

5

Resultados e discussões

Os resultados obtidos estão apresentados em cinco tópicos, a quantificação e detecção das BRS, análises químicas, avaliação por MEV e EDS, cálculo de rugosidade e avaliação de pites.

5.1

Quantificação e detecção das BRS

Os resultados obtidos na contagem de bactérias planctônicas, realizadas pela técnica do número mais provável, estão registrados na tabela 10.

O valor de BRS no tempo zero, $7,5 \times 10^5$ NMP/mL, garante que os quatro testes foram realizados com um número expressivo de células microbianas. Este tamanho de inóculo garantiu um número de células viáveis capazes de se reproduzir nas condições de temperatura, pH e teor de oxigênio iniciais do ensaio. Ao longo do tempo de ensaio, foi constatado que a quantidade de espécies presentes manteve-se em número elevado, inclusive superior ao tamanho do inóculo inicial. A avaliação qualitativa da atividade também se manteve alta nos três momentos do ensaio.

Os números apresentados representam uma média dos valores obtidos nos ensaios de teste.

Tabela 10 – contagem de bactérias planctônicas no fluido de processo.

Tempo de ensaio, dias	Resultado, NMP/ml	Atividade bacteriana
zero	$7,5 \times 10^5$	alta
15	$1,6 \times 10^7$	alta
35	$4,5 \times 10^6$	alta

Além da quantificação das BRS no fluido de teste, foi realizada a avaliação quantitativa de bactérias aderidas ao substrato metálico. Os resultados estão registrados na tabela 11.

Os números mostram uma diferença na contagem, em função do tratamento superficial e do tempo de ensaio, de cada uma das ligas. A adesão bacteriana teve pequena variação para a liga austenítica 316 e nenhuma variação para a liga superduplex S32750.

No caso dos cupons polidos com graus 6 μm e 1 μm houve uma redução na quantidade de bactérias aderidas em função do tempo de ensaio. Comparando-se os diferentes acabamentos superficiais, foi observado uma redução mais acentuada no número de bactérias viáveis nos cupons polidos ao grau 1 μm em relação aos polidos com grau 6 μm . Ou seja, a adesão à superfície mais polida foi aparentemente comprometida em função do tempo. Este comportamento foi semelhante nas duas ligas.

A velocidade de escoamento, no valor de 0,36 m/s, também pode ter contribuído na formação de um biofilme menos estável. Santos et al (1991), observou a formação de biofilme de estabilidade reduzida em velocidades de até 0,5 m/s, sugerindo a formação de biofilme menos robusto. Os biofilmes robustos estarão sujeitos a ação de tensões de cisalhamento em fluxo turbulento, após período de crescimento, que ocasionaram o descolamento do biofilme.

Geralmente, estudos passados demonstram que a velocidade de escoamento é um fator crítico na formação de biofilmes. Velocidades reduzidas sugerem uma facilidade na adesão de células, porém ao mesmo tempo, limitam a taxa de crescimento em função da redução do transporte de massa de nutrientes às células aderidas ao substrato. Resultados mostram viabilidade reduzida de crescimento a velocidades de 0,32 m/s (Feron, D., 1994).

Adicionalmente, foi observado por Feron (1994), que os elementos de liga (cromo, níquel, molibdênio) adicionados aos aços afetam o crescimento das bactérias, a adesão bacteriana e o desenvolvimento do biofilme.

Entre os elementos que apresentam concentrações em massa diferentes entre as ligas AISI 316 e S32750, destacamos o níquel e o cromo.

Segundo Lopes et al (2005) a concentração de níquel favorece a adesão bacteriana. De acordo com resultados obtidos o efeito do níquel no crescimento das BRS é função da liberação de pequena quantidade proveniente da superfície metálica. Assim, a maior presença de níquel na liga AISI 316 em relação à S32750, favorece a adesão das BRS naquelas ligas a estas. Tal evolução confirma-se quando a liga é submetida a maior polimento superficial, provavelmente pelas características do óxido formado e a maior exposição do cupom em relação à direção de escoamento. A disponibilidade de níquel em superfícies metálicas é importante fator na adesão inicial das BRS segundo Lopes et al (2005). Segundo este autor o mecanismo de adesão das BRS se dá através de mecanismo quimiotático ou por interações celulares, provavelmente superiores na interface metal-líquido no caso da liga 316 em relação à liga S32750.

Outro elemento que apresenta significativa diferença de composição nas ligas AISI 316 e S32750 é o cromo. Segundo Junior, W.B.C. (2004) o aumento do teor de cromo nas ligas desfavorece a adesão e o crescimento de BRS. O cromo é conhecido por ser tóxico às bactérias (Fang, H.H.P.; Xu, L.; Chan, K., 2000). A maior concentração de cromo na liga superduplex, contribui desfavoravelmente a adesão bacteriana, comprovada no cupom com grau de polimento a 1 μm .

Ainda há talvez uma modesta influência do molibdênio como agente negativo ao desenvolvimento bacteriano. Segundo Percival, S.L. (1999), há a possibilidade de

íons molibdênio, presentes nos filmes passivos de aços inoxidáveis, serem removidos em concentrações suficientes para reduzir a viabilidade de crescimento. No caso, as ligas de superduplex apresentariam um efeito negativo superior às ligas de 316, em função da maior concentração de molibdênio na liga S32750.

Tabela 11 – contagem de bactérias sésseis nos cupons de teste.

Tratamento superficial	Tempo de ensaio, dias	Resultado, NMP/cm ²		Atividade bacteriana	
		AISI 316	S 32750	AISI 316	S32750
Cupom jateado	15	$8,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$	alta	alta
	35	$2,5 \times 10^4$	$2,0 \times 10^7$	alta	alta
Cupom polido 6 μm	15	$4,5 \times 10^6$	$6,3 \times 10^6$	alta	alta
	35	$2,5 \times 10^4$	$2,4 \times 10^4$	...	baixa
Cupom polido 1 μm	15	$1,4 \times 10^7$	$6,3 \times 10^6$	alta	alta
	35	$2,5 \times 10^3$	$1,8 \times 10^2$	...	...

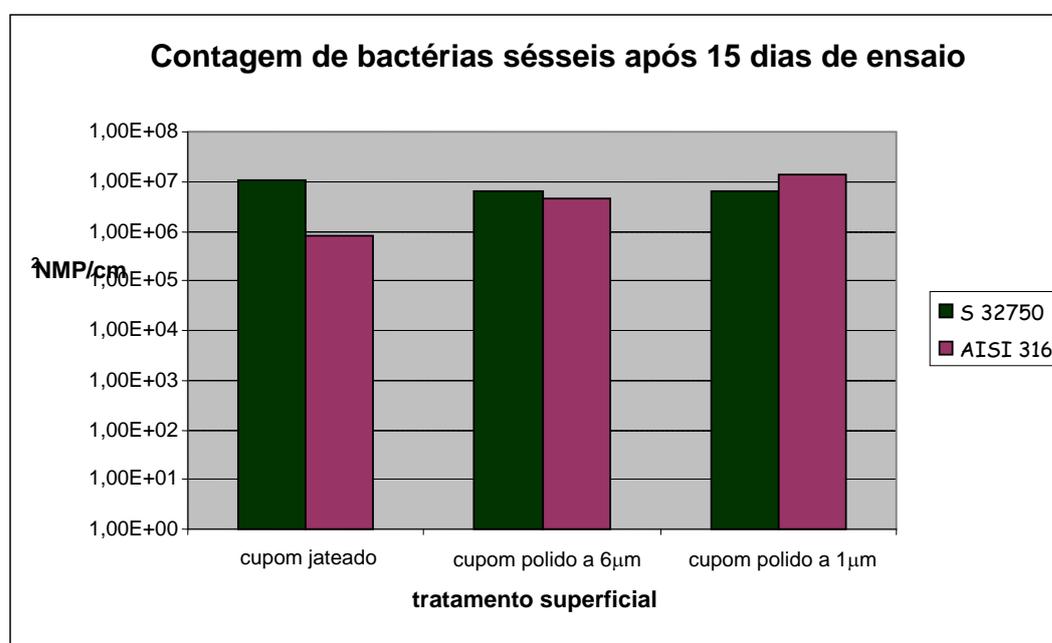


Figura 15– contagem de bactérias sésseis nos cupons de teste após 15 dias de exposição e 28 dias de incubação.

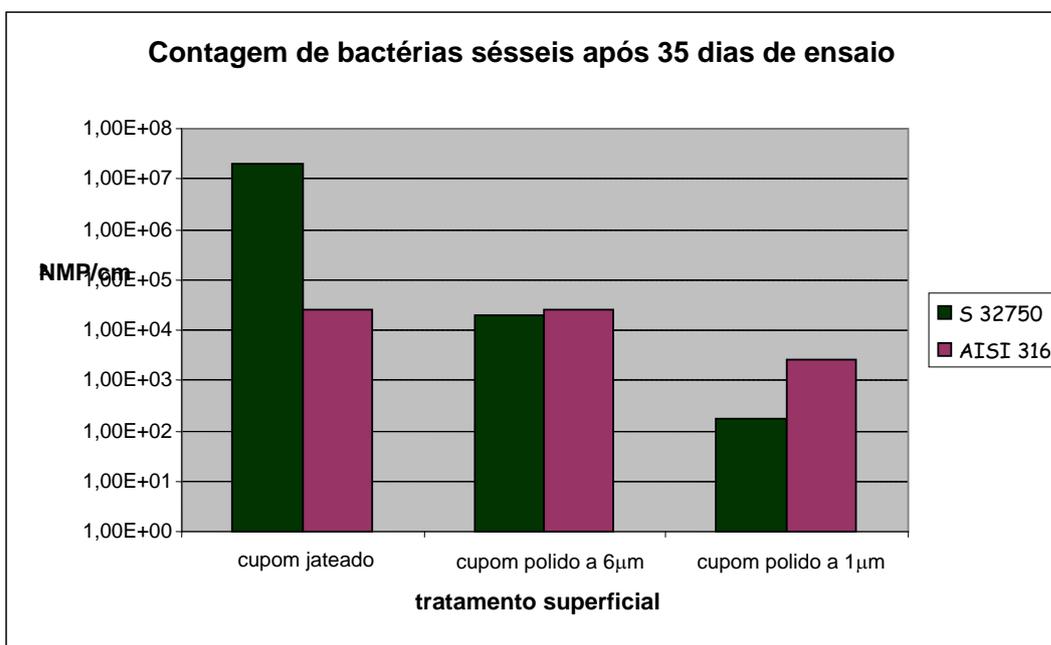


Figura 16– contagem de bactérias sésseis nos cupons de teste após 35 dias de exposição e 28 dias de incubação.

5.2

Análises Químicas

Durante o andamento dos ensaios foram avaliados os nutrientes disponíveis, a concentração de sulfato e a formação H_2S , dosado como sulfeto total.

A avaliação destes parâmetros garantiu a bioatividade das reações realizadas.

A principal fonte de carbono, o lactato, apresentou um valor médio inicial de 3781,0 mg/L, mostrou um rápido decréscimo, alcançando nos ensaios realizados, após 15 e 35 dias de teste, valores inferiores ao limite de detecção pelo ensaio de cromatografia de íons.

Acompanhando a redução do lactato, verificou-se o aumento da concentração de acetato que no ensaio realizado apresentou um valor inicial igual a 144,4 mg/L. Na análise realizada após 15 dias de teste, já foi observada uma concentração de 1831,2

mg/L. Tal valor mostra a conversão da fonte de carbono primária, lactato, em acetato. Porém, na análise realizada na amostra recolhida após 35 dias de teste, a concentração de acetato apresentou uma redução. Nesta etapa, o acetato torna-se a principal fonte de carbono, mas como apresenta uma cinética de reação mais lenta que a promovida pelo lactato, ainda é possível verificar uma concentração significativa de acetato ao fim do ensaio.

No caso do formiato, a dosagem verificou que se manteve abaixo dos limites de detecção da técnica de cromatografia de íons, não influenciando no crescimento bacteriano.

Já o sulfato apresentou um valor médio inicial de 2417,8 mg/L, equivalente à concentração de sulfato presente na água do mar. A análise de sulfato também foi realizada pela técnica de cromatografia de íons. A conversão de sulfato apresentada nos 15 dias iniciais de teste, equivale a uma redução de 64%. Entretanto, quando é avaliada a redução da concentração de sulfato aos 35 dias de teste, verificamos uma redução de 55% no teor de sulfato. Tal fato reflete a cinética mais lenta de crescimento das BRS em função da alteração da fonte de carbono da reação, de lactato para acetato.

Não é possível avaliar a cinética de conversão do íon sulfato com os dados obtidos nos testes. Porém, segundo Magalhães, F.C.M., a cinética do processo de redução do íon sulfato é crescente até concentrações próximas a 500 mg/L de sulfato. A partir deste ponto a taxa de redução de sulfato mantém-se constante, em valores ao redor de 5,5 mg/L.d (figura 17).

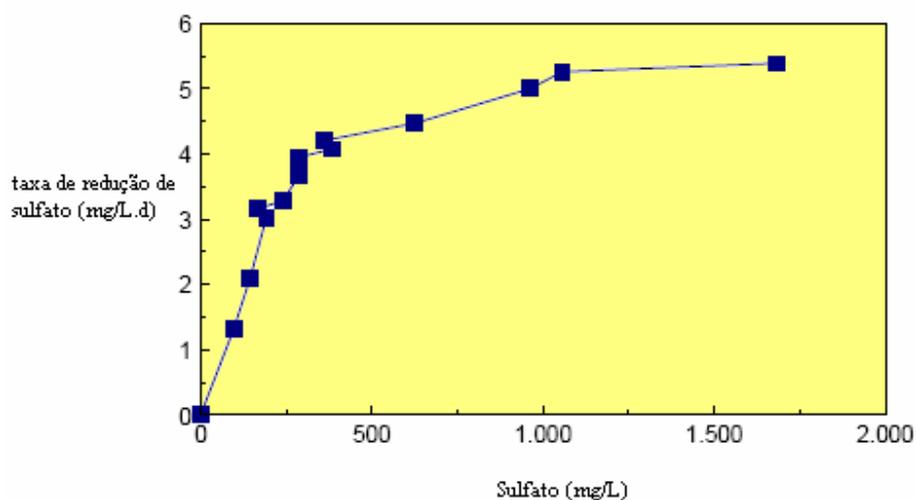


Figura 17– cinética de redução de sulfato pela BRS em sedimentos marinhos (adaptado de Berner, R., 1984)

A acumulação de sulfeto alcançou valores de 463,5 mg/L após 15 dias de ensaio a partir de valor inicial de 16,8 mg/L. Após 35 dias, foi obtido um valor de 585,0 mg/L, o que confirma a presença de sulfetos na fase líquida (tabela 12 e figura 18).

Tabela 12 – análises químicas realizadas no fluido de processo.

Tempo de ensaio, dias	Sulfeto, mg/L	Sulfato, mg/L.	Acetato, mg/L.	Formiato, mg/L.	Lactato, mg/L.
Zero	16,8	2417,8	144,4	< 0,1	3781,0
15	463,5	864,3	1831,2	< 0,1	< 0,5
35	585,0	386,0	1571,1	<0,1	<0,5

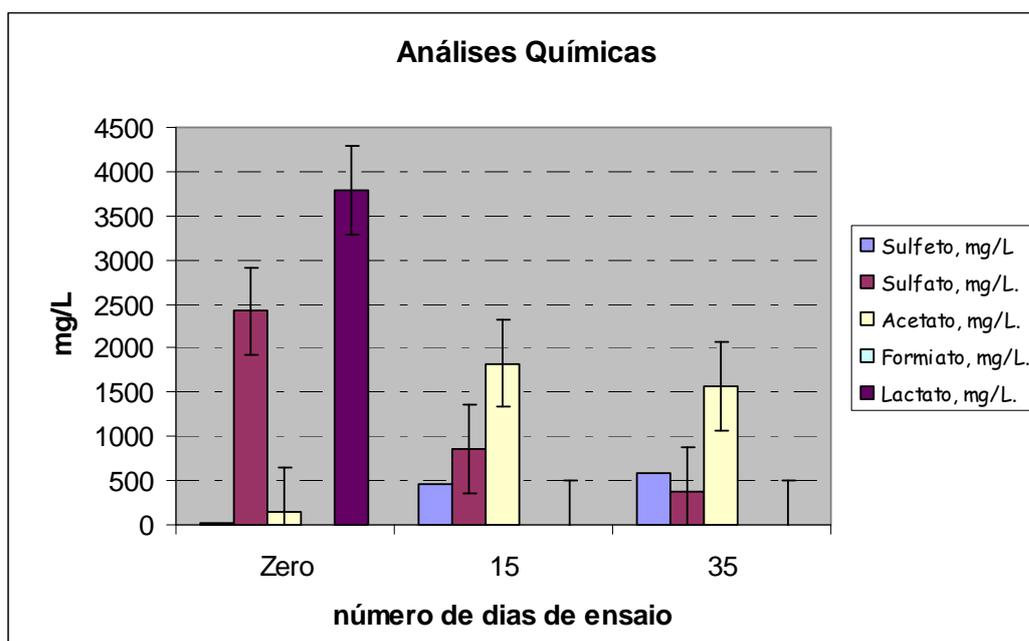


Figura 18– contagem de bactérias sésseis nos cupons de teste após 35 dias de exposição e 28 dias de incubação.

5.3

Avaliação de biofilmes por MEV e EDS

5.3.1

Cupons de aço inox. superduplex S32750 – 15 dias de exposição

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) é de fundamental importância na avaliação da presença de BRS, e a conseqüente formação de biofilmes.

As imagens obtidas confirmam a adesão, crescimento e formação de biofilme em substrato de aço inoxidável superduplex, independente do tratamento superficial a que foi submetida.

Após 15 dias de ensaio, foi observado nas imagens obtidas (figuras 19 a 23) nos cupons de teste jateados de S32750, a formação de biofilme. Este se apresentou

disperso, com características não uniformes e presença de matriz polimérica. A exposição de áreas do substrato confirmam a heterogeneidade do biofilme formado na superfície do cupom jateado. Os diferentes aumentos, representativos deste comportamento, estão nas figuras 19 a 22. Outra informação obtida nas imagens é a forma vibrião das BRS, característica destas bactérias.

Outro ensaio realizado nos cupons de teste foi o EDS (figura 23). O resultado deste ensaio mostra que no biofilme há presença de enxofre retido na superfície do cupom avaliado. A presença de enxofre remete a formação de H_2S , principal produto corrosivo da reação metabólica das BRS.

A irregularidade e heterogeneidade do biofilme, segundo Yuan, S.J. e Pehkonen S.O., (2007), são importantes fatores na iniciação de corrosão por pites, já que incrementam diferenças locais de metabólitos, pH ou oxigênio dissolvido, que podem promover células de corrosão eletroquímicas ativas. Ainda dentro das irregularidades do biofilme, a formação de agregados é devida, segundo Percival et al (1997) ao volume da matriz polimérica extracelular que apresenta um volume entre 75 e 95 %, fazendo com que as células, com volume entre 5 e 25%, fiquem concentradas nas regiões inferiores ou superiores do biofilme.

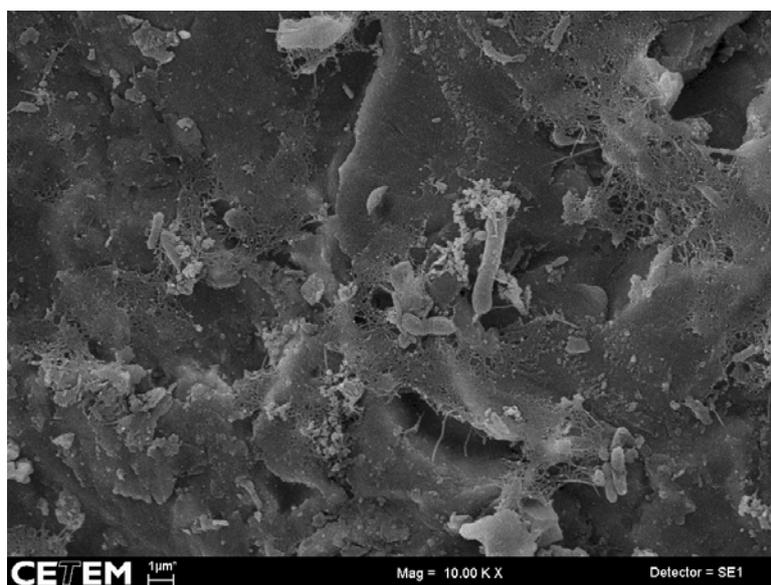


Figura 19 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 10000X.

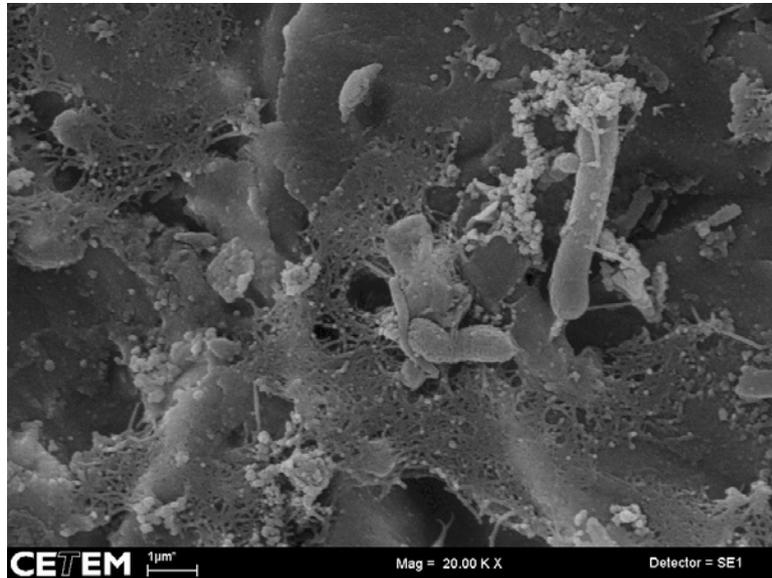


Figura 20 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 20000X.

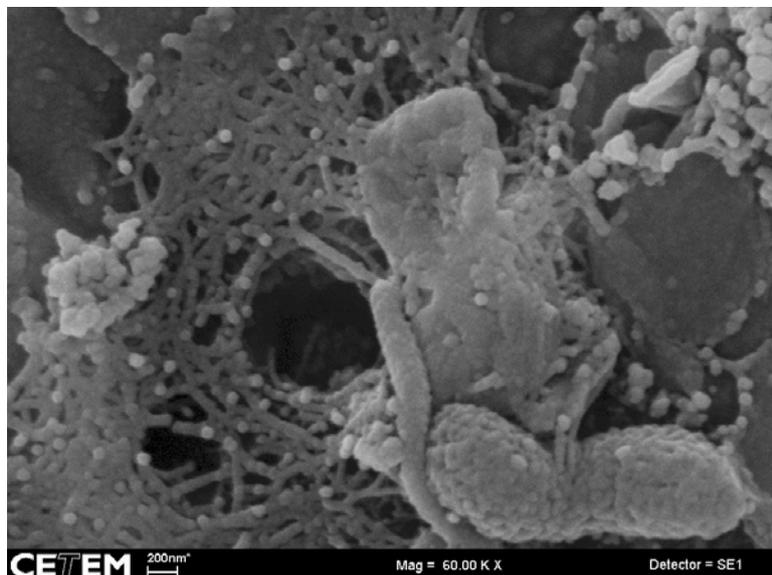


Figura 21 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 60000X.



Figura 22 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento de 100000X.

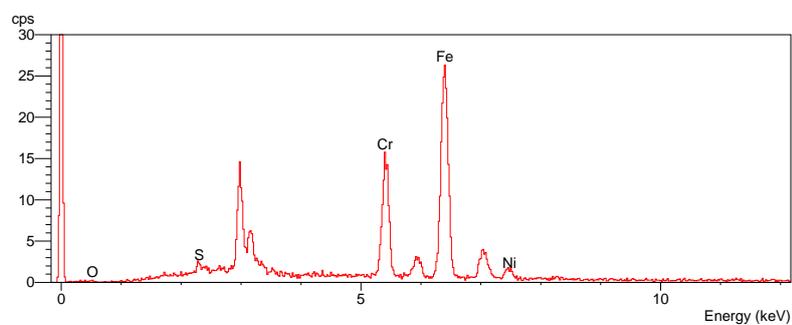


Figura 23 – análise por EDS de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio.

As imagens (figuras 24 a 28) obtidas nos cupons de teste de S32750, polidos com pasta de diamante com grãos de $6\mu\text{m}$, após 15 dias de teste, também comprovam a adesão e crescimento de BRS nas condições operacionais descritas anteriormente no item 5.1.

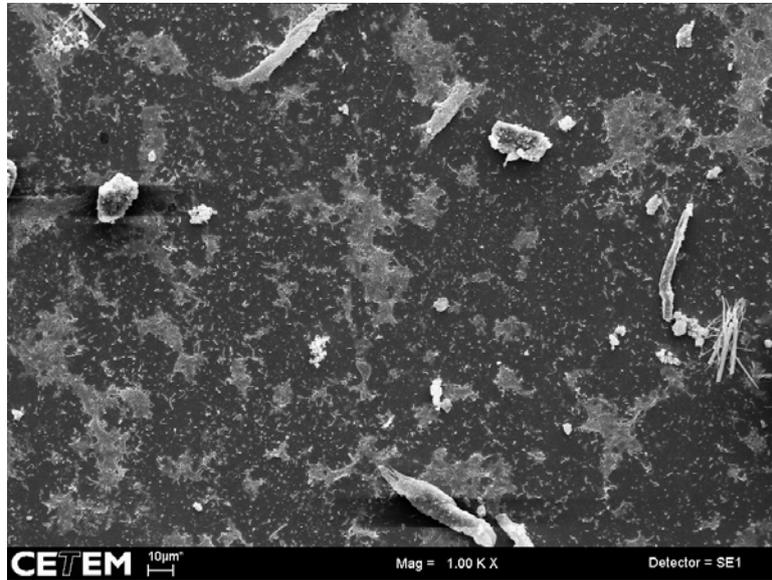


Figura 24 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 1000X. Polimento superficial de 6µm.

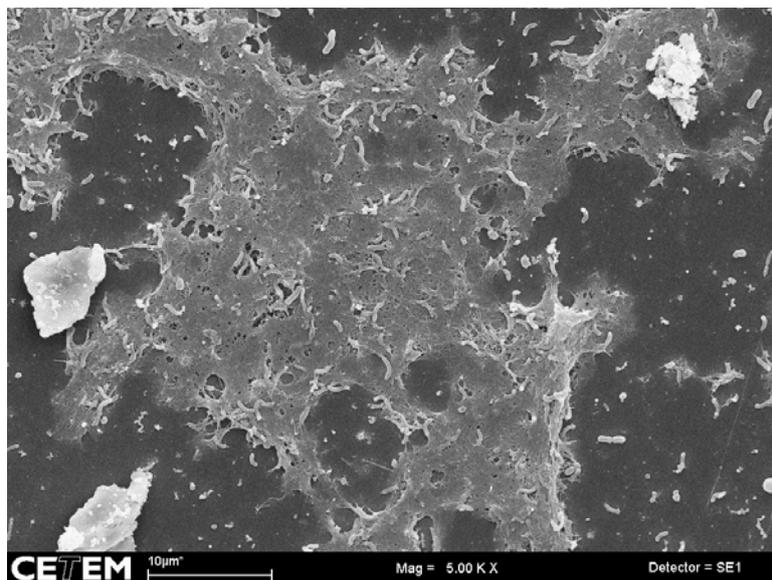


Figura 25 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 5000X. Polimento superficial de 6µm.

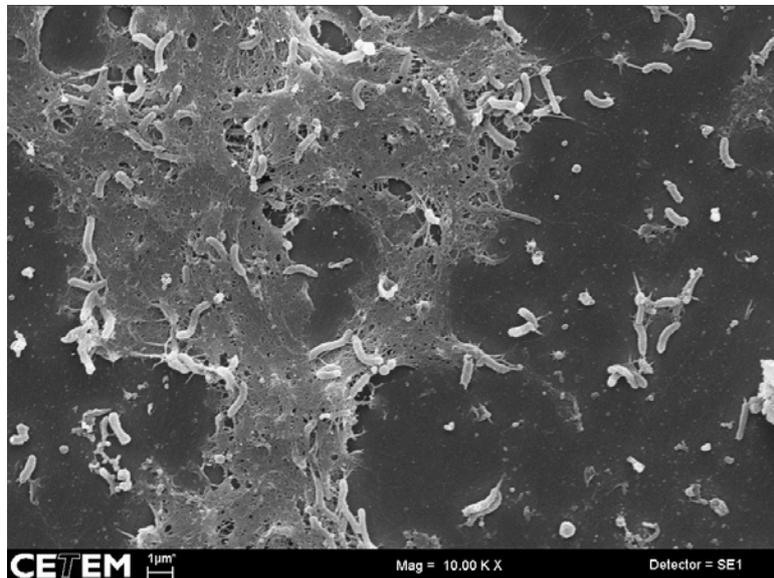


Figura 26 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 10000X. Polimento superficial de 6µm.



Figura 27 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 20000X. Polimento superficial de 6µm.



Figura 28 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 50000X. Polimento superficial de 6μm.

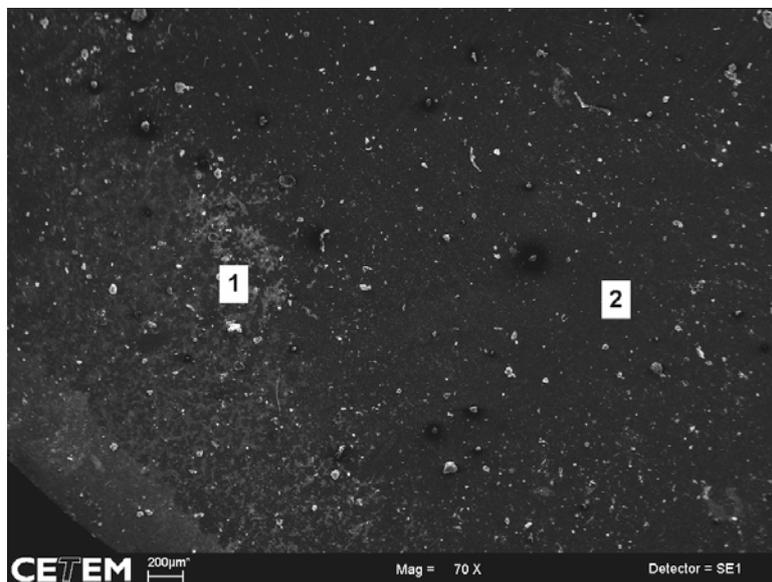


Figura 29 – pontos de 1 e 2 de análise por EDS indicados sobre a imagem do cupom de teste de S32750 submetido à polimento superficial de 6μm.

As figuras 30 a 31 são relativas ao ensaio de EDS. Em destaque a presença de enxofre nas regiões 1 e 2 assinaladas na figura 29.

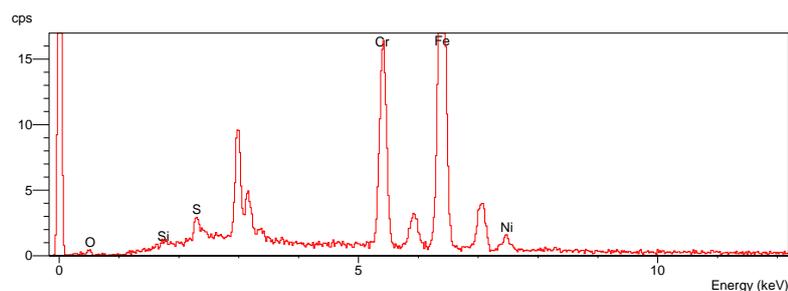


Figura 30 – EDS no ponto 1 da figura 32 do cupom de teste de S32750 submetido à polimento de 6 μm .

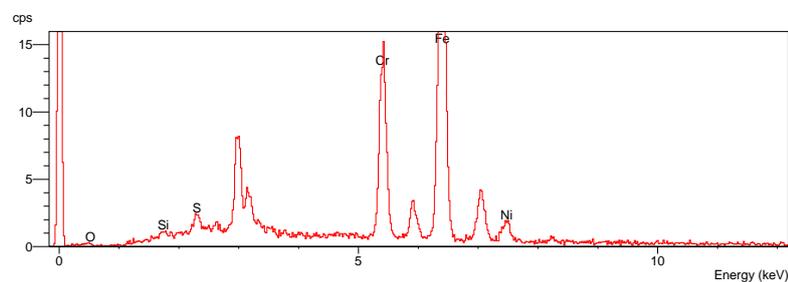


Figura 31 – EDS no ponto 2 da figura 32 do cupom de teste de S32750 submetido à polimento de 6 μm .

As imagens (figuras 32 a 45) obtidas dos cupons de teste de S32750, polidos com pasta de diamante com grãos de 1 μm , após 15 dias de teste, comprovam a adesão e crescimento de BRS nas condições operacionais descritas anteriormente no item 5.1. Observa-se a formação de um biofilme disperso mas consolidado e grande quantidade de material polimérico extracelular. A formação irregular da superfície

externa do biofilme remete a um processo de formação limitado pelo escoamento do fluido.

As figuras 46 a 48 são relativas ao ensaio de EDS. Na figura 46 estão assinalados os dois pontos do cupom de teste que foram objeto de análise. Apesar das diferenças visuais no biofilme formado nestas áreas, a análise detectou a presença de enxofre em ambos os pontos. A presença de enxofre, provavelmente como H_2S , é condição básica em processos biocorrosivos.

O desenvolvimento de biofilmes em aços inoxidáveis em sistemas aquosos em regime de fluxo permanente acumula íons metálicos, particularmente ferro e molibdênio. Estes afetam o crescimento de bactérias redutoras de sulfato sésseis. Além disso, o comportamento físico-químico de superfícies metálicas é alterado pela deposição de nutrientes, polissacarídeos, etc (Percival, S.L., 1999).

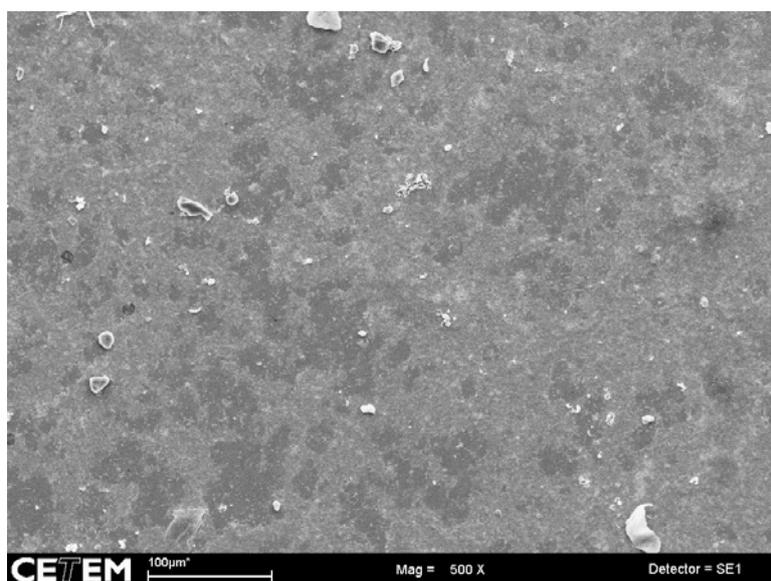


Figura 32 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 500X. Polimento superficial de $1\mu m$.

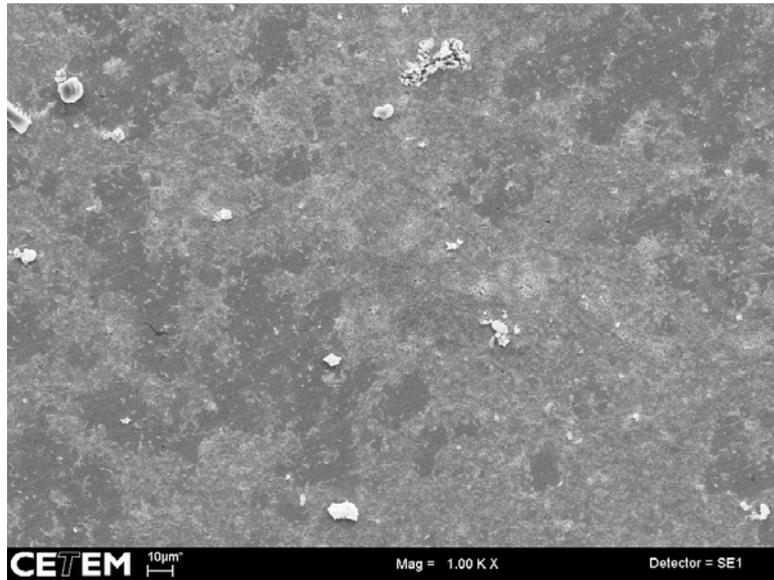


Figura 33 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 1000X. Polimento superficial de 1 μ m.

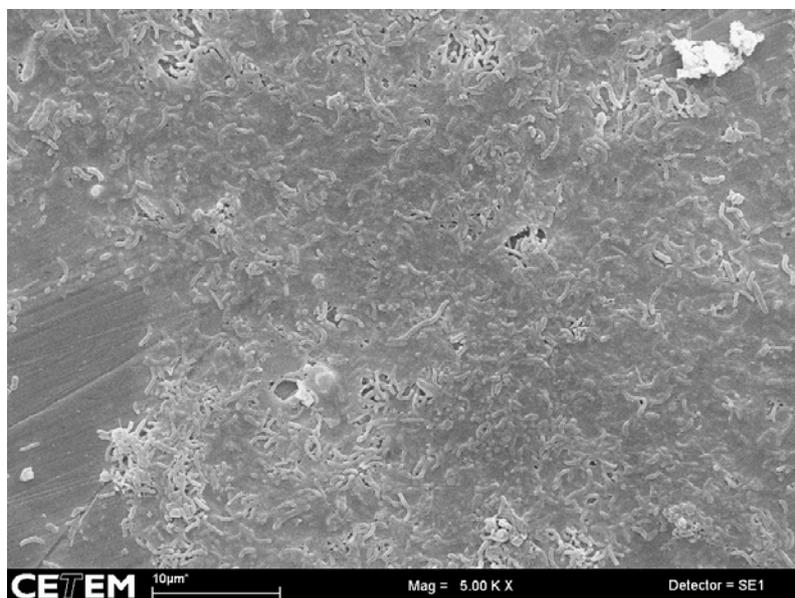


Figura 34 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 5000X. Polimento superficial de 1 μ m.

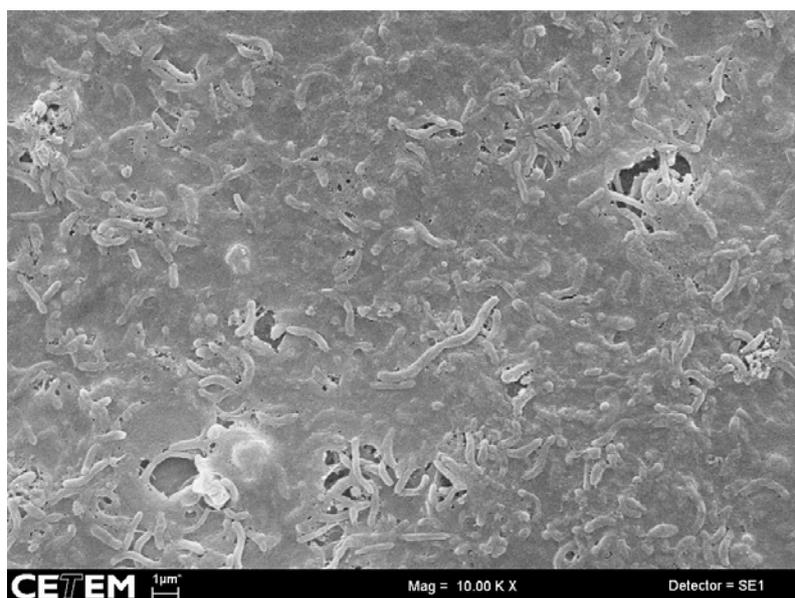


Figura 35 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 10000X. Polimento superficial de 1µm.



Figura 36 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 20000X. Polimento superficial de 1µm.



Figura 37 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 10000X. Polimento superficial de 1μm.



Figura 38 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 20000X. Polimento superficial de 1μm.

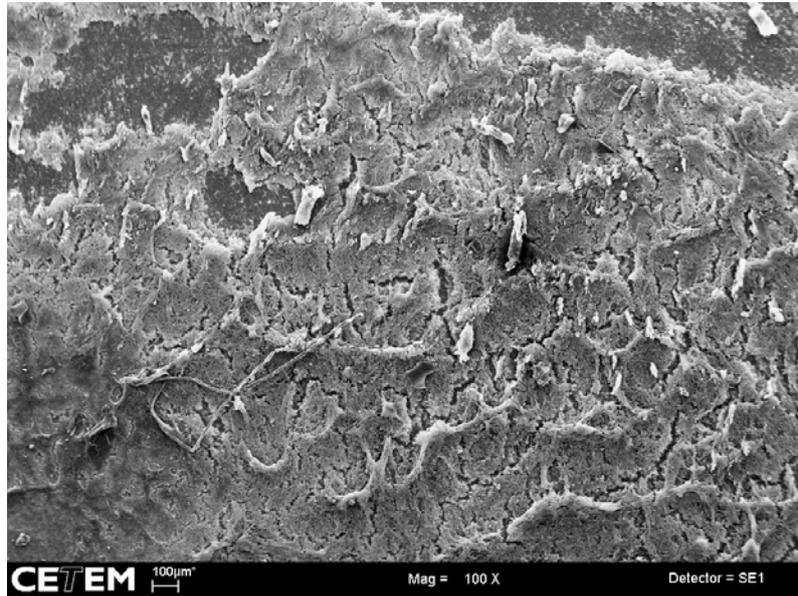


Figura 39 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 100X. Polimento superficial de 1µm.

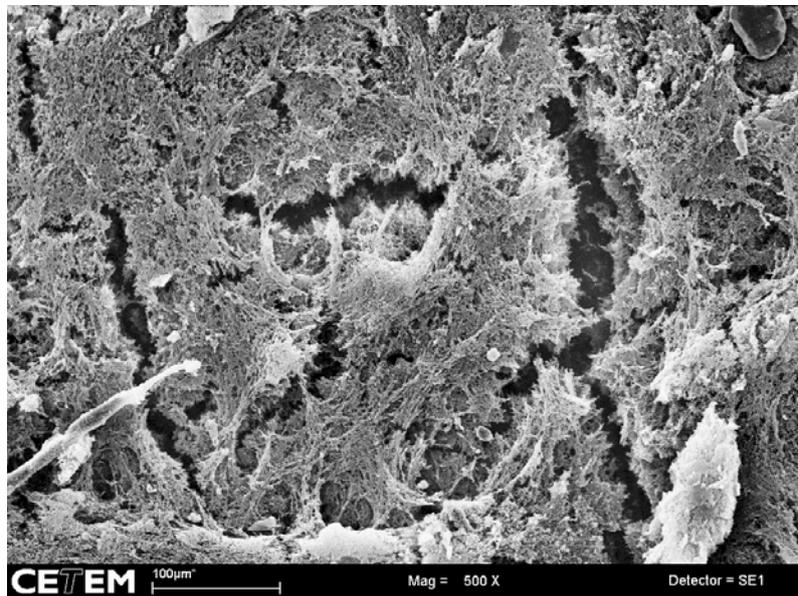


Figura 40 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 500X. Polimento superficial de 1µm.

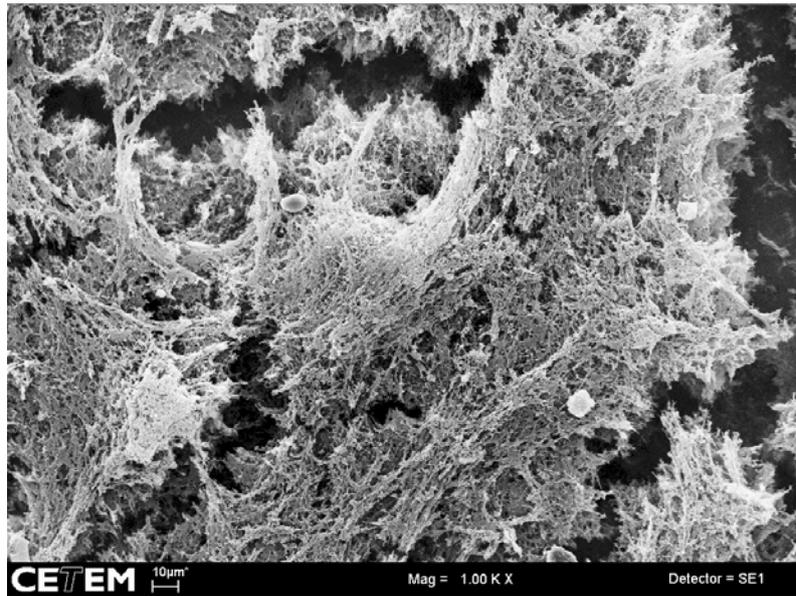


Figura 41 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 1000X. Polimento superficial de 1 μ m.

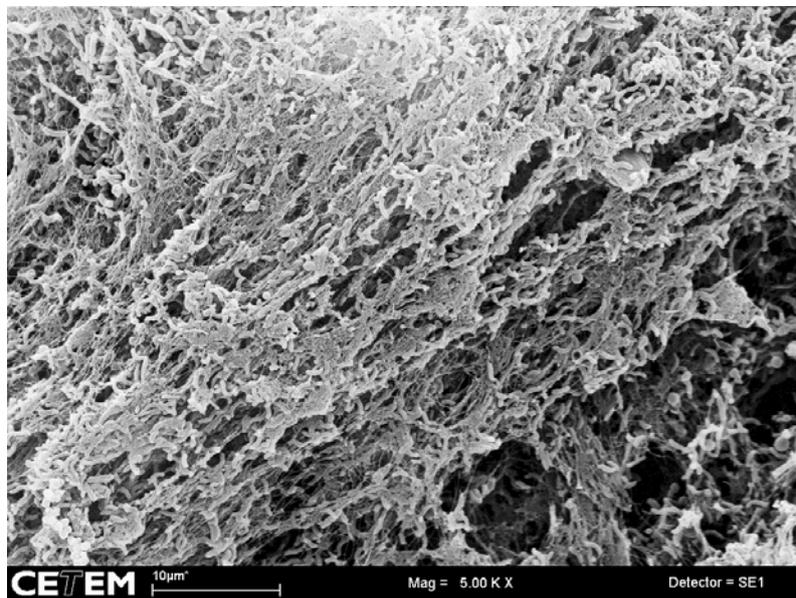


Figura 42 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 5000X. Polimento superficial de 1 μ m.

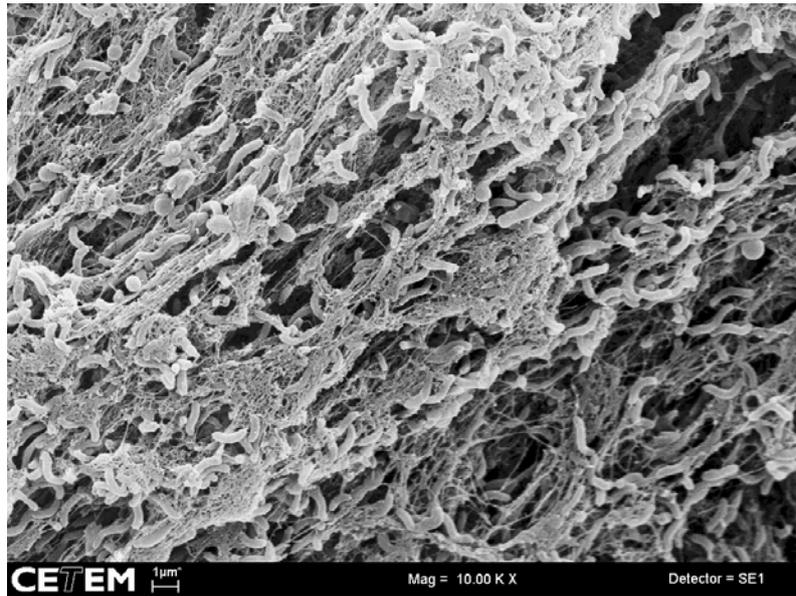


Figura 43 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 10000X. Polimento superficial de 1µm.

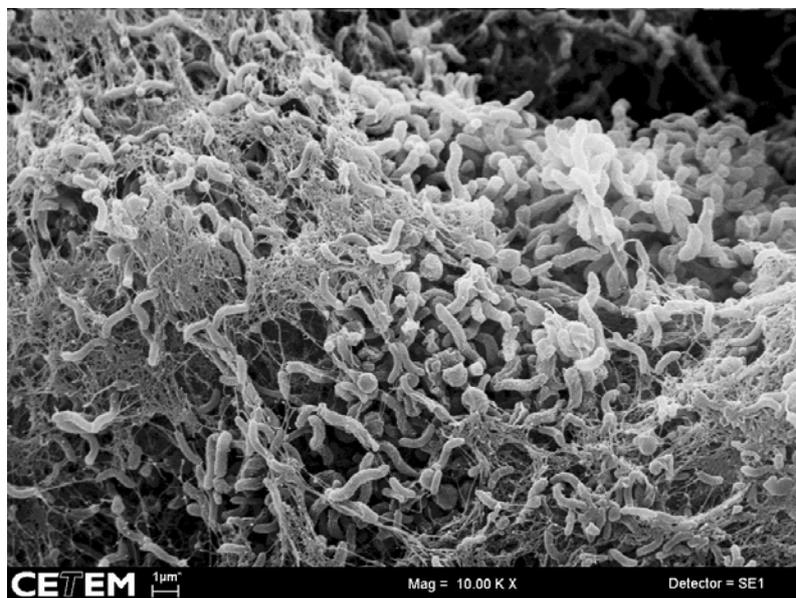


Figura 44 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 10000X. Polimento superficial de 1µm.

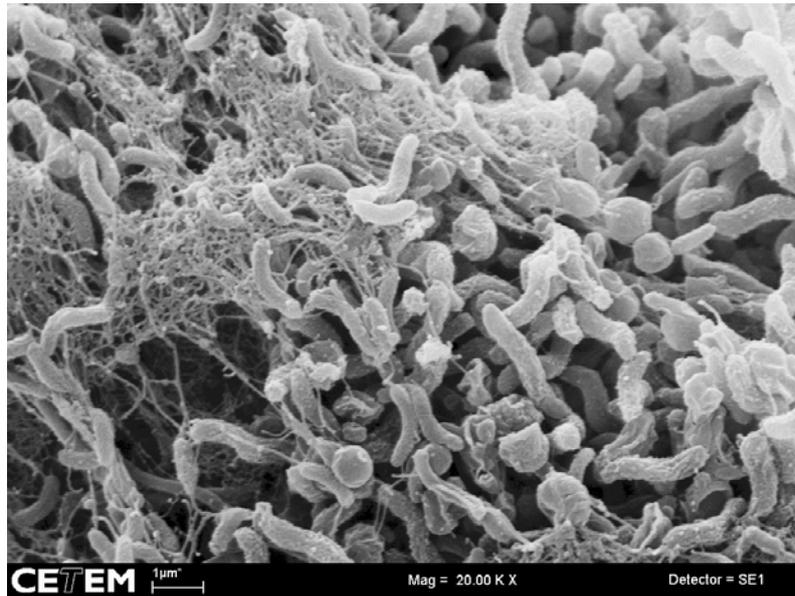


Figura 45 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 15 dias de ensaio. Aumento 20000X. Polimento superficial de 1µm.

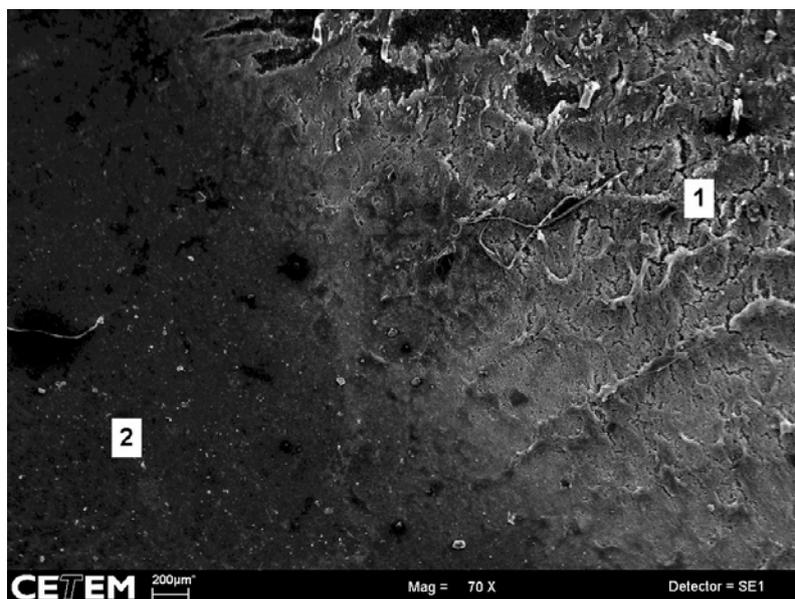


Figura 46 – pontos de 1 e 2 de análise por EDS indicados sobre a imagem do cupom de teste de S32750 submetido à polimento superficial de 1µm.

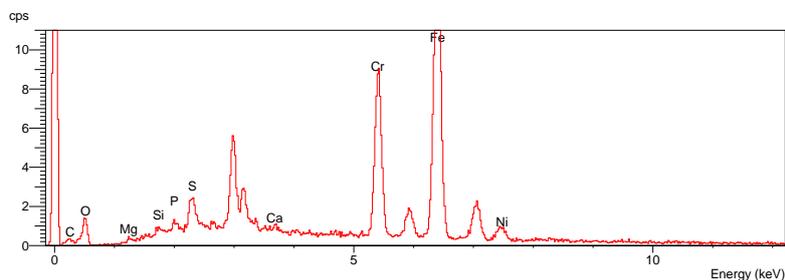


Figura 47 – EDS do ponto 1 da figura 49 no cupom de teste de S32750 submetido à polimento de 1 μm .

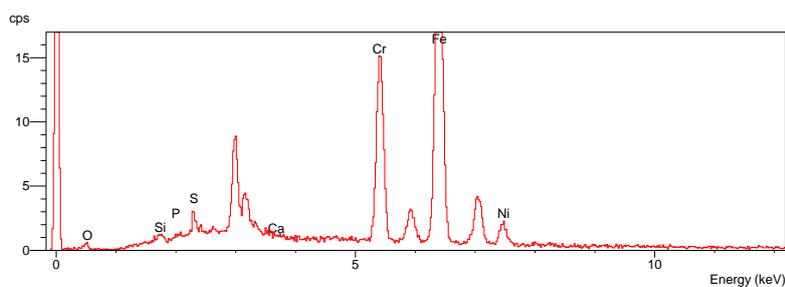


Figura 48 – EDS no ponto 2 da figura 49 do cupom de teste de S32750 submetido à polimento de 1 μm .

5.3.2

Cupons de aço inox. austenítico AISI 316 – 15 dias de exposição

As imagens obtidas nos cupons de teste de AISI 316, jateados, após 15 dias de exposição, comprovam a adesão e crescimento de BRS nas condições operacionais descritas anteriormente no item 5.1.

As figuras de 49 a 53 foram obtidas em diferentes aumentos, confirmando a formação de BRS pela morfologia das bactérias, com considerável formação de EPS.

A figura 54 é relativa ao ensaio de EDS. Não foi identificado enxofre na região do biofilme.

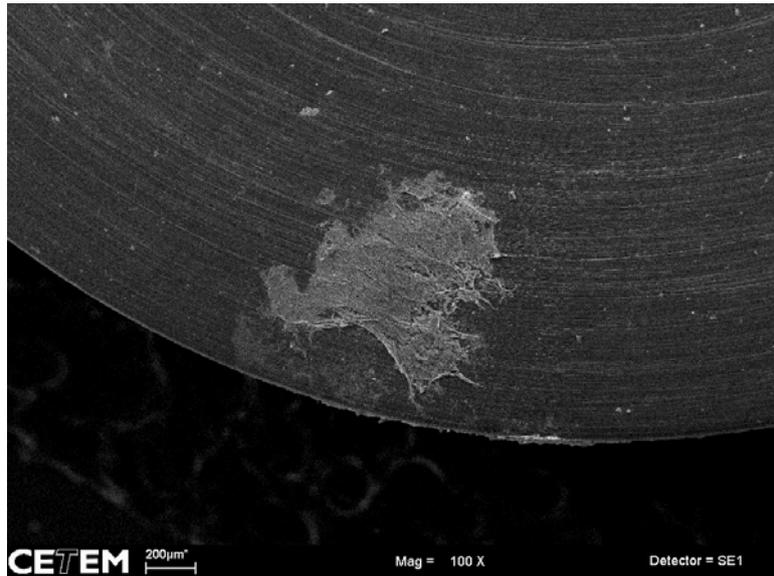


Figura 49 – análise por MEV de biofilme em cupom de 316 após 15 dias de ensaio. Aumento 100X.

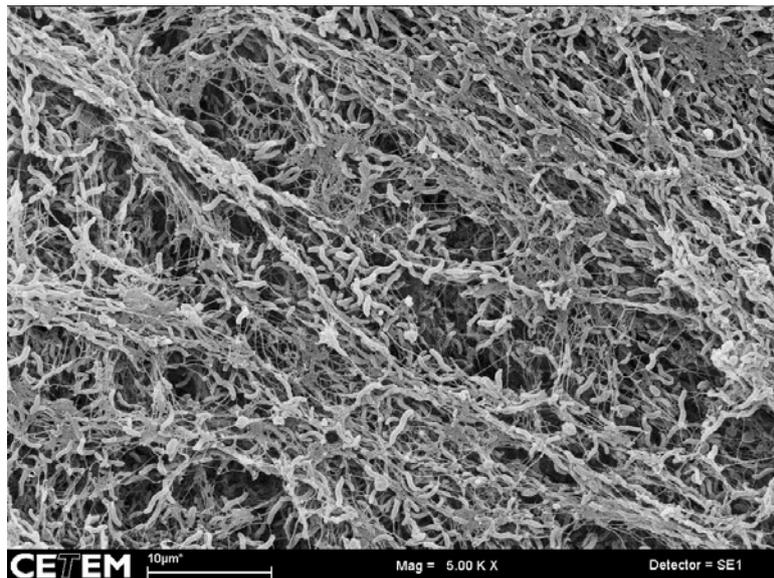


Figura 50 – análise por MEV de biofilme em cupom de 316 após 15 dias de ensaio. Aumento de 5000 X.

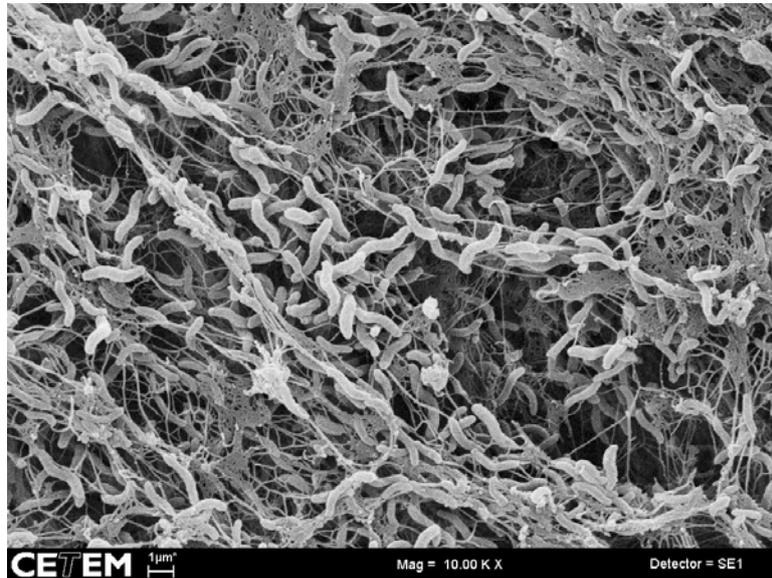


Figura 51 – análise por MEV de biofilme em cupom de 316 após 15 dias de ensaio. Aumento 10000X.



Figura 52 – análise por MEV de biofilme em cupom de 316 após 15 dias de ensaio. Aumento 20000X.



Figura 53 – análise por MEV de biofilme em cupom de 316 após 15 dias de ensaio. Aumento 30000X.

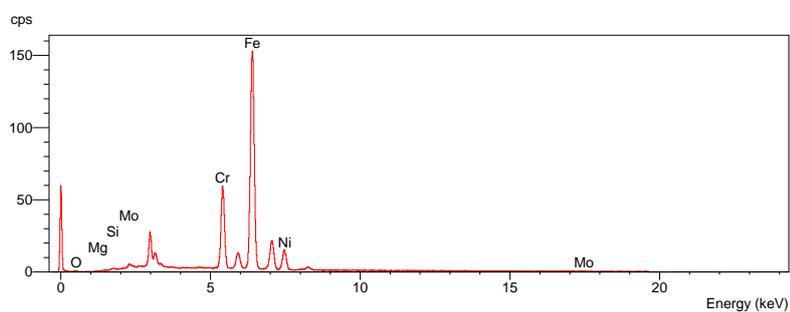


Figura 54 – análise por MEV de biofilme em cupom de 316 após 15 dias de ensaio.

5.3.3

Cupons de aço inox. superduplex S32750 – 35 dias de exposição

As imagens (figuras 55 e 56) obtidas nos cupons de teste de S32750, jateados, após 35 dias de exposição, não comprovam a adesão e crescimento de BRS nas condições operacionais descritas anteriormente no item 5.1. A figura 57 é relativa ao ensaio de EDS. Novamente não há presença de enxofre neste resultado.

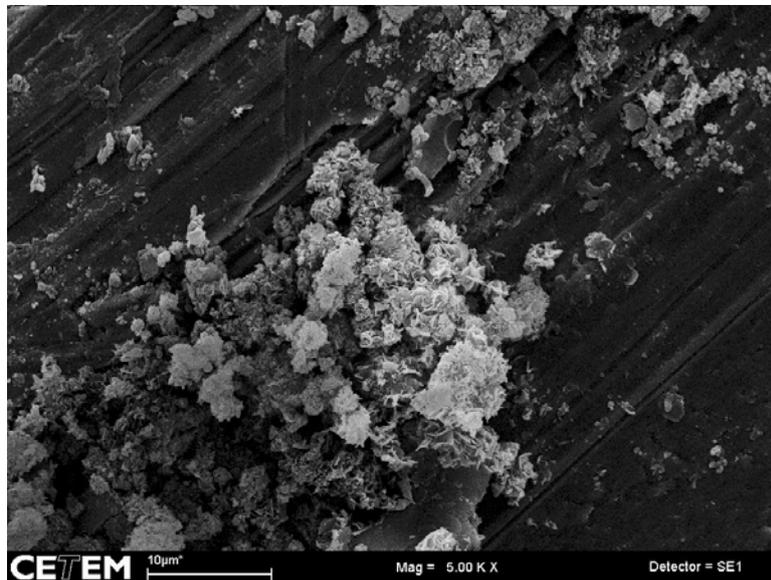


Figura 55 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 35 dias de ensaio. Aumento 5000X. Não foram observadas bactérias. Superfície jateada.

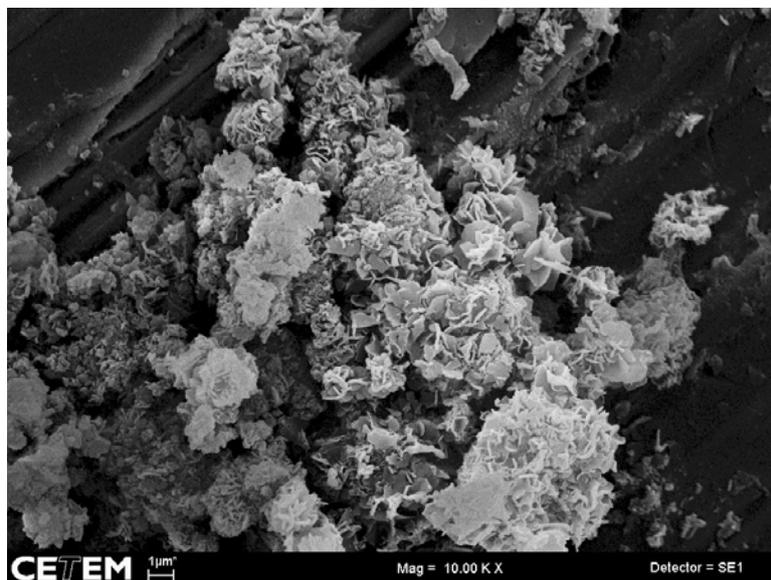


Figura 56 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 35 dias de ensaio. Aumento 10000X. Não foram observadas bactérias. Superfície jateada.

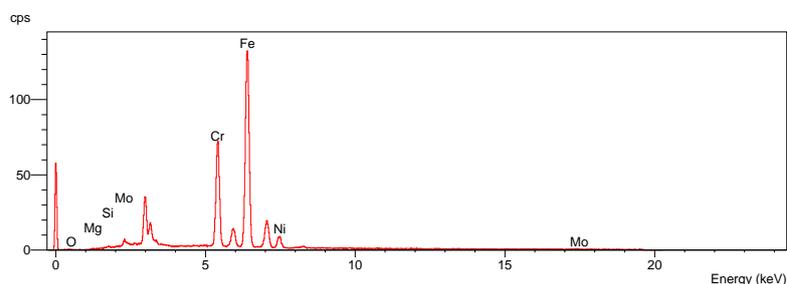


Figura 57 – análise por MEV de biofilme em cupom de S32750 após 35 dias de ensaio.

5.3.4

Cupons de aço inox. austenítico AISI 316 - 35 dias de exposição.

As imagens (figuras 58 a 61) obtidas nos cupons de teste de AISI 316, jateados, após 35 dias de teste, comprovam uma menor quantidade de bactérias aderidas e crescimento de BRS, quando comparado ao cupom com 15 dias de exposição.

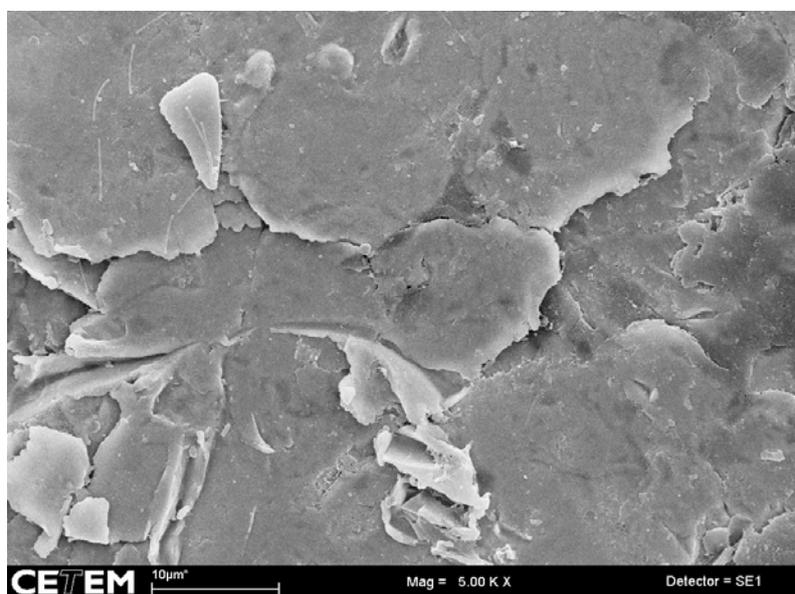


Figura 58 – análise por MEV de biofilme em cupom de AISI 316 após 35 dias de ensaio. Aumento 5000X.

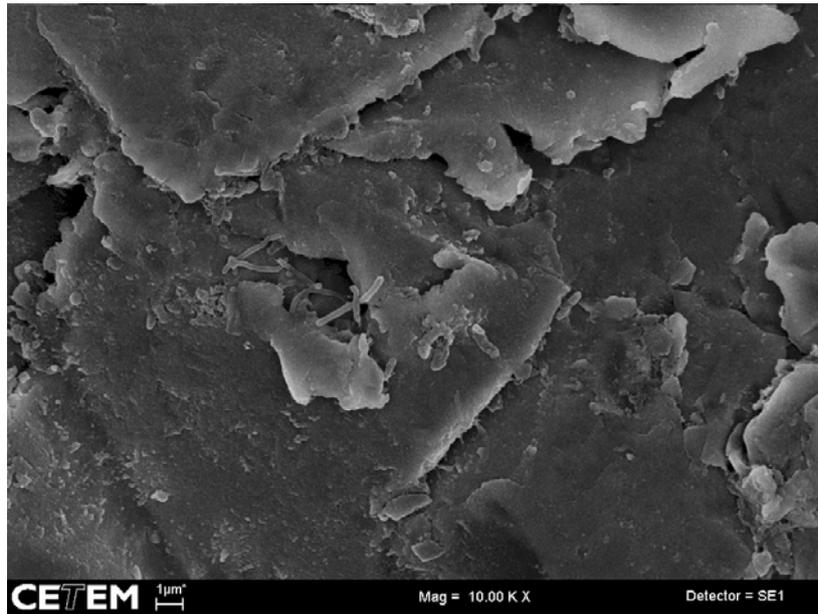


Figura 59 – análise por MEV de biofilme em cupom de AISI 316 após 35 dias de ensaio. Aumento 10000X.



Figura 60 – análise por MEV de biofilme em cupom de AISI 316 após 35 dias de ensaio. Aumento 20000X.



Figura 61 – análise por MEV de biofilme em cupom de AISI 316 após 35 dias de ensaio. Aumento 40000X.

5.4

Cálculo da rugosidade

A topografia da superfície é um dos parâmetros mais importantes no processo de adesão celular a um substrato (Taylor, R.L., 1998). As imagens obtidas por MFA foram armazenadas e tratadas pelo aplicativo WSxM, da Nanotec. Foram realizadas quatro varreduras por cupom de teste. Os cupons analisados foram os submetidos a tratamento superficial de polimento com pasta de diamante de granulometria de $1\mu\text{m}$, um de cada liga; e os mesmos após corrida de teste com 35 dias com fluido de processo inoculado. Imagens de outros dois cupons, um de cada material, mas jateados, foram obtidas para efeito comparativo.

Em cada um dos cupons foram calculados os valores de R_a e R_q , conforme tabela 13. Os valores são resultados da média de quatro imagens obtidas em cada cupom de teste. Pelos resultados obtidos, o parâmetro R_q reflete melhor as expectativas de aumento da rugosidade em função de processo corrosivo. Os valores

de R_q sofrem um aumento de 7,8 nm a 13,3 nm, no caso do AISI 316 e de 5,9 nm a 11,6 nm.

Comparando os valores de R_q (RMS) para as duas ligas (tabela 13), o processo corrosivo, verificado pelo aumento da rugosidade, mostrou-se equivalente. A representação gráfica está nas figuras 62 e 63.

Tabela 13 – avaliação da rugosidade superficial através do ensaio de microscopia de força atômica.

	Tratamento superficial do cupom	substrato		Após 35 dias de ensaio+bactéria	
		R_{a_2} , nm	R_{q_2} , nm	R_{a_1} , nm	R_{q_1} , nm
AISI 316	Jateado	193,7	263,2	...	...
	Polido a 1 μ m	4,1	7,8	4,1	13,3
S 32750	Jateado	166,1	232,6		
	Polido a 1 μ m	4,6	5,9	3,3	11,6

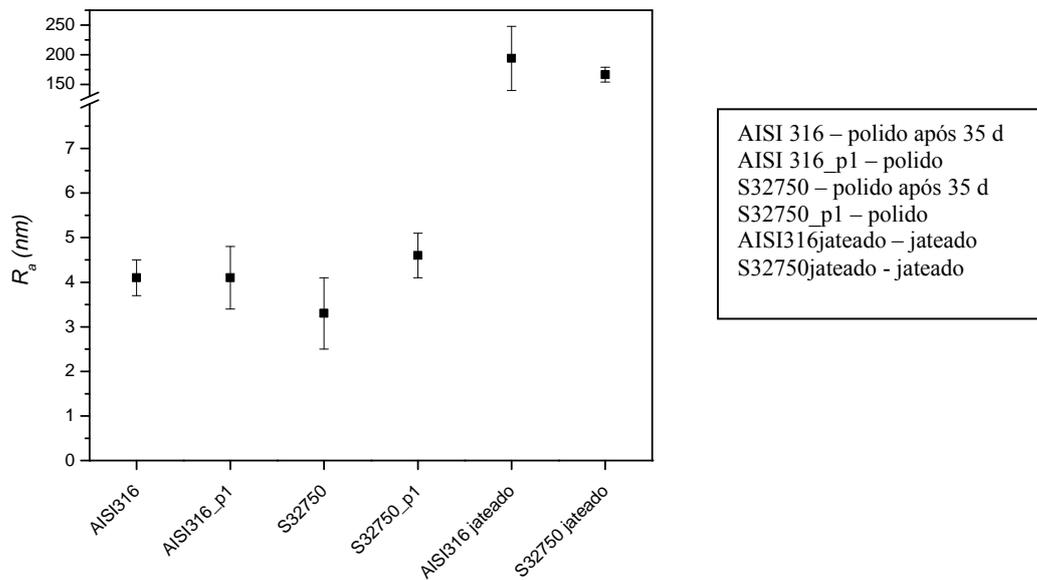


Figura 62 – valor es das rugosidades médias superficiais.

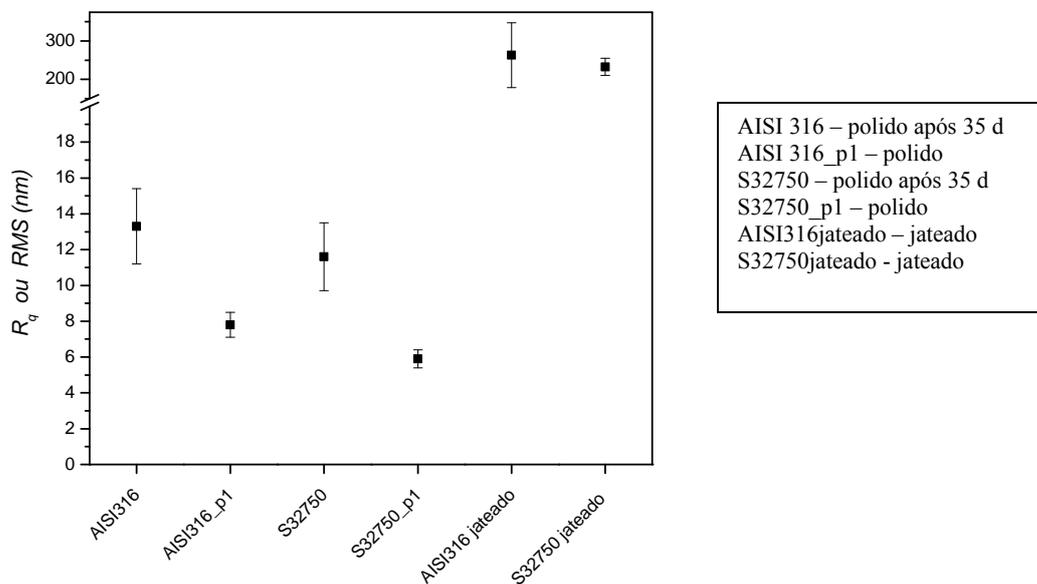


Figura 63 – valores de Rq.

As imagens das figuras 64 a 67 foram obtidas no substrato de AISI 316. Estão representadas em cada figura a imagem topográfica de região $40\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$ e a variação de amplitude no eixo z, ao longo da linha tracejada.

Na figura 64 é visualizado o cupom polido a $1\ \mu\text{m}$ antes do início do ensaio. A variação na amplitude é de $36,2\ \text{nm}$.

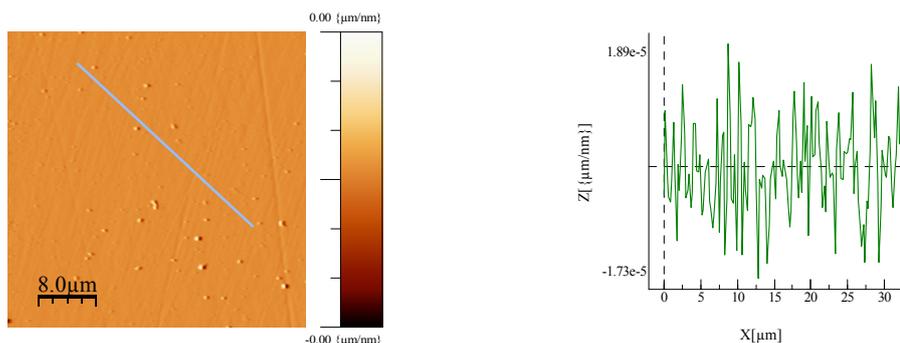


Figura 64 – aspecto da textura superficial e perfil de rugosidade do cupom de teste de AISI 316 submetido a polimento de $1\ \mu\text{m}$ antes do ensaio de duração de 35 dias.

Após o ensaio de 35 dias o cupom foi removido e nova imagem foi realizada. A imagem da figura 65 retrata o estado físico e o perfil da superfície. MFA mostra-se adequado à avaliação de alterações superficiais advindas de processos corrosivos localizados. A superfície neste caso sofre os ação heterogênea do meio e do biofilme. Neste caso, a amplitude alcança o valor de $60,0\ \text{nm}$.

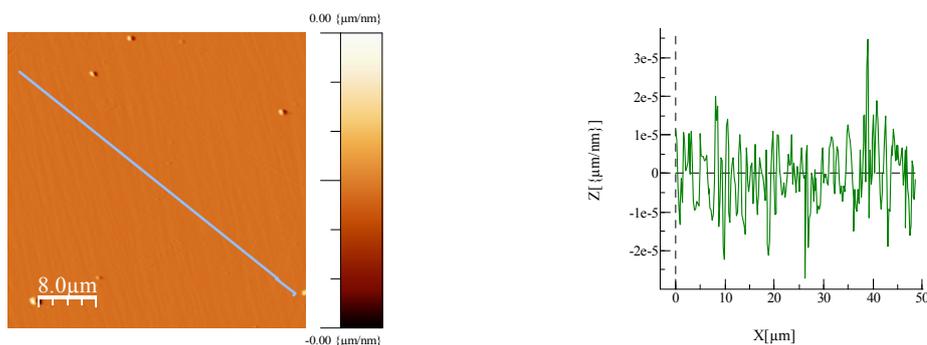


Figura 65 – aspecto da textura superficial e perfil de rugosidade do cupom de teste de AISI 316 submetido a polimento de $1\ \mu\text{m}$ após ensaio de duração de 35 dias.

As imagens representadas nas figuras de 66 e 67 mostram a topografia em 2D e 3D do cupom jateado sem a ação do meio corrosivo. O gráfico de perfil, figura 66, mostra que a amplitude nos cupons jateados é significativamente superior aos dos cupons polidos. Os valores alcançam aproximadamente 1500 nm.

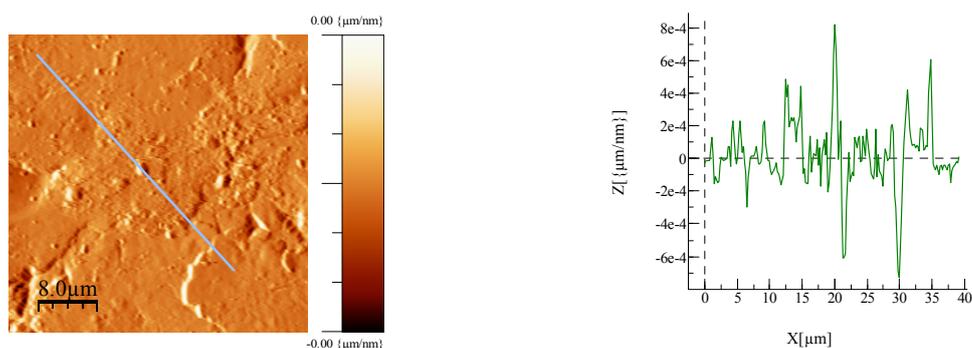


Figura 66 – aspecto da textura superficial e perfil de rugosidade do cupom de teste de AISI 316 submetido a jateado.

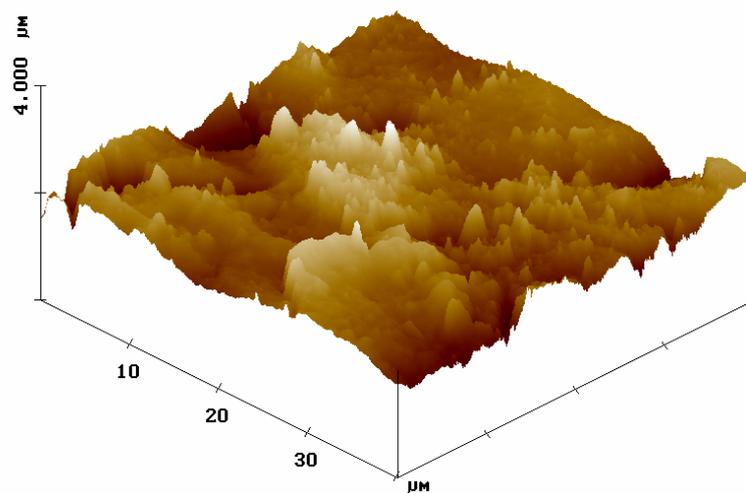


Figura 67 – imagem em 3D do cupom de teste de AISI 316 jateado.

As imagens das figuras 68 a 69 foram obtidas no substrato de S32750. Estão representadas imagens topográficas em regiões de $40\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$ da superfície do cupom e variações de amplitude no eixo z.

A figura 68 apresenta a imagem do cupom de teste polido a $1\ \mu\text{m}$ antes do ensaio de 35 dias. Nesta região avaliada, a amplitude foi verificada ao longo da linha demarcada. A amplitude foi de $18\ \text{nm}$, comprovada no gráfico da figura 69. Na figura 70 a mesma região em imagem 3D.

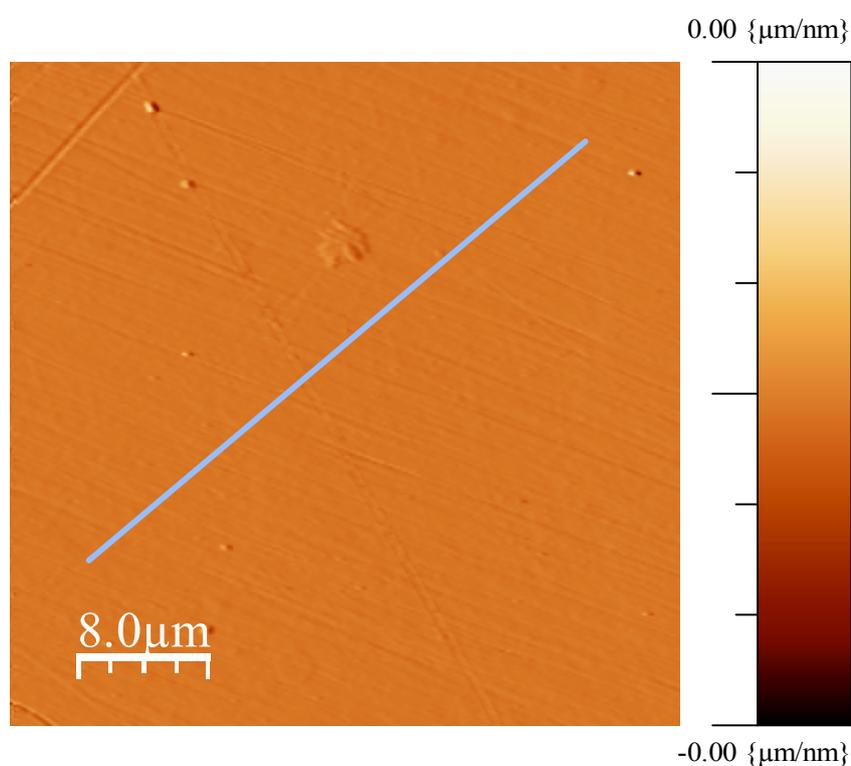


Figura 68 – aspecto da textura superficial do cupom de teste de S32750 submetido a polimento de $1\ \mu\text{m}$ antes do ensaio de 35 dias.

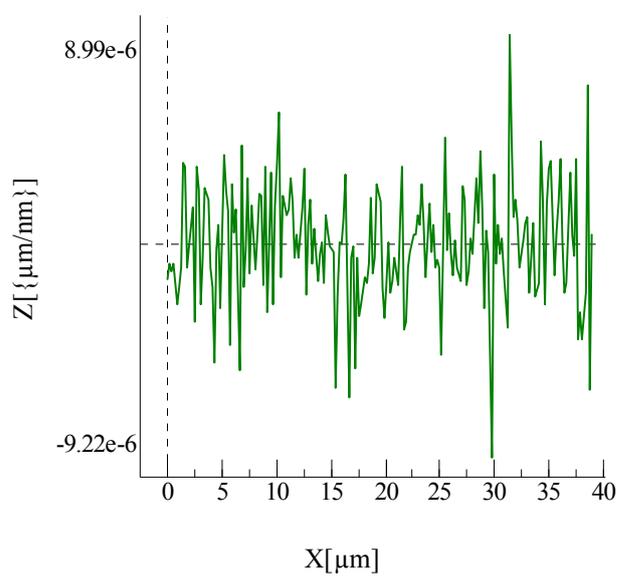


Figura 69 – perfil de rugosidade do cupom de teste de S32750 submetido a polimento de 1 μm antes do ensaio de 35 dias.

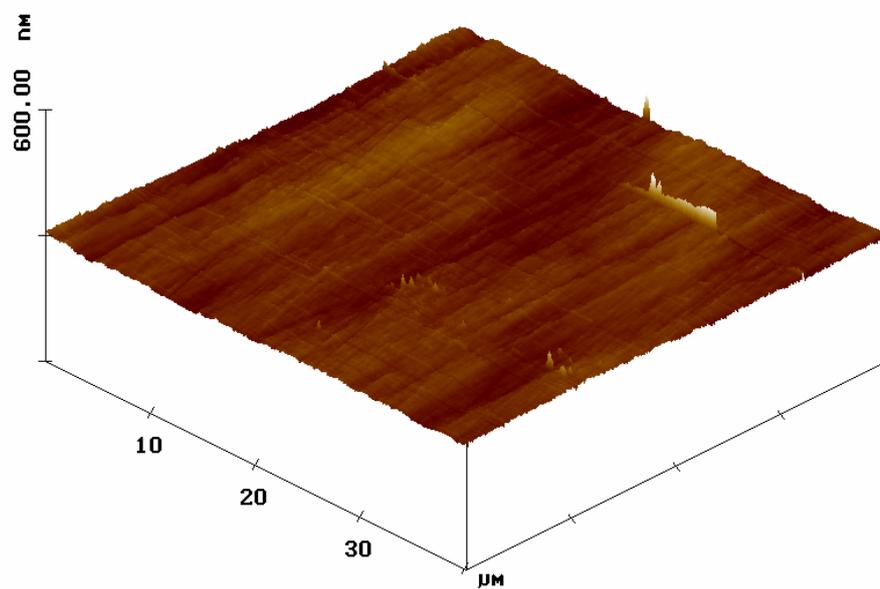


Figura 70 – imagem em 3D do cupom de teste de S32750 polido a 1 μm antes 35 dias de ensaio.

As figuras de 71 a 73 trazem as imagens do cupom de teste polido a 1 μm após 35 de ensaio. Em relação às imagens obtidas do cupom antes do ensaio, verifica-se uma alteração no perfil de rugosidade. Há um ligeiro incremento na amplitude, resultando em valor de 38 nm. A imagem 3D desta região está na figura 73.

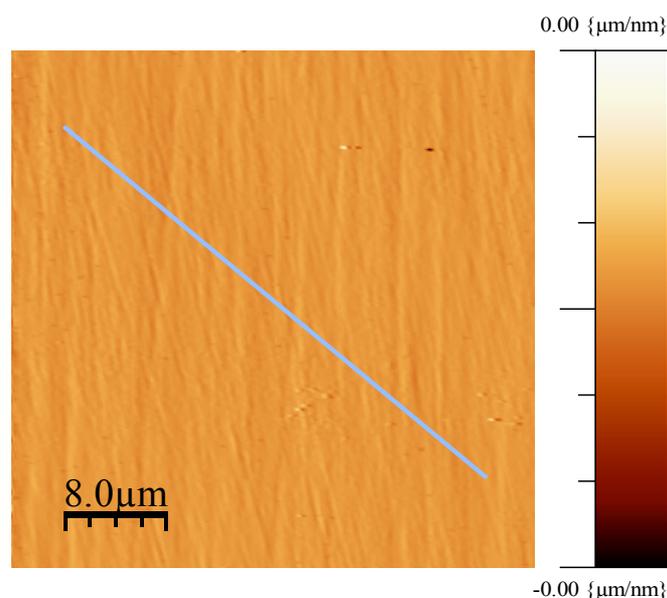


Figura 71 – aspecto da textura superficial do cupom de teste de S32750 submetido a polimento de 1 μm após ensaio de duração de 35 dias.

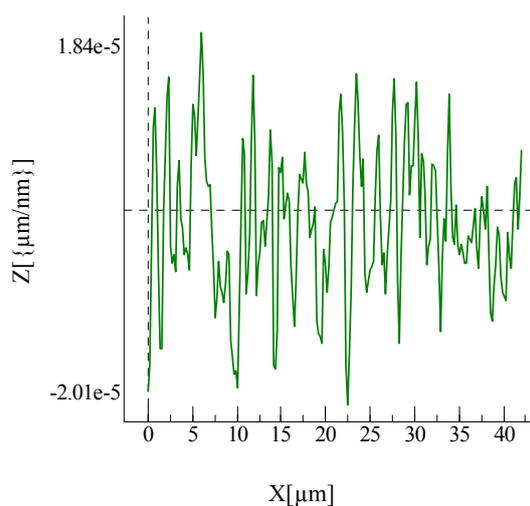


Figura 72 – perfil de rugosidade do cupom de teste de S32750 submetido a polimento de 1 μm após ensaio de duração de 35 dias.

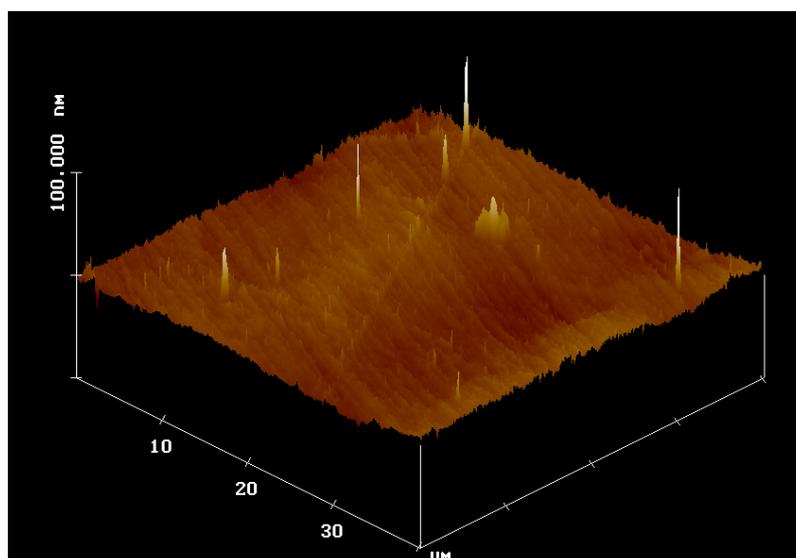


Figura 73 – imagem em 3D do cupom de teste de S32750 polido a 1 mm após 35 dias de ensaio.

As figuras de 74 a 76 apresentam as imagens do cupom de teste de S32750 após jateamento com esfera de vidro. As imagens mostram claramente a diferença no perfil de rugosidade deste tratamento superficial em relação aos cupons submetidos ao polimento. A textura superficial em 2D é visível na figura 74. Na figura 75 foi traçado o perfil de rugosidade. Neste gráfico é obtido o valor de amplitude máxima ao longo da linha contínua na imagem da figura 74. O valor é de 1000 nm. Na figura 76, é possível visualizar a textura superficial em imagem 3D.

As contribuições da topografia superficial à adesão supõem-se superiores às interações físico-químicas, como por exemplo, energia livre superficial e hidrofobicidade (Taylor, R.L., 1998).

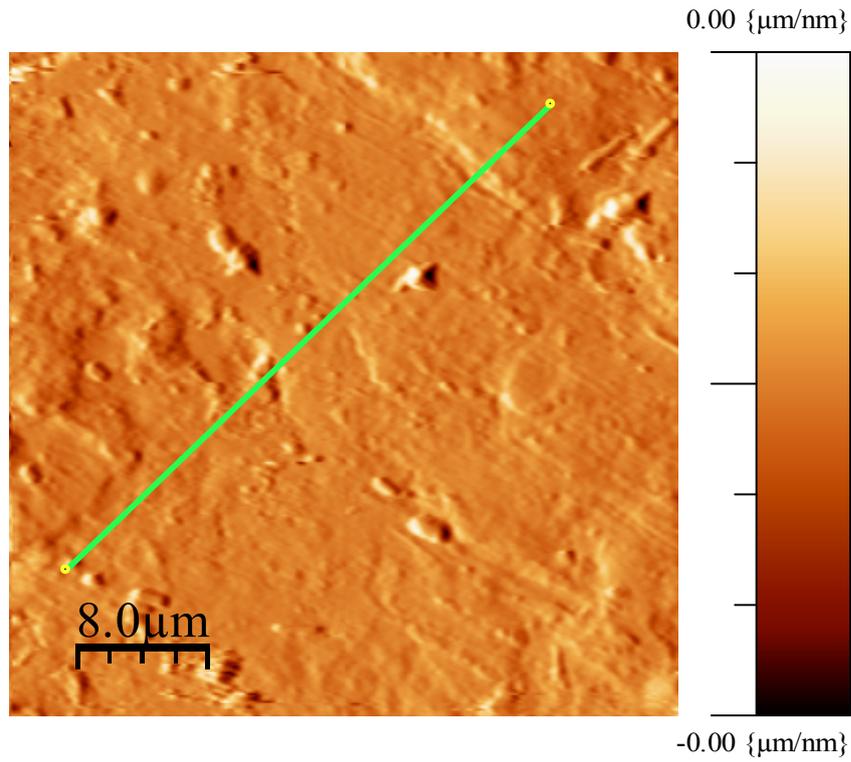


Figura 74 – aspecto da textura superficial do cupom de teste de S32750 submetido a polimento de 1 μm após ensaio de duração de 35 dias.

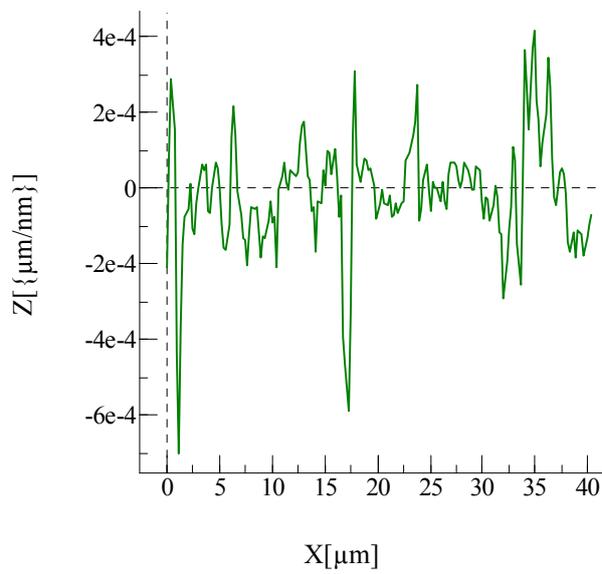


Figura 75 – perfil de rugosidade do cupom de teste de S32750 submetido a jateamento com esfera de vidro.

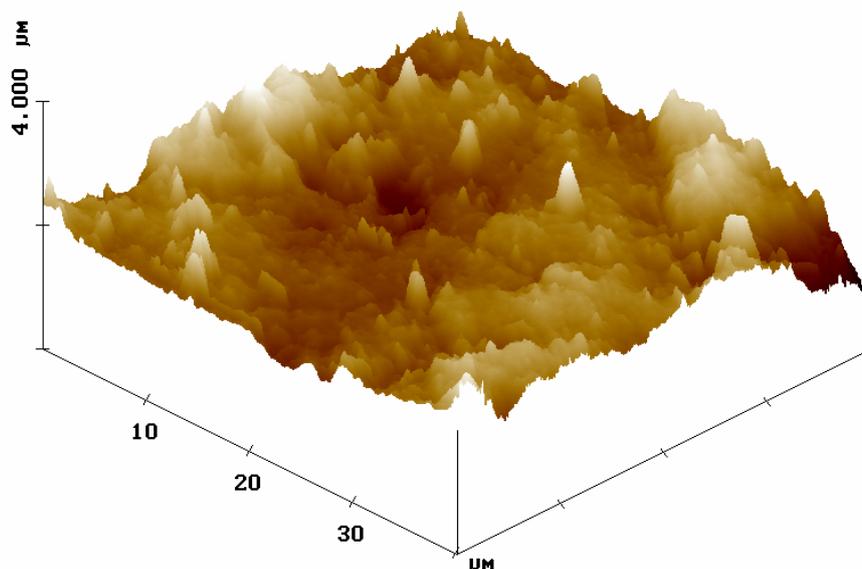


Figura 76 – aspecto da textura superficial em 3D do cupom de teste de S32750 submetido a jateamento com esfera de vidro.

As modificações observadas na rugosidade superficial advêm da ação, ainda que sutil, dos subprodutos do metabolismo das BRS sobre os substratos metálicos. Não foram observadas diferenças significativas entre a liga inoxidável austenítica e a inoxidável superduplex.

Mesmo em nível molecular, a topografia superficial afetou a taxa de adesão bacteriana. O resultado deste estudo demonstrou que um pequeno aumento na rugosidade superficial dificultou a adesão. Ao contrário de boa parte das publicações. Este aumento na adesão em função do aumento da rugosidade pode ser devido à proteção das células da ação das forças de cisalhamento. A rugosidade superficial pode induzir uma imobilização das células e uma adesão pode ser mais facilmente estabelecida.

Contudo, segundo Taylor, R.L., 1998, a adesão bacteriana em superfícies rugosas decai quando os valores de R_a destas superfícies aumentam e a quantificação de bactérias fica mais difícil. Ensaio microscópico revelou que as bactérias ficam alocadas em pites e canais das superfícies rugosas. Defeitos superficiais aumentam

em tamanho em amostras com altos valores de R_a , oferecendo aos microrganismos menor proteção das forças cisalhantes. MEV demonstrou células mais facilmente aderidas em superfícies com micro defeitos quando comparado com superfícies com defeitos corpulentos (Taylor, R.L., 1998).

O efeito, na adesão, do aumento da área superficial em função da rugosidade superficial. Assim, o tipo e o grau de rugosidade afeta os resultados e não somente o aumento da área superficial (Taylor, R.L., 1998).

5.5

Avaliação de pites

Neste ensaio foram realizadas avaliações por microscopia óptica, em aumento de 200 vezes, da presença de pites. Foram avaliados os cupons de teste dos dois materiais conforme dispostos na tabela 14. Não foram analisados os cupons jateados pela dificuldade na identificação dos pites. Não foram observadas diferenças significativas no comportamento das ligas quando sujeitas ao mesmo fluido e ao mesmo tempo de ensaio.

Os pites identificados são, na verdade, micropites com baixa densidade em ambas às ligas. A densidade de pites foi inferior ao menor índice estabelecido na norma ASTM G-01, referência de avaliação. Não foram observadas diferenças significativas entre os corpos de prova. A taxa de pites foi calculada segundo a prática recomendada da associação nacional dos engenheiros de corrosão (NACE, em inglês) dos E.U.A. RP 0775-99, conforme a relação:

$$\text{Taxa de pites, mm/a} = \frac{365 \times \text{pite mais profundo, mm}}{\text{tempo de exposição, dias}}$$

Tabela 14 – avaliação da corrosão localizada através do ensaio de microscopia óptica.

		15 dias de ensaio		35 dias de ensaio		branco	
		<i>Pite mais profundo, mm</i>	<i>Taxa de pites, mm/a</i>	<i>Pite mais profundo, mm</i>	<i>Taxa de pites, mm/a</i>	<i>Pite mais profundo, mm</i>	<i>Taxa de pites, mm/a</i>
AISI 316	Polido a 6 µm	...	...	0,0061	0,06	...	...
	Polido a 1 µm	0,0042	0,1	0,0036	0,04	...	...
S 32750	Polido a 6 µm	0,00085	0,02	0,0036	0,04	...	...
	Polido a 1 µm	0,015	0,4	0,0035	0,04	...	...