

# AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE REBOLOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO CONVENCIONAL E *SEEDED GEL* NA RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA EXTERNA DO AÇO ABNT 1045<sup>1</sup>

Eduardo Gonçalves Magnan<sup>2</sup>  
Bruno Silvano da Costa<sup>3</sup>  
Alexandre Mendes Abrão<sup>4</sup>  
Juan Carlos Campos Rubio<sup>4</sup>

## Resumo

Os processos abrasivos de usinagem são considerados sistemas tribológicos nos quais o objetivo principal consiste em maximizar o desgaste abrasivo da peça e, ao mesmo tempo, minimizar o atrito do rebolo. Além disso, o desgaste do rebolo por adesão não pode ser desprezado. O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento de diferentes tipos de rebolo à base de óxido de alumínio na operação de retificação cilíndrica externa do aço carbono ABNT 1045 temperado e revenido para 30 HRC. Foram testados rebolos com características distintas em termos de material abrasivo (óxido de alumínio convencional ou *seeded gel*), granulometria, dureza e porosidade. Consequentemente, a interação entre as superfícies do rebolo e da peça sofreu alterações significativas em função das características do rebolo. Foi avaliada a influência do tipo de rebolo sobre a corrente elétrica consumida pela operação, sinal de emissão acústica e qualidade do componente retificado (rugosidade e desvios diametral e de batimento). Os resultados mostraram que o rebolo de óxido de alumínio convencional propiciou menor desvio de batimento nos componentes retificados. Por sua vez, o rebolo de óxido de alumínio *seeded gel* apresentou desempenho superior em termos de consumo de corrente elétrica, emissão acústica, rugosidade e desvio diametral.

**Palavras-chave:** Abrasão; Retificação; Óxido de alumínio; *Seeded gel*.

## EVALUATING THE PERFORMANCE OF CONVENTIONAL AND SEEDED GEL WHEELS IN CYLINDRICAL GRINDING OF AISI 1045 STEEL

### Abstract

Abrasive machining processes are considered tribological systems in which the main goal is to maximize abrasive wear on the work piece and, at the same time, minimize friction and wear on the grinding wheel. Furthermore, adhesive wear of the grinding wheel can-not be neglected. The aim of this study is to evaluate the behavior of different types of aluminum oxide based wheels when cylindrical grinding AISI 1045 steel quenched and tempered to an average hardness of 30 HRC. The grinding wheels tested presented different characteristics in terms of abrasive grain (conventional or *seeded gel* aluminium oxide), particle size, hardness and structure. During the tests the influence of the wheel type and grinding conditions on the electric current consumed by the main spindle, acoustic emission signal and ground component quality (surface roughness, diametral deviation and run-out) was investigated. The results showed that the *seeded gel* aluminum oxide grinding wheel provided superior performance in terms of consumed electric current, ground surface roughness and diametral deviation. On the other hand, the conventional Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grinding wheel provided lower run-out in the ground component. The acoustic emission signal was affected by wheel speed and wheel type.

**Key words:** Abrasion; Grinding; Aluminum oxide; *Seeded gel*.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, Aluno de pós-graduação, Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil; eduardogmagnani@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Aluno, Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil; bruno\_705@hotmail.com.br.

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico, Prof. Dr., UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil; abrao@demec.ufmg.br e juancarlos@demec.ufmg.br.

## 1 INTRODUÇÃO

A retificação é conhecida como um dos mais complexos processos de usinagem devido ao grande número de variáveis envolvidas. Tal processo é considerado um sistema tribológico no qual o objetivo principal consiste em maximizar o desgaste abrasivo da peça e, ao mesmo tempo, minimizar o atrito e desgaste do rebolo. O processo de retificação é considerado o menos dominado e conhecido, ficando o seu desempenho extremamente dependente da habilidade e experiência do operador. Esta grande dependência de mão de obra é mais crítica na produção de pequenos e médios lotes, nos quais as frequentes mudanças nas condições de operação exigem montagens previsíveis, rápidas e corretas.<sup>(1)</sup>

Diferentemente das operações executadas com ferramentas de geometria definida, na usinagem por abrasão, o material da peça é removido por meio da ação de grãos abrasivos, os quais são partículas não metálicas, extremamente duras, com arestas que apresentam forma e orientação irregular. A utilização de máquinas retificadoras industriais começou na década de 1860, inicialmente com a produção de peças para máquinas de costura, seguida de componentes para bicicletas. A retificação merece destaque entre os processos abrasivos pela sua importância na indústria metal-mecânica, visto que tal operação é capaz de assegurar a produção de componentes com tolerâncias dimensionais e geométricas superiores às obtidas em operações que utilizam ferramentas de corte com geometria definida (como torneamento, fresamento, furação, etc.). Porém, a retificação é considerada uma operação pouco eficiente, pois nela um elevado consumo de energia é revertido em uma baixa taxa de remoção de material, se comparada às citadas operações com ferramentas de geometria definida.<sup>(2)</sup>

A base científica que sustenta os processos abrasivos de remoção de material é a tribologia, definida como a ciência que estuda a interação entre superfícies que apresentam movimento relativo. Desta forma, a tribologia tem como interesse principal o estudo do atrito, lubrificação e desgaste. Do ponto de vista tribológico, retificação e brunimento são considerados processos envolvendo dois corpos (o movimento relativo se dá por deslizamento). Na retificação, uma superfície abrasiva (rebolo) gira a alta velocidade (20-140 m/s) enquanto é pressionada contra a peça, aplicando uma força perpendicular à área de contato. Desta forma, material é removido da peça e do rebolo. Além disso, uma força tangencial atua na interface rebolo-peça, a qual multiplicada pela velocidade relativa do rebolo resulta na potência da operação. A razão entre as forças tangencial e normal determina o coeficiente de atrito entre o rebolo e a peça.<sup>(3)</sup>

Agarwal e Rao<sup>(4)</sup> afirmam que a maioria dos estudos sobre retificação de cerâmicas foram realizados em alta velocidade e baixa taxa de remoção de material, e estas investigações foram principalmente concentradas apenas em rebolo de nitreto de silício, óxido de zircônio e alumina. Os principais resultados mostraram uma eficiência superior para os rebolos de óxido de alumínio. Óxido de alumínio na forma de gel de semente (“seeded gel”) é produzido por um processo químico no qual as partículas são sinterizadas para formar abrasivos microcristalinos. Uma partícula de “seeded gel” com granulometria 60 contém milhões de cristais individuais. “Seeded gel” é mais puro, mais duro (porque não é moído após a sinterização) e mantém um brilho maior que o óxido de alumínio. Rebolos vitrificados de  $Al_2O_3$  “seeded gel” foram introduzidos em 1987 e comercializados a partir em 1988. Eles demonstraram um grande potencial para materiais de difícil retificação nos quais tolerâncias estreitas e nenhum dano metalúrgico são exigidos. Sob condições ideais seu

desempenho supera o do óxido de alumínio fundido (convencional) em termos de vida do rebolo (de 3 a 5 vezes superior) e de taxa de remoção (de 1,5 a 2 vezes).<sup>(5)</sup> Para a retificação de precisão de aços e ligas, rebolos de  $Al_2O_3$  “seeded gel” são usados sob altas pressões de corte e com elevadas penetrações e sem danos metalúrgicos à peça.

O tamanho do grão abrasivo deve ser determinado em função da rugosidade superficial desejada para a peça retificada. Para aços não beneficiados recomendam-se granulometrias mais grosseiras e para aços tratados granulometrias mais finas. A granulometria indica a classificação de peneiras correspondente ao tamanho, conforme tabelas de Classificação Internacional de Peneiras. A medida é feita em “mesh” (número de fios da peneira por polegada linear) variando de 8 (grosseira) até 400 (fina). Em geral, para aços ferramentas, o tamanho varia de 24 até 100. As classes mais grosseiras são utilizadas para taxas de remoção de material mais elevadas, particularmente na retificação de peças de grande porte, materiais de dureza mais baixa (aços recozidos, por exemplo) ou mesmo quando a superfície de contato entre o rebolo e a peça é grande. As granulações mais finas são recomendadas quando se deseja elevada qualidade de acabamento em materiais duros (como aços temperados) e pequena área de contato (retificação de perfil). Algumas empresas e organizações classificam o tamanho de grão pela medida direta do diâmetro médio em micrometros.

As forças de retificação desempenham um papel importante no processo, uma vez que são indicadores importantes para caracterizar o modo de remoção de material (a energia específica de retificação e os danos de superfície são fortemente dependentes das forças de retificação). Portanto, o conhecimento das forças de retificação é essencial. As tensões residuais são o resultado de alterações na camada superficial, transformação microestrutural e deformações. A camada superficial é modificada por meio da introdução de grande quantidade de calor na zona de retificação. Transformações microestruturais podem ser induzidas por altas temperaturas e taxas de resfriamento e as deformações podem ser causadas por compressão ou cisalhamento.<sup>(6)</sup>

O fluido refrigerante tem um papel significativo na remoção do calor da zona de retificação. Fluidos à base de óleo integral (lubrificantes) são usados na maioria dos países europeus, por propiciarem melhor acabamento superficial à peça, entretanto, um problema adicional dos óleos integrais é o risco de incêndio, especialmente em superligas retificadas sob altas velocidades do rebolo e conseqüentemente, altas pressões de fluido de corte.<sup>(7)</sup> Alves, Bianchi e Aguiar<sup>(8)</sup> comprovaram que para uma velocidade de mergulho de 0,25 mm/min, a rugosidade aritmética ou média ( $R_a$ ) atingiu baixos valores, próximos de 0,21  $\mu m$ , utilizando óleo solúvel a base vegetal; devido a sua melhor capacidade de lubrificação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O material do corpo de prova é o aço ABNT 1045 que possui a seguinte faixa de composição química básica: carbono (0,43 – 0,50%), manganês (0,60 – 0,90%), fósforo (máximo de 0,03%) e enxofre (máximo de 0,05%). Este aço é amplamente utilizado para a fabricação de eixos e peças para as indústrias agrícola, automobilística, de máquinas e equipamentos, entre outros. O material recebeu tratamento térmico de têmpera e revenimento na empresa Traterminas Ltda (Contagem, MG), o que resultou em uma dureza média de 30 HRC. Para os testes de retificação foram preparados vinte corpos de prova com 150 mm de comprimento

e 31,30 mm de diâmetro, os quais posteriormente foram torneados (para eliminar os erros de forma do tratamento térmico) para 150 mm de comprimento e 30,80 mm de diâmetro. Os corpos de prova possuem um furo de centro em cada face para fixação no contra-ponta da máquina retificadora.

Os rebolos utilizados neste trabalho foram fornecidos pela empresa Saint-Gobain Abrasivos (Guarulhos, SP). Os rebolos, especificados na Tabela 1, possuem diâmetro externo de 152,40 mm, largura de 12,70 mm e furo central com diâmetro de 31,80 mm. As denominações utilizadas durante os experimentos também estão indicada na Tabela 1, bem como as seguintes características: tipo de abrasivo, granulometria, dureza, estrutura e ligante.

**Tabela 1.** Rebolo usados no trabalho experimental

Tipo	Denominação	Abrasivo	Granulometria	Dureza	Estrutura	Ligante
1	5SG120 K8VH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Seeded gel)	Fina (120)	Baixa (K)	Aberta (8)	Vitrificado (V)
2	38A120 K4VH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Convencional)	Fina (120)	Baixa (K)	Fechada(4)	Vitrificado (V)
3	5SG60 I4VH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Seeded gel)	Média (60)	Baixa (I)	Fechada(4)	Vitrificado (V)
4	5SG60 K8VH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Seeded gel)	Média (60)	Baixa (K)	Aberta (8)	Vitrificado (V)
5	5SG60 K4VH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Seeded gel)	Média (60)	Baixa (K)	Fechada (4)	Vitrificado (V)
6	38A60 K8VH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Convencional)	Média (60)	Baixa (K)	Aberta (8)	Vitrificado (V)

A dureza do rebolo está normalizada de maneira empírica, em escala alfabética, isto é ela aumenta em direção a Z e diminui em direção a A. A dureza é baixa porque será utilizada em operação de precisão.

A preparação (dressagem) dos rebolos antes de cada experimento será realizada com um dressador de diamante de ponta única com um raio de 1,1 mm. Durante os testes será aplicada o tipo de refrigeração por mínima quantidade de fluido (MQF). O fluido utilizado é semissintético de base vegetal (Blaser Vasco 1000).

Os testes serão executados em uma retificadora cilíndrica externa WMW, modelo SWPO80. Esta máquina possui potência de 2,4kW no eixo principal, velocidades de rotação do rebolo de 1500 e 3000 rpm e velocidades de rotação da peça de 85 e 170 rpm. O método de trabalho foi a retificação cilíndrica externa entre pontas longitudinal com movimento oscilante.

Foi instalado um bico para aplicação de MQF sobre o rebolo próximo à peça, e junto ao bico uma mangueira de 4 mm foi conectada a um reservatório na parte superior da máquina. O reservatório é conectado ao bico por um tubo de aço inoxidável. Neste tubo também é conectada a mangueira de ar comprimido. No bico de refrigeração ocorre a mistura do ar comprimido com o fluido para aplicação de MQF. A pressão do ar comprimido foi mantida constante em 2,5 bar e controlada por meio de uma válvula reguladora de pressão Parker modelo DTGB7. A vazão do fluido também foi mantida constante em 1,5 mL/h.

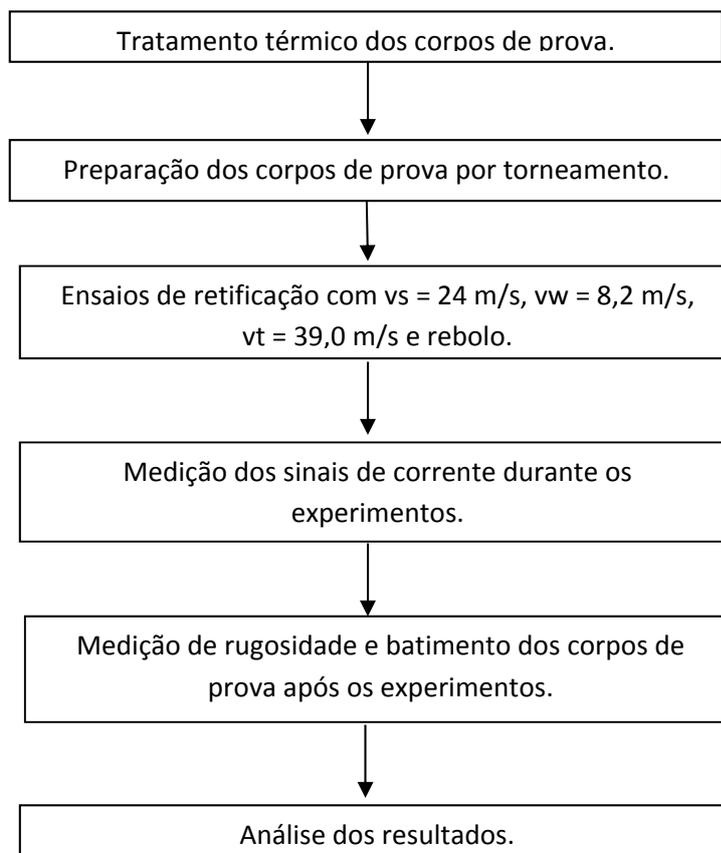
Como a máquina retificadora originalmente possui sistema manual de avanço longitudinal da peça, foi feita uma adaptação para a introdução de um sistema automático. Para tanto o fuso responsável pelo movimento do avanço foi conectado à um redutor (1:23) e este a um motor elétrico trifásico (1500 W e 1800 rpm). Por sua vez, o acionamento deste motor foi realizado por um inversor de frequência Voges modelo COMMANDER SK 1100037. Desta forma foi possível variar a velocidade de avanço longitudinal da peça de 39 a 78 mm/min. Este sistema também foi utilizado para a realização da dressagem do rebolo com um grau de recobrimento constante ( $U_d = 9$ ). Para a medição da corrente elétrica consumida pelo motor principal foi utilizado um amperímetro de alicate Polimed modelo 30C ligado a um multímetro Polimed modelo 4650.

Ao final dos experimentos a rugosidade dos corpos de prova foi medida por meio de um rugosímetro Mitutoyo modelo SurfTest 301 com comprimento de amostragem de 0,8 mm e comprimento de avaliação de 4,0 mm. Os seguintes parâmetros foram avaliados: rugosidade aritmética ou média ( $R_a$ ), rugosidade quadrática média ( $R_q$ ), rugosidade máxima ( $R_t$ ) e a rugosidade total ( $R_z$ ).

O desvio de batimento dos corpos de prova foi medido por meio de um sensor de deslocamento LVDT Mitutoyo modelo MU-CHECKER com escala de  $\pm 5 \mu\text{m}$  e resolução de  $1 \mu\text{m}$ .

A medição do diâmetro dos corpos de prova foi feita com um micrômetro Mitutoyo com faixa de medição de 25 a 50 mm e resolução de  $1 \mu\text{m}$ . Finalmente, a medição das dimensões do dressador de diamante foi feita com um microscópio ótico Mitutoyo modelo TM500 (Laboratório de Metrologia do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais), equipado com micrômetro de resolução milesimal.

O fluxograma da Figura 1 mostra a sequência de trabalho empregada para realização do procedimento experimental. A escolha das condições de retificação utilizadas nos experimentos foi baseada em Magnani (2013), que identificou as condições ótimas para retificação cilíndrica externa do aço ABNT 1045 (30 HRC) com rebolos de óxido de alumínio convencional e "seeded gel".



**Figura 1.** Fluxograma do procedimento experimental.

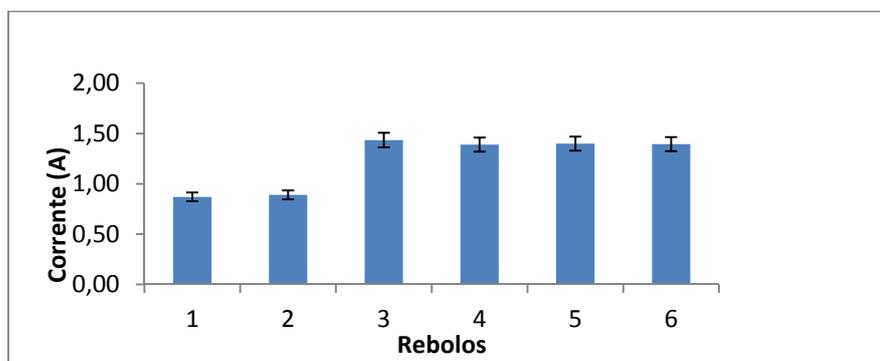
Cada experimento foi realizado adotando-se a seguinte sequência de trabalho:

- “o rebolo é posicionado no cubo e parafusado à flange e é feito o balanceamento estático sob a mesa de desempeno;
- o rebolo é fixado à retificadora e é feita a dressagem com  $U_d = 9$ ;
- o corpo de prova é posicionado no entre-pontas de forma que o comprimento retificado em cada experimento seja de 30 mm. São feitos dois ensaios em cada corpo de prova em posições diferentes. O rebolo é posicionado até o centelhamento de forma que o sensor de emissão acústica acuse o contato. Inicialmente usa-se uma profundidade  $a_e = 0,02$  mm e retifica-se com passe único o comprimento de 30 mm. A cada dois movimentos oscilantes ocorre um avanço de mergulho e no retorno o movimento em vazio tem a função de aliviar a pressão entre rebolo e peça;
- o rebolo é deslocado radialmente por meio de 10 passes de 0,02 mm para cada teste de forma que a penetração de trabalho total seja de  $a_e = 0,2$  mm;
- após cada experimento é feita uma nova dressagem do rebolo removendo 0,36 mm de material ao longo de seis passes;
- o rebolo avança radialmente cinco passes de 0,02 mm para cada teste com o objetivo de se obter um diâmetro final de 30,530 mm;
- as medições do sinal de emissão acústica e corrente é feita no último passe;
- ao término de cada experimento a rugosidade (parâmetros  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_t$  e  $R_z$ ), o desvio de batimento e o diâmetro do corpo de prova são medidos”.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

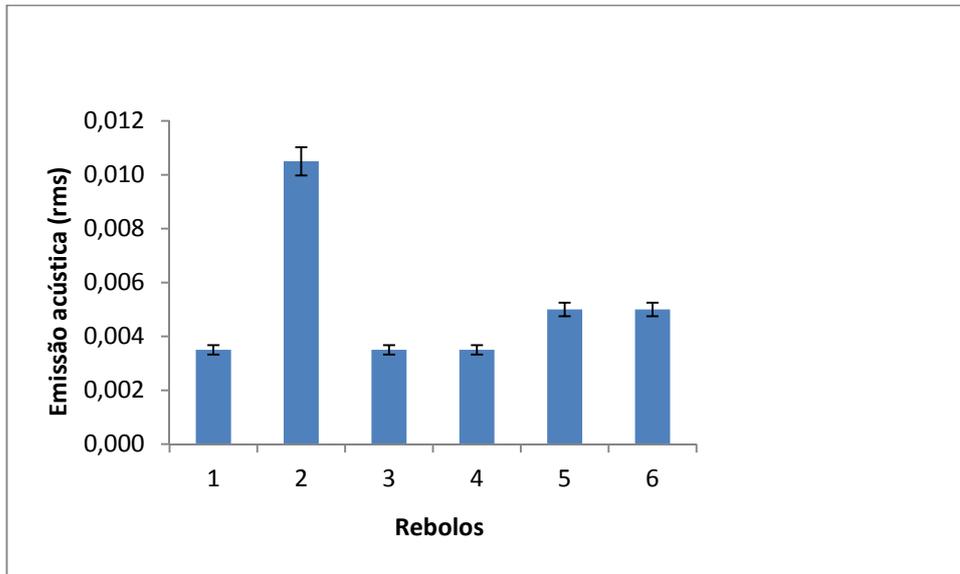
Os resultados a seguir comparam o desempenho dos rebolos indicados na Tabela 1 sob a mesma condição de retificação. Foram realizados duas réplicas de cada experimento sendo a média o valor identificado entre as Figuras 2 à 6. Neste trabalho não foram feitas a análise microestrutural do componente retificado. A caracterização topográfica da superfície foi obtida por contato direto, na qual usa-se um apalpador de diamante na superfície que descreve um perfil linear da topografia da amostra mostrada na Figura 4.

A Figura 2 compara os valores de corrente elétrica consumida pelo eixo principal da máquina retificadora obtidos para os seis rebolos conclui-se que o rebolo 1 exige menor consumo de corrente elétrica, seguido de perto pelo rebolo 2. Isso pode ser explicado pelo menor tamanho dos abrasivos empregados nestes rebolos (“mesh 120”) os quais apresentam menor capacidade de remoção de material e, conseqüentemente, exigem menor potência da máquina.



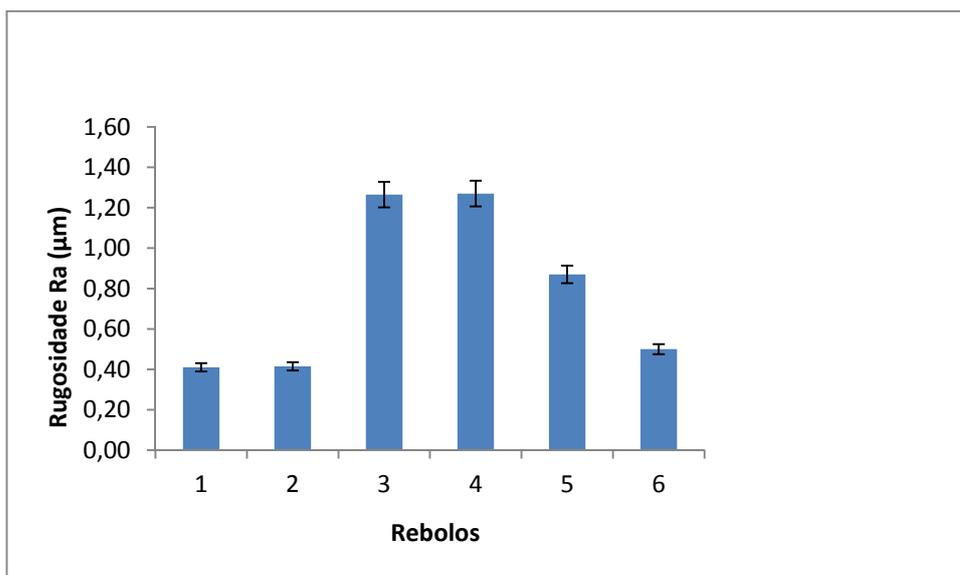
**Figura 2.** Gráfico da corrente versus tipos de rebolo (para  $v_s = 24,0$  m/s,  $v_w = 8,20$  m/min e  $v_t = 39,0$  mm/min) para a retificação cilíndrica externa do aço ABNT 1045.

A Figura 3 indica que o rebolo 2 fornece sinal de emissão acústica de maior intensidade, provavelmente como resultado da combinação de granulometria fina e estrutura fechada. Este comportamento torna o rebolo 2 o mais indicado quando se deseja monitorar o processo por meio do sinal de emissão acústica, visto que alterações neste sinal podem representar mudanças na interação entre rebolo e peça que acusem, por exemplo, desgaste excessivo da ferramenta, queda na qualidade ou elevação da temperatura da peça.



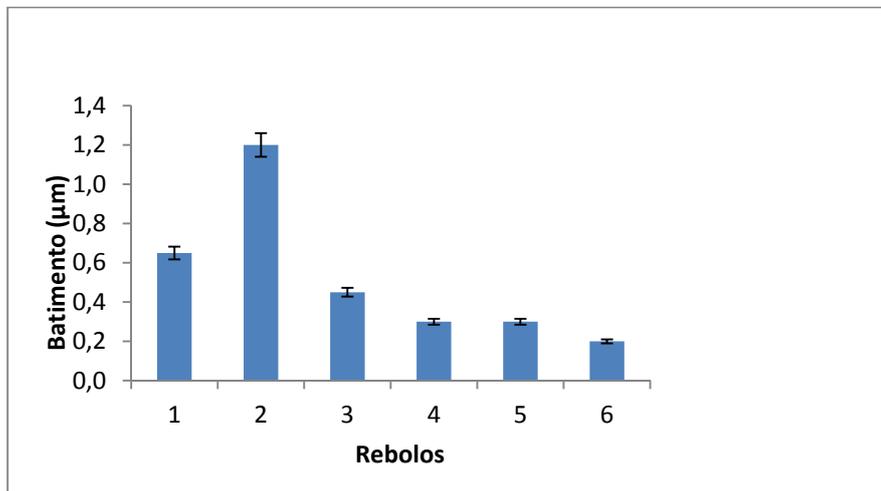
**Figura 3.** Gráfico de emissão acústica versus tipos de rebolo (para  $v_s = 24,0$  m/s,  $v_w = 8,20$  m/min e  $v_t = 39,0$  mm/min) para a retificação cilíndrica externa do aço ABNT 1045.

O gráficos de rugosidade para o parâmetro  $R_a$  é mostrado na Figura 4. Observa-se que a granulometria, isto é, o tamanho médio dos grãos abrasivos, é o principal responsável pela rugosidade baixa dos corpos de prova retificados pelos rebolos 1 e 2.



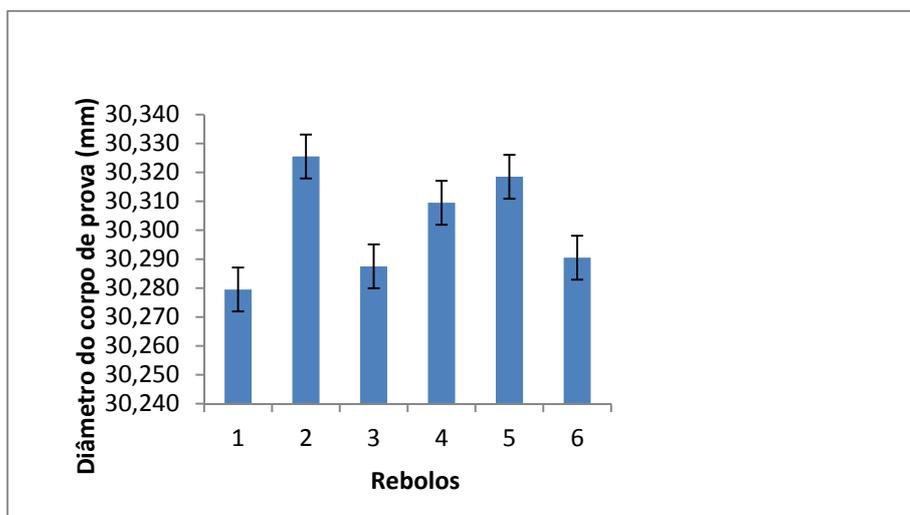
**Figura 4.** Gráfico da rugosidade  $R_a$  versus tipos de rebolo (para  $v_s = 24,0$  m/s,  $v_w = 8,20$  m/min e  $v_t = 39,0$  mm/min) para a retificação cilíndrica externa do aço ABNT 1045.

A Figura 5 mostra os resultados de desvio de batimento comparando os diferentes tipos de rebolo testados. O menor batimento foi obtido utilizando o rebolo 6, seguido pelos rebolos 4, 5 e 3, devido o fato da granulometria do rebolo favorecer a remoção de maior volume de material, sendo utilizada principalmente em operações de desbaste. Convém ressaltar que a dureza do rebolo 3 é menor do que a dos rebolos 1, 2, 4, 5 e 6. Uma dureza menor favorece o desprendimento dos abrasivos, permitindo que novos abrasivos afiados entrem em ação.



**Figura 5.** Gráfico do batimento versus tipos de rebolo (para  $v_s = 24,0$  m/s,  $v_w = 8,20$  m/min e  $v_t = 39,0$  mm/min) para a retificação cilíndrica externa do aço ABNT 1045.

Finalmente, a Figura 6 apresenta os valores de diâmetro final dos corpos de prova para os diferentes rebolos utilizados. O rebolo que apresentou o menor diâmetro, portanto, mais próximo do valor nominal foi o rebolo 1 devido ao tipo de abrasivo, o óxido de alumínio com seeded gel é mais puro, mais duro (porque não é moído, após a sinterização), e mantém a sua nitidez maior que o óxido de alumínio convencional e por apresentar uma granulometria mais fina, facilita na remoção do aço ABNT1045 temperado e revenido. O mesmo pode ser dito do rebolo 3, também produzindo com o mesmo grão abrasivo, apresentando uma granulometria média conforme mostrado na Tabela 1.



**Figura 6.** Gráfico do diâmetro do corpo de prova retificado versus tipos de rebolo (para  $v_s = 24,0$  m/s,  $v_w = 8,20$  m/min e  $v_t = 39,0$  mm/min) para a retificação cilíndrica externa do aço ABNT 1045.

## 4 CONCLUSÕES

Após a realização dos testes de retificação cilíndrica externa longitudinal com movimento oscilante do aço ABNT 1045 temperado e revenido (30HRC) utilizando diferentes tipos de rebolo de óxido de alumínio, pode-se concluir que:

- o rebolo com abrasivos de óxido de alumínio "seeded gel", granulometria fina ("mesh 120") e estrutura aberta exigiu menor consumo de corrente elétrica, seguido de perto pelo rebolo convencional com granulometria também fina, porém estrutura fechada;
- quanto ao sinal de emissão acústica, o rebolo convencional com granulometria fina e estrutura fechada forneceu sinal de emissão acústica de maior intensidade. provavelmente como resultado da combinação de granulometria fina e estrutura fechada;
- a granulometria dos abrasivos é o principal responsável pela rugosidade dos corpos de prova retificados de forma que os rebolos com granulometria fina ("mesh 60") propiciarem acabamento superior em relação aos rebolos com granulometria mais grosseira ("mesh 60");
- o menor desvio de batimento entre os corpos de prova retificados foi obtido empregando rebolos com granulometria mais grosseira ("mesh 60") e estrutura aberta, independentemente do material abrasivo (óxido de alumínio convencional ou "seeded gel"); e
- finalmente, o rebolo que apresentou o diâmetro mais próximo do valor nominal foi o rebolo com abrasivos "seeded gel", granulometria fina ("mesh 120") e estrutura aberta.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, Capes e Fapemig, pela infraestrutura laboratorial que permitiu a realização deste projeto.

À empresa Saint-Gobain Abrasivos Ltda., em especial aos Srs. Rodolfo Fischer Moreira Oliveira e Geraldo Aroldo Oliveira Campos, pelas ricas discussões e pelo fornecimento dos rebolos utilizados no trabalho experimental.

À empresa Traterminas Ltda., pelo tratamento térmico dos corpos de prova.

## REFERÊNCIAS

- 1 OLIVEIRA, J. F. G.; DORNFELD, D. A. Application of AE Contact Sensing in Reliable Grinding Monitoring. CIRP Annals, v. 50, n. 1, p. 217-220, 2001.
- 2 MALKIN, S. Grinding Technology – theory and applications of machining with abrasives, Ellis Horwood Ltd., 1989.
- 3 MARINESCU, D.; ROWE, W. B.; DIMITROV, B.; INASAKI, I. Tribology Of Abrasive Machining Processes, William Andrew, 2004.
- 4 AGARWAL S.; RAO P. V. Grinding characteristics, material removal and damage formation mechanisms in high removal rate grinding of silicon carbide, International Journal of Machine Tools & Manufacture, v.50, p. 1077-1087, 2010.
- 5 Norton - Catálogo de rebolos. <http://www.norton-abrasivos.com.br/>. acesso: 15/01/2013.
- 6 ALI, R. H.; KURFESS, T. R.; DANYLUK, S. Force control grinding of gamma titanium aluminide. International Journal of Machine Tools & Manufacture v.43 p. 185–191, 2002.
- 7 WEBSTER, J. A.; CUI, C.; MINDEK, JR. R. B. Grinding Fluid Application System Design. Annals of the CIRP v. 44, 1995.
- 8 ALVES, M. C. S.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R. Influência da velocidade de avanço do rebolo nos danos de aços endurecidos retificados. Revista Matéria, v. 13, n. 4, p. 636 – 642, 2008.