

INFLUÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO AISI 1020 EM BIODIESEL

Bruno Alexandre Roque

Carlos Eiji Hirata Ventura

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís km 235, 13565-905 São Carlos/SP

brunoroque_engenharia@yahoo.com.br

ventura@usfcar.br

Marcos Roberto Monteiro

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís km 235, 13565-905 São Carlos/SP.

Centro de Monitoramento e Pesquisa da Qualidade de Combustíveis, Biocombustíveis, Petróleo e Derivados (Cempeqc), Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Prof. Francisco Degni 55, 14800-060, Araraquara/SP.

marcosmonts@gmail.com

Resumo. Através do processo de usinagem é possível obter peças com formas, tolerâncias e características de superfície específicas para diversas aplicações, onde determinadas propriedades, como resistência à fadiga ou ao desgaste, exercem papel importante na confiabilidade de sistemas e equipamentos. Em situações onde um componente encontra-se em ambiente com potencial corrosivo os vales presentes na topografia da superfície podem exercer importante papel na corrosão. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do acabamento superficial decorrente do fresamento na resistência à corrosão de peças de aço AISI 1020 em contato com biodiesel, através de ensaios de imersão total e frestas, por um período de 2400h em temperatura ambiente. Para as duas configurações de deslocamento da ferramenta utilizadas neste estudo observou-se que as superfícies analisadas possuem diferenças quanto à profundidade de seus vales, porém após os ensaios de corrosão não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros de rugosidade analisados, e não foi possível estabelecer uma correlação entre o potencial corrosivo do biodiesel e a integridade superficial do aço AISI 1020.

Palavras chave: Acabamento Superficial. Corrosão. Biodiesel. Biocombustível.

1. INTRODUÇÃO

Peças ou componentes finais empregados para as mais diversas aplicações devem apresentar uma ou mais propriedades, como resistência ao desgaste, à fadiga superficial ou à corrosão. É de fundamental importância conhecer os processos de fabricação e seus respectivos parâmetros, a fim de obter uma superfície adequada para determinada aplicação. O fresamento é um desses processos e é amplamente utilizado pela indústria, com o objetivo de obter peças com formas e tolerâncias específicas através da remoção de material na forma de cavaco, sendo possível obter superfícies com graus de acabamento que possibilitem que um componente execute suas funções com certo grau de confiabilidade previamente determinado durante as fases iniciais de um projeto.

Segundo Machado *et al.* (2015) o acabamento superficial é o conjunto dos fatores rugosidade, marcas de avanço, falhas e ondulações que podem ser utilizados na caracterização de uma superfície usinada, sendo a rugosidade de uma superfície composta por irregularidades e erros microgeométricos presentes no processo de corte. No fresamento, o cavaco apresenta espessura variável durante o corte, levando a variações cíclicas das forças de corte. A espessura do cavaco não-deformado exerce forte influência nas imperfeições da superfície usinada e consequentemente afeta a rugosidade superficial (Franco, Estrems e Faura, 2014). As marcas na superfície são produzidas por um ou dois dentes da fresa que estão em um mesmo plano, e estas marcas são periódicas devido ao avanço da ferramenta a cada rotação.

Para caracterização do acabamento superficial de componentes usinados vários parâmetros unidimensionais (2D) de rugosidade superficial têm sido utilizados, inclusive no estudo da correlação entre a textura da superfície e as modificações superficiais decorrentes de processos corrosivos. Porém, a utilização de parâmetros bidimensionais ou de área (3D) permite caracterizar superfícies de maneira mais abrangente, além de possibilitar uma descrição de sua funcionalidade através da caracterização da topografia e da textura (Aris e Cheng, 2008). Por exemplo, em aplicações onde é necessária certa resistência à corrosão ou boa capacidade de lubrificação, informações a respeito dos vales presentes na superfície podem dar uma indicação de sua habilidade em reter fluido lubrificante ou volumes da solução (eletrolito) que entra em contato com o metal na região desses vales, iniciando a reação de corrosão (Surnam e Oleti, 2012). A resistência à corrosão e a capacidade de lubrificação de superfícies metálicas está diretamente relacionada

com a quantidade e profundidade de vales disponíveis para acumulação de fluidos (Surnam e Oleti, 2012, Grzesik 2016).

O parâmetro 3D *skewness* (*Ssk*) é relativo à distribuição da altura da topografia superficial, e quando assume valores positivos indica que a superfície pode apresentar baixa capacidade de lubrificação, pois estes valores indicam a ausência de vales profundos com boa capacidade de retenção de fluido; por outro lado, superfícies com valores negativos de *Ssk* sugerem a presença de vales relativamente profundos, o que pode propiciar a retenção de lubrificantes ou outros tipos de fluidos (Blateyron, 2013). Desta forma, os valores de *Ssk* podem ser importantes na análise da corrosão localizada ou corrosão por pites (To, Umezawa e Shinohara, 2018).

A profundidade reduzida de vale (*Svk*) é um parâmetro funcional obtido a partir da curva de Abbot-Firestone, e é definido como sendo a medida da profundidade dos vales abaixo da rugosidade do núcleo da superfície. O *Svk* possui relação direta com a capacidade de retenção de fluidos pela superfície (Grzesik 2016), e maiores valores desse parâmetro podem indicar que as superfícies em questão são capazes de reter boa quantidade da solução corrosiva em seus vales, fato esse que pode correlacionar-se bem com os efeitos dos ensaios de corrosão.

Ressalta-se também a crescente utilização de biocombustíveis, como o biodiesel, em motores à combustão e sabe-se que o contato de peças metálicas com o biodiesel e suas misturas pode levar à corrosão das mesmas, principalmente em função das suas propriedades físico-químicas, tais como teor de água, ácidos graxos livres, duplas ligações, etc. Assim sendo, a compreensão da relação entre o acabamento superficial e a corrosão metálica de peças em contato com essas misturas diesel/biodiesel é relevante para a obtenção de desempenho satisfatório desses motores, uma vez que há uma lacuna no estudo entre a influência das condições da superfície e sua interação com um combustível.

Neste contexto, este trabalho analisa o efeito da rugosidade de superfícies, obtidas por fresamento em diferentes configurações de deslocamento da ferramenta de corte, na resistência à corrosão de peças de aço AISI 1020 em contato com biodiesel puro, B100.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova utilizados neste trabalho são retangulares e foram obtidos a partir da usinagem de 4 unidades em aço AISI 1020 com dimensões de 40x18x4,1 mm, sendo usinada a face de 40x18 mm. A operação de fresamento foi realizada em um centro de usinagem CNC modelo D600 marca ROMI, do Laboratório de Processos de Fabricação do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSCar. Não foi utilizado fluido de corte e os parâmetros de usinagem foram: velocidade de corte 300 m/min; avanço por dente 0,05 mm/dente; profundidade de corte 0,6 mm e penetração de trabalho 15 mm. O inserto e a ferramenta utilizados para o fresamento são do fabricante Sandvik Coromant. O código ISO do inserto é R390-11 T3 08M-PM 1130; revestimento de AlTiCrN; comprimento efetivo da aresta de corte 10 mm; raio de ponta 0,8 mm e ângulo de posição $\chi_r=90^\circ$. A ferramenta utilizada tem código R390-020A20-11M, possui comprimento total de 110 mm, diâmetro de 20 mm, comprimento efetivo de 25 mm, três insertos na montagem e três arestas efetivas de corte, conforme Fig. 1.

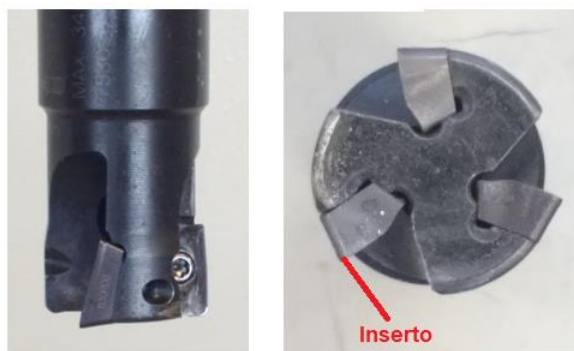


Figura 1. Ferramenta de usinagem (esquerda) e inserto (direita)

Com o objetivo de gerar superfícies de diferentes topografias duas configurações de usinagem (A e B) foram testadas, e foram obtidas duas peças de cada configuração conforme Fig. 2. As setas indicam o sentido de deslocamento da ferramenta de corte na peça. A rugosidade e a textura das superfícies foram obtidas utilizando um microscópio confocal Alicona Infinite Focus SL. Os parâmetros *Ssk* e *Svk* foram selecionados para caracterização das superfícies antes e após os ensaios pelo fato de poderem correlacionar-se com o fenômeno da corrosão. As medições foram realizadas em três regiões das amostras, mostradas na Fig. 2. As regiões 2A e 2B têm como característica o maior valor de rugosidade teórica no fresamento, e as regiões 1(A e B) e 3(A e B) possuem intersecções originadas a partir da passagem dos insertos em locais onde já houve remoção de material, e também são regiões de interesse nesse estudo.

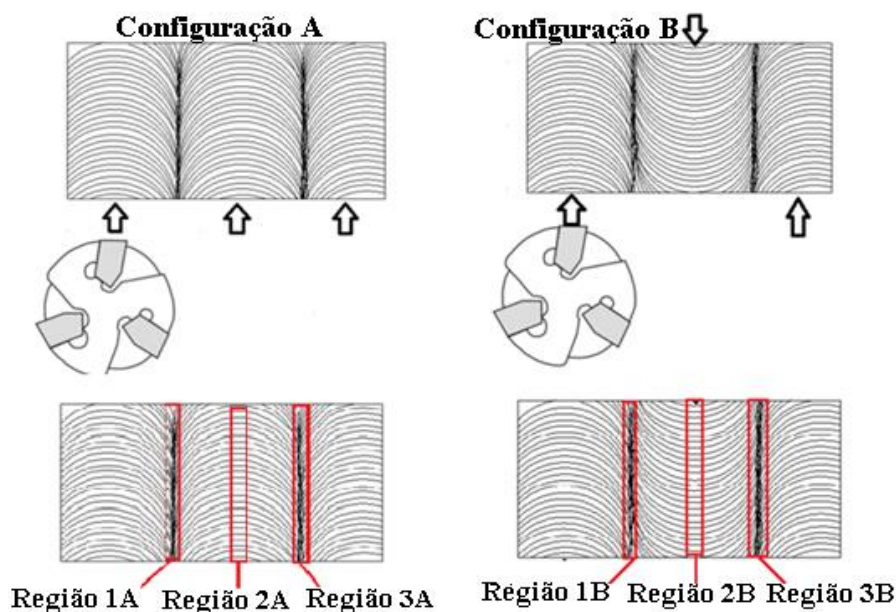


Figura 2. Configurações de usinagem e regiões de medição dos parâmetros de rugosidade.

Uma vez determinados os parâmetros relativos à textura das superfícies, antes dos ensaios de corrosão realizou-se uma análise estatística desses parâmetros. Foi utilizado o teste de Tukey, e através das comparações entre as médias foi possível verificar se existe diferenças entre as regiões das duas configurações de fresamento.

Os ensaios de corrosão foram realizados conforme a norma ASTM G31-72 (ASTM, 2017), o volume da solução foi estabelecido a partir da mesma e a solução utilizada foi o biodiesel puro (B100) obtido através de rota metílica, que tem como matérias primas o óleo de soja (90% v/v) e o óleo de palma (10% v/v). As partes não usinadas das amostras foram recobertas com tinta anticorrosiva com o objetivo de que somente a face usinada ficasse exposta ao biodiesel. Foram realizados ensaios de imersão total e ensaio por frestas, e para o ensaio de corrosão por frestas foram adicionadas peças de teflon (4x3 mm), como indicado na Fig. 3 (esquerda). As amostras foram suspensas por fios de teflon em recipientes de 2L, permanecendo em contato com as misturas por 2400h em temperatura ambiente, conforme Fig. 3 (direita). Os ensaios foram realizados em duplicata.

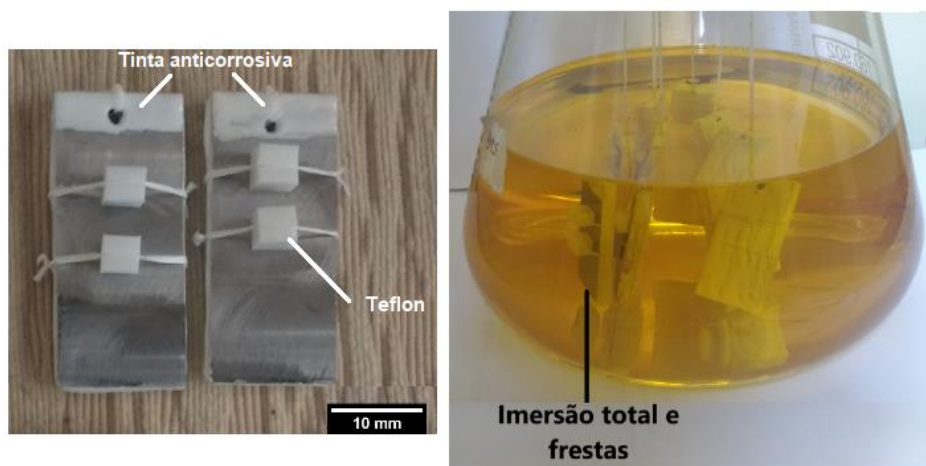


Figura 3. Amostras de aço para ensaio de imersão e frestas (esquerda) e recipiente montado para os testes de corrosão (direita).

Após as 2400h de ensaio as amostras permaneceram imersas em banho ultrassônico de acetona por 10 minutos, conforme recomendação da ASTM G01 (ASTM, 2012) para a limpeza de amostras de aço após testes de corrosão. As três regiões de cada amostra foram novamente caracterizadas através da microscopia óptica, e foi realizada a análise de variância (ANOVA) para verificar se os fatores tempo de ensaio (0h e 2400h) e tipo de ensaio (imersão e frestas) são

significativos em relação aos valores de rugosidade. O teste de Tukey foi novamente utilizado na análise de diferenças significativas entre as médias dos parâmetros antes e após os ensaios, sendo as análises obtidas através do programa MINITAB.

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise das superfícies antes dos ensaios de imersão (0h)

Os resultados do teste de Tukey são apresentados na Fig. 4. Graficamente, quando o intervalo da diferença entre duas médias não cruza a linha do zero significa que essas duas médias são estatisticamente diferentes entre si. Para o parâmetro Ssk foi verificado que apenas as médias da região 1 são diferentes entre as configurações A e B (Fig. 4-esquerda), e o fato dessa diferença ser negativa implica que a região 1 da configuração B (1B) possui menor valor médio de Ssk e este é negativo, indicando que há predominância de vales nessas superfícies. Para o parâmetro Svk é possível observar na Fig. 4(direita) que as médias das três regiões das configurações A e B são diferentes entre si, sendo que as regiões da configuração B possuem os maiores valores de profundidade dos vales, pois as diferenças no gráfico são positivas. Isto indica que as superfícies da configuração B podem armazenar maiores valores de biodiesel em seus vales, e espera-se que ao final dos ensaios de corrosão as amostras da configuração B apresentem efeitos corrosivos mais evidentes que as amostras da configuração de usinagem A.

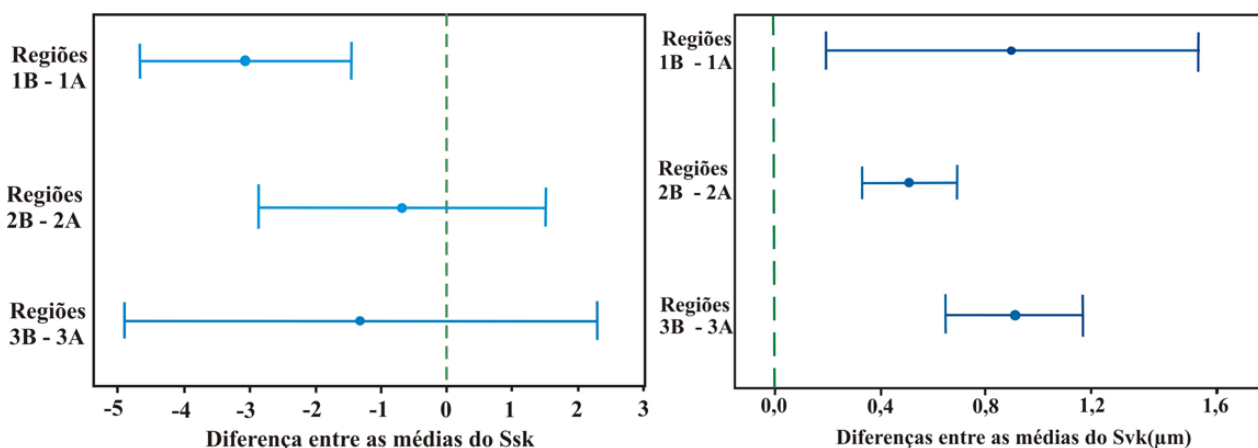


Figura 4. Intervalos das diferenças entre as médias de Ssk(esquerda) e Svk(direita) de regiões das configurações de usinagem A e B (0h).

3.2. Análise das superfícies após os ensaios de imersão (2400h)

Através da microscopia óptica das superfícies após os ensaios de imersão, observou-se que algumas regiões das amostras das configurações A e B sofreram alterações em locais específicos da topografia, sugerindo assim que houve influência do biodiesel. A Fig. 5 apresenta as alturas das superfícies de uma amostra da configuração B em função do tempo de imersão, onde é possível identificar algumas variações nos valores das alturas dos locais em destaque.

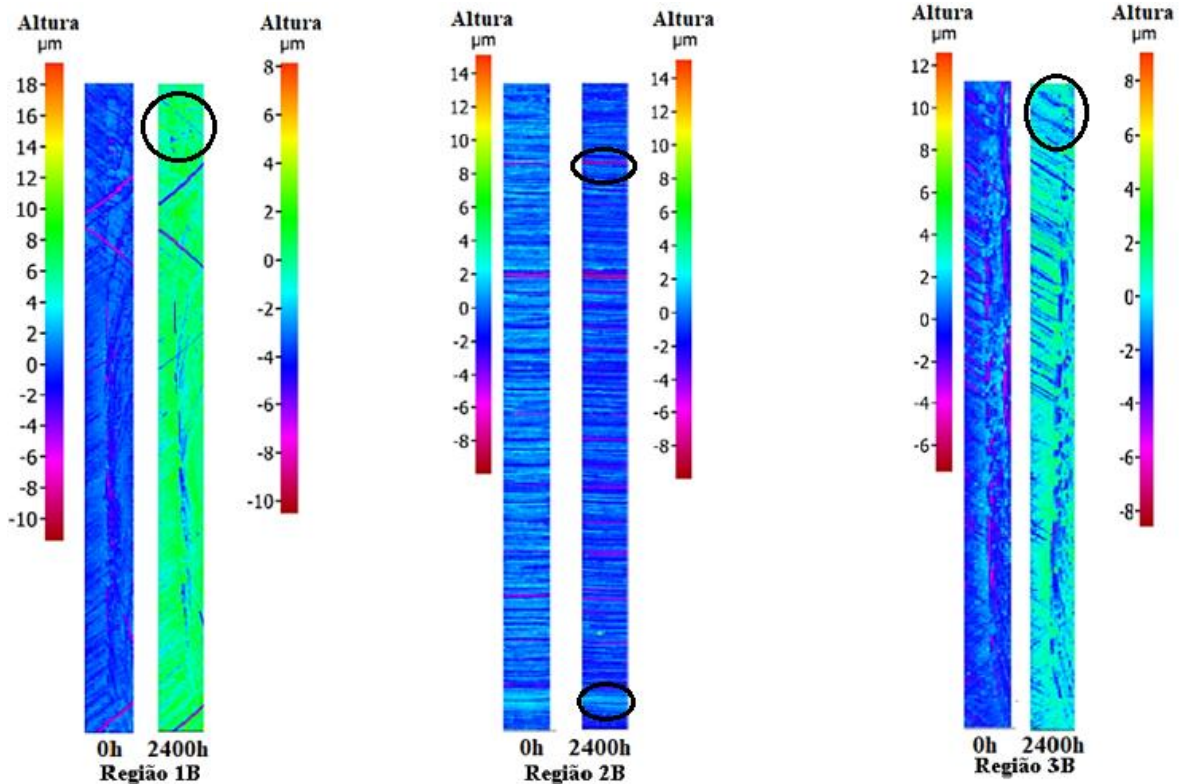


Figura 5. Altura dos perfis das superfícies de uma amostra da configuração B antes (0h) e após os ensaios de imersão (2400h).

A análise de variância (ANOVA) mostrou que os ensaios de imersão e frestas não são fatores significativos, ou seja, não causaram alterações estatisticamente significativas nos parâmetros de rugosidade. Resultado similar foi obtido para o tempo de ensaio, e somente a média de uma região da configuração A apresentou diferença significativa após os ensaios.

A variação dos parâmetros de rugosidade entre 0 e 2400h de ensaio foi avaliada a partir do teste de Tukey. Na configuração de usinagem A houve uma diminuição no valor de *skewness* (Ssk) da região 1A (Fig. 6-esquerda), e pelo gráfico observa-se que apenas para essa região há diferença significativa no valor desse parâmetro antes e após os ensaios, pois o intervalo de diferenças entre as médias não intercepta a linha do zero. Uma possível explicação para o fato é que nesta região os efeitos corrosivos do biodiesel podem ter causado uma diminuição na quantidade de picos das superfícies, o que pode explicar o valor negativo da diferença entre as médias deste parâmetro em 0h e 2400h. As regiões 2A e 3A não sofreram alterações significativas nos valores de Ssk, sugerindo que o contato com o biodiesel não provocou efeitos corrosivos significativos nessas regiões. As médias do parâmetro Svk antes e após os ensaios não são estatisticamente diferentes, como pode ser visto na Fig. 6(direita), onde os intervalos das diferenças cruzam a linha do zero. Isto indica que o contato com o biodiesel não alterou o valor da profundidade dos vales dessas superfícies.

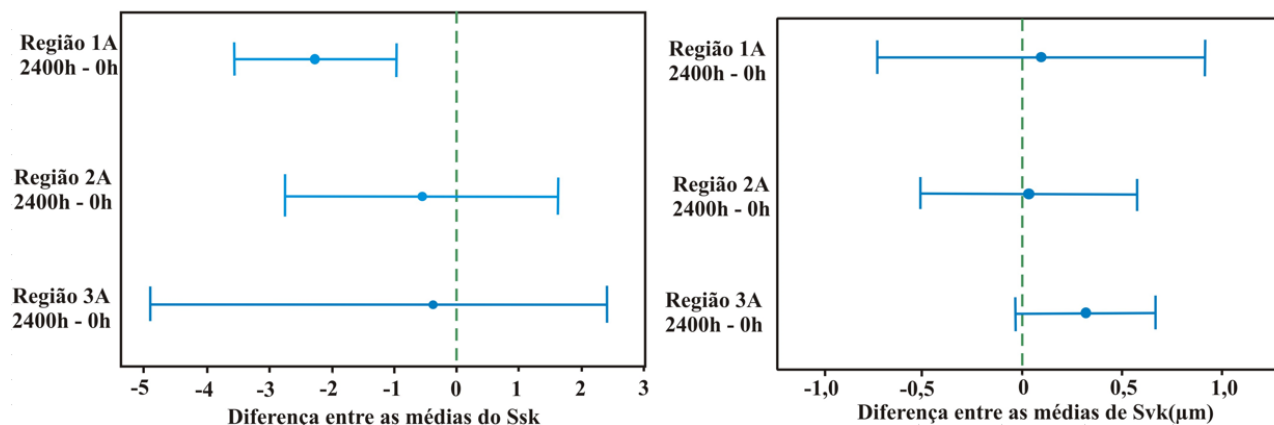


Figura 6. Intervalos das diferenças entre as médias de Ssk(esquerda) e SvK(direita) para as regiões da configuração de usinagem A após ensaios de imersão (2400h).

Antes dos ensaios a configuração B apresentava os maiores valores para a profundidade média dos vales (Svk) nas três regiões, fato esse que poderia indicar que suas superfícies armazenariam maiores volumes de biodiesel em seus vales, o que teoricamente favoreceria a ocorrência de corrosão nessas áreas. Com isso, era esperado que ao final dos ensaios a configuração B apresentasse maiores valores de SvK como consequência da corrosão, porém pela análise da Fig. 7 (direita) observa-se que as médias desse parâmetro a 0h e 2400h são estatisticamente iguais, indicando que o contato com o biodiesel não produziu efeitos corrosivos expressivos nessas superfícies. Isto pode ser justificado pelo fato do biodiesel ser um fluido com baixa resistividade elétrica, e isso faz com que seja necessário um longo tempo para que efeitos mais expressivos da corrosão possam ser detectados, além da possibilidade de formação de uma camada eletroquimicamente passiva nas regiões analisadas, o que também pode retardar a corrosão.

Para esta configuração de usinagem também não foram encontradas diferenças significativas entre as médias do parâmetro Ssk antes e após os ensaios, conforme Fig. 7(esquerda), indicando que nas condições testadas a profundidade dos vales não pôde ser correlacionada com o fenômeno da corrosão.

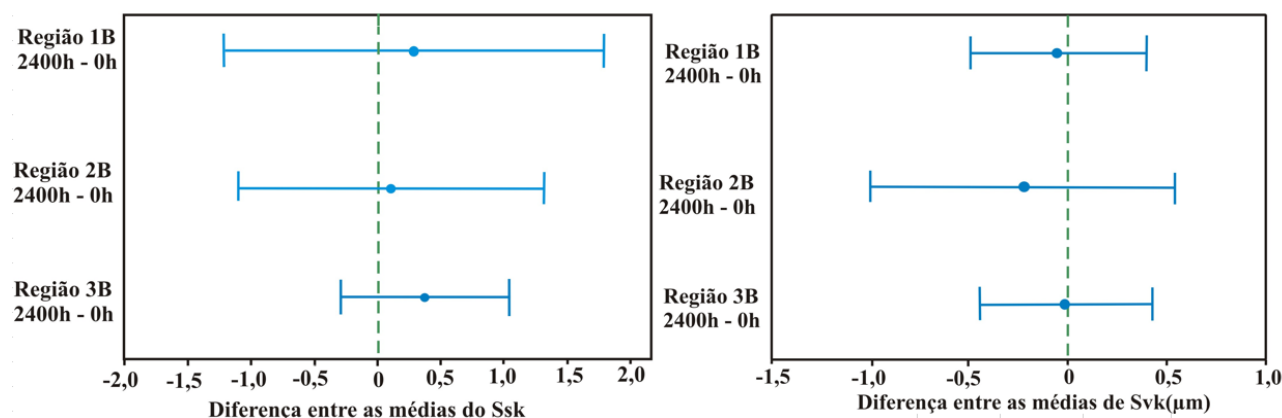


Figura 7. Intervalos das diferenças entre as médias de Ssk(esquerda) e SvK(direita) de regiões da configuração de usinagem B após ensaios de imersão (2400h).

4. CONCLUSÕES

Os parâmetros de rugosidade 3D podem ser extremamente funcionais em determinadas aplicações, como é o caso do uso de metais em ambientes corrosivos. Apesar das configurações de usinagem A e B terem apresentado diferenças nos valores de profundidade dos vales antes dos ensaios de imersão, ao final desses ensaios a diferença entre os parâmetros Ssk e SvK não apresentaram significância estatística, apesar de que alguns efeitos do contato com o biodiesel puderam ser notados através de pequenas variações nas alturas da topografia das superfícies. Sendo assim, não foi possível estabelecer uma correlação entre esses parâmetros de rugosidade e o fenômeno da corrosão. Para melhor compreensão dos efeitos das características da superfície no contato com o biodiesel e outros combustíveis, sugere-se o desenvolvimento de metodologias que envolvam medidas eletroquímicas para avaliar o comportamento de corrosão de materiais metálicos em contato com diferentes *blends* (misturas) de combustíveis, permitindo com isso uma redução do tempo necessário para determinar as taxas de corrosão. Assim, é possível avaliar a compatibilidade de diferentes

materiais metálicos quando em contato com combustíveis, ampliando a possibilidade de utilização de outras matérias-primas para a produção do biodiesel, que tem se destacado como um importante biocombustível na matriz energética veicular mundial.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e à FAPESP pelo uso dos equipamentos e infraestrutura, e à CAPES pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Aris, N. F. M. e Cheng, K. , 2008. “Characterization of the surface functionality on precision machined engineering surfaces.” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 38, n. 3–4, p. 402–409.
- American Society for Testing and Materials, ASTM., 2017. “ASTM G01: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.” [s. L.]: ASM International.
- American Society for Testing and Materials, ASTM., 2012. “ASTM G31-12A: Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals.” [s. L.]: ASM International.
- Blateyron, F., 2013. “The Areal Field Paramaters”. In: Leach, R. (Org.). *Characterisation Areal Surf. Texture*. Berlin: Springer-Verlag, v. 9783642364. p. 15–43.
- Franco, P., Estrems, M., e Faura, F., 2004. “Influence of radial and axial runouts on surface roughness in face milling with round insert cutting tools”. *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, p. 1555-1565.
- Grzesik, W., 2016. “Prediction of the Functional Performance of Machined Components Based on Surface Topography: State of the Art”. *Journal Of Materials Engineering And Performance*. [S.l.], p. 4460-4468.
- Machado, A. R., et al., 2015. *Teoria da Usinagem dos Metais*. 2ª. São Paulo: Editora Edgar Blucher, p. 408.
- Surnam, B.Y. R., e Oleti, C.V., 2013. “Using three-dimensional surface roughness parameters in analysis of atmospheric corrosion degradation of carbon steel”. *Corrosion Engineering, Science And Technology*. [s. L.], p. 96-106.
- To, D., Umezawa, O., e Shinohara, T., 2018. “Detection of surface roughness evolution of carbon steel subjected to outdoor exposure and constant humidity corrosion tests”. *Materials Transactions*, v. 59, n. 8, p. 1239–1243.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

INFLUENCE OF SURFACE FINISH ON CORROSION RESISTANCE OF AISI 1020 STEEL IN BIODIESEL

Bruno Alexandre Roque

Carlos Eiji Hirata Ventura

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís km 235, 13565-905 São Carlos/SP

brunoroque_engenharia@yahoo.com.br

ventura@usfcar.br

Marcos Roberto Monteiro

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís km 235, 13565-905 São Carlos/SP.

Centro de Monitoramento e Pesquisa da Qualidade de Combustíveis, Biocombustíveis, Petróleo e Derivados (Cempeqc), Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Prof. Francisco Degni 55, 14800-060, Araraquara/SP.

marcosmonts@gmail.com

Abstract. *Through the machining process is possible to obtain components with specific shapes, tolerances and surface characteristics for different applications, where certain properties such as fatigue resistance or wear resistance play an important role in the reliability of systems and equipment. In situations where a component is in an environment with corrosive potential, the valleys present in the surface topography can play an important role in the corrosion. This work aims to evaluate the influence of surface finish resulting from milling on corrosion resistance of AISI 1020 steel parts in contact with biodiesel through total immersion and crevice tests for a period of 2400h at room temperature. For two configurations of tool displacement used in this study, it was observed that the analyzed surfaces have differences regarding their depths of valleys, however after the corrosion tests no significant differences were observed in the analyzed roughness parameters, and it was not possible to set a correlation between the corrosive potential of biodiesel and the surface integrity of AISI 1020 steel.*

Keywords: Surface Finish. Corrosion. Biodiesel. Biofuel.

RESPONSIBILITY NOTICE

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