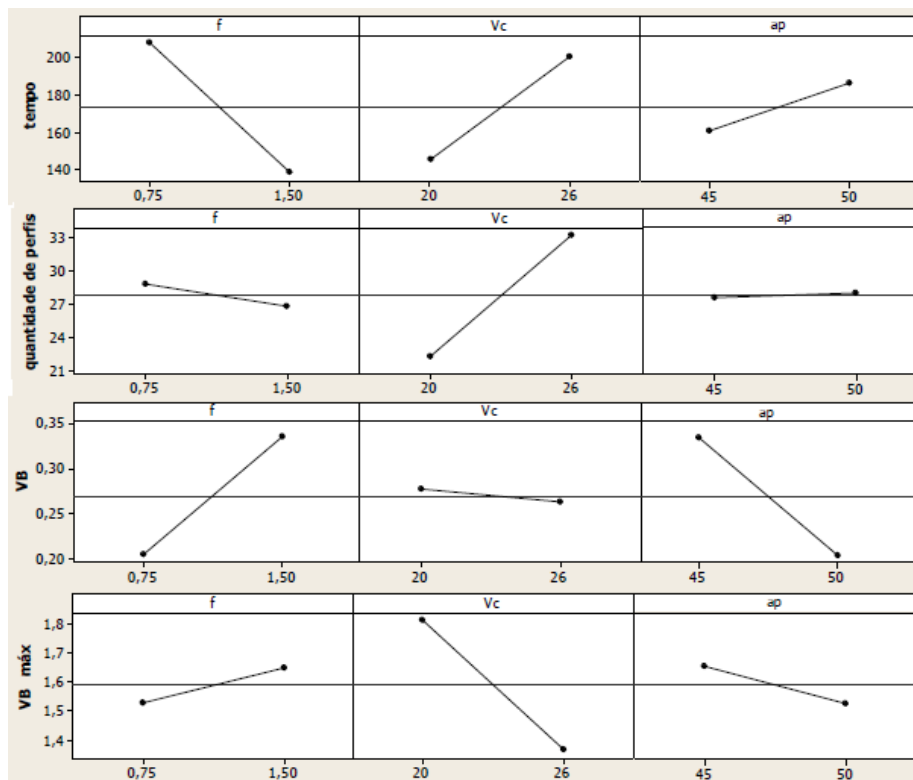


Figura 3. Gráfico dos efeitos principais.

O gráfico de efeitos principais, Fig.3, mostra que o avanço (f) exerce grande influência no tempo de usinagem e no desgaste de flanco médio (VB), a velocidade de corte (v<sub>c</sub>) exerce elevado efeito em todas as variáveis exceto “VB”, em contrapartida, a profundidade de corte (a<sub>p</sub>) só apresenta efeito significativo na medição de desgaste de flanco médio (VB). Com o aumento de “f”, o tempo de usinagem e o n° de perfis usinados diminuem, enquanto o desgaste de flanco aumenta. Contrário às características de “f”, o aumento de “v<sub>c</sub>” ocasiona o aumento do tempo e do n° de perfis usinados e redução do desgaste de flanco.

#### 4. CONCLUSÕES

Como o Brasil é um grande produtor de açúcar e etanol, ambos extraídos da cana de açúcar, principalmente nas regiões Sudeste e Nordeste, uma grande quantidade de rolos de moenda são substituídos anualmente durante as paradas de manutenção das usinas de cana de açúcar. Diante disso, a otimização do processo de usinagem desses rolos (pelo uso de um ferramental adequado e parâmetros pré-estabelecidos) é de grande importância para os fabricantes, pois permite a redução do tempo de usinagem, o que aumenta a produtividade e garante o máximo aproveitamento do ferramental.

Conclui-se através dos resultados obtidos que:

- O avanço (f) foi o parâmetro que mais influenciou no tempo total de usinagem e no desgaste de flanco médio. A velocidade de corte (v<sub>c</sub>) foi o parâmetro que mais influenciou na quantidade de perfis fabricados antes da

perda da afiação da ferramenta e no valor de desgaste de flanco máximo. A profundidade de corte ( $a_p$ ) apresentou efeito significativo apenas na medição de desgaste de flanco médio.

- Embora a condição adotada no Exp. 2 tenha resultado em menor tempo de usinagem, ela apresentou elevados valores de desgaste. A melhor combinação deverá ser aquela onde se obtenha o maior número de perfis fabricados, em um menor tempo de usinagem e com níveis desgastes de ferramenta também baixos, portanto, a condição que melhor se encaixa nesse critério é a do Exp. 3:  $a_p = 50$  mm,  $f = 1,50$  mm/volta e  $v_c = 26$  m/min.

## 5. AGRADECIMENTOS

À Simisa Simioni Metalúrgica LTDA por ter colaborado com os materiais e oferecendo suporte para a realização dos experimentos. Aos docentes do PPGCEM/UFRN e do DEM/UFPE pela parceria e auxílio na realização deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

- Chen, J.; Liu, W.; Deng, X.; Wu, S., 2016. "Tool life and wear mechanism of WC-5TiC-0.5VC-8Co cemented carbides inserts when machining HT250 gray cast iron". *Ceramics International*, Vol. 42, p. 10037-10044.
- ELSAwy, E.E.T.; Hebeary, M.R.; El Mahallawi, L.S.E., 2017. "Effect of manganese, silicon and chromium additions on microstructure and wear characteristics of grey cast iron for sugar industries applications". *Wear*, Vol. 390, p. 113-114.
- Grigoriev, S. N.; Sinopalnikov, V. A.; Tereshin, M. V.; Gurin, V. D., 2012. "Control of parameters of the cutting process on the basis of diagnostics of the machine tool and workpiece". *Measurement Techniques*, Vol. 55, No. 5, p. 555-558.
- International Organization for Standardization. 3685: *Tool-life testing with single-point turning tools*. 1993. 48 p.
- Jha, S. K., 2016. "Parametric optimization of turning process using Taguchi method and Anova analysis". *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, Vol. 9, p. 289-301.
- Li, B., 2014. "An experimental investigation of dry cutting performance for machining gray cast iron with carbide coating tool". *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, Vol.71, p. 1093-1098.
- Preez, A. D.; Oosthuizen, G. A., 2019. "Machine learning in cutting processes as enabler for smart sustainable manufacturing". *Procedia Manufacturing*, Vol. 33, p.810-817.
- Thamizhmanii, S.; Hasan, S., 2006. "Analyses of roughness, forces and wear in turning gray cast iron". *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 17, 1-2 ed, p. 401 - 404.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

### **Determination of the influence of cutting parameters (cutting speed, feed and depth of cut) in the machining quality of gray cast iron rollers**

**Thiago Henrique Bezerra de Santana<sup>1</sup>**

**Kaciê Karoline de Araújo Trindade<sup>1</sup>**

**Ulisses Borges Souto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife/PE

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Candelária, Natal/RN  
tenbezerra@yahoo.com.br, kaciétrindade@gmail.com, ubsouto@ct.ufrn.br

**Abstract.** This paper aimed to standardize the machining parameters used during turning of sugarcane mill rolls produced in gray cast iron in order to guarantee the reduction of production costs and the growth in the volume of produced pieces. Machinability tests were performed in external cylindrical profiling, relating to the variables " $v_c$ ", " $f$ " and " $a_p$ ". The total machining time, the average and maximum flank wear and the number of profiles manufactured before the end of tool life were analyzed. The tests were performed with carbide tools. Analyzing the results of the experiments, it was found a great influence of the advance ( $f$ ) in the total machining time and the average flank wear ( $VB$ ). There was a great influence of the cutting speed ( $v_c$ ) on the maximum flank wear ( $VB_{max}$ ). It was not possible to verify clearly, which of the parameters had the greatest influence on the percentage of profiles manufactured before the loss of tool sharpening, since the parameters presented similar results.

**Keywords:** Machining parameters, Gray Cast Iron and Roll mill.

## RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.