

INFLUÊNCIA DA TAXA DE REMOÇÃO DE MATERIAL ESPECÍFICA SOB OS SINAIS MONITORADOS DE FORÇA DE CORTE DURANTE A RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA DE MERGULHO

Santiago Javier Caraguay

Fabio Antônio Xavier

Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis – SC, 880400-900, Brazil.

santiago.caraguay@posgrad.ufsc.br

f.xavier@ufsc.br

Resumo. O monitoramento do processo de retificação mostra-se cada vez mais importante para a indústria, dada a necessidade de obtenção de processos mais eficientes, com menores custos e, ao mesmo tempo, alta qualidade dos componentes fabricados. Existem diferentes parâmetros de entrada para o processo de retificação, entretanto, quando o objetivo é a diminuição do tempo do processo, a taxa de remoção de material é o principal parâmetro a se avaliar. O presente trabalho pretende mostrar a influência da taxa de remoção de material nos sinais monitorados durante o processo de retificação cilíndrica externa de mergulho de ferro fundido nodular, com rebole de óxido de alumínio. Após o processo de retificação, foram determinadas as componentes da força de corte e a rugosidade da peça retificada foi medida. Os resultados mostraram que existe uma forte correlação entre os parâmetros do processo avaliados com os sinais de força e momento torçor adquiridos durante os ensaios. Além disso, a correlação entre a força de corte e a rugosidade da peça, mostrou um aumento das componentes de força de retificação e da rugosidade da peça com o aumento da taxa de remoção de material.

Palavras chave: Processo de retificação. Monitoramento. Força de corte. Análise de Sinais. Rugosidade da peça.

1. INTRODUÇÃO

O processo de retificação é normalmente o processo final de acabamento de componentes mecânicos de precisão em uma ampla gama de indústrias. O processo deve garantir uma alta qualidade da superfície usinada, juntamente com uma maior eficiência do processo. As crescentes necessidades de qualidade nos componentes fabricados e as maiores exigências nos custos e no tempo de fabricação demandam maior segurança e controle no processo de retificação. Em vista disso, existe a necessidade constante da implementação de sistemas de monitoramento e controle para obter resultados satisfatórios, inclusive em condições críticas. A retificação cilíndrica externa de mergulho refere-se à retificação da superfície externa de uma peça cilíndrica, em direção perpendicular ao seu eixo de rotação. A peça é fixada apenas na placa ou entre pontas. Com a peça girando, a remoção de material inicia quando a ferramenta abrasiva mergulha radialmente contra a peça, como esquematizado na Fig.1 (Klocke, 2009).

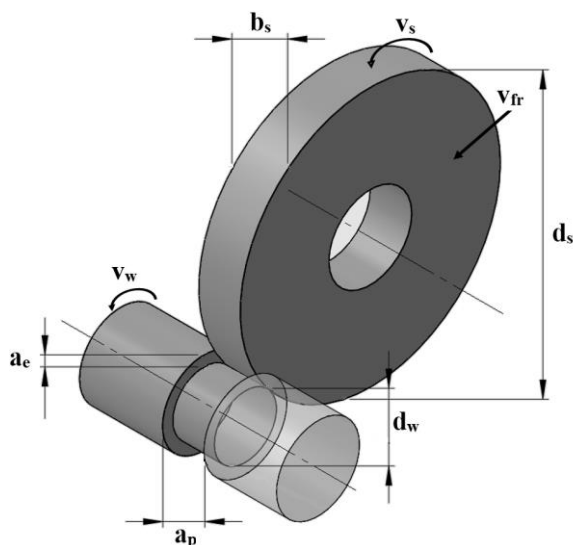


Figura 1. Parâmetros de entrada variáveis na retificação cilíndrica externa de mergulho.

Entre os movimentos de corte característicos do processo destacam-se: a velocidade periférica do rebolo (v_s), a velocidade periférica da peça (v_w) e a velocidade de avanço radial do rebolo (v_{fr}). A interação entre a v_w e a v_{fr} define a taxa remoção de material Q_w , com a penetração na superfície de trabalho (a_e) (Rowe, 2004). Na Figura 1, mostra-se também a largura de retificação (a_p), a largura do rebolo (b_s), o diâmetro do rebolo (d_s) e o diâmetro da peça (d_w).

Um dos principais parâmetros do processo de retificação é a taxa de remoção de material (Q_w), que é o volume de material removido da peça (V_w) por unidade de tempo. A taxa de retificação específica (Q'_w), permite a comparação da remoção de material de processos equivalentes, independente da largura efetiva de retificação. Na retificação cilíndrica de mergulho, a taxa de retificação específica é calculada por meio da Equação 1, (Klocke, 2009).

$$Q'_w = \pi \cdot d_w \cdot v_{fr} \quad (1)$$

Onde:

d_w = diâmetro da peça (mm)

v_{fr} = velocidade de avanço radial do rebolo ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$).

Na retificação cilíndrica de mergulho o movimento de mergulho é subdividido em vários estágios (desbaste, acabamento e fim de faiscamento) onde para cada estágio adicional a Q'_w diminui. Ao longo do estágio do fim de faiscamento, não ocorre movimentação radial do rebolo e apenas ocorrem deslocamentos relativos decorrentes do relaxamento de deformações elásticas do sistema peça-máquina-ferramenta, portanto, os erros de forma, devido a deformações causadas pelas forças de retificação, podem ser minimizados (Klocke, 2009).

A força de retificação que atua sobre o grão abrasivo, individualmente, durante a formação de cavaco convenientemente é decomposta nas componentes $F_{t,s}$, na direção tangencial à direção de corte, e $F_{n,s}$, na direção normal à direção de corte. A soma vetorial das componentes das forças individuais que atuam sobre os gumes, que estão engajados momentaneamente com a peça de trabalho, formam a força normal F_n , e força tangencial F_t .

Como o grão abrasivo não possui uma geometria definida, a análise do mecanismo de corte durante o processo de retificação é feita por métodos estatísticos. A espessura média de cavaco não deformado, h_{cu} , é dependente da densidade estatística dos gumes cortantes, C_{stat} , e das variáveis geométricas e cinemáticas conforme apresentado na equação 2, (Klocke, 2009):

$$h_{cu} = k \left[\frac{1}{C_{stat}} \right]^\alpha \left[\frac{v_w}{v_s} \right]^\beta \left[\frac{a_e}{d_{eq}} \right]^\gamma \quad (2)$$

Onde v_w , é a velocidade da peça, v_s , a velocidade do rebolo, a_e , a profundidade de corte, d_{eq} o diâmetro equivalente do rebolo, e α , β e γ , são maiores que zero. Baseado nesta relação, quando a taxa de remoção de material é aumentada por meio do aumento da velocidade da peça, h_{cu} aumenta e por tanto a força tangencial tende a aumentar (Klocke, 2009; Rowe, 2004).

O monitoramento do processo por transdutores de força fornece informações importantes e complementares para a avaliação e tomadas de decisão de um processo. O correto emprego desta técnica, aliada ao processamento de dados, permite obter informações que podem ser correlacionadas às condições da ferramenta e/ou do processo. Outra função importante dos sistemas de monitoramento é providenciar informação útil para a otimização do processo de retificação. Esta otimização pode ser alcançada se as mudanças no comportamento do processo puderam ser determinadas pelo sistema de monitoramento (Teti, *et al.* 2010).

Os sistemas empregados para medir a força de usinagem, normalmente baseiam-se na avaliação de deslocamentos decorrentes das limitações de rigidez do sistema (Tönshoff, *et al.* 2002). Para isto, utilizam-se as saídas de sensores, previamente calibradas, como: extensômetro de resistência elétrica, cristais piezelétricos, sensores de pressão e sensores de deslocamento. Devido à propriedade anisotrópica dos cristais piezelétricos, estes podem ser orientados para formar um transdutor de medição de força de três componentes ortogonais. Desta forma, vários destes transdutores podem instalar-se sob alta pré-carga entre duas placas, formando um dinamômetro para medir forças em quatro componentes. Dentre as principais vantagens dos dinamômetros, destacam-se: a extrema rigidez, a alta precisão e a grande faixa de medição da força (Byrne, *et al.* 1995).

Geralmente, a confiabilidade no monitoramento de processos baseia-se na análise de várias características extraídas dos sinais obtidos durante o processo. Estas características relacionam-se com as condições da ferramenta e/ou do processo de usinagem (Teti, *et al.* 2010). A obtenção destas características torna-se viável através de métodos de processamento de sinais que compreendem as etapas de condicionamento de sinais, amostragem de sinais, caracterização de sinais, e a seleção das características a ser utilizadas no monitoramento do processo. As características do sinal podem correlacionar-se com os fenômenos físicos dentro do processo. A seleção das características relevantes é de grande importância, já que estas integram-se nos sistemas de monitoramento para caracterizar e monitorar as condições do processo (Teti, *et al.* 2010).

Diferentes pesquisadores analisaram as características dos sinais de força monitorados durante o processo de retificação com a finalidade de correlaciona-las com as variáveis de entrada do processo. Couey *et al.* (2005),

demonstraram a capacidade de sistemas de monitoramento de força em detectar o contato entre peça e rebolo, o monitoramento de processos com profundidade de corte pequenas, a detecção de defeitos nas peças, assim como, o desgaste do rebolo. Feng et al. (2009) analisaram a influência do desgaste do rebolo sobre os sinais de força obtidos durante o processo, os resultados demonstram que rebolos com grão cegos apresentaram forças de corte maiores. Badger (2012), utilizou o monitoramento de sinais de potência para avaliar a influência do desgaste do rebolo em função da taxa de remoção específica de material. Os resultados mostraram um aumento não proporcional na magnitude dos sinais adquiridos com o aumento da velocidade de penetração do rebolo contra a peça.

O objetivo deste trabalho é monitorar o processo de retificação em função da taxa de remoção de material. Para isso, foram monitoradas as forças de corte através um dinamômetro rotativo. Os sinais obtidos foram caracterizados em função da Q'_w , e foram calculados os valores das componentes normal e tangencial da força de corte. A rugosidade da peça retificada foi medida e correlacionada com as componentes de força com a finalidade de caracterizar o processo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Bancada experimental e sistema de monitoramento

A Figura 2 apresenta de forma esquemática a bancada experimental utilizada para a realização dos ensaios de retificação cilíndrica externa de mergulho. Os ensaios foram realizados em uma retificadora cilíndrica universal CNC, modelo Pratika Flexa 600L da empresa Zema Zselics Ltda. Para o monitoramento da força de retificação foi utilizado um sistema de monitoramento de força de corte da empresa KISTLER INSTRUMENT AG. O sistema é composto por um dinamômetro piezelétrico rotativo, um estator e um condicionador de sinais de múltiplos canais. O dinamômetro foi montado no cabeçote porta-peça da máquina-ferramenta.

O dinamômetro rotativo permite medir as componentes de forças F_x , F_y , F_z nos eixos x, y e z, respectivamente, bem como o momento torçor M_z , em relação ao eixo z do dinamômetro. As componentes da força e momento torçor medidas pelo dinamômetro são enviadas via telemetria para o estator. O estator envia os sinais analógicos até o condicionador de sinais do sistema. O condicionador de sinais possui um filtro analógico passa-baixa com frequência de corte de $f_c, f_R = 1$ kHz por canal, para a filtragem dos sinais analógicos (Kistler Instrument Corporation).

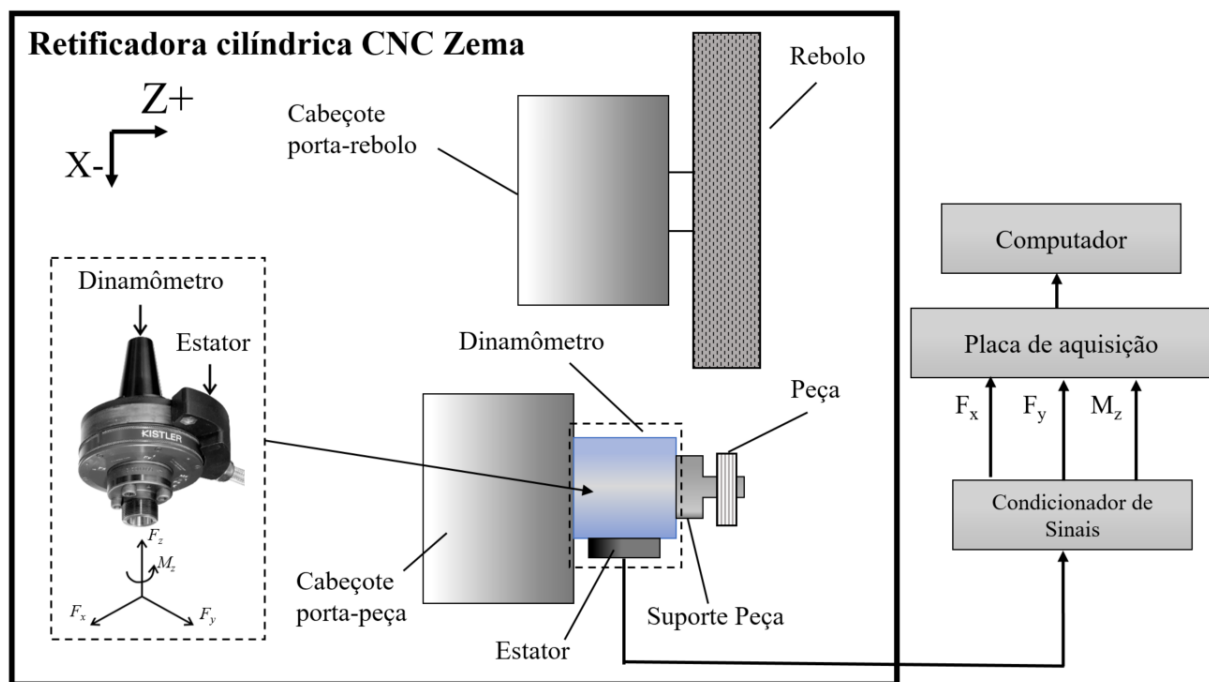


Figura 2. Bancada experimental e sistema de monitoramento.

O condicionador de sinais envia os sinais analógicos condicionados para a placa de aquisição (modelo: NI USB-6218, da National Instruments) para a digitalização dos sinais. Nos ensaios, apenas F_x , F_y e M_z foram medidos. Para a aquisição dos sinais foi utilizada uma taxa de amostragem por canal de $f_s = 60$ kS/s. Este valor permite a amostragem dos sinais em conformidade ao teorema de Nyquist-Shannon, evitando-se assim, o efeito de *aliasing* do sinal. Os sinais digitalizados são transferidos para um computador para armazenar e pós-processar os sinais adquiridos. Foi utilizado o *software* LabView® para a caracterização dos sinais.

2.2. Planejamento experimental

Os experimentos consistem na retificação cilíndrica externa de mergulho de ferro fundido nodular GGG70 com rebolos de Al_2O_3 eletrofundido. A retificação das peças foi realizada em um ciclo simples (sem fim de faiscamento). A relação de rotações entre o rebolo e a peça foi mantida constante durante o processo. O rebolo foi dressado antes de cada ensaio com a finalidade de avaliar a influência da taxa de retificação específica sobre as componentes de força. Os ensaios foram realizados utilizando-se 10 mm de largura efetiva do rebolo. Foram utilizadas taxas de retificação específica de desbaste nos ensaios.

Durante os ensaios foram monitoradas as componentes de força do processo de retificação para obter informações quantitativas sobre a influência da Q'_w . Posteriormente à realização dos ensaios foi medida a rugosidade das peças, com a finalidade de correlacionar os resultados obtidos na peça em função dos parâmetros avaliados. Durante a realização dos ensaios emprega-se uma relação $n = 4$ (uma rotação completa do rebolo por cada 1/4 de rotação da peça), desta forma a periferia do rebolo se reproduz quatro vezes na periferia da peça. Ao medir a rugosidade da superfície do CP em diferentes posições angulares incrementadas em 30° é possível obter informações médias sobre as características topográficas do rebolo, que podem ser correlacionados com os valores médios da força de corte. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de usinagem empregados.

Tabela 1 – Parâmetros de usinagem empregados nos ensaios experimentais.

Processo de retificação	Ferramenta	Ferramenta de Dressamento	Peça
Retificação cilíndrica externa de mergulho	Rebolo de Al_2O_3 eletrofundido	Multigranular	Ferro Fundido Nodular
v_s : 30 m/s n : 4,1 n_s : 1432 rot.min ⁻¹ n_w : 350 rot.min ⁻¹ a_p : 10 mm Q'_w : 6, 8, 10 e 14 mm ³ /mm.s V'_w : 200 mm ³ /mm	Especificação: A80 J 6 V 50 Diâmetro Externo: 400 mm Diâmetro Interno: 203 mm Largura: 30 mm	Grau de recobrimento: U_d : 4 Profundidade de dressamento: a_{ed} : 0,01 mm	Especificação: GGG70 Diâmetro externo: d_w : 62 mm Largura: b_w : 10 mm

Devido à impossibilidade de programar uma Q'_w constante no CNC da máquina-ferramenta, a velocidade de avanço radial do rebolo (v_{fr}) deve ser recalculada em ciclos de retificação, à medida que o diâmetro da peça diminui. Para isto, programa-se uma nova v_{fr} a cada 125 μ m de incremento no eixo X da máquina ferramenta. A Tabela 2 apresenta os valores de v_{fr} (desde o ciclo 1 até o ciclo 9) para cada Q'_w programada, assim como, o cálculo do tempo de ciclo e o tempo de processo para a retificação de um volume de material de 200 mm³/mm.s. Os cálculos foram realizados através da equação (1).

Tabela 2. Cálculo do tempo de ciclo e tempo de processo em função da taxa de retificação específica.

Taxa de remoção de material específica (mm ³ /mm.s)	Velocidade de avanço radial do rebolo (mm/mm.s)	Tempo de Ciclo (s)	Tempo de Processo (s)
6	0,308 – 0,313	5,55	33,33
8	0,411 – 0,417	2,77	25
10	0,513 – 0,522	2,22	20
14	0,718 – 0,730	1,58	14,3

2.3. Medição de rugosidade

As medições da rugosidade da peça foram realizadas segundo a norma ISO 4287 e ISO 4288 (International Organization for Standardization, 1986). Para isto utilizou-se um perfilômetro modelo Form Talysurf i-20 do fabricante Taylor Hobson equipado com um apalpador com raio de ponta de 2 μ m, foi utilizado um cut-off de 0,8 mm. O perfilômetro realiza a medição por meio do *software* TalyProfile Lite, o qual permite obter os perfis de rugosidade para uma posterior análise. Após a usinagem a rugosidade da peça foi medida em 12 posições equidistantes, perpendiculares à direção de retificação. A rugosidade da peça foi obtida através da média das doze medições realizadas. Para a correlação de resultados foi avaliado o parâmetro de rugosidade R_z , que corresponde à distância média entre os 5 picos mais altos e os 5 vales mais profundos, dentro do comprimento medido.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização de sinais

Durante os ensaios de retificação cilíndrica externa de mergulho, os sinais de força e momento torçor (F_x , F_y e M_z) foram adquiridos por meio do sistema de monitoramento. Na Figura 3, apresentam-se os sinais característicos de M_z e F_x medidos com o dinamômetro, na retificação de $V'_w = 200 \text{ mm}^3/\text{mm}$ com $Q'_w = 6 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$. O sinal de F_y é similar ao F_x , com desfase de 90° .

Nos sinais (Fig. 3-a e Fig. 3-b) apresentam-se quatro regiões (a, b, c, d) que são definidas pelos pontos (0,1,2,3 e 4). A região de aproximação entre rebolo-peça (pontos 0 – 1) é caracterizada pela rotação em vazio da peça e do rebolo, ou seja, sem contato entre ambos. Observa-se que na região de aproximação rebolo-peça, o sinal de M_z encontra-se próximo a 0 V. Na mesma região, observa-se que o sinal de F_x apresenta um valor de intensidade devido às massas que se encontram em rotação no dinamômetro.

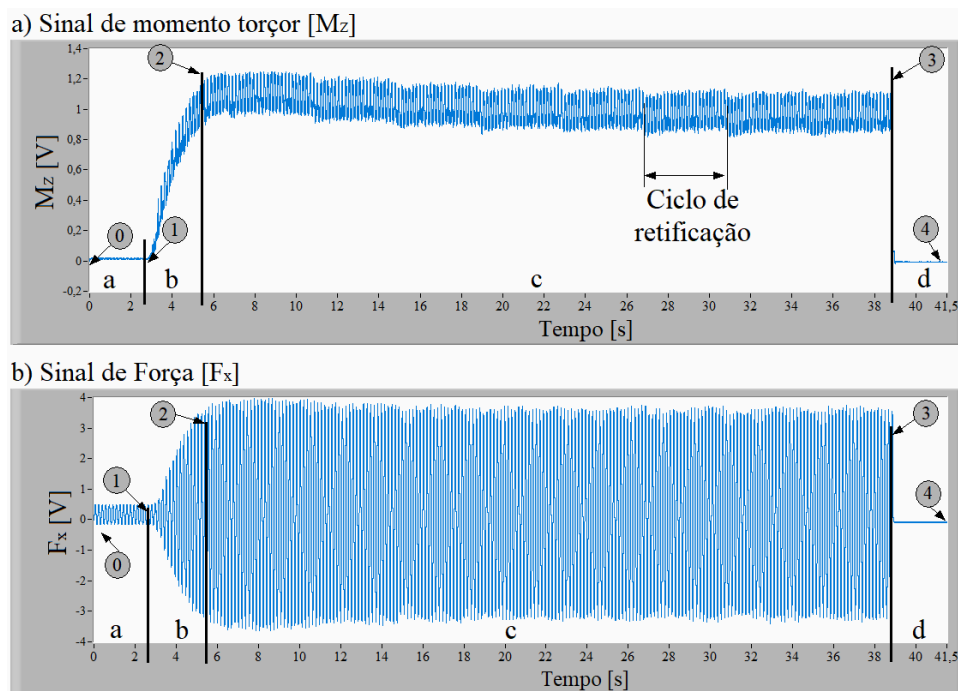


Figura 3. a) Sinais de momento torçor no eixo Z e b) Sinal de força no eixo X do dinamômetro.

A região de transição (pontos 1 – 2) representa o intervalo de tempo em que o rebolo entra em contato com a peça, até alcançar a região de processo (pontos 2 – 3). A inclinação da curva durante a região de transição indica que o valor programado para Q'_w não é atingido de forma instantânea, aumentando gradativamente até alcançar o início do processo de retificação (Klocke, 2009; Rowe, 2004). Na região do processo, é possível observar os ciclos de retificação programados na máquina-ferramenta. Para a $Q'_w = 6 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$ cada ciclo tem uma duração aproximada de 5,0 s. Após a retificação, a peça fica estática e o rebolo recua instantaneamente sem tempo de fim de faiscamento, o sinal característico é observado na região de recuo de rebolo (pontos 3 – 4).

A Figura 4a e a Figura 4b apresentam os sinais de M_z e F_x durante o processo de retificação para as diferentes taxas de remoção de material específica utilizadas. Nos sinais observa-se a diminuição do tempo de processo e do tempo de ciclo (t_{ciclo}) com o aumento de Q'_w . Os maiores valores de amplitude do sinal foram alcançados com a $Q'_w = 14 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$, efeito originado pelas maiores forças durante o processo devido à maior remoção de material por unidade de tempo.

Para as taxas específicas de retificação de 6 e $8 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$, observam-se sinais mais estáveis ao longo do processo de retificação, no entanto, para as taxas mais elevadas observa-se uma diminuição na amplitude dos sinais M_z e F_x . Segundo Badger (2012), a diminuição da magnitude dos sinais pode ser explicada pela auto-afiação do rebolo durante o processo de retificação.

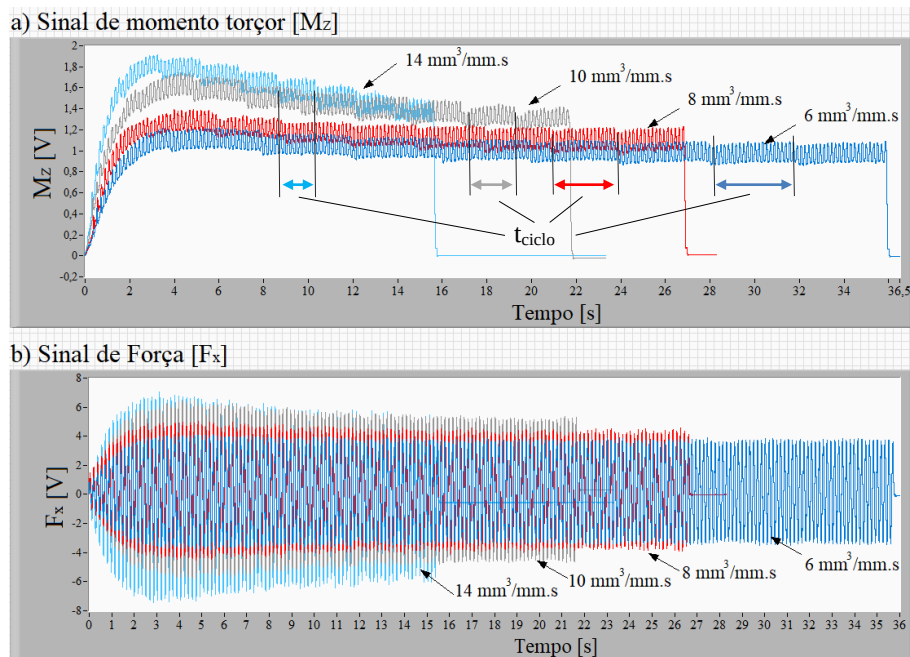


Figura 4. Influência da taxa de remoção de material específica Q'_w sob a) os sinais de M_z e b) os sinais de F_x .

3.1. Força de corte e rugosidade da peça em função da taxa de retificação específica

Os sinais de F_x , F_y e M_z permitem a avaliação das componentes da força de retificação normal e tangencial (F_n e F_t) do processo. Para realizar o cálculo das componentes de F_t e F_n utiliza-se a região “c” dos sinais F_x , F_y e M_z . Para isto, converte-se o sinal de momento M_z para um valor de força tangencial F_t . Isto foi obtido ao dividir o valor médio do sinal de M_z para o diâmetro médio da peça correspondente a cada segundo do processo. A conversão para unidades de força foi realizada multiplicando-se o valor em volts dos sinais pela sensibilidade de cada um dos canais de saída do sistema de monitoramento.

A Figura 5 apresenta os resultados das componentes de força de retificação e da rugosidade da peça, em função da taxa de remoção de material específica. Nota-se um aumento na magnitude dos componentes de força e dos valores de rugosidade à medida que a Q'_w aumenta. Devido a que a retificação das peças foi realizada em um ciclo simples (sem fim de faiscamento), os valores de rugosidade podem ser correlacionados à taxa de retificação utilizada. Para aumentar a Q'_w , aumentou-se a velocidade de avanço radial do rebolo (v_{fr}), o qual aumenta a penetração por revolução do rebolo na peça. Como resultado, aumenta-se a espessura média de cavaco não deformado (h_{cu}), ocasionando um aumento no esforço para a remoção de material, assim como um aumento da rugosidade na peça (Klocke, 2009). Os valores de rugosidade elevados devem-se a que foram utilizadas taxas de retificação específica normalmente utilizadas em condições de retificação de desbaste.

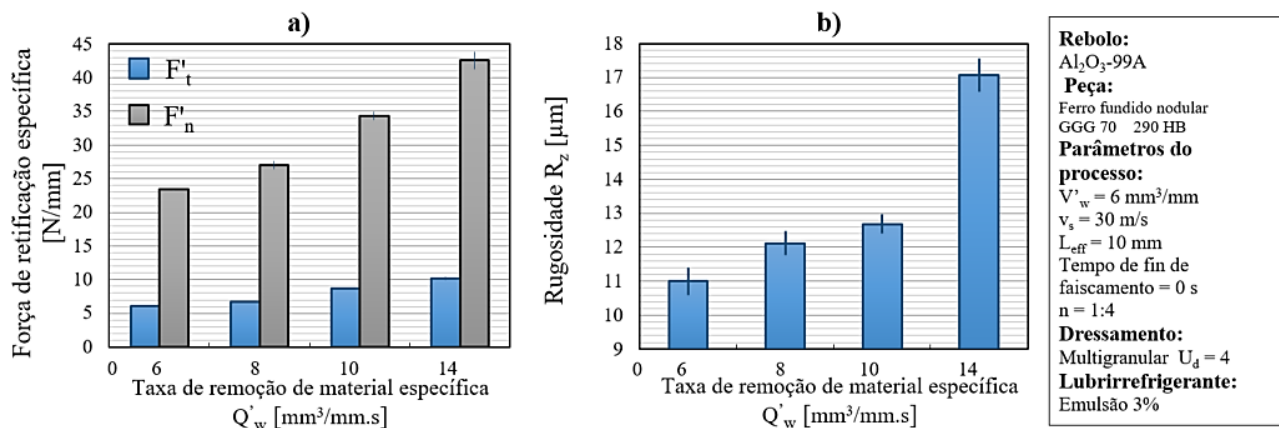


Figura 5. Influência da taxa de remoção de material específica sob a) as componentes da força de retificação específicas (F'_t e F'_n) e b) Rugosidade R_z da peça.

É importante observar que o aumento, em porcentagem, da taxa de retificação específica, não resultou num aumento equivalente da componente específica tangencial de retificação (F'_t). Este fenômeno pode ser explicado pelo fato de que, à medida que a h_{cu} aumenta, com o aumento da taxa de retificação específica, as componentes de energia decorrentes da deformação elástica e deformação plástica sem remoção de cavacos (aragem) diminuem por unidade de volume de remoção de material, enquanto a energia específica para a formação de cavacos permanece constante (Rowe, 2004). Isto significa que a remoção de material foi mais fácil com taxas de retificação maiores.

4. CONCLUSÕES

Sinais de força e momento torçor foram adquiridos durante o processo de retificação cilíndrica externa de mergulho através de um dinamômetro rotativo. Os sinais adquiridos foram condicionados, digitalizados e caracterizados em função da taxa de remoção específica. O aumento da taxa de remoção de material ocasionou um aumento na amplitude dos sinais e diminuição dos tempos do processo. O sistema pode ser empregado para avaliar a influência dos parâmetros do processo de retificação, assim como, monitorar possíveis perturbações durante o processo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Badger, J., 2012. "Microfracturing Ceramic Abrasive in Grinding". *International Manufacturing Science and Engineering Conference*.
- Byrne, G., Dornfeld, D., Inasaki, I., Ketteler G., König, W., Teti, R., 1995. "Tool Condition Monitoring (TCM) The Status of Research and Industrial Application". In *CIRP Annals*, Vol. 44, p. 541–567.
- Couey, J.A., Marsh, E.R., Knapp, B.R., and Vallance R.R., 2005. "Monitoring force in precision cylindrical grinding". *Precision Engineering*, Vol. 29, p. 307–314.
- Feng, J., Kim, B.S., Shih, A. and Ni, J. 2009. "Tool wear monitoring for micro-end grinding of ceramic materials". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, p. 5110–5116.
- International Organization for Standardization. 1997. "ISO 4287 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters".
- International Organization for Standardization. 1996. "ISO 4288 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture".
- Kistler Instrument Corporation., 2016. "Rotating 4-component Dynamometer RCD. Type: 9123C1111".
- Klocke, F., 2009. "Manufacturing processes 2: Grinding, Honing, Lapping". Berlin.
- Rowe W., Marinescu I. D., 2004. "Tribology of abrasive machining processes". Norwich.
- Teti, R., Jemielniak, K., O'donnell, G., Dornfeld, D., 2010. "Advanced monitoring of machining operations". *CIRP Annals*, Vol. 59, p. 717–739.
- Tönshoff, H. K., Friemuth, T., Becker, J. C., 2002. "Process Monitoring in Grinding". In *CIRP Annals*, Vol. 51, p. 551–571.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

Specific material removal rate influence on monitored cutting force signals during the cylindrical plunge grinding process

Santiago Javier Caraguay

Fabio Antônio Xavier

Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis – SC, 880400-900, Brazil.

santiago.caraguay@posgrad.ufsc.br

f.xavier@ufsc.br

Abstract. *In industry, grinding process monitoring is becoming more and more important due to the necessity of more efficient and cheaper processes, together, with high workpiece quality. There are several input parameters in the grinding process, however, material removal rate is the main parameter to evaluate when the process time needs to be shorten. The present study evaluate the influence of the material removal rate on the monitored signals during the external cylindrical grinding process of nodular cast iron, using an aluminum oxide grinding wheel. After the process, the grinding force components were evaluated and correlated with workpiece surface roughness. The results show a strong correlation between the grinding parameters and the monitored signal during experiments. Furthermore, the correlation between the grinding cutting force and surface roughness show an increase on the grinding force components and workpiece roughness when the material removal rate was increased.*

Keywords: Grinding Process, Process Monitoring, Cutting Force, Signal Analysis, Surface Roughness.

RESPONSIBILITY NOTICE

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