



CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MICROESTRUTURAIS DO MATERIAL METÁLICO DE UM DISPOSITIVO DE SEGURANÇA DE ESCALADA SOB AMBIENTE CORROSIVO

Benini, L.; Cortez, L. V., Tavares, S. S. M.; Perez, G.; Moraes Júnior, J.M.

Universidade Federal Fluminense

lucasbenini@id.uff.br

A escalada é um esporte que cresceu ao longo dos anos. Na modalidade escalada em rocha, o escalador utiliza dispositivos de segurança fixos, presos ao atleta por meio de cabos, que o guiam no trajeto de subida e descida. Em caso de queda esse dispositivo segura o escalador. Apesar da importância desses dispositivos, não existem recomendações e normas que balizam sua fabricação e tempo de vida útil, uma vez que estes grampos ficam sob ambientes corrosivos. O objetivo deste trabalho é caracterizar as propriedades microestruturais dos grampos removidos do paredão Itacoatiara – Niterói/RJ. Foram realizados de ensaios de microdureza, fluorescência de raios-x para determinação da composição química, metalografia, microscopia ótica e MEV. Os grampos foram caracterizados como sendo de aço inoxidável austenítico. Os ensaios realizados mostraram trincas, corrosões e locais sensibilizados em quatro dos dez grampos e em 100% falta de penetração da solda.

Palavras-chave: Escalada, Grampos, Corrosão, Microdureza, MEV, Aço Inoxidável Austenítico.

INTRODUÇÃO

O montanhismo é a prática esportiva e/ou de lazer caracterizada pela ascensão de montanhas e elevações rochosas, por meio de escaladas ou caminhadas. Tal esporte possui diferentes graus de dificuldade e tempo de duração. As escaladas podem ser em rocha, pelas modalidades esportiva, tradicional ou *bouldering*, em gelo e neve (alpinismo), em alta montanha ou em muros artificiais (*indoor*) (1). A escalada esportiva utiliza principalmente dois tipos de ferragens como dispositivos de segurança dos escaladores: as chapeletas e os grampos (2). Na maior parte dos países, chapeletas são o tipo de fixação mais encontrado. Quando grampos são

utilizados, eles normalmente são feitos de uma liga de titânio, e são colados à pedra com adesivo epóxi (3).

Relatórios feitos pela *International Climbing and Mountaineering Federation* (UIAA) (4, 5, 6) mostram a preocupação da comunidade perante os riscos de corrosão em ambiente próximo ao marinho, em especial em corrosão sob tensão por cloretos, agindo em materiais que são em sua maioria aços inoxidáveis austeníticos de graus variados, suscetíveis a este tipo particular de corrosão. Apesar da diversidade entre os 13 países, como Tailândia, Grécia e Portugal, que apresentam o problema, e pela vasta diferença entre os locais, algumas semelhanças são percebidas (2,6,7,8): a rugosidade da ferragem e da rocha auxiliam no acúmulo de vegetação e bactérias; a faixa de temperatura é ambiente, o que não é comum para corrosão sob tensão; o aço inoxidável austenítico é o mais afetado, principalmente considerando a presença de cloretos; a tensão pode ser aplicada de forma externa, ou ser residual. O processo de fabricação, o martelamento das ferragens e o torqueamento de chapeletas são responsáveis pelas tensões residuais; são normalmente locais próximos a ambientes marinhos.

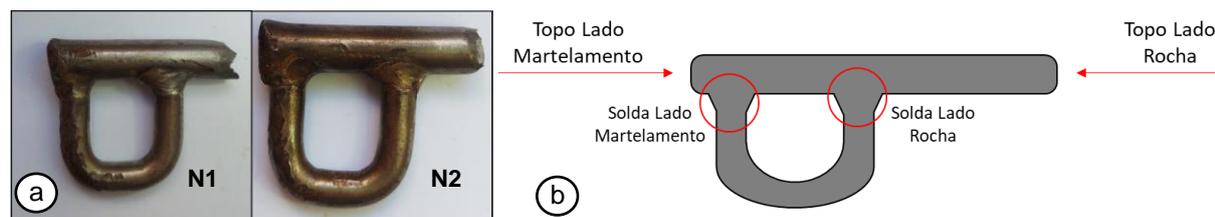
Foi estudado na Grécia, por Karalis *et al.* (8), um caso de falha de uma chapeleta de aço AISI 303. A presença de enxofre na liga foi considerada a responsável pelo início da corrosão, resultando em uma fratura por corrosão sob tensão. A superfície do material apresentava leve ferromagnetismo devido à martensita presente. O martelamento para colocar o estojo dentro da rocha, e excesso de torque aplicado podem auxiliar a corrosão sob tensão, a partir de tensões residuais trativas. No estudo de Sjong e Eiselstein (7) efetuado em uma falha de chapeleta feita de AISI 316L após 10 anos de serviço em uma via na Tailândia próximo ao mar, constatou-se que uma faixa de umidade relativa pode ser fator decisivo em corrosões sob tensão em temperatura ambiente. A pesquisa encontrou que os ácidos fracos formados pela vegetação foi um dos mecanismos facilitadores para a corrosão sob tensão. Na Itália, diversos tipos de dispositivos de fixação na rocha foram estudados, tanto os que sofreram falha em serviço, quanto novos (2). Foi encontrado que a ação de colocar a chapeleta dentro do furo da rocha fere a camada de passivação da liga. Outro fator associado ao enfraquecimento da camada passivadora está no microclima da rocha, onde ocorre a formação de alguns ácidos, gerados por bactérias e vegetação que estão presos em suas cavidades.

Na cidade do Rio de Janeiro, utilizam-se mais grampos do que chapeletas, e estes têm uma particularidade, pois não são colados à rocha. Eles são martelados até entrar por completo no furo. Esses tipos de grampo são denominados tipo “P”. A FEMERJ (Federação de Montanhistas do Estado do Rio de Janeiro) disponibilizou notas que indicam falhas de grampos e chapeletas de aço inoxidável, por corrosão sob tensão em vias de escalada perto do mar (9,10). Apesar de grampos “P” serem mais utilizados na cidade, os únicos testes relatados foram de chapeletas. Os múltiplos relatos de acidentes por falha por corrosão sob tensão ao redor do mundo, os casos já relatados no Rio de Janeiro em chapeletas e a falta de relatórios sobre falhas de grampos tipo “P” feitos de aço inoxidável em locais próximos a ambientes marinhos na cidade do Rio de Janeiro e entorno fomentam a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre os grampos tipo “P”. Este trabalho tem como objetivo geral caracterizar as microestruturas de dispositivos de segurança, grampos do tipo “P”, retirados de vias de escalada após 20 anos de serviço em Niterói/RJ.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dois dispositivos de segurança do tipo grampos “P” foram removidos da via Guarischi do paredão de Itacoatiara, em Niterói, pela comunidade de escaladores do Rio de Janeiro e caracterizados por ensaios destrutivos e não-destrutivos. Os grampos tiveram tempo de serviço de aproximadamente vinte anos, de acordo com os clubes de escalada que os retiraram e doaram para o presente trabalho, e foram retirados por martelamento do grampo até sua quebra. Portanto, é importante frisar que as fraturas vistas neste presente trabalho são de caráter induzido. A Figura 1(a) apresenta os grampos tipo P, denominados N1 e N2, que possuem dimensões por volta de 55 mm x 45 mm e a Figura 1(b) mostra a representação esquemática da localização das imagens de microscopia obtidas nos grampos.

Figura 1 - (a) Grampos avaliados; (b) Representação esquemática da localização das imagens das amostras



A microscopia ótica foi efetuada no Laboratório de Metalografia e Tratamentos Térmicos (LABMETT) na UFF, empregando o Microscópio Estereoscópio Binocular da OPTON. As peças foram para visualização dos seus detalhes, cavidades, soldas e demais características. Posteriormente, o ensaio de fluorescência de raios-X foi realizado para identificar a composição química aproximada de cada grampo de forma rápida e não-destrutiva. Este ensaio foi realizado no Instituto Nacional de Tecnologia (INT), no Lab. H2S, com a pistola portátil de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X Genius 7000XRF da *Skyray Instrument*. Para realizar o ensaio, a pistola foi posicionada a uma distância de dez a quinze centímetros do material e pressionado o gatilho até indicar a composição química na sua tela. A microscopia ótica foi efetuada o Lab. H2S, no INT, sendo que os grampos foram posicionados abaixo da lente e suas imagens foram registradas pelo microscópio estereoscópico *Olympus*. Por fim, os grampos foram levados ao Laboratório de Microscopia de Alta Resolução (LAMAR) da UFF para observação da microestrutura em microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM 7100F equipado com EDS (“*energy dispersive spectrometer*”) para análise elementar.

RESULTADOS

FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

A Tabela 1 apresenta as composições químicas determinadas por fluorescência de raios-X (pistola portátil) para cada grampo. Pelas porcentagens da composição das amostras mostradas, é possível determinar os tipos de aço de cada grampo. De acordo com as composições mensuradas pela fluorescência de raio-x, as ligas correspondentes para os grampos avaliados correspondem ao aço AISI 304.

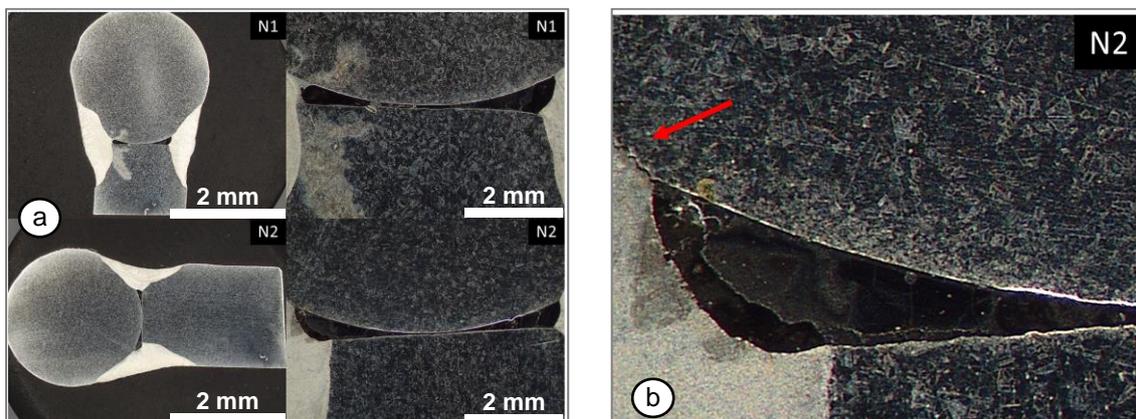
Tabela 1 - Composições químicas dos grampos.

Grampo	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Cu	V	Ti	Co	Nb	W
N1	70,82%	18,24%	8,52%	0,40%	1,52%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,03%	0,11%
N2	70,54	18,29%	8,84%	0,41%	1,43%	0,10%	0,05%	0,10%	0,01%	0,03%	0,11%

MICROSCOPIA ÓTICA

A Figura 2(a) apresenta os resultados de microscopia ótica das amostras e a Figura 2(b), referente à amostra N2, foi ampliada para melhor visualização de uma trinca. A trinca se inicia entre a fenda por falta de penetração, o metal de solda e o metal de base. Fora a trinca, as imagens das amostras de aço inoxidáveis têm uma microestrutura com textura muito semelhantes entre si.

Figura 2 - (a) Imagens dos grampos e suas fendas após ataques químicos; (b) aumento na imagem da microscopia ótica para indicar a trinca no grampo N2.

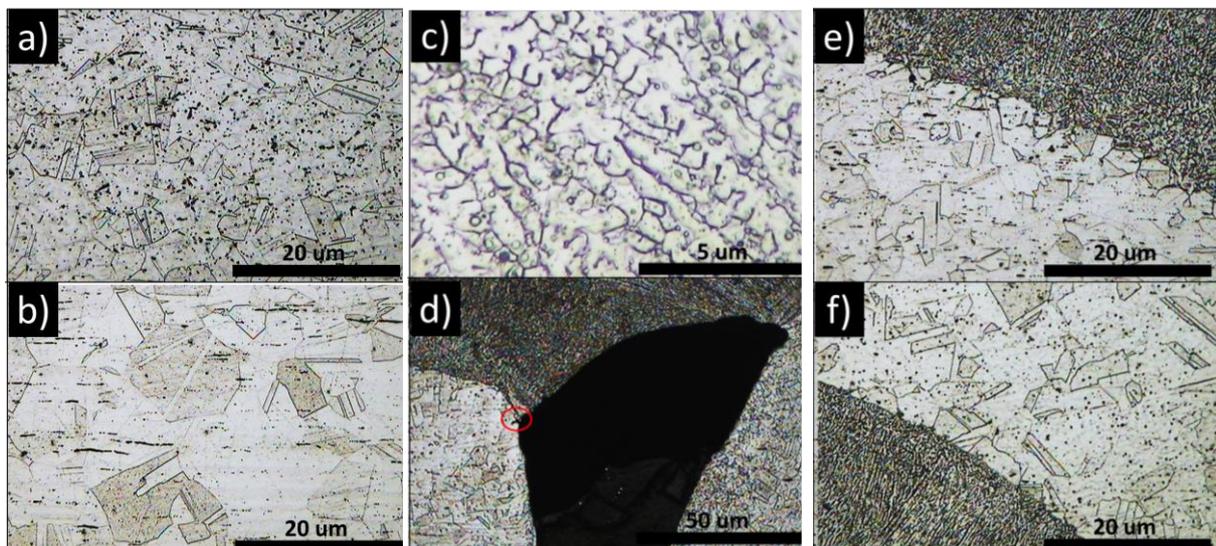


ANALISES METALOGRÁFICAS

O grampo N1 (Figura 3) possui metal de base com microestrutura austenítica, que é caracterizada principalmente pelas maclas dentro do grão. A Figura 3(a) mostra o metal de base transversal com bastante precipitados. Em (b) o metal de base observado na direção longitudinal também apresenta microestrutura austenítica com ferrita delta alinhada com a direção de laminação. As marcas de laminação nessa imagem comprovam o método de fabricação de laminação dos tarugos. A imagem (c) mostra a microestrutura da solda, que é composta por austenita dendrítica com ferrita

delta. As zonas termicamente afetadas (ZTA) são mostradas em (e) e (f). Alguns pites na solda são mostrados em (g). A fenda gerada por falta de penetração, que está com baquelite do embutimento, está na imagem (d). O círculo em vermelho indica o início de uma trinca entre a solda, a fenda e o metal de base. A imagem (h) está com aumento maior para uma melhor visualização da trinca. A trinca possui dimensões muito reduzidas para identificar suas características. Contudo é possível observar a corrosão preferencial da ferrita delta próximo à trinca.

Figura 3 - Grampo N1 em (a) metal de base transversal; (b) metal de base longitudinal; (c) solda; (d) fenda causada por falta de penetração; (e) ZTA corte longitudinal; (f) ZTA corte transversal; (g) pite na solda; (h) trinca e corrosão. (as imagens (g) e (h) não estão presentes).



O grampo N2 apresentou trincas e alguns locais de corrosão. Na Figura 4 (a) é possível verificar também a fase ferrita delta formando linhas paralelas à direção de laminação do metal de base, de forma ainda mais pronunciada do que na amostra N1. A ZTA e o metal de solda apresentam as mesmas características do grampo N1. Em (f) é mostrado uma trinca em N2, iniciando na solda.

Além da trinca da Figura 4 (f), foram encontradas outras duas trincas mostradas nas Figura 5. A maior trinca da N2 encontra-se na Figura 5 onde em (a) mostra-se toda a sua extensão, e as outras imagens exibem mais detalhes da propagação. Essa trinca inicia-se na fenda, sendo então uma trinca interna, tem ramificações e aparenta ser intergranular. Além disso, é possível ver uma corrosão preferencial pela ferrita

delta na solda, que acompanha a trinca ao longo da sua propagação. Apesar de não ser muito claro quais são os mecanismos que originaram seu aparecimento, pelo seu formato, pressupõe-se uma trinca por corrosão sob tensão.

Figura 4 - Grampo N2 em (a) Metal de Base Longitudinal, em 10X; (b) Metal de Base Transversal, em 10X (c) Solda, em 40X; (d) ZTA Metal de Base longitudinal, em 10X; (e) ZTA Metal de Base Transversal, em 10X; (f) Trinca, em 10X.

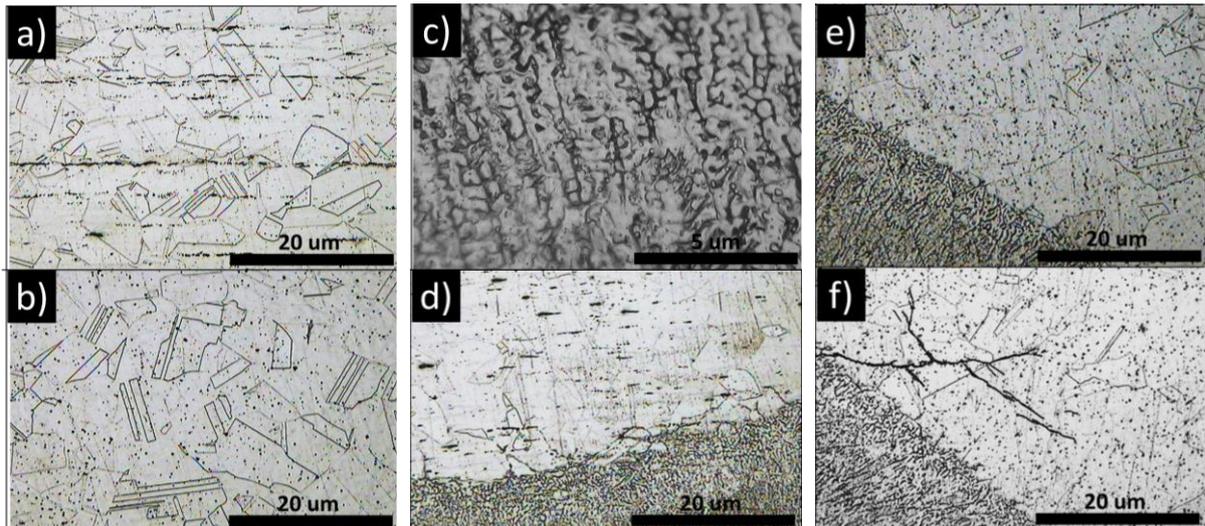
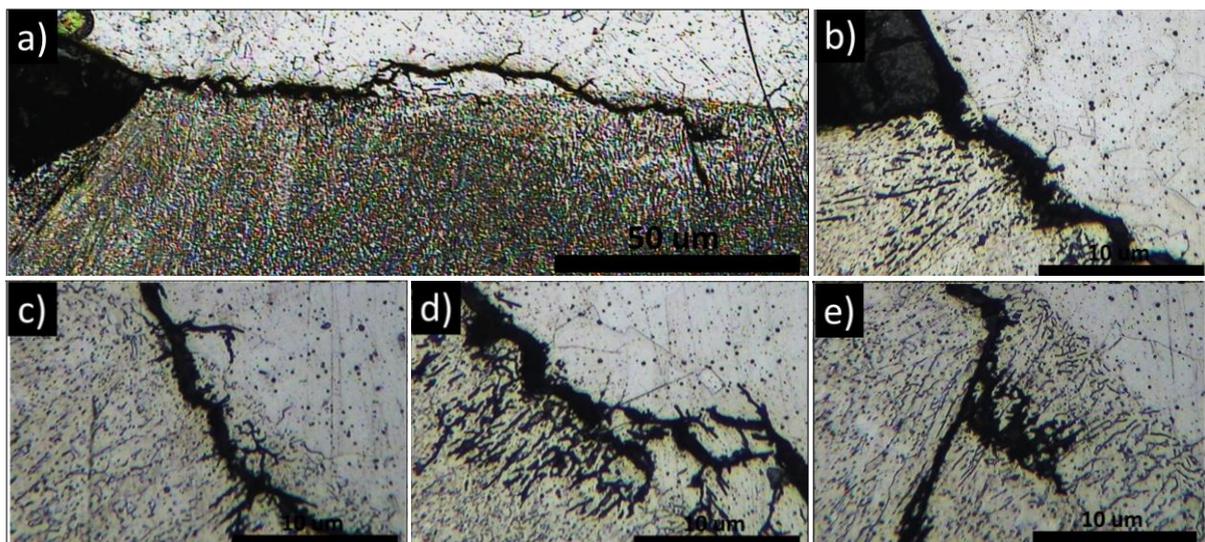


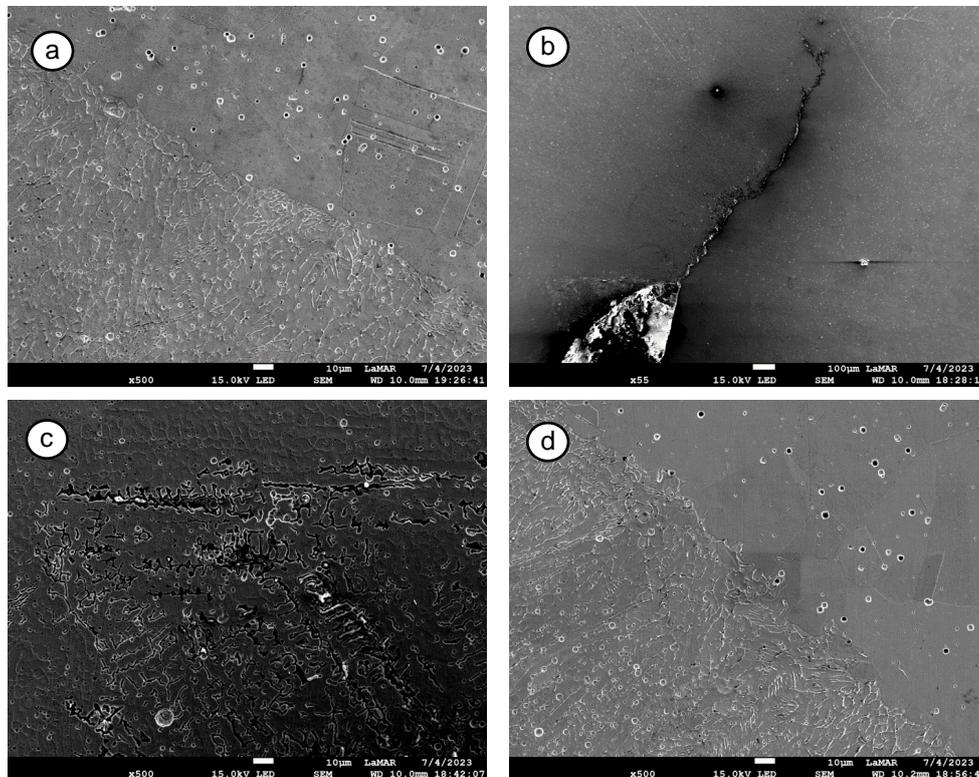
Figura 5 - Trinca grampo N2: A imagem (a) possui aumento de 4X; As imagens (b), (c), (d) e (e) são partes da trinca (a) com um aumento de 20X.



MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

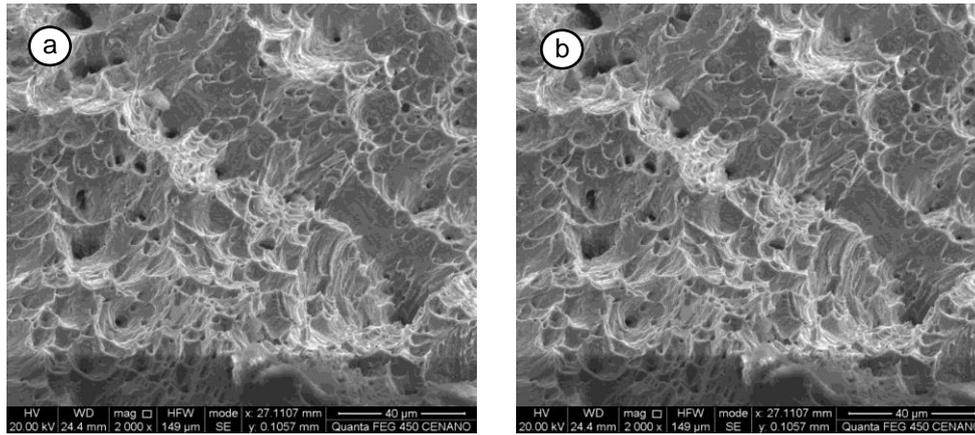
As imagens obtidas no MEV permitiram observar detalhes como porosidades, valas e áreas sensitizadas, que antes não estavam tão claros na metalografia. O ataque metalográfico utilizado (ácido oxálico, 8V, 60s) provocou a formação de pequenos pites na ZTA e metal de base, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**6(a) e Figura 6(d). A Figura 6(b) mostra a trinca de corrosão sob tensão da Figura 5(a), enquanto a Figura 6(c) mostra que houve corrosão preferencial da ferrita no metal de solda.

Figura 6 – (a) Grampo N1: porosidade no metal de base (b) Grampo N2: trinca Grampo (c) N2: Corrosão preferencial da ferrita (d) N2: Porosidade no metal de base.



A análise de fratura foi realizada nas amostras N1 e N2. As duas apresentam “dimples”, conforme Figura 7(a) e Figura 7(b), o que sugere que apesar da fratura aparentar ser frágil macroscopicamente, ela possui característica de uma fratura dúctil microscopicamente.

Figura 7 – Dimples presentes na fratura (a) Grampo N1; (b) Grampo N2.



Os grampos caracterizados neste trabalho foram retirados de uso por insegurança da sua integridade. Os ensaios demonstram que os grampos possuem alguma trinca, corrosão ou local sensitizado, falta de penetração, que é um local concentrador de tensão e pode levar a peça à falha. Portanto, a retirada dos grampos foi justificada. Os dois grampos estão próximos às áreas marinhas e não foi indicado qualquer concentração de cloreto no interior do grampo, concluindo que a corrosão encontrada não é gerada pela ação da maresia.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo caracterizar as microestruturas de dispositivos de segurança, grampos do tipo “P”, retirados de vias de escalada após 20 anos de serviço em duas cidades do Estado do Rio de Janeiro. Foram efetuados os ensaios de fluorescência de raios-x, de microdureza, de microscopia óptica, de metalografia, e de MEV. Com os resultados alcançados neste trabalho, conclui-se:

- Os grampos avaliados foram caracterizados como aços inoxidáveis austeníticos. Esses resultados foram comprovados pela junção do ensaio de fluorescência de raios-x, metalografia, e EDS no MEV. A metalografia indicou uma microestrutura austenítica com ferrita delta para os aços inox.
- Trincas foram encontradas nos grampos N1 e N2, acompanhadas de corrosão preferencial pela ferrita delta da solda;
- Todas as trincas e corrosões encontradas neste trabalho estão próximas ou foram iniciadas da fenda por falta de penetração da solda. É notável que a fenda tem um papel importante no mecanismo desses defeitos e por isso ações que

a mitiguem ou eliminem devem ser aplicadas. Utilizar um chanfro em “K” para essa soldagem é um exemplo de ação de mitigação da falta de penetração;

- Há possibilidade da corrosão preferencial da ferrita delta ser causada pela diferença de concentração iônica da fenda de falta de penetração (corrosão por frestas).

REFERÊNCIAS

(1) FEMERJ. Quer praticar montanhismo? Federação de Escalada e Montanhismo do Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <<http://feemerj.org/quero-praticar-montanhismo/>>.

(2) GRUTTADARIA, A., BARELLA, S., GEROSA, R. An overview of austenitic stainless-steel rock anchors damage in an environment rich with chlorides. ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, n.100, p. 88–102, 2019.

(3) ASCA. Placing Adhesive Anchors. American Safe Climbing Association, 2022. Disponível em: <<https://safeclimbing.org/adhesive-anchors>>.

(4) MICROYS, H. Bolt failures on sea cliffs. UIAA, 2022. Disponível em: <https://theuiaa.org/documents/safety/Bolt_failures_on_Sea_Cliffs.pdf>.

(5) UIAA. Extreme caution advised for anchors in tropical, marine areas. UIAA, 2009. Disponível em: <<https://theuiaa.org/documents/safety/Anchors-in-Marine-Areas.pdf>>.

(6) UIAA. Risk of anchor failure on equipped (bolted) climbing routes in tropical, marine environments. UIAA, 2009. Disponível em: <https://theuiaa.org/documents/safety/Safecom-Report_-Anchors-in-Marine-Areas.pdf>.

(7) SJONG, A., EISELSTEIN, L. Marine Atmospheric SCC of Unsensitized Stainless Steel Rock Climbing Protection. JOURNAL OF FAILURE ANALYSIS AND PREVENTION, p. 410-418, 2008.

(8) KARALIS, D.G., MELANITIS, N.E., PANTELIS, D.I. Failure analysis of a rock anchor made of stainless steel in marine environment. ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, n.19, p. 123–130, 2012.

(9) FEMERJ. A introdução dos grampos de titânio no brasil. FEMERJ, 2012. Disponível em: < http://www.femerj.org/wp-content/uploads/a_introducao_dos_grampos_de_titanio_no_brasil.pdf >.

(10) FEMERJ, 2014. Disponível em: < http://www.femerj.org/wp-content/uploads/Relatorio_de_inspecao_13179_estudo_corrosao_b1.pdf >.

CHARACTERIZATION OF THE MISCROSTRUCTURAL PROPERTIES OF THE METALLIC MATERIAL OF A CLIMBING SAFETY DEVICE UNDER CORROSIVE ENVIRONMENT

Rock climbing is a sport that has grown over the years. In rock climbing, the climber uses fixed safety devices, attached to the athlete using cables, which guide him/her on the ascent and descent path. In the event of a fall, this device holds the climber. Despite the importance of these devices, there are no recommendations or standards that guide their manufacture and useful life, since these clamps are located in corrosive environments. This work aims to characterize the microstructural properties of the clamps removed from the Itacoatiara seawall - Niterói/RJ. Microhardness, X-ray fluorescence, metallography, optical microscopy, and SEM tests were performed. The clamps were characterized as austenitic stainless steel. The tests performed showed cracks, corrosion, and sensitized areas in four of the ten clamps and a 100% lack of weld penetration.