

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Caracterização Mecano Tribológica e Comportamento em Corrosão de Revestimentos Depositados por Atrito.

Marcela Gonçalves Ferreira^a, Sinésio Domingues Franco^b, Marcelo Camargo Severo de Macêdo^c,

Abstract

Many friction welding processes have been studied, among which stands out a process known as Friction Surfacing. This technique involves rotating a consumable rod of the coating material onto a substrate using high rotation speed and force. By moving the substrate across the face of the rotating rod, a layer of coating material is deposited. Equipment developed at the Laboratory of Techniques in Friction and Wear of the Federal University of Uberlândia has been used to produce coatings with AISI 420 stainless steel. Through this technique is possible to apply different types of materials on substrates, resulting in higher corrosion or erosion resistance. The aim of this work is to study the erosion and corrosion resistance of the AISI 420 coating. Microstructural characterization was performed by Scanning Electron Microscopy and Optical Microscopy. Microhardness and erosion resistance were also measured. The corrosion resistance was evaluated by static and solids-free impingement tests.

Keywords: friction surfacing, jet impingement, corrosion, AISI 420.

Resumo

Diversos processos de reparo por atrito estão sendo estudados atualmente, dentre os quais se destaca o recobrimento por atrito ou, em inglês, *Friction Surfacing*. Esta técnica consiste na deposição do material de um pino em uma chapa ou substrato através de altas rotações e altas cargas axiais no pino, com um deslocamento horizontal do substrato. Neste trabalho, o revestimento depositado por atrito foi caracterizado por meio de ensaios de corrosão, jato de impingimento e análise microestrutural por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura e Microscopia Óptica. Para obter o depósito foi utilizado um equipamento do Laboratório de Técnicas em Atrito e Desgaste da Universidade Federal de Uberlândia, o qual foi modificado possibilitando assim a realização dos ensaios de recobrimento com aço AISI 420. Através dessa técnica, pode-se então aplicar diferentes tipos de materiais sobre substratos, resultando em incrementos na resistência à corrosão e/ou desgaste. O objetivo deste trabalho foi avaliar as resistências à corrosão e erosão de revestimento de aço AISI 420. A caracterização microestrutural foi realizada por microscopia óptica e eletrônica de varredura. A microdureza e a resistência a corrosão também foram medidas. A resistência à corrosão foi avaliada tanto em ensaios de corrosão estáticos quanto em Jato de impingimento sem partículas.

Palavras-chave: Revestimento por atrito, jato de impingimento, corrosão, AISI 420.

^a Mestre em Engenharia Mecânica PPGEM, Engenheira Metalurgista, - UFES, Vitória - ES

^b Doutor, Engenheiro Mecânico, Professor – UFU – Uberlândia – MG.

^c Doutor, Engenheiro Metalurgista, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica - UFES, Vitória - ES

Introdução

Técnicas de recobrimento de superfície são cada vez mais utilizadas nas indústrias para prolongar a vida útil de alguns componentes de equipamentos. Vários processos de recobrimento a base de soldagem por fusão, como soldagem a arco plasma (PAW), soldagem a arco submerso (SAW), soldagem a arco com eletrodo de tungstênio (GTAW), soldagem a arco por eletrodo revestido (SMAW), revestimento a laser e outros mais (1), estão em amplo uso industrial para a produção de revestimentos. Contudo, tais processos podem apresentar altos níveis de dissolução do recobrimento no substrato, microestrutura com grãos grosseiros, além de muitas vezes ocorrer problemas de trinca a quente, porosidade e formação de carbonetos, nitretos e fases intermetálicas frágeis (3, 4).

Diante desse cenário industrial, tem-se o desenvolvimento do Processo de Revestimento por Atrito (*Friction Surfacing*) que é uma tecnologia emergente na área da engenharia de revestimentos metálicos e desenvolveu-se no princípio básico da deposição de material resistente ao desgaste e/ou corrosão. Por ser um processo em estado sólido, supera muito dos problemas existentes nos revestimentos por soldagem tradicionais e oferece grande flexibilidade em termos de materiais que podem ser depositados, como também uma grande variedade que poderão vir a ser usados como substrato (2).

A técnica de revestimento por atrito apresenta um grande potencial para aplicações tecnológicas, como por exemplo, revestimento do topo de filetes de bombas multifásicas, sujeitas à erosão e corrosão (1). O revestimento obtido deve cumprir uma série de requisitos. Em primeiro lugar, sua aderência ao substrato deve ser boa, de maneira que não sofra delaminação com facilidade, deve resistir às condições de trabalho para as quais está dirigido, que podem incluir temperaturas extremas, atmosferas corrosivas ou desgaste mecânico.

Neste trabalho, são mostrados os resultados obtidos por meio de ensaios de recobrimento com aço AISI 420, permitindo uma análise sobre a influência da variação dos parâmetros do processo (tais como: rotação, força axial e velocidade de avanço da mesa) sobre a dureza e a resistência à corrosão estática do revestimento, erosão e sob condição de jato de Impingimento.

Metodologia

Materiais

Este trabalho foi desenvolvido com amostras em aço-carbono comum, ASTM A 36, revestidas com aço inoxidável AISI 420, cujas composições químicas nominais são apresentadas nas Tabelas 1 e 2. O teor de carbono das amostras de aço inoxidável AISI 420 foi analisado no Espectrômetro de Fluorescência por Raios X modelo Thermo ARL 9900. Por sua vez, a amostra de aço-carbono foi analisada com um Espectrômetro de Emissão Ótica Thermo ARL 4460.

Tabela 1 – Composição química nominal (% em massa) do aço inoxidável AISI 420

C	Ni	V	Si	P	S	Ti	Cr	Mn
0,208	1,52	0,028	1,10	0,031	0,019	0,041	11,8	0,73

Tabela 2 – Composição química (% em massa) do aço-carbono comum ASTM A 36

C	Mn	Cr	Mn	Ni	Mo	Si	S	P
0,13	0,94	0,02	0,01	0,01	0,01	0,19	0,008	0,014

O processo de deposição de revestimento por atrito foi realizado no aparelho de Unidade de Processamento de Pinos por Atrito (UPPA) da Universidade Federal de Uberlândia, mostrado abaixo na figura 1.

**Figura 1 – Unidade de Processamento de Pinos por Atrito - UPPA1**

A Tabela 3 reporta as condições de processamento adotadas para obtenção dos depósitos.

Tabela 3 – Condições de processamento para obtenção dos depósitos

Revestimento	Força (kgf)	Velocidade mesa (mm/min)	Rotação (rpm)
1	1000	50	5000
2	1000	100	5000
3	1000	150	5000
4	1000	200	5000
5	1000	300	5000
6	1000	200	3000
7	1300	200	5000
8	1000	100	3000

Microestrutura e Dureza

Para análise da microestrutura dos revestimentos, amostras foram cortadas mediante eletroerosão e retificação nas direções transversal e longitudinal ao material depositado. Cada amostra foi lixada até a granulometria de 1200. Em seguida, um polimento foi efetuado com pastas de diamante para posteriormente proceder-se o ataque químico com uma solução do reagente Villela, durante 50 s.

O estudo das microestruturas dos aços foi realizado com o auxílio de um Microscópio Eletrônico de Varredura EVO 40XVP (ZEISS), equipado com sistema de microanálise EDS

(IXRF) do Laboratório de Caracterização de Superfícies de Materiais (LCSM) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFES.

Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados no centro do corte transversal do revestimento, com auxílio do microdurômetro da marca Shimadzu HMV-AD multi-teste, sendo utilizada uma carga de **50 gf**. As indentações foram realizadas na direção vertical, a partir da região superior do aço inoxidável depositado, com uma variação das mesmas de 0,05 mm, até atingir o substrato a uma distância de aproximadamente 5,5 mm da superfície.

Ensaio de Corrosão em Água do Mar Sintética

Os ensaios de corrosão eletroquímica foram realizados em uma célula eletroquímica convencional com três eletrodos conectados a um potenciostato/galvanostato, PGSTAT 30 (autolab) apresentado na Figura 2. Os eletrodos foram montados em um béquer de maneira que o eletrodo de trabalho ficasse na frente do eletrodo padrão à distância de aproximadamente 0,002 m. A área exposta da amostra teste foi de 0,0001 m². O eletrodo auxiliar utilizado foi de grafite e o eletrodo de referência de Ag/AgCl saturado, montados segundo a norma ASTM G5-94 (10). A solução eletrolítica utilizada foi água do mar sintética, preparada segundo a norma ASTM D1141-98 (11). A amostra foi imersa e mantida nesta condição por um tempo de 300 s para a estabilização do potencial de corrosão, antes da realização da varredura. O potencial do eletrodo foi variado de um valor de 200 mV mais negativo que o potencial de circuito aberto (potencial de corrosão), até o potencial no qual a densidade de corrente atingisse o valor de 1,0 mA/cm², quando o ensaio era concluído. A velocidade de varredura foi de 1,0 mV/s. A partir das curvas de polarização foram obtidos o potencial de corrosão (E_{corr}), o potencial de passivação (E_{pass}), o potencial de pites (E_{pite}) e a densidade de corrente de corrosão (i_{corr}). Durante os ensaios, o pH foi controlado e mantido entre 8,31 e 8,38.

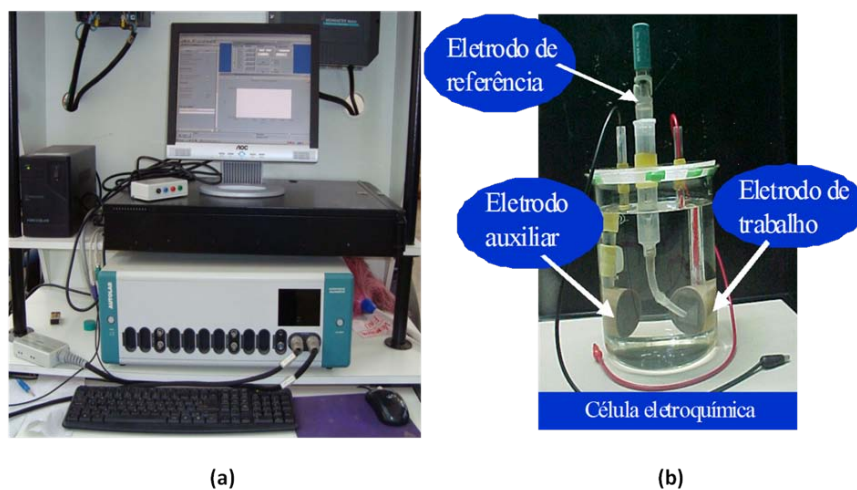


Figura 2 – Bancada experimental dos ensaios de corrosão eletroquímica, (a) potenciostato/galvanostato e (b) célula eletroquímica usada nos experimentos (14).

Ensaio de Erosão e Corrosão-Impingimento

Após a etapa de caracterização microestrutural e de avaliação do comportamento em corrosão estática, foram realizados os ensaios de erosão pura, e corrosão pura, cujo procedimento foi feito no jato de impingimento. Os ensaios foram feitos no equipamento tipo jato do Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da Universidade Federal de Uberlândia,

representado esquematicamente na Figura 3. As partículas foram projetadas sobre a superfície das amostras com um ângulo de impacto de 90°. A concentração da areia utilizada nos ensaios foi de 6 % em massa e com granulometria 150 µm. Utilizou-se a água de torneira como fluido, cuja temperatura média foi mantida em 25 °C para todos os ensaios. A velocidade média utilizada no jato foi de 7,0 m/s. A velocidade foi calculada a partir de medições de vazão, tempo e a área de saída do jato.

Os ensaios de erosão pura foram realizados com tempo total de 1500 s, sendo que a cada 300 s o ensaio era interrompido, e a amostra limpa e pesada, para a determinação da perda de massa.

Os ensaios de jato impingimento foram realizados com metodologia semelhante ao de erosão pura, porém sem utilizar areia. Neste caso, o fluido utilizado foi água do mar sintética, segundo a norma ASTM D1141-98 (11). Durante os ensaios, o pH foi controlado e mantido entre 8,20 e 8,25. O erosímetro foi instrumentado com um potenciostato para a monitoração do potencial e corrente de corrosão. Em todos os ensaios, o potencial de corrosão das amostras foi monitorado e ao final dos ensaios, foram levantadas curvas de polarização com uma velocidade de varredura com 1,0 mV/s.

Resultados e discussão

Microestrutura

O material da barra de aço inoxidável AISI 420 apresenta uma microestrutura martensítica revenida com precipitação de carbonetos, Figura 3.

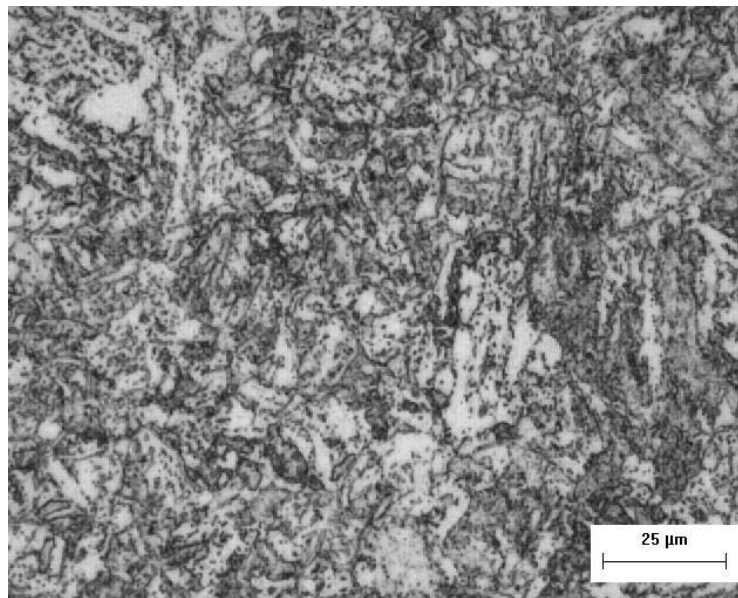


Figura 3 – Microestrutura da barra de aço inoxidável AISI 420 constituída por martensita revenida e carbonetos. Ataque realizado com Reagente Villela, durante 50 s.

A Figura 4.(a) mostra as microestruturas do revestimento e do metal base, destacando também a região de interface. Já a Figura 4.(b), obtida por contraste de composição, ilustra a baixa difusão do revestimento no substrato.

Na Figura 5, pode ser observado o refinamento da estrutura martensítica do revestimento depositado por atrito. Também podem ser observados alguns pites muito provavelmente originados pela remoção de carboneto pelo ataque metalográfico.

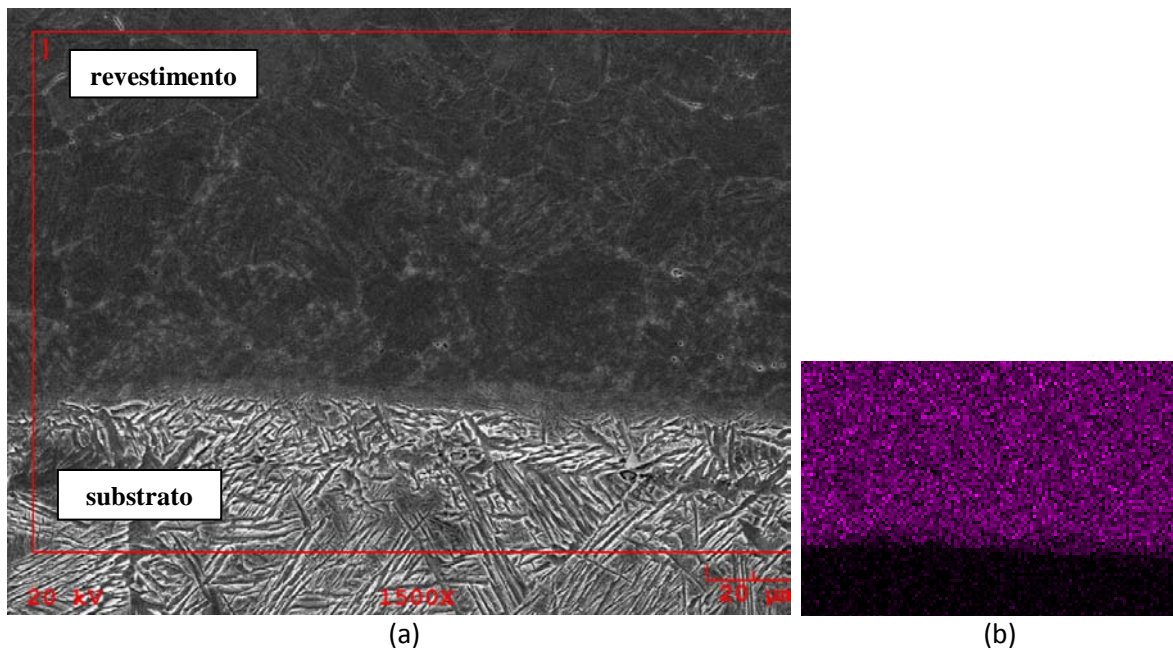


Figura 4 - (a) Figura mostrando a baixa difusão do revestimento no substrato e as agulhas de martensita e/ou bainita. (b). Mapa de composição MEV, evidenciando a existência de camada de revestimento através do Cr.

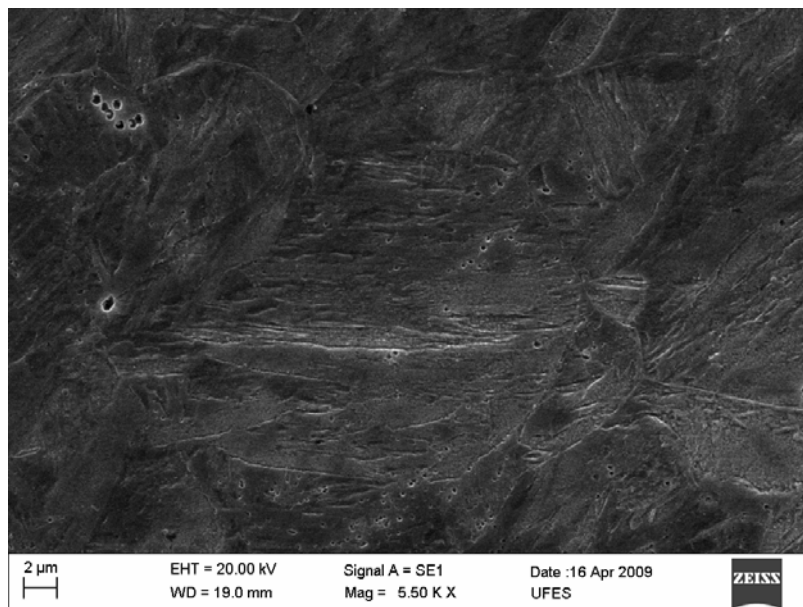


Figura 5 – Microestrutura martensítica do revestimento depositado por atrito.

Efeito dos parâmetros do processo de deposição por atrito na espessura da camada

Para avaliar o efeito da velocidade de avanço do substrato, da rotação e da força aplicada ao pino no processo, foram realizadas medidas de espessura do recobrimento em microscópio óptico. Os valores apresentados nas Figuras 6, 7 e 8, correspondem a valores médios obtidos

em regiões mais centrais do recobrimento, entre 20 mm e 30 mm a partir do ponto onde o pino inicia o contato com a chapa de aço do substrato. Os valores mais elevados encontram-se na região de saída do pino, onde o contato é finalizado.

O efeito da velocidade de rotação é apresentado na Figura 6. Este resultado está de acordo com a literatura (1, 2, 3, 5 e 6), onde é afirmado que quanto maior a velocidade de rotação do pino menor será a espessura da camada depositada.

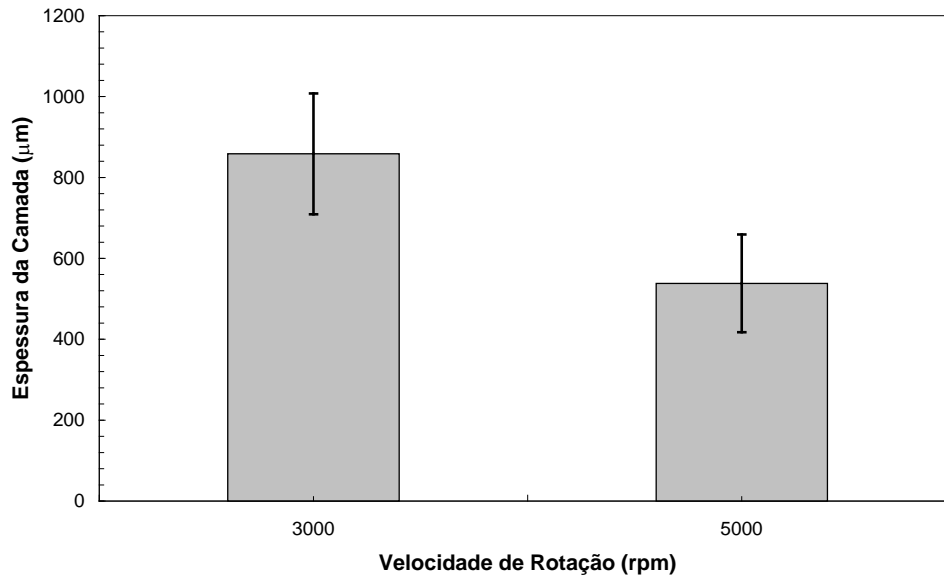


Figura 6 – Efeito da velocidade de rotação na espessura média dos recobrimentos depositados por atrito.

A Figura 7 mostra que um aumento da força sobre o pino provoca uma redução da espessura do revestimento, o que também está de acordo com a literatura (1, 2, 3 e 10), onde quanto maior for a força aplicada sobre o pino, proporcionalmente menor será a espessura do recobrimento.

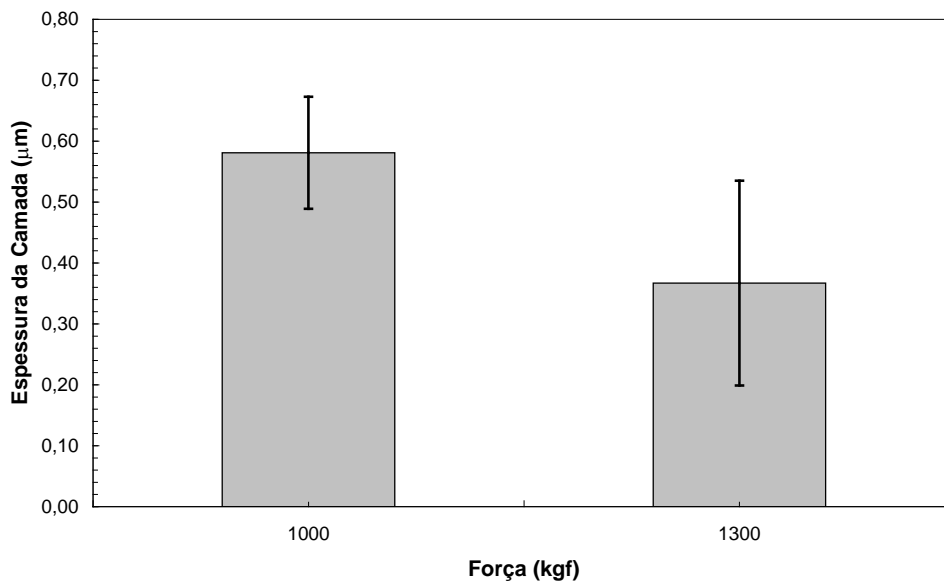


Figura 7 - Efeito da força na espessura média dos recobrimentos depositados por atrito.

Para mesma força e velocidade de rotação, a espessura deveria diminuir com o aumento da velocidade de avanço (1, 2, 3, 6, 10), isto não é observado na Figura 8. Provavelmente, as velocidades mais baixas não foram suficientes para que houvesse uma uniforme transferência de massa do pino para a superfície do metal base, devido à descontínua distribuição da plasticidade do metal. Para velocidades de avanço do substrato muito baixas ou muito altas, um revestimento regular não é obtido por uma impossibilidade de uma contínua distribuição da plasticidade do metal (3,25).

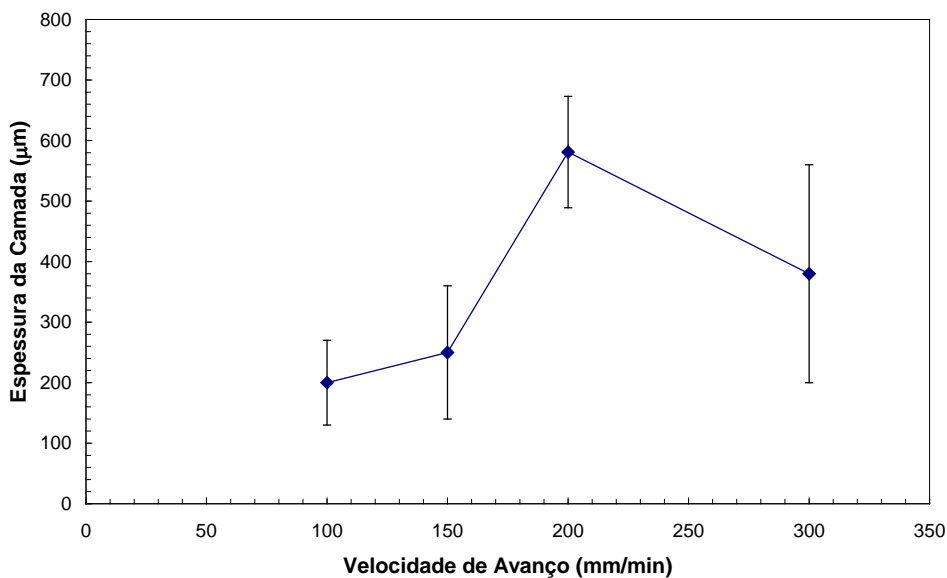


Figura 8 - Efeito da velocidade de avanço na espessura média dos recobrimentos depositados por atrito.

A posterior queda da espessura para um aumento da velocidade entre 200 mm/min e 300 mm/min (mesmo considerando o grande desvio), está de acordo com os resultados obtidos por outros autores (1, 2, 3 e 10). Devido a limitações do equipamento, não foi possível investigar velocidades de avanço maiores.

Microdureza

Os resultados da avaliação dos perfis de microdureza dos revestimentos produzidos com diferentes velocidades de deslocamento do substrato, rotação do pino e força aplicada sobre o mesmo foram comparados. Desta forma, todas as camadas de revestimentos apresentaram significativamente maior dureza, em média de 800 HV, comparadas às barras adquiridas do fornecedor (Tabela 4).

Tabela 4 – Média das durezas obtidas a camada de revestimento depositada.

Material	Dureza Média (Vickers)
Barra AISI 420	261 ± 6
Revestimento com avanço de 100 mm/min	791 ± 19
Revestimento com avanço de 200 mm/min	745 ± 68
Revestimento com avanço de 300 mm/min	790 ± 56

Com o teor de carbono analisado, a dureza do aço temperado seria de no máximo 515 Vickers, segundo diversas referências, porém os valores obtidos da ordem de 800 Vickers são muito maiores quando comparados com a dureza das barras de aço temperado citada acima, sendo assim verifica-se que outro mecanismo também está atuando. Isto sugere que a deformação da austenita durante o atrito tenha levado ao aumento do número de sítios para a nucleação da martensita e assim como resultado, causou o refino do tamanho das plaquetas segundo PORTER et al. (12). Deste modo, além do efeito do carbono em solução sólida, o refino da martensita e o encruamento explicam os valores de dureza elevados que foram medidos.

As barras de aço inoxidável AISI 420 utilizadas para o revestimento estavam em condição de têmpera e revenimento, com dureza média de (261 ± 6) HV. Durante o processo de revestimento, a superfície do material atinge temperaturas na faixa de 1100 °C a 1200 °C (1, 10, 20), que estão bem acima da temperatura de austenitização, perdendo assim, as condições iniciais de tratamento térmico (têmpera e revenimento) que o aço inoxidável martensítico estava submetido. Como as taxas de resfriamento são muito altas, o material é temperado, formando martensita, proporcionando uma microestrutura fina e sem precipitados de cromo (ou poucos), em comparação ao mesmo material revenido (1).

Em todas as velocidades de avanço, a dureza média da camada revestida apresentou valores parecidos, apresentando alguns picos de maior dureza na superfície acima da interface.

Como já citado na literatura, os parâmetros de processamento por atrito exercem grandes influências em outros aspectos da camada de revestimento: a velocidade de rotação do pino é o principal controlador da largura do revestimento enquanto a força aplicada controla a ligação entre revestimento e substrato (5,6,7).

Ensaio Puramente Erosivo

A Figura 9 apresenta a taxa de desgaste (g/g) com o tempo, determinada pela divisão da perda de massa da amostra pela quantidade de partículas que a erodiram em um mesmo intervalo de tempo (dissertação marcela). Novamente, observa-se que a taxa de desgaste instantânea é menor para as das amostras revestidas. Esta diferença está ligada com a dureza muito maior do revestimento (em média 800 HV). A taxa média de desgaste apresenta certa dispersão como mostrado na Figura 9. No entanto, estatisticamente, existe uma diferença significativa na taxa média de desgaste entre a microestrutura de martensita revenida característica do material do pino e microestrutura martensítica após deposição, obtida pelo processo de depósito por atrito. A taxa média de desgaste foi calculada pela inclinação das retas de perda de massa acumulada com o tempo (13).

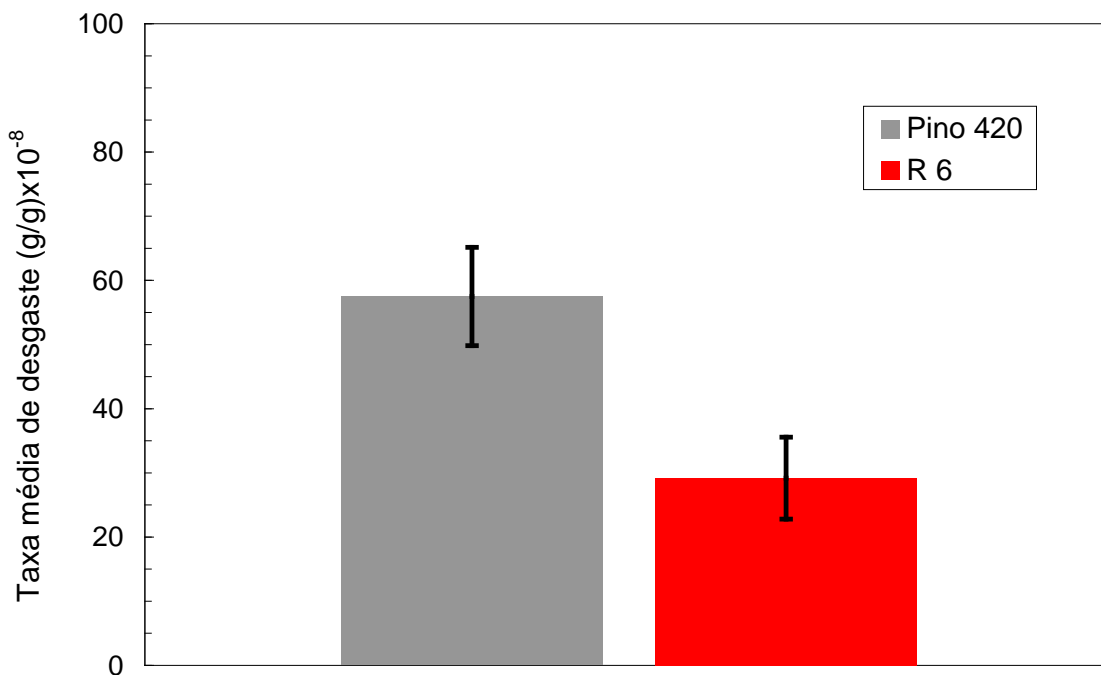


Figura 9 - Taxa média de desgaste do aço inoxidável AISI 420 (pino 420) e revestimento 6 (R6), ensaio de erosão com velocidade média de impacto de 7,0 m/s, concentração média de areia 6,0 % (massa) e ângulo de incidência de 90°.

Ensaio de Corrosão em Água do Mar Sintética (Condição Estática)

A Figura 10 apresenta as curvas de polarização potenciodâmica das amostras com revestimentos R6, R7, Metal base e Pino 420. Pode ser observado que o metal base apresenta um potencial de corrosão bem abaixo dos valores encontrados para as amostras revestidas. Como esperado, o metal base apresenta contínua dissolução anódica.

Ambos os revestimentos apresentam região de passivação. Já, a amostra de aço inoxidável AISI 420 temperado e revenido (Pino 420) apresentou um menor intervalo de potencial na região passiva. As amostras revestidas apresentaram menores densidades de corrente na região de passivação comparadas à amostra de aço inoxidável AISI 420 temperado e revenido (Pino 420). A amostra R7 apresentou maior densidade de corrente na região passiva comparada à amostra R6.

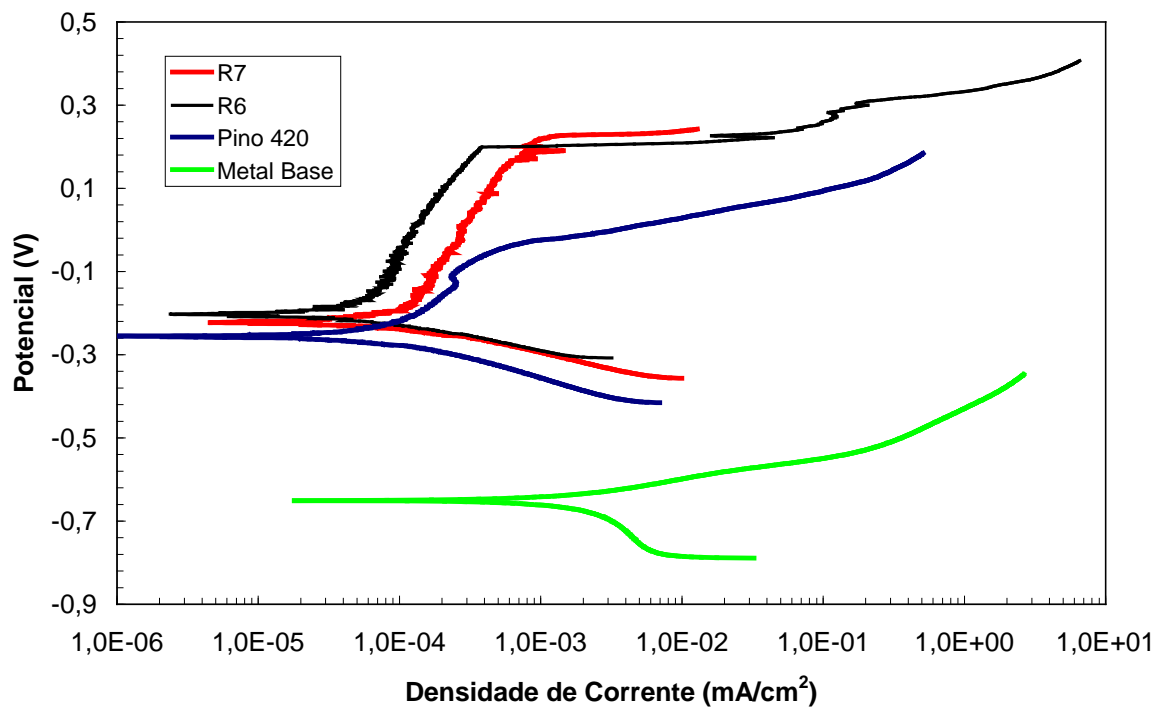


Figura 10 – Comparação entre as amostras dos revestimentos R6 e R7, metal base e amostra de Pino 420. Ensaio de corrosão em água do mar sintética (condição estática).

A Tabela 5 resume o potencial de corrosão e o potencial de pites, obtidos nos experimentos de água do mar sintética sem movimentação do fluido, condição estática. As amostras apresentaram potencial de pite aproximadamente numa mesma faixa de potencial, sendo ligeiramente maior na amostra do revestimento R7. Como esperado, nas amostras de metal base, o potencial de corrosão (-0,64 V, ECS) é mais negativo que o do aço inoxidável, tanto do pino quanto do revestimento.

Tabela 5 – Parâmetros eletroquímicos para o Pino 420, R6, R7 e metal base

Amostra	E _{corr} (V, ECS)	E _{pite} (V, ECS)
Pino 420 1	- 0,32 V (± 0,06)	- 0,1 V
R6	- 0,20 V	0,20 V
R7	- 0,22 V	0,22 V
Metal base	- 0,64 V	-

Os resultados aqui apresentados mostram que quando o revestimento está íntegro, o processo de deposição produziu uma boa resistência à corrosão, melhor que a medida para o aço inoxidável AISI 420, temperado e revenido nas condições do fornecedor. Isto é devido à microestrutura mais refinada e sem carbonetos precipitados (ou poucos) gerada no processo de deposição por atrito em comparação com a martensita revenida e carbonetos do material da barra de aço inoxidável AISI 420, como citado por (2).

De acordo com LÓPEZ et al. (9), ao realizar ensaios de polarização anódica com uma taxa de 15 mV/min, partindo-se de um potencial de corrosão (E_{corr}) até um potencial E, as densidades de corrente começam a aumentar rapidamente sobre uma estreita faixa de potencial. Este

comportamento normalmente indica que houve perda na proteção da superfície contra a corrosão, através da formação de pites na superfície da amostra, este aumento na densidade de corrente favorece a quebra do filme passivo sobre toda a superfície.

A velocidade de varredura, de 1,0 mV/s, adotada no presente trabalho, foi bem abaixo da citada no trabalho de López et al. (9), contudo, ainda assim ocorreu formação de pites na superfície da amostra, esse tipo de corrosão localizada em pequenas áreas, pode ser verificado nas amostras R6 e R7, quando submetidas aos ensaios de corrosão estática, mostrados na Figura 11.

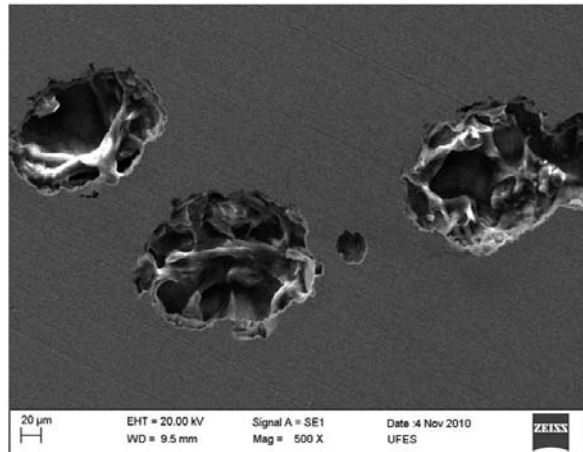


Figura 11 – Pites na superfície dos revestimentos R6 e R7 testados sob condição de corrosão estática.

Ensaio Jato de Impingimento

A Figura 12 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmicas que comprovam o fato que o R6 foi o que apresentou melhor integridade no revestimento. Duas curvas de amostras do revestimento R6 mostram boa reprodutibilidade. O R6 apresentou potencial de corrosão igual a -0,36 V (ECS) e, potencial de corrosão do revestimento R7 foi -0,4 V (ECS), ou seja, apresentaram potenciais de corrosão com valores muito próximos. Sendo assim, quando as curvas de polarização são comparadas às amostras R4 e R7, verifica-se que as amostras R6 apresentam um potencial menos eletronegativo, além de apresentarem claramente uma região de passivação. Os revestimentos R4 e R7 não apresentaram região de passivação nestes ensaios, possivelmente a menor espessura obtida nestas duas condições de deposição e este comportamento ativo indica que a camada deve ter sido removida em parte ou em sua totalidade. A Figura 12 comprova o fato de que o R6 foi o que apresentou melhor integridade no revestimento.

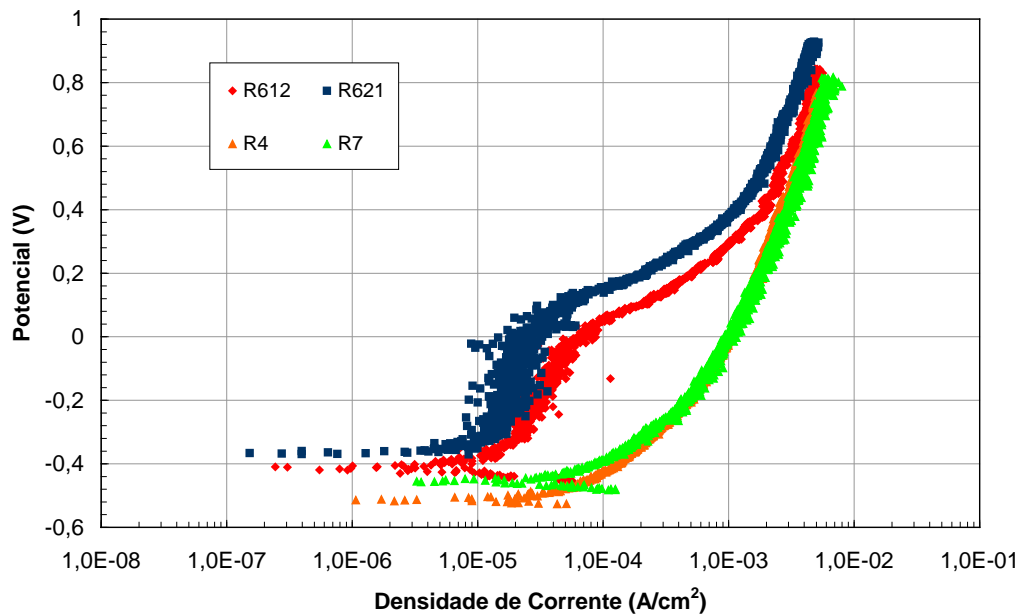


Figura 12 – Curvas de polarização potenciodinâmicas, obtidas em amostras de revestimentos (R4, R7, R612 e R621) sob condição de jato corrosivo, velocidade média de impacto de 7,0 m/s, concentração média de areia de 6,0 % em massa e ângulo de incidência de 90°.

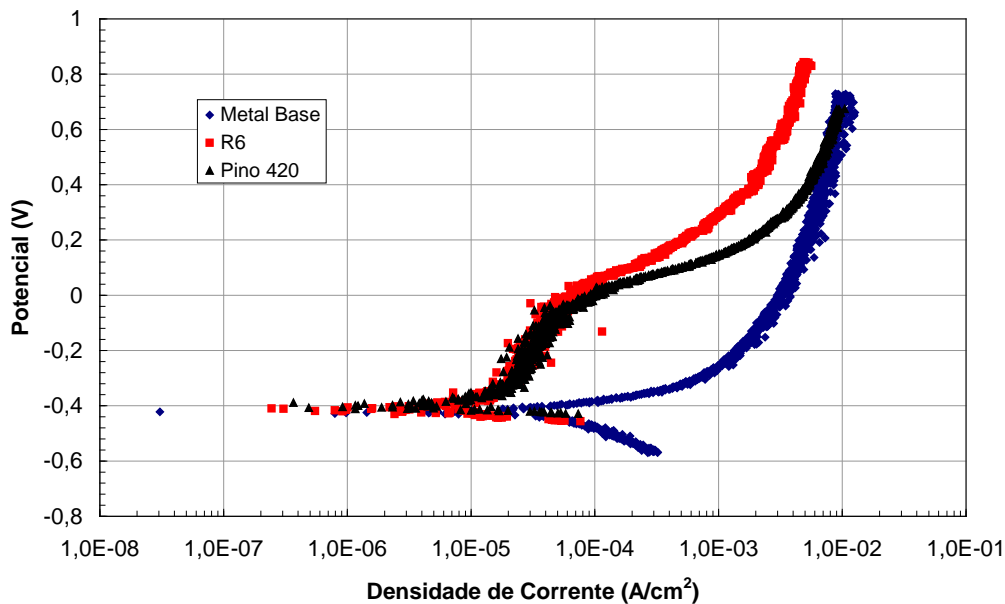


Figura 13 – Curvas de polarização potenciodinâmicas, obtidas em amostras a velocidades de metal base, R6 e PINO 420 sob condição de jato corrosivo a velocidade média de impacto de 7,0 m/s, concentração média de areia 6,0 % (massa) e ângulo de incidência de 90°.

A Figura 13 estabelece comparações do R6 com as amostras de metal base e Pino 420. A amostra R6 ainda que sob influência do escoamento do fluido, continuou apresentando bom desempenho à corrosão, seu potencial de corrosão está aproximadamente numa mesma faixa de potencial, cerca -0,4 V (ECS), que o Pino 420 e Metal base, porém o revestimento R6 apresentou menor de densidade de corrente.

Conclusões

O processo de deposição por atrito produziu uma microestrutura martensítica mais refinada no revestimento de aço AISI 420.

De acordo com a análise do percentual de carbono do aço inoxidável AISI 420, a dureza do aço temperado deveria ser de no máximo 515 HV, porém os revestimentos apresentaram valores bem maiores da ordem de 800 HV. Deste modo, além do efeito do carbono em solução sólida, o refino da martensita e o encruamento explicam os valores de dureza elevados que foram medidos.

A dureza maior do revestimento gerou uma menor taxa de desgaste do revestimento comparando com o material antes da deposição.

Em relação à corrosão, a amostra de aço inoxidável AISI 420 (chamada Pino 420) apresentou potencial abaixo do potencial das amostras de revestimento. As amostras revestidas apresentaram menores densidades de corrente comparado ao Pino de aço inoxidável AISI 420, e ainda regiões de passivação num menor intervalo de densidade de corrente. Os resultados obtidos mostraram que, quando o revestimento está íntegro, o processo de deposição produziu uma boa resistência à corrosão. Isto se deve à microestrutura mais refinada e sem carbonetos precipitados (ou poucos) gerada no processo de deposição por atrito.

Os ensaios de jato impingimento mostraram desempenho semelhante entre o revestimento de aço inoxidável e o material antes da deposição, indicando que o escoamento ao facilitar a chegada de oxigênio à superfície das amostras ensaiadas controla a passivação.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CAPES, mais especificamente ao programa PROCAD. Este trabalho foi desenvolvido dentro do projeto PROTRIBO oriundo dos Programas Especiais da CAPES (PROCAD).

Referências bibliográficas

- (1) RAFI, H. K.; RAM, G.D.J.; PHANIKUMAR, G.; RAO, K. P. Microstructural evolution during friction surfacing of tool steel H13. **Materials and Design**, 32, p. 82-87, Junho 2010.
- (2) RAFI, H. K.; RAM, G.D.J.; PHANIKUMAR, G.; RAO, K. P. Friction surfaced tool steel (H13) coatings on low carbon steel: A study on the effects of process parameters on coating characteristics and integrity. **Surface & Coatings Technology**, 205, p. 232-242, Junho 2010.
- (3) RAFI, H. K.; RAM, G.D.J.; PHANIKUMAR, G. and RAO, K. P. Friction Surfacing of Austenitic Stainless Steel on Low Carbon Steel: Studies on the Effects of Traverse Speed. **Proceedings of the World Congress on Engineering**, Vol. II, Julho 2010, London, U.K.
- (4) CSELLE, T.; BARIMANI, A. **Surface and Coatings Technology** 76, 1995, p. 712.

-
- (5) VITANOV, V.I.; VOUTCHKOV, I.I.; BEDFORD, G.M. Decision support system to optimise the Frictec (friction surfacing) process. **Journal of Materials Processing Technology**, 107, p. 236-242, 2000.
 - (6) VOUTCHKOV, I.; JAWORSKI, B.; VITANOV, V.I.; BEDFORD, G.M. An integrated approach to friction surfacing process optimization. **Journal of Materials Processing Technology**, 141, p. 26-33, Março 2001.
 - (7) VITANOV, V.I.; VOUTCHKOV, I. Process parameters selection for friction surfacing applications using intelligent decision support. **Journal of Materials Processing Technology**, 159, p. 27-32, 2005.
 - (8) SILVA, F. J., 2008. Erosão, corrosão, erosão-corrosão e cavitação do aço ABNT 8550 nitretado a plasma. (Tese de Doutorado). **Universidade Federal de Uberlândia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Uberlândia, MG. Brasil, 241 p.**
 - (9) LÓPEZ, D.; FALLEIROS, N. A.; TSCHIPTSCHIN, A. P. **Corrosion-Erosion behaviour of austenitic and martensitic high nitrogen stainless steels.** *Wear*, 263, p. 347-354, 2007.
 - (10) **ASTM G5-94**, “Standard reference test method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurements”. **Designation G5 - 94. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia. v.03.02, 1994.**
 - (11) **ASTM D 1141-98**, “Standard practice for the preparation of substitute ocean water”, **ASTM American Society for Testing and Materials.**
 - (12) **PORTER, D.A.; EASTERLING, K.E., 1992.** “Phase Transformations in Metals and Alloys.” **Chapman-Hall, 2ª edição, 227 p.**
 - (13) Ferreira, M. G.; **Caracterização Mecano Tribológica e Comportamento em Corrosão de Revestimentos Depositados por Atrito.** 2010. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2010.