

Estudo e avaliação de rebolo híbrido constituído de grãos abrasivos de óxido de alumínio (Al_2O_3) e carbeto de silício (SiC) para retificação de aço SAE 1045 e latão C360

Study and analysis of a grinding wheel hybrid constituting with abrasives grains of aluminium oxide (Al_2O_3) and silicon carbide (SiC) to grinding steel SAE 1045 and brass C360

¹ Eduardo Pereira de Barros

² Katia Cristiane Gandolpho Candioto

³ Monique Osorio Talarico da Conceição monique.osorio@gmail.com

¹ Programa de Mestrado Profissional em Materiais (MEMAT) do UniFOA.

² Escola de Engenharia de Lorena, USP.

³ Programa de Mestrado Profissional em Materiais (MEMAT) do UniFOA. Departamento de Engenharia Mecânica do UniFOA.

Resumo

As ferramentas abrasivas podem ser definidas quanto às variações de produção e desempenho basicamente manipulando três elementos distintos no projeto da ferramenta abrasiva: grão abrasivo, ligante e porosidade. Para a realização deste estudo, foram utilizadas ferramentas abrasivas constituídas de variações de óxido de alumínio (Al_2O_3) e carbeto de silício (SiC) na retificação de corpos-de-prova produzidos em aço SAE 1045 e latão C360. Os rebolos abrasivos foram produzidos utilizando-se variações de grãos (Al_2O_3 e SiC) desde o grão puro até proporções de 25, 50 e 75 % de mistura. Foram empregadas as técnicas experimentais: microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), medição do módulo de elasticidade (Sonelastic), termometria laser e rugosimetria, com o objetivo de evidenciar as diferenças de acabamento, rugosidade e danos superficiais. Também foi realizada a medição de potência consumida (FIS) durante o processo de retificação. Após as análises dos resultados, verificou-se que o melhor rebolo foi de 25% Al_2O_3 e 75% SiC, apresentando um bom acabamento superficial e menor temperatura durante o processo de retificação, com menor consumo de energia. Para a condição de desbaste de velocidade de avanço transversal igual a 0,15m/s, os resultados obtidos pelo melhor rebolo foram 3,9 μm de rugosidade média e 4,2 KW de consumo de potência para o aço SAE 1045 e 4,0 μm de rugosidade média e 0,5 KW de consumo de potência para o latão C360.

Palavras-chave:

Retificação. Óxido de alumínio. Carbeto de silício.

Abstract

Abrasive tools can be defined for production and performance variations by basically manipulating three different elements in the design of the abrasive tool: abrasive grain, binder and porosity. For the purpose of this study, abrasive tools consisting of variations of aluminum oxide (Al_2O_3) and silicon carbide (SiC) were used in the grinding of specimens produced in SAE 1045 and C360 brass. Abrasive grinding wheels were produced using grain variations (Al_2O_3 e SiC) from the pure grain to 25, 50 and 75% mixing proportions. The experimental techniques were used: optical microscopy (MO), scanning electron microscopy (SEM), modulus of elasticity (Sonelastic), laser thermometry and rugosimetry, in order to show differences in finish, roughness and surface damage. It was also carried out the measurement of power consumed (FIS) during the grinding process. After the analysis of the results, it was verified that the best grinding wheel was 25% Al_2O_3 and 75% SiC. This grinding wheel presented a good surface finish and a lower temperature during the grinding process, which resulted in lower energy consumption. For the roughing condition where tangential feed rate equal to 0.15 m/s, the results obtained by the best grinding wheel were 3.9 μm average roughness and 4.2 KW power consumption for the SAE steel 1045 and 4.0 μm medium roughness and 0.5 KW power consumption for C360 Brass material.

Keywords:

Grinding. Aluminum oxide. Silicon carbide.

Como você deve citar?

SANTOS, Tatiana Almeida Mota; NOGUEIRA, Élcio Nogueira. BARROS, Eduardo Pereira; CANDIOTO, Katia Cristiane Gandolpho; CONCEIÇÃO, Monique Osorio Talarico da. Estudo e avaliação de rebolo híbrido constituído de grãos abrasivos de óxido de alumínio (Al_2O_3) e carbeto de silício (SiC) para retificação de aço SAE 1045 e latão C360. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 39, p. 17-27, abril 2019.

1 INTRODUÇÃO

O material deste estudo são as ferramentas abrasivas constituídas de blendas de óxido de alumínio (Al_2O_3) e carbeto de silício (SiC) na iteração de retificação de materiais em aço SAE 1045 e latão C360. Segundo Malkin e Guo (2008), rebolos abrasivos e segmentos abrasivos classificam-se na categoria geral denominada "ferramentas abrasivas ligadas".

Tal ferramenta consiste em grãos abrasivos duros mantidos em uma matriz de ligação mais fraca e que, dependendo do tipo de ligante utilizado, os espaços entre os grãos podem ser parcialmente preenchidos, deixando lacunas e porosidade ou serem completamente preenchidos, sem nenhum poro na estrutura. As propriedades e o desempenho da ferramenta abrasiva ligada dependem do tipo e tamanho do grão abrasivo, tipo de material ligante, das propriedades do grão abrasivo e da liga, assim como da sua estrutura, quantidade de materiais e da porosidade. Sendo assim, neste estudo mantêm-se invariáveis os pilares de volume de porosidade, tipo e volume de ligante. Quanto ao pilar do grão abrasivo, há variação somente da combinação granulométrica utilizada, mantendo invariável o tamanho do grão, trabalhando somente na sua característica natural de durezas e friabilidade. (MARINESCU, 2012).

A dureza de um grão abrasivo também está correlacionada à sua capacidade de fratura individual, que o correlaciona à friabilidade exercida na operação de retificação. Determinados tipos de peça-obra necessitam que um grão seja mais ou menos friável durante o ciclo de retificação, influenciando diretamente na usinabilidade da peça, gerando melhor ou pior rugosidade, aumentando ou diminuindo trincas térmicas superficiais, tendo maior ou menor queima superficial (KLOCKE, 2011).

Retificação em máquinas operatrizes são técnicas de manufatura, na qual se emprega grãos abrasivos com durezas elevadas em ferramentas abrasivas, retificando ou polindo, com o intuito de modificação da superfície ou do acabamento superficial de peças manufaturadas. Os processos de retificação são responsáveis pela produção de materiais com alto acabamento dimensional e superficial, com tolerâncias mínimas, onde qualquer variação mínima dimensional compromete o produto final acabado. Nas operações de retificação, tem-se ranges de aplicabilidade e necessidade de acabamento totalmente diferente, sendo realizadas com o mesmo tipo de processo operacional, utilizando-se, para isso, rebolos produzidos em processos de fabricação totalmente distintos (MARINESCU, 2012).

Os objetivos deste trabalho foram desenvolver um rebolo capaz de retificar materiais com propriedades distintas, ferrosos e não ferrosos, manufaturados a partir de grãos abrasivos de óxido de alumínio marrom (A) e carbeto de silício preto (37C), e estudar o acabamento final proporcionado pela operação de retífica plana em aço SAE 1045 e liga de latão C360.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram produzidas cinco diferentes blendas de ferramentas abrasivas (rebolo), com diferentes combinações de grãos abrasivos Al_2O_3 e SiC. Os rebolos utilizados nos experimentos foram todos produzidos pela empresa Saint-Gobain Abrasivos, de forma a atender a norma ABNT NBR 15230 que versa sobre fabricação de ferramentas abrasivas. As ferramentas abrasivas utilizadas nos experimentos foram produzidas em cinco combinações distintas iniciando com rebolos em 100% de óxido de alumínio até 100% em carbeto de silício, com variações de 25, 50 e 75 % desses grãos nas amostras, conforme mostra a tabela 1. Todos os rebolos foram produzidos com a dimensão de 203 mm de diâmetro, 19 mm de altura e furo de 32 mm, com grãos correspondentes ao tamanho de 46 *mesh*, e dureza "R"

Tabela 1 – Composição química das ferramentas abrasivas.

Combinação dos rebolos	Al ₂ O ₃	SiC
Rebolo 1	100%	0%
Rebolo 2	75%	25%
Rebolo 3	50%	50%
Rebolo 4	25%	75%
Rebolo 5	0%	100%

Fonte: autores, 2019.

Foram utilizados dois tipos de materiais como corpo-de-prova para a retificação, um ferroso (aço), conforme especificação SAE 1045 e um não ferroso (latão), conforme especificação C360. Os corpos-de-prova foram cortados no comprimento de 100 mm provenientes de uma barra de secção 12,4 x 50 mm, utilizando-se um disco de corte de 115mm de diâmetro por 1,0 mm de espessura, modelo BNA12, do fabricante Norton Abrasivos. Utilizou-se um total de dez corpos-de-prova de cada material. Todos os corpos-de-provas foram retirados de uma única barra, de forma a não ter nenhuma variação de material proveniente de produções diferentes.

A identificação dos corpos-de-prova foram realizadas como T4/R1 e T4/R3 referentes à retificação do latão C360, nas velocidades 0,15 m/s e 0,07 m/s, respectivamente. T4/R2 e T4/R4 são referentes à retificação do aço SAE 1045 nas velocidades 0,15 m/s e 0,07 m/s, respectivamente.

Os processos de retificação das amostras foram realizados, utilizando-se uma retificadora transversal marca Ferdimat, modelo TA42, pertencente ao laboratório de retificação da Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP). A velocidade periférica dos rebolos em todos os testes foi de, aproximadamente, 35 m/s (3200 rpm), sem alterações durante todo o processo, e o avanço por passe foi de 0,005 mm. O desbaste total realizado por operação em cada um dos corpos-de-prova foi de 0,5 mm. Para cada tipo de rebolo, foram realizados dois ensaios de retificação em cada corpo-de-prova (SAE 1045 e latão C360). Utilizou-se as velocidades de avanço transversal de 0,07 e 0,15 m/s. Os valores de temperatura encontrados no processo através de termometria à distância foram obtidos utilizando-se termômetro a laser *Infrared*® modelo DT 8380, e foi realizado para todos os experimentos no exato momento do último passe de desbaste na superfície do corpo-de-prova retificado.

Durante todo o processo de retificação dos ensaios, foi realizado o acompanhamento em tempo real da potência requerida pela retificadora, através do equipamento de monitoração remota FIS®, pertencente à Saint-Gobain Abrasivos. Foi utilizado o equipamento *Sonelastic*® para caracterizar as durezas dos rebolos através dos módulos de elasticidade dinâmicos (GPa), utilizando-se a técnica de excitação por impulso. Essa caracterização complementa o modelo tradicional de caracterização de dureza através de faixas de dureza utilizado pelos fabricantes. Para a determinação da rugosidade das superfícies retificadas, utilizou-se o rugosímetro portátil modelo *Surftest*® SJ-210 série 178, marca Mitutoyo, com a calibração de 0,75 mN. O microscópio da marca Leica, modelo DM-IRM, foi utilizado para as análises por microscopia ótica das superfícies das peças-obras após o processo de retificação. O microscópio da marca Oxford Instruments, modelo LEO-1550VP com EDS acoplado, foi utilizado para as análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) em amostras dos cavados residuais de cada operação de retificação. A análise da retificação permitiu verificar o resultado do acabamento deixado pela ferramenta abrasiva na peça-obra, e pode variar devido a diversos fatores, como tamanho do grão abrasivo, velocidade do rebolo, velocidade transversal da peça-obra e pressão de corte.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados do processo de retificação (temperatura, rugosidade e consumo de potência)

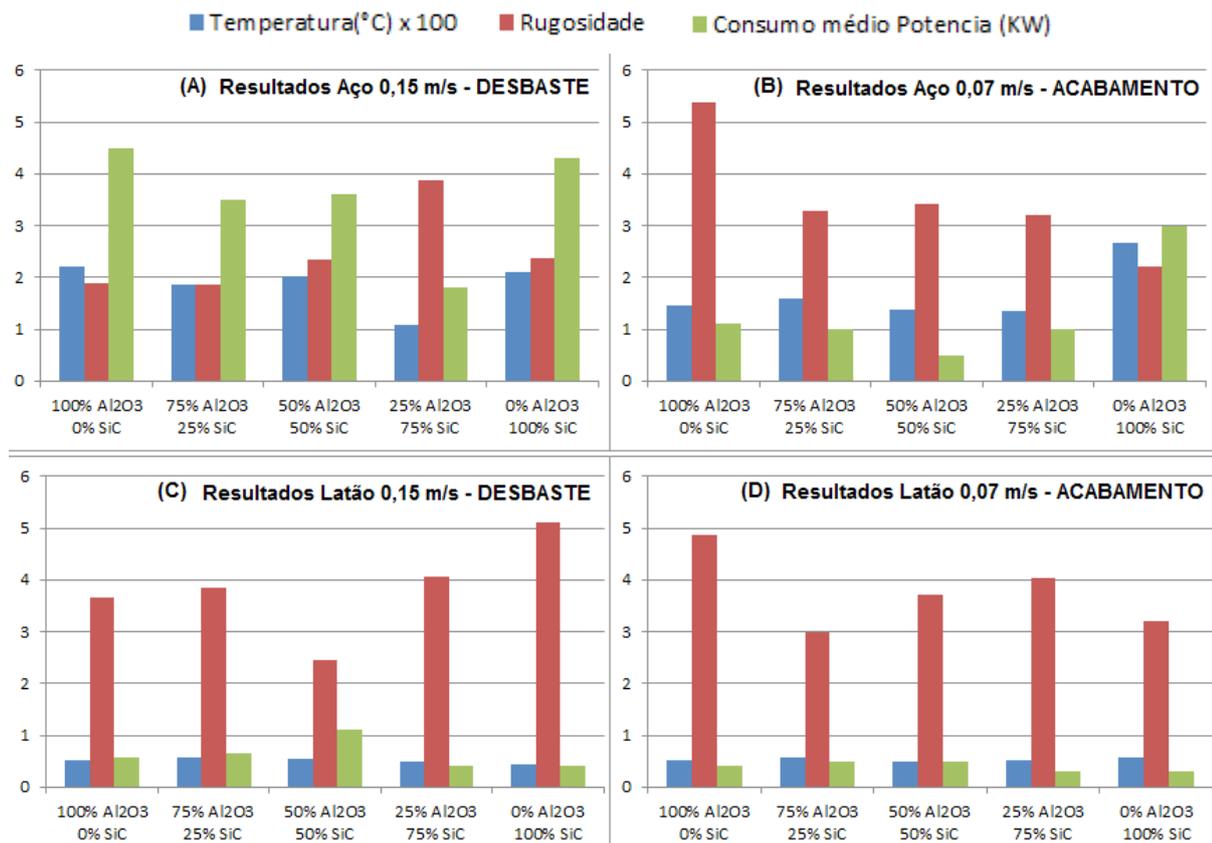
Nos gráficos das figuras 1 (a, b, c, d), os resultados obtidos mostraram que o rebolo da combinação 25% Al_2O_3 e 75% SiC apresentou sempre menor geração de calor durante a operação de retificação, quando comparado às demais combinações utilizadas. A geração de calor é um importante fator que demonstra o consumo de energia despendido na operação de usinagem.

Os resultados de rugosidade obtidos pós processo de retificação da peça-obra demonstram linearidade de valores, indicando que o fator velocidade não alterou o resultado do acabamento final.

Segundo Deonísio et al. (1999), o aumento da velocidade de deslocamento transversal influencia diretamente na redução da rugosidade final e na geração de calor, devido ao aumento das forças atuantes na retificação e das deflexões geradas.

Para os dados de consumo médio de potência, os resultados obtidos indicam que, para as condições apresentadas nos testes, os rebolos com a composição 25% Al_2O_3 e 75% SiC apresentaram os menores consumos médios de potência, indicando que a demanda de consumo de energia com essa especificação foi a de menor valor.

Figura 1 – Retificação Aço SAE 1045 com velocidade de avanço transversal de 0,15 m/s (a) e 0,07 m/s e Latão C360 com velocidade de avanço transversal de 0,15 m/s (c) e 0,07 m/s (d).



Fonte: autor, 2017.

Conforme Klock (2011) descreveu em seu trabalho sobre geração de calor em processos de retificação, a geração de calor é ligada diretamente ao maior esforço de retificação, pois parte dessa energia gerada é transferida para a peça-obra, sendo outra parte dissipada pelo cavaco. Essa afirmação pode ser evidenciada nos resultados de calor gerado pelo processo *versus* a demanda de potência requerida na blenda com a condição 25% Al_2O_3 e 75% SiC.

A tabela 2 apresenta os resultados de rugosidade e temperatura aferidos para os corpos-de-prova Latão C360 e Aço SAE1045 após o processo de retificação.

Tabela 2 - Resultados de rugosidade e temperatura dos corpos-de-prova C360 e SAE 1045, retificados com rebolos 25% Al_2O_3 e 75% SiC.

Corpos-de-prova	Condição	Velocidade transversal (m/s)	Rugosidade Ra (μm)	Temperatura ($^{\circ}C$)
C360	T4R1	0,15	4,03	50
	T4R3	0,07	3,69	51
SAE 1045	T4R2	0,15	4,12	108
	T4R4	0,07	3,2	134

Fonte: autor, 2017.

3.2 Acabamento superficial - Retificação com rebolo 25% Al_2O_3 75% SiC.

A figura 2 apresenta imagens das superfícies dos corpos-de-prova em latão C360 e aço SAE 1045 pós processo de retificação com o rebolo composto de 25% Al_2O_3 e 75% SiC. Os resultados de acabamento superficial das peças retificadas com o composto 25% Al_2O_3 e 75%SiC não apresentaram nenhum indício de queima superficial, condizendo com o resultado esperado.

Figura 2 - Imagem superfície peça obra pós retificação com rebolo 25% Al_2O_3 e 75% SiC.



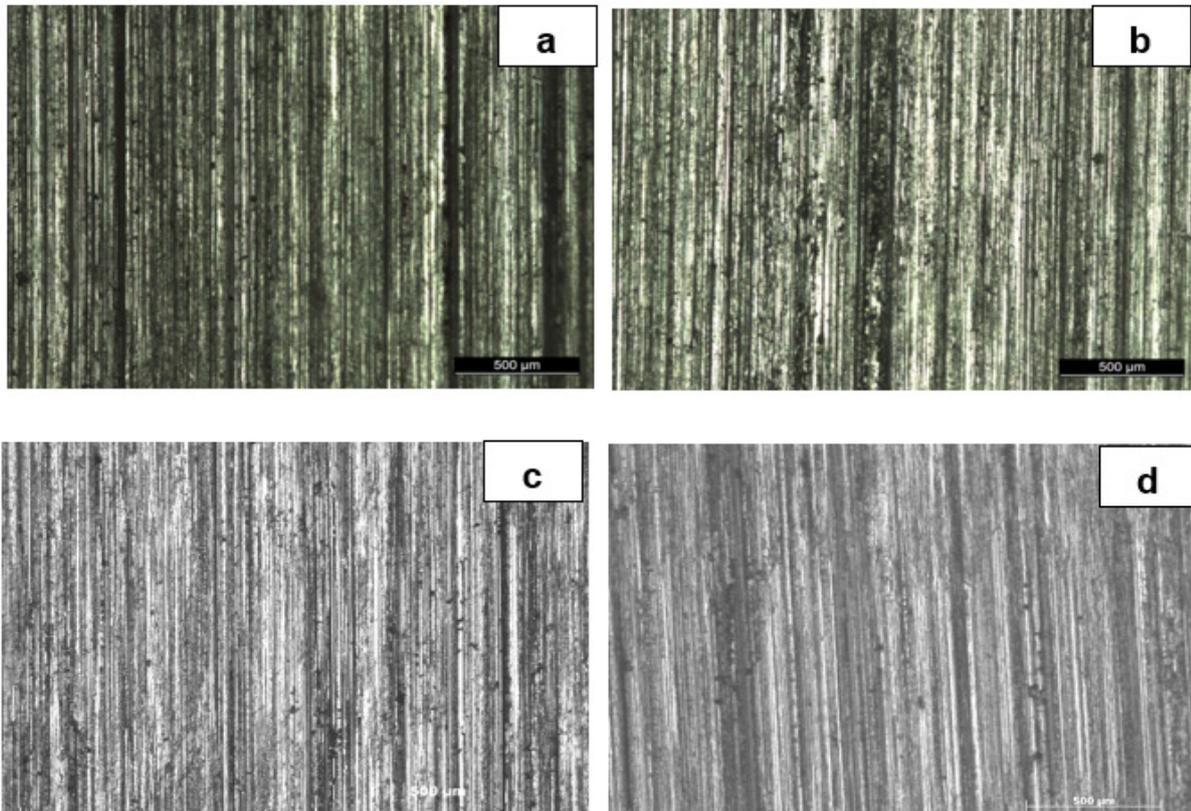
Fonte: autor, 2017.

3.3 Análise superficial dos corpos-de-prova - Retificação com rebolo 25% Al_2O_3 75% SiC.

A figura 3 apresenta as imagens obtidas por microscopia óptica da superfície dos corpos-de-provas de latão C360 e aço SAE 1045 após o processo de retificação. As imagens não apresentaram diferenças significativas de acabamento superficial e todos os riscos se encontram paralelos. Não

existe visualização de arranque prematuro da superfície, sendo perceptível uma boa qualidade de acabamento superficial.

Figura 3 - Imagens de MO da superfície retificadas dos corpos de prova C360 com (a) $V_t = 0,15m/s$ e (b) $V_t = 0,07m/s$ e SAE 1045 com (c) $V_t = 0,15m/s$ e (d) $V_t = 0,07m/s$, utilizando o rebolo com 25% Al_2O_3 e 75% SiC.

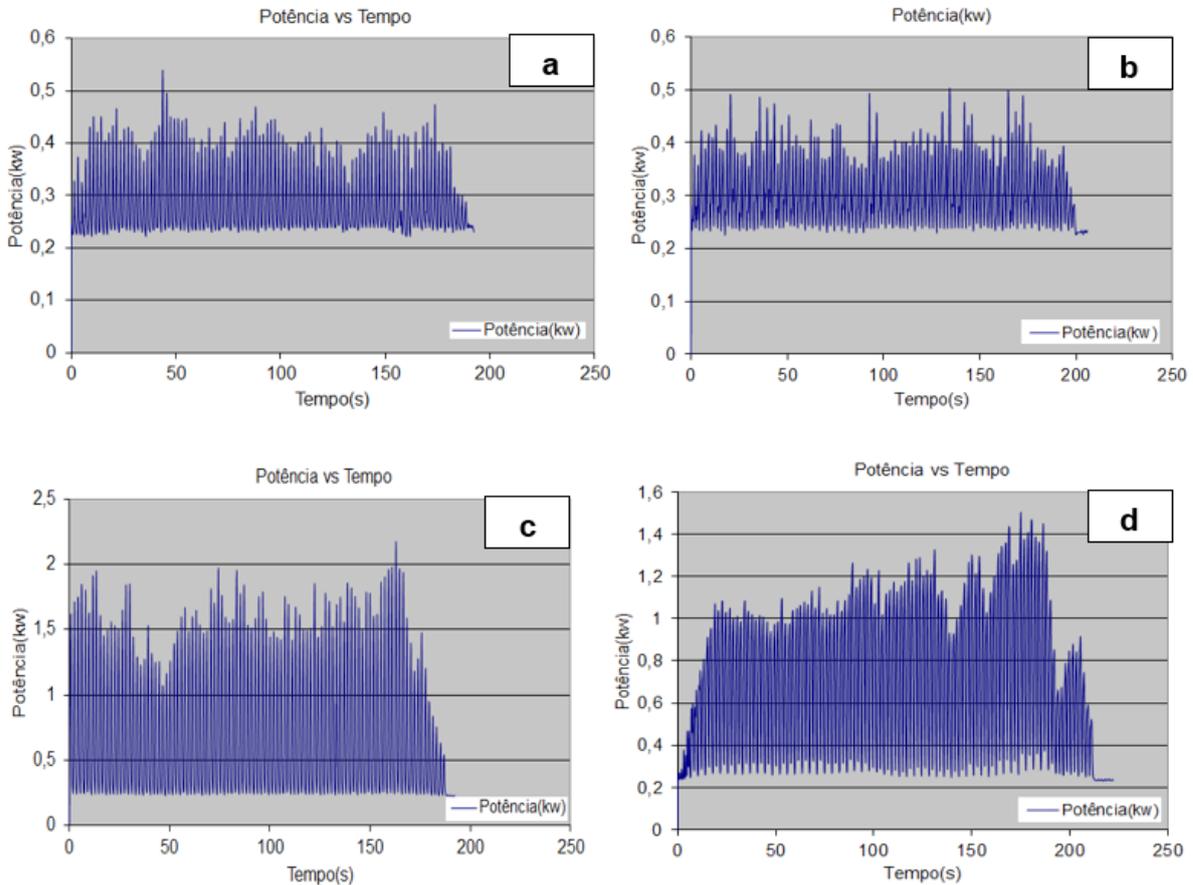


Fonte: autor, 2017.

3.4 Consumo de potência - Retificação com rebolo 25% Al_2O_3 75% SiC

A figura 4 apresenta os resultados de consumo de potência durante à retificação. O resultado foi semelhante para as mesmas condições de maior e menor velocidade transversal na retificação do aço SAE 1045 utilizando o composto 25% Al_2O_3 e 75% SiC. O mesmo resultado foi percebido na retificação do latão C360, consumindo a mesma potência, mesmo com condições diferentes de velocidade transversal. Os resultados, quando comparados com os demais compostos, demonstraram que o composto em questão apresentou, em todas as situações, o menor consumo de potência demandada.

Figura 4 - Gráfico do consumo de potência empregado na retificação dos corpos-de-prova C360 com (a) $V_t = 0,15\text{m/s}$ e (b) $V_t = 0,07\text{m/s}$ e SAE 1045 com (c) $V_t = 0,15\text{m/s}$ e (d) $V_t = 0,07\text{m/s}$, utilizando o rebolo com 25% Al_2O_3 e 75% SiC.

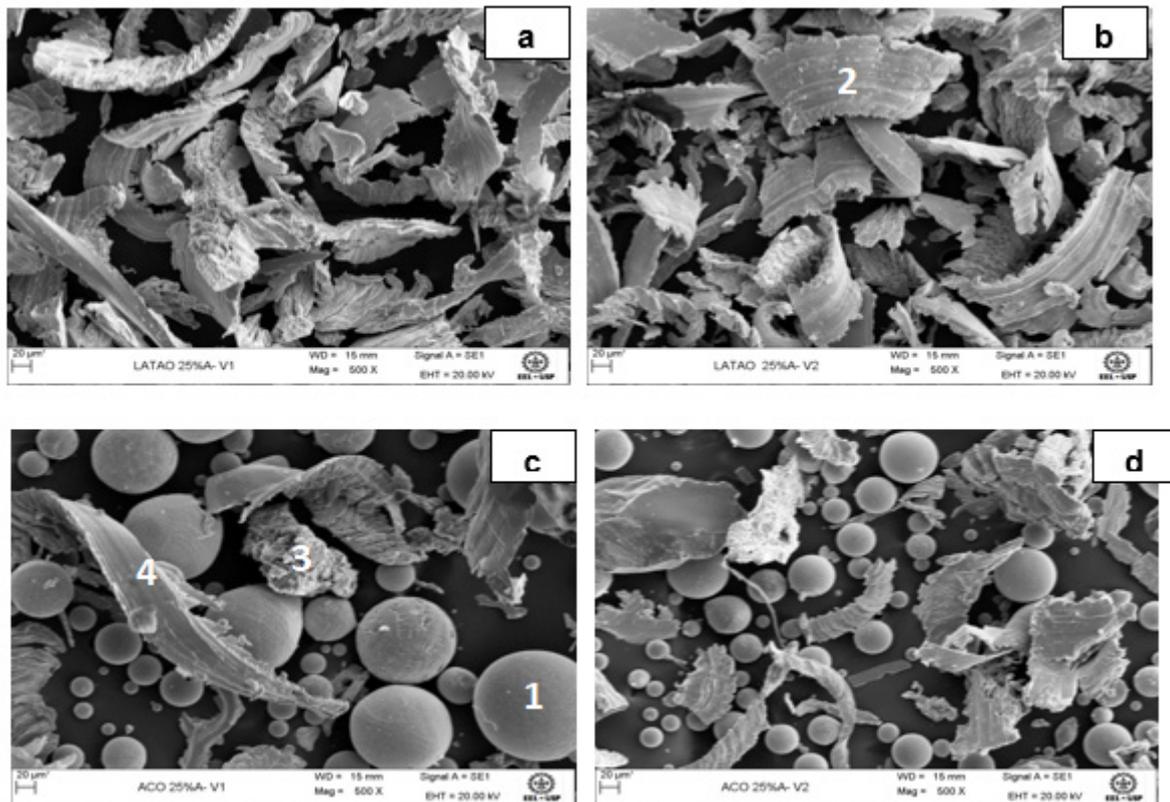


Fonte: autor, 2017.

3.5 MEV Cavacos da retificação - Retificação com rebolo 25% Al_2O_3 75% SiC

Nas figuras 5 (a) e (b), observou-se que o cavaco (2) ficou mais longo com menor velocidade. Nas figuras 5 (c) e (d), observou-se uma grande quantidade de partículas esféricas que, com o resultado de EDS (figura 6), foi identificado que é formada por ferro em sua composição principal, pois tais partículas são provindas da própria ferramenta abrasiva. As partículas que compõem os rebolos possuem impurezas, sendo uma delas o ferro. Na figura 5 (c), nota-se também partes de grãos abrasivos (ponto 3, figura 5c), provenientes do grande esforço de retificação que gera soltura precoce do grão abrasivo do ligante.

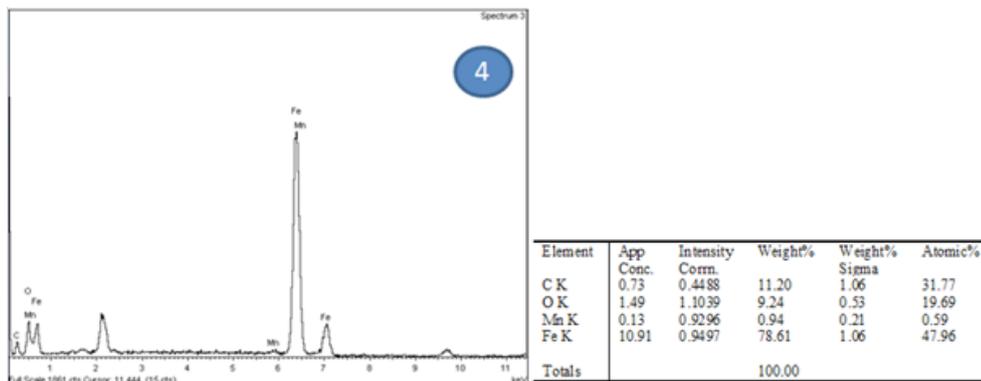
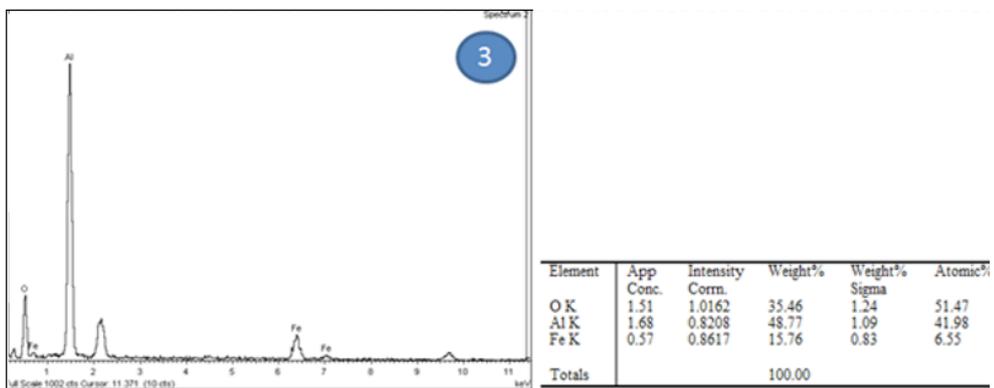
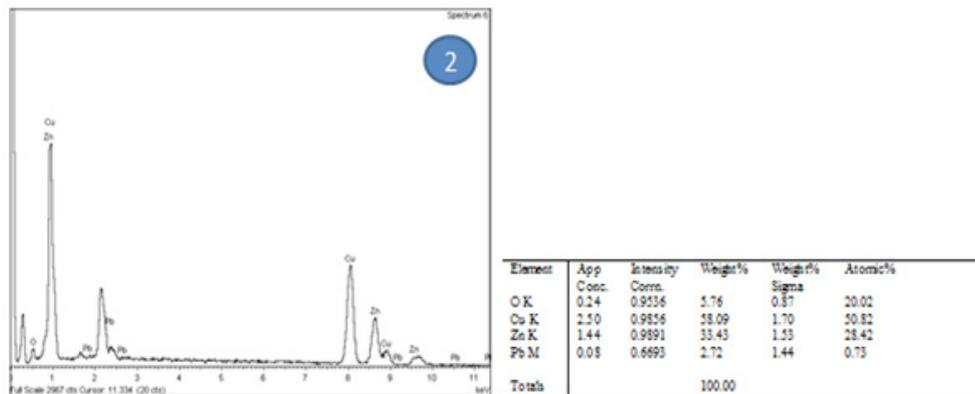
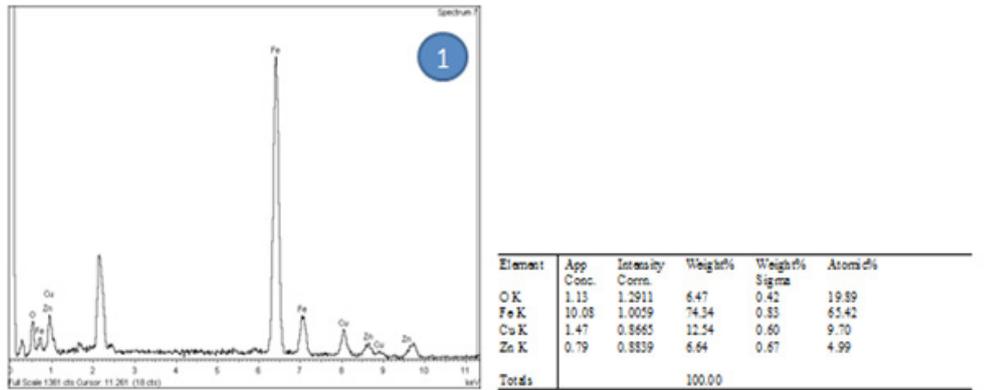
Figura 5 - Imagens MEV geradas dos cavacos provenientes da retificação dos corpos-de-prova C360 com (a) $V_t = 0,15m/s$ e (b) $V_t = 0,07m/s$ e SAE 1045 com (c) $V_t = 0,15m/s$ e (d) $V_t = 0,07m/s$, utilizando-se o rebolo com 25% Al_2O_3 e 75% SiC.



Fonte: autor, 2017.

A Figura 6 apresenta o EDS realizado nos cavacos residuais do processo de usinagem, utilizando-se o composto 25% Al_2O_3 75% SiC.

Figura 6 - EDS cavacos residuais do processo de retificação composto 25% Al₂O₃ 75% SiC



Fonte: autores, 2019.

4 CONCLUSÃO

Analisando-se os resultados apresentados de rugosidade, formação do cavaco, geração de temperatura e consumo de energia e tendo o conjunto desses dados como fator conclusivo de índice de desempenho dos rebolos sujeitos às condições dos experimentos, é possível determinar que o rebolo da condição 25% Al₂O₃ e 75% SiC apresentou o melhor resultado final.

Foi possível considerar esse rebolo como melhor resultado, devido ao fato de esses parâmetros analisados serem usuais nas indústrias que utilizam esses produtos. A geração de temperatura menor nessa condição de rebolo se transcreveu diretamente no consumo menor de energia durante o processo de retificação. Menor geração de temperatura na operação garante uma manutenção da qualidade superficial do material trabalhado, não alterando suas características e o menor consumo de energia é ligado diretamente a uma economia no processo, gerando ganhos tangíveis às indústrias. Qualquer economia de processo pode ser um diferencial na aprovação ou não de um projeto completo, fazendo com que as empresas busquem cada vez mais encontrar soluções economicamente viáveis.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Saint Gobain, ao departamento DEMAR da Escola de Engenharia de Lorena e ao Programa de Mestrado Profissional em Materiais do UniFOA, pelo desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, B.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

DEONISIO, C. et al. A influência da velocidade de avanço na textura superficial de componentes usinados. In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica: COBEM 99, 1999, Águas de Lindóia. Conference Proceedings [...]. Águas de Lindóia: [s. n.], 1999. 1 CD-ROM.

KLOCKE, F. **Manufacturing processes 1 – Cutting**. 1. ed. Berlim: Springer, 2011.

MALKIN, S.; GUO, C. **Grinding technology: Theory and application of machining with abrasives**. 2 ed. Nova Iorque: Industrial Press Inc., 2008.

MALKIN, S. **Grinding technology: Theory and application of machining with abrasives**. 1 ed. Chichester: Ellis Horwood Limited Publishers, 1989.

MARINESCU, I. D.; HITCHINER, M.; UHLMANN, E. ROWE, W. B.; INASAKI, I. **Handbook of machining with grinding wheels**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

MARINESCU, I. D.; ROWE, W. B.; DIMITROV, B.; OHMORI, H. **Tribology of Abrasive Machining Process**. 2. ed. Kidlington: Elsevier, 2013.