Estudo Preliminar Sobre a Corrosão em Aços Inoxidáveis Austeníticos a Beira Mar no Brasil

Irivan Gustavo Burda
Engenheiro Mecânico
Crea PR 32.357/D
Agosto 2014

Introdução:

Nos anos 80, quando comecei a escalar, quase que a totalidade das vias de escaladas no Brasil eram protegidas pelo grampo P. Em alguns poucos lugares já existiam algumas chapeletas, importadas ou de fabricação caseira.

No ano de 93 ingressei no curso de Engenharia Mecânica e a Bonier já dava seus primeiros passos como empresa fabricante de produtos de segurança e resgate. No mesmo ano iniciamos a produção das macas Mamute.

Ao final do curso no ano de 98 trabalhamos no desenvolvimento da chapeleta dupla que possibilita a passagem da corda para rapelar podendo assim substituir o grampo P. No desenvolvimento optamos fabricar a peça em aço AISI 304L, aço inoxidável austenítico. Duas razões apontavam para esta escolha, a resistência (mecânica e a corrosão) do material e a capacidade de deformação para conseguir fazer as dobras e repuxos necessários.

Com o início da produção em 99, iniciamos alguns trabalhos de recuperação de vias substituindo os antigos, outros não tão antigos, grampos P.
Hoje 15 anos depois temos chapeletas instaladas em diversas partes do Brasil e do exterior. Com orgulho podemos dizer que existem chapeletas Bonier no El Capitan (Yosemite), Trango Tower (Paquistão) e Fitz Roy (Argentina) e com certeza em muitos outros locais de escalada.

Chapeleta dupla

Há alguns anos começaram ocorrer algumas fraturas em chapeletas de aço inoxidável. Foram reportados alguns casos na Tailândia e Grécia. Todas falhas catastróficas (ruptura da chapa ou chumbador) com a aplicação de uma carga infima, algumas só o peso do escalador e até com a própria mão.

Com base nestes casos foram realizados alguns estudos para identificar as causas destas falhas. E o que encontraram foi um tipo de corrosão particular (SSC – Stress Corrosion Crack, fratura por corrosão sob tensão) que ataca principalmente aços inoxidáveis austeníticos devido às tensões resultantes do processo de fabricação.

Nosso objetivo com este trabalho é iniciar uma pesquisa em torno do assunto

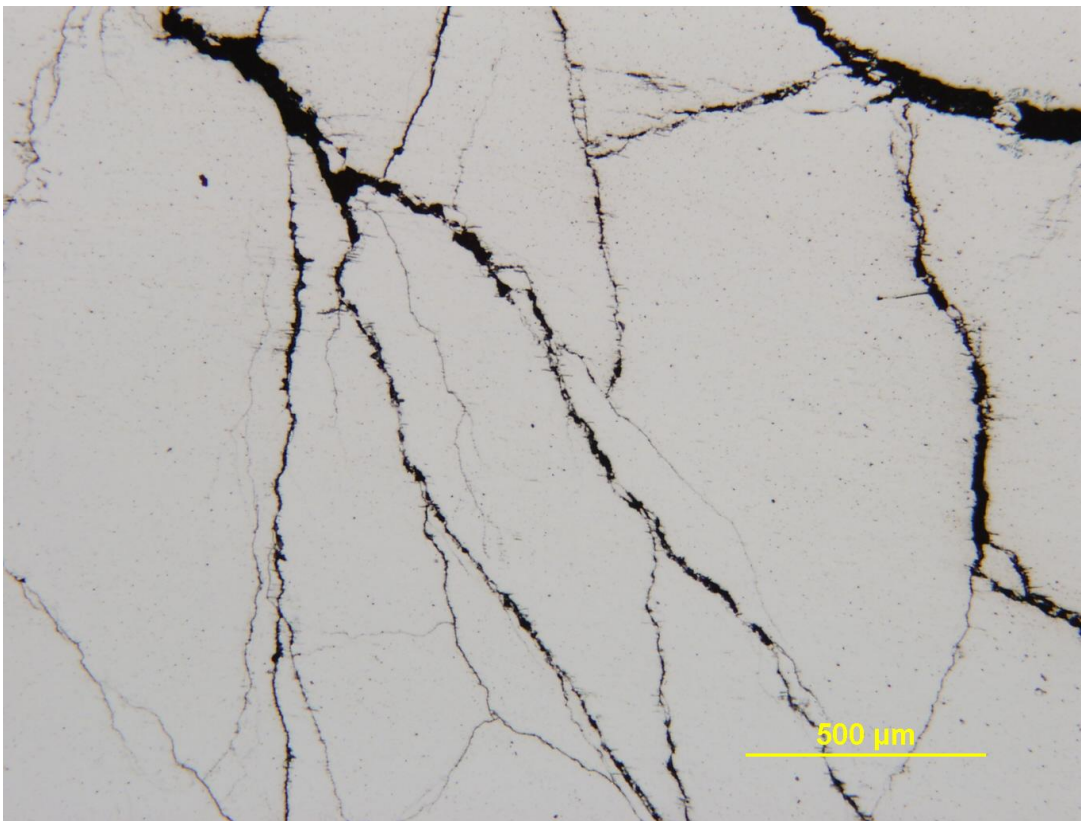
aqui no Brasil e assim poder avaliar melhor a realidade nacional.
Com base em um estudo de caso da Tailândia fizemos uma análise de amostras que estavam expostas as condições beira mar no Brasil, no Rio de Janeiro. Algumas amostras de chapeletas Bonier, Petzl, Simond foram retiradas da rocha e analisadas para aferirmos a condição atual do aço. Com estes resultados podemos comparar os tipos de processos de corrosão com o padrão encontrado na Tailândia.

Caso Tailândia:

O caso estudado na Tailândia foi de uma chapeleta Petzl que foi instalada em 1994 e foi fraturada em 2004, após apenas 10 anos de exposição ao ambiente.

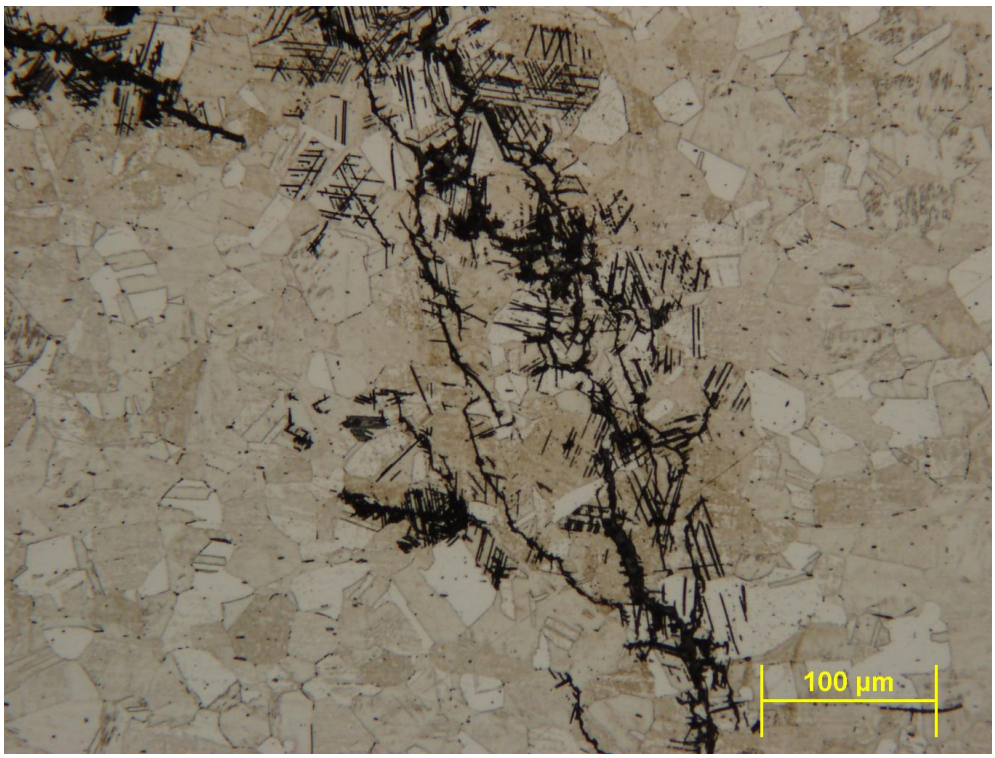
A chapeleta ficava instalada em um setor negativo da Praia Railay, Tailândia e foi possível retirar um pedaço da chapeleta com a mão ao provar se estava sólida. As micrografias (fotos da macroestrutura do aço) mais parecem fotos do Grande Cânion do que um aço. A corrosão abriu vales estreitos e profundos na superfície do material e comprometendo a integridade da peça.
Para poder compreender todo mecanismo deste tipo de corrosão foram feitas análises da água da chuva e da água que nasce nas rochas, análises dos componentes da rocha e seus produtos de corrosão.

Available Fragment Example Hanger and Bolt
• Used at Railay Beach
• Installed 1994, 15m from cliff base contacting ocean at high tide
• Hanger broke in 2004 when tested by hand.



Micrografia 500 µm

Micrografia 200 µm



Micrografia 100 µm

A rocha é um calcário que é rico em cálcio, magnésio e zinco. As águas tem PH ácido que corrói a rocha e levam este resíduo para o mar. Aí estes elementos na superfície da água formam cloretos corrosivos e voláteis que evaporam com facilidade. Ao evaporar o cloreto atinge a chapeleta na forma de vapor e condensa por condições de temperatura e pressão formando um composto corrosivo na superfície do aço da chapeleta. Com isso a chapeleta fraturou apenas após estar somente 10 anos exposta.

Descobriu-se que o cloreto de magnésio e o cloreto de zinco eram os principais responsáveis pela corrosão do aço inoxidável. Os aços inoxidáveis austeníticos tem em sua composição entre 8 e 10% em peso de níquel. O níquel é o responsável por manter a estrutura austenítica a temperatura ambiente no aço. Justamente estes teores de níquel são os mais susceptíveis a sofrerem corrosão do tipo SSC.

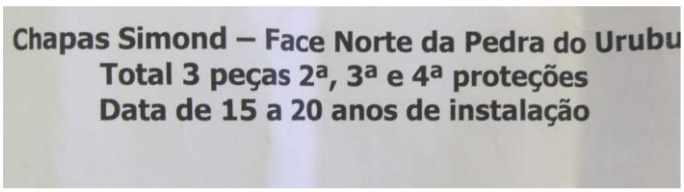
Importância da umidade na saturação de filmes Clorados

Sal	Saturação da concentração, %umidade como Cl	Umidade relativa requerida para saturar as soluções
NaCl Sem fratura	16	75
MgCl2 Fraturou	27	33
CaCl2 Fraturou	29	31
ZnCl2 Fraturou	42	10

Podemos simplificar que a corrosão lá ocorre devido a água ácida, a rocha calcária (que fornece o cálcio, magnésio e zinco), o mar e a estrutura física das paredes (negativos) que propiciam a condensação dos cloretos na chapeleta e evitam que a água da chuva lave estes compostos da superfície do material. Pode ser aferido que somente o Cloreto de Sódio (sal) não é suficiente para causar a fratura do aço.

Amostras:

Estamos discutindo este assunto com diversos escaladores. O Julio Mello, Delson Queiroz e Hillo Santana se dispuseram a ajudar na retiradas das amostras.
Foram retiradas 3 chapeletas Bonier da via Ás de Espadas no Pão de Açucar (face sul) e 3 chapeletas Simond (face sul) e 1 chapeleta Petzl (face norte) da Pedra do Urubu. As chapeletas Bonier tinham sido instaladas pelo próprio Julio no ano de 2007, estando assim quase 7 anos expostas as condições do ambiente. As chapeletas Simond estavam a pelo menos 15 anos e a Petzl há mais de 25 anos e em condições mais agressivas que as que estavam no Pão de Açucar, já que a Pedra do Urubú está praticamente dentro d' água.



Análises realizadas:

Para podermos avaliar como estavam estas chapeletas realizamos alguns ensaios. Contamos com a ajuda do laboratório Spectroscan e o conhecimento do Professor Msc César Lúcio e a Dra Eng Ângela.

Foi feito uma identificação e caracterização do material que foram fabricadas as chapeletas através de espectrometria de emissão ótica. O material da chapeleta Bonier já é conhecido mas fizemos o teste assim mesmo para garantir que é realmente o aço especificado.

Para nossa surpresa todas as chapeletas (Bonier, Petzl e Simond) são fabricadas com o mesmo aço, AISI 304L.

Resultados da Espectrometria de Emissão Ótica:

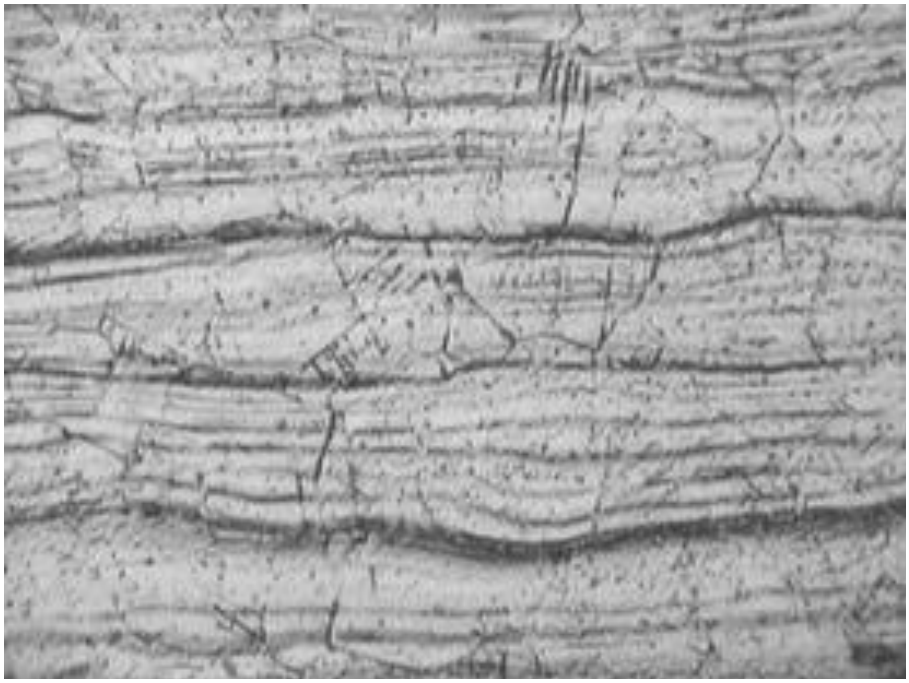
Composição especificada para o aço ASTM A 240 Tp 304 (% em peso).

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Referência
0,070máx	**2,00máx**	**0,75máx**	**17,5-19,5**	**8,0 – 10,5**	**0,045máx**	**0,030máx**	**Tipo 304L**
0,052	0,99	0,661	18,5	8,65	<0,036	0,022	Petzl
0,038	0,86	0,589	19,02	8,66	<0,033	0,022	Simond
0,052	1,01	0,479	18,53	8,08	<0,034	0,021	Bonier

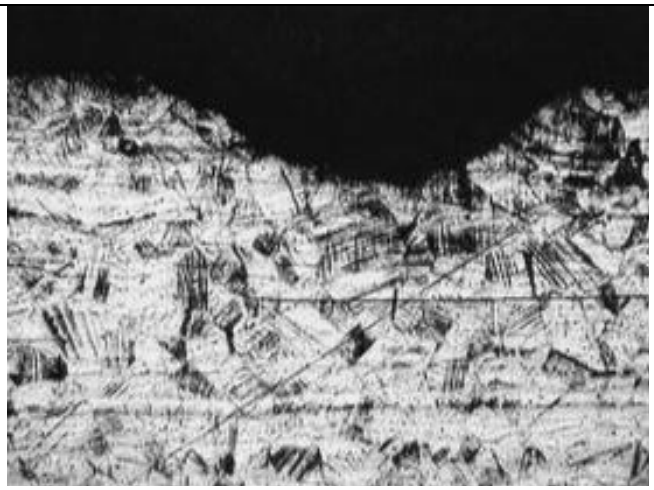
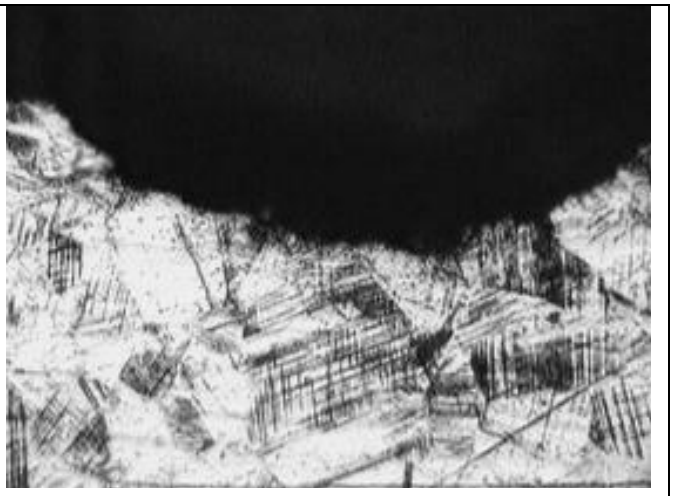
Foi escolhida uma amostra de cada tipo, a que apresentava o estado mais avançado de corrosão, para ser feito um corte na chapeleta e fazer a análise metalográfica para verificar a macro estrutura do material. Na mesma seção transversal foi realizada medição de dureza em diversos pontos, próxima a superfície externa e no meio da chapa. Verificou-se que a chapeleta Simond tem uma dureza superior as outras amostras. Isso se explica com a origem da

matéria prima. A chapeleta Bonier e Petzl são fabricadas em aço inoxidável laminado a quente. A chapeleta Simond foi fabricada com uma chapa laminada a frio.

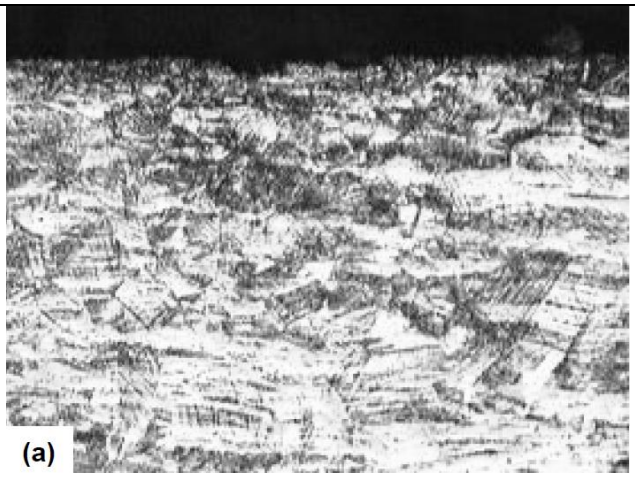
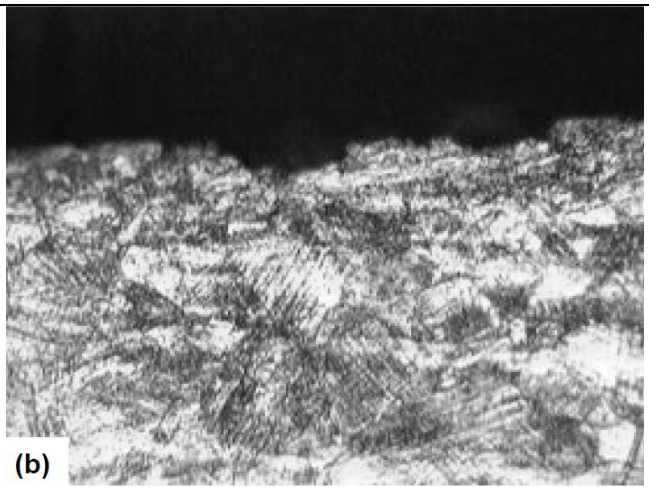
A micrografia não apresenta nenhuma evidência de corrosão por SSC. Podemos ver um pouco de corrosão alveolar na superfície externa do material. Este tipo de corrosão vai afetar a resistência da peça somente após muitos anos e com evidências visíveis de corrosão. Ao contrário a corrosão por SSC não é visível aos nossos olhos o que torna o problema mais perigoso.



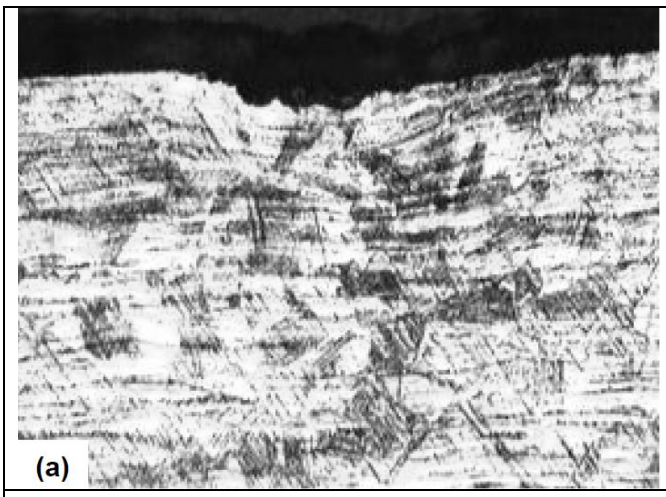
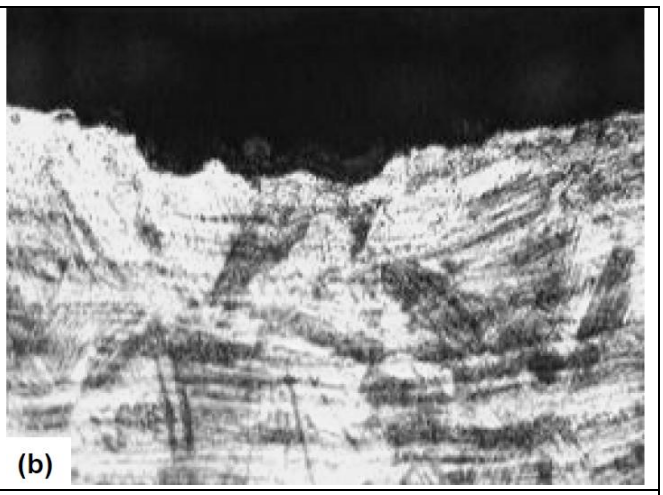
Chapeleta Petzl aumento 800x

	
Chapeletas Petzl, detalhe da superfície corroída 400 x	Chapeletas Petzl, detalhe da superfície corroída 800 x

Chapeleta Simond aumento de 800x

	
Chapeletas Simond, detalhe da superfície corroída 400 x	Chapeletas Simond, detalhe da superfície corroída 800 x

Chapeleta Bonier aumento 800x

	
Chapeletas Bonier, detalhe da superfície corroída 400 x	Chapeletas Bonier, detalhe da superfície corroída 800 x

As três amostras apresentavam o aço em sua condição de fornecimento, da chapa de origem das chapeletas, sem alterações.

Para termos mais certeza que o aço não estava alterado foram selecionadas mais uma amostra da chapeleta Bonier e uma da Simond para um teste de tração destrutivo.

Ambas as chapeletas apresentaram resistência superior a indicada na peça, garantindo assim que a integridade do material é homogênea.

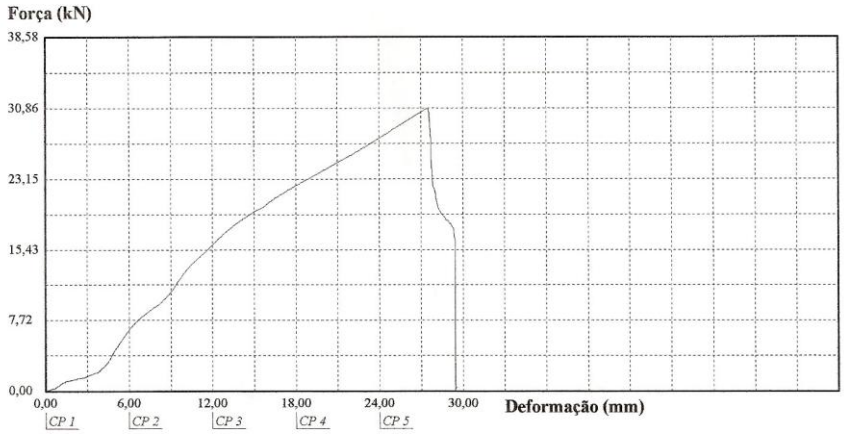
Chapeleta Bonier ensaiada, ruptura 30,87kN.	Chapeleta Simond ensaiada, ruptura 31,78kN.

SPECTROSCAN
ENSAIO DE TRAÇÃO

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: **Trd 2** Data: **30/07/2014** Hora: **15:06:00** Trabalho nº **1307**
Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **Tração_sem det ruptura**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Cliente: **BONIER** Identif.: **41713** Material: **CHAPELETA BONIER**

Corpo de Prova	Força Máx (kN)	Deformação (mm)
CP 1	**30,87**	**27,4**
Número CPs	**1**	**1**
Média	**30,87**	**27,45**
Desv.Padrão	*	*
Coef.Var.(%)	*	*
Mínimo	**30,87**	**27,45**
Máximo	**30,87**	**27,45**

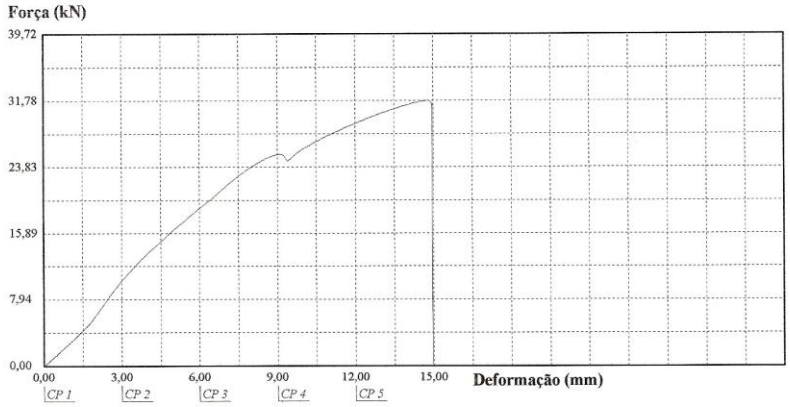


SPECTROSCAN
ENSAIO DE TRAÇÃO

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: **Trd 2** Data: **30/07/2014** Hora: **14:55:56** Trabalho nº **1306**
Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **Tração_sem det ruptura**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Cliente: **BONIER** Identif.: **41712** Material: **CHAPELETA SIMOND**

Corpo de Prova	Força Máx (kN)	Deformação (mm)
CP 1	**31,78**	**14,7**
Número CPs	**1**	**1**
Média	**31,78**	**14,72**
Desv.Padrão	*	*
Coef.Var.(%)	*	*
Mínimo	**31,78**	**14,72**
Máximo	**31,78**	**14,72**



Resultados Preliminares:

Este estudo de caso ainda é muito pouco para determinar uma situação em todo litoral brasileiro. Mas é um começo para desmistificarmos o assunto e conscientizar a comunidade de escaladores da realidade dos fatos.

A mais evidente conclusão é que o meio onde a chapeleta está instalada é o maior determinante para sua durabilidade.

A situação na Tailândia bem como na Grécia é totalmente diversa da nossa. Outra rocha, outro oceano, outra água local e uma morfologia rochosa muito peculiar. Os elementos presentes no calcário foram determinantes na formação dos cloretos que atacam o aço inoxidável.

As chapeletas do Rio nos dão uma primeira evidência que este processo não ocorre pelo menos nos pontos onde estavam instaladas.
As amostras analisadas apresentavam plenas condições de servir ao propósito de assegurar escaladas. Suas resistências permaneciam inalteradas.

Sabemos também que a chuva ajuda no processo de conservação do aço inoxidável através da lavagem da peça e diluindo estes produtos corrosivos de sua superfície. Se a chapeleta estiver instalada em um ponto exposto a chuva melhor, evitar tetos, negativos ou mesmo buracos na superfície da rocha que previnam desta lavagem. Isto para chapeletas instaladas a beira mar.

Por fim ainda não temos notícia de nenhuma falha catastrófica de uma chapeleta por corrosão SSC no Brasil. Temos algumas chapeletas duplas instaladas no ano 2000 em Torres – RS, na parede de frente para o mar. A rocha lá é um basalto e será nosso próximo passo do estudo. Outra rocha e outro ambiente. As amostras serão retiradas após 15 anos da instalação, garantido assim um tempo razoável de exposição.

Agradecimentos:

Gostaríamos de agradecer a colaboração do laboratório Spectroscan nas pessoas do Professor Msc César Lúcio e Dra Eng. Ângela, que fizeram as análises aqui descritas.

Agradeço ao amigo Julio Mello, Delson Queiroz e Hillo Santana pela disponibilidade em retirar as amostras e pela colaboração disponibilizando o seu material de pesquisa.

Agradeço também a Bonier Equipamentos por possibilitar a realização deste estudo.

Referência Bibliográfica:

- Relatório de Inspeção N° 13179/2014 – SPECTROSCAN TECNOLOGIA DE MATERIAIS LTDA.
- SCC of Fixed Climbing Protection in Thailand – Angele Sjong
- Estudo sobre a corrosão dos aços DIN 1.4404 e DIN 1.4410 em soluções de cloretos – Sílvia Alexandra Ramos Costa – Lisboa 2010.