



Documento: DI/46
Item Agenda: GROL 7
Presentado por: Brasil

**“RESULTADOS PRELIMINARES DOS ENSAIOS DE CORROSÃO
(ACELERADO E NÃO ACELERADO) VISANDO À APLICABILIDADE EM
ESTRUTURAS METÁLICAS NA ANTÁRTICA”**



RESULTADOS PRELIMINARES DOS ENSAIOS DE CORROSÃO (ACELERADO E NÃO ACCELERADO) VISANDO À APLICABILIDADE EM ESTRUTURAS METÁLICAS NA ANTÁRTICA

Jordi G. Angelats¹
Cristina Engel de Alvarez²
Saint-Clair D. O. Santos³
Manuel A. F. Castro⁴

Resumo

Os esforços do Programa Antártico Brasileiro em relação à corrosão remontam à instalação da Estação Comandante Ferraz (EACF), intensificando-se a partir do ano de 2002, quando foi identificado pelos países que compõem a RAPAL, a necessidade de união de esforços para a busca de solução para problemas comuns. A partir de então, o Brasil tem realizado estudos específicos e publicado os resultados objetivando, especialmente, a disponibilização dos dados à comunidade científica e logística latinoamericana.

Este artigo apresenta os resultados das análises realizadas no primeiro ano do ensaio de corrosão não-acelerado obtidos a partir da instalação da Estação de Corrosão Atmosférica Comandante Ferraz (EACF), constituída, atualmente, por três “racks”, com cento e doze corpos-de-prova, onde estão sendo testados diferentes esquemas de pintura. Ressalta-se que também estão inclusos corpos-de-prova sem revestimento e fabricados com materiais distintos do aço carbono, que é o material tradicionalmente utilizado na fabricação dos módulos que constituem a EACF. Evidencia-se que também foram realizados diferentes ensaios de corrosão acelerado em laboratórios, no Brasil, com o propósito de verificar o desempenho do esquema de pintura empregado atualmente nas edificações metálicas brasileiras na Antártica, cujos resultados, assim como os de alguns esquemas selecionados de pintura expostos “*in situ*”, também são apresentados.

1. INTRODUÇÃO

A iniciativa de desenvolver estudos sobre a temática corrosão foi determinada durante a XXIII RAPAL (Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos), ocorrida em Buenos Aires, em 2002, quando foi identificada a necessidade de os países

¹ M.Sc., Engenheiro Naval (USP), Capitão-de-Fragata (EN), Chefe do Departamento Técnico do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Marinha do Brasil.

² Dra. Arquiteta (USP), Coordenadora do Laboratório de Planejamento e Projetos da Universidade Federal do Espírito Santo.

³ Engenheiro Naval (USP), Mestrando – Laboratório de Corrosão – Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PEMM) – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Capitão-Tenente (EN), Marinha do Brasil.

⁴ Engenheiro Civil (SUAM), Engenheiro de Tecnologia Militar, Departamento Técnico do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Marinha do Brasil.



pertencentes ao bloco latino-americano unirem esforços na busca de soluções para problemas semelhantes. Nesse evento, foram definidas duas linhas básicas, comuns a todos os países pertencentes ao grupo: corrosão e energias alternativas. A manutenção das superfícies metálicas consiste em uma preocupação recorrente do PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro), assim sendo, no ano seguinte, a temática foi incorporada aos objetivos do grupo ARQUIANTAR⁵ assegurando o direcionamento de ações visando a estabelecer uma metodologia de estudos sistemáticos e continuados específicos para as edificações antárticas.

Para o alcance dos objetivos estabelecidos, foi promovida a união de esforços da instituição de pesquisa – a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), coordenadora do ARQUIANTAR – com a organização responsável pelas atividades de manutenção das edificações brasileiras na Antártica, o Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), sendo este um órgão integrante da Marinha do Brasil que, por sua vez, é subordinado ao Ministério da Defesa do Brasil.

O primeiro artigo produzido [1] apresenta o diagnóstico da situação encontrada nas edificações antárticas brasileiras analisadas e o estabelecimento da metodologia prevista para a continuidade das ações, tendo sido os resultados apresentados na XXIV RAPAL, de Montevideo.

A metodologia proposta partiu de uma análise preliminar dos principais problemas, identificados nas edificações brasileiras na Antártica [2], sendo perceptível, naquela ocasião, a necessidade de investimentos na busca de soluções para o problema da redução dos recursos financeiros disponíveis para as obras em geral e na minimização dos impactos ambientais nas atividades de manutenção das superfícies metálicas. Foram então levantados os dados pretéritos disponíveis, avaliadas as estruturas metálicas mais antigas e comparadas com as atuais, e diagnosticadas as situações mais críticas, tais como nas regiões próximas às soldas, pontos de concentração de tensões e bases de apoio, sendo evidenciada a importância da condição de exposição às intempéries. Durante as avaliações e acompanhamento das obras realizadas, tanto no verão 2001/2002 como no 2002/2003, observou-se a necessidade de estabelecer uma rotina de treinamento e capacitação para os profissionais de nível superior envolvidos com o trabalho e para os operários que executam as tarefas em campo, rotina esta estabelecida a partir de 2003. Na metodologia, foi definida como a principal ação inicial do grupo, a necessidade de instalação de uma Estação de Corrosão Atmosférica, adotando-se variações angulares de exposição dos corpos-de-prova, fato inédito na literatura específica.

Um segundo artigo apresentou, na XXV RAPAL, os resultados preliminares do ensaio de corrosão não-acelerado obtidos a partir da instalação da denominada Estação de Corrosão Atmosférica Comandante Ferraz (ECACF), na ocasião, constituída de dois suportes com oitenta e oito corpos-de-

⁵ ARQUIANTAR – Arquitetura na Antártica. É um dos 15 projetos que integram a denominada “Rede 2” de pesquisa, pertencente ao Programa Antártico Brasileiro.



prova⁶, onde estão sendo testados diferentes esquemas de pintura submetidos ao microclima de Ferraz [3].

A clara identificação da influência das condições de exposição à ação da atmosfera nos materiais no processo de corrosão, associada aos estudos visando à otimização energética na Estação Ferraz, levaram ao reconhecimento da importância do projeto arquitetônico, especialmente do “*design*”, na qualificação de eficiência das edificações [4]. Os espaçamentos entre os containers que compõem Ferraz, além de representarem superfícies adicionais a serem tratadas, ainda permitem a perda de calor. Foram então realizadas algumas experiências de união dos “containers”, avaliados os resultados e, diante das respostas positivas da técnica adotada, os estudos relativos ao Plano Diretor (*Master Plan*) - visando o crescimento ordenado e eficiente das instalações – consideram, como premissa de projeto, a necessidade de eliminação dos espaços residuais inter-módulos e a redução dos recortes em planta.

Foram também realizadas atividades visando quantificar os resíduos oriundos das atividades de manutenção das superfícies metálicas, cujos resultados foram apresentados em vários eventos e, dentre eles, na XXV RAPAL [5].

Esse artigo refere-se ao quarto trabalho produzido relacionado ao esforço do PROANTAR no compromisso assumido na XXIII RAPAL, não só em desenvolver estudos sistemáticos como, também, disponibilizar os resultados obtidos e promover intercâmbio de conhecimento entre os países latinoamericanos.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

A presente pesquisa tem como propósito substituir e/ou aprimorar os esquemas de pintura atualmente utilizados na EACF por outros esquemas que apresentem um desempenho superior ao atual. A EACF, principal instalação brasileira na Antártica, está situada em um local inóspito e de difícil acesso, que faz com que a sua manutenção seja realizada a um custo elevado, portanto, é de vital importância que o projeto de suas estruturas, bem como a escolha dos materiais empregados, sejam os mais adequados de forma a minimizar o volume dos trabalhos das manutenções periódicas de suas estruturas metálicas. Apresenta, também, como objetivo tão importante quanto os demais, a preocupação com a proteção ao ambiente antártico, uma vez que a atividade de pintura e os resíduos produzidos, tanto no tratamento como na pintura, são potenciais poluentes do solo e de difícil remoção.

⁶ Durante a OPERANTAR XXIII, no verão 2004/2005 foi instalado mais um “rack” com corpos-de-prova dotados de esquemas de pintura baseados na tecnologia da ferrugem protetora.



3. INSTRUMENTOS E MÉTODOS

Os experimentos dividem-se em ensaios de **corrosão acelerado**, realizados em laboratórios no Brasil, e **não-acelerado** “*in situ*”, com experimentos instalados nas proximidades do complexo edificado da EACF. A previsão de duração dos ensaios de corrosão não-acelerado é de cinco anos, cujos resultados, ao final do período, permitirão identificar quais esquemas de pintura podem ser classificados como satisfatórios, no entanto já se obtiveram os primeiros resultados significativos, que estão descritos no item 4, por meio da aplicação na norma ABNT-NBR-5770. Os ensaios de corrosão acelerado, realizados no Brasil, referentes ao esquema de pintura atualmente utilizado na EACF - alquídico de secagem rápida e o epóxi sem solvente, também de cura acelerada - já foram concluídos, sendo esse complementar aos ensaios de corrosão não acelerado, permitindo antecipar alguns resultados finais dos experimentos “*in situ*” e validar outros resultados parciais referentes ao primeiros dezoito meses de exposição dos corpos-de-prova, que permanecerão na EACF por um período de, no mínimo, cinco anos.

Para a realização dos ensaios e a determinação das condições ambientais, foram realizadas análises no eletrólito (neve), a fim de determinar a sua influência no processo de corrosão antártica. Para tanto, foram obtidos os dados referentes aos principais parâmetros físico-químicos – tais como sulfatos, nitratos, cloretos, fluoretos, resistividade, condutividade e pH – nas amostras da neve coletadas no perímetro da EACF. Também foram retirados produtos de corrosão para a identificação dos compostos, sua microestrutura e morfologia, visando a identificação do processo de corrosão. Procedeu-se a instalação de uma estação de monitoramento da corrosão atmosférica, denominada Estação de Corrosão Atmosférica Comandante Ferraz (ECACF), com a exposição inicial de oitenta e oito corpos-de-prova, cuja análise periódica está sendo realizada baseada na norma ABNT-NBR 5770 [6], visando determinar o grau de enferrujamento dos corpos-de-prova e o conseqüente desempenho de sistemas de proteção das superfícies metálicas (esquemas de pintura) durante a exposição dos mesmos. O acompanhamento do desempenho dos corpos-de-prova “*in situ*” é realizado através de comparação fotográfica e, para unificar os métodos de obtenção de tais fotos - considerando que nem sempre são produzidas por pessoal pertencente ao Grupo de Trabalho de Corrosão (GT-Corrosão) - foi elaborado um documento de orientação de procedimento padrão, sendo as imagens periodicamente enviadas para análise no Brasil.

A periodicidade de obtenção das fotos dos corpos-de-prova é trimestral, contando-se também com a inspeção anual de componentes do GT-Corrosão a fim de procederem avaliações “*in situ*”.

Os corpos-de-prova, fabricados no AMRJ, foram divididos em dois grandes grupos: os pintados nas condições ambientais do Rio de Janeiro (Brasil), e os pintados no ambiente antártico, ambos com controle efetivo na aplicação das tintas, como espessura, temperatura e umidade. Os esquemas de pintura ou isenção de revestimento dos corpos de prova encontram-se detalhados no Quadro I.



Inicialmente foram construídos dois “racks” para serem implantados na EACF; um para a instalação de 65 corpos-de-prova, em um plano inclinado a 45°, como é freqüentemente relatado na literatura, e outro de menor capacidade, para 24 corpos-de-prova. Este suporte menor, além de conter o plano inclinado a 45°, também contém o plano horizontal (0°) e o vertical (90°). A inclusão destes dois últimos planos deve-se ao fato de estudos demonstrarem que planos diferentes geram taxas de corrosão diferentes [7].

O início da exposição ocorreu em janeiro de 2004 e está prevista para prolongar-se até o final de 2008, sendo de interesse da pesquisa tanto os resultados parciais quanto o final, ao término do período de exposição previsto.

Quadro I - Corpos-de-prova expostos na EACF.

	MATERIAL / Nº DO CP					ESQUEMA DE PINTURA	LOCAL DE PINTURA	QUANT.	
1	Aço	Carbono	Galvanizado	a	Quente	Alquídico	AMRJ	3	
	CPs 13, 23 e 60								
2	Aço	Carbono	Galvanizado	a	Quente	Alquídico	EACF	3	
	CPs 5, 32, e 41								
3	Aço	Carbono	Galvanizado	a	Quente	Epóxi Sem Solv.	AMRJ	3	
	CPs 28, 31 e 51								
4	Aço	Carbono	Galvanizado	a	Quente	Epóxi Sem Solv.	EACF	3	
	CPs 16, 55 e 63								
5	Aço				Carbono	Alquídico	AMRJ	3	
	CPs 1, 9 e 34								
6	Aço				Carbono	Alquídico	EACF	3	
	CPs 39, 61 e 62								
7	Aço				Carbono	Epóxi Sem Solv.	AMRJ	3	
	CPs 24, 33 e 36								
8	Aço				Carbono	Epóxi Sem Solv.	EACF	3	
	CPs 14, 40 e 59								
9	Aço	Carbono	+	Filete	de Solda	Alquídico	AMRJ	3	
	CPs 25, 37 e 58								
10	Aço	Carbono	+	Filete	de Solda	Alquídico	EACF	3	
	CPs 17, 49 e 54								
11	Aço	Carbono	+	Filete	de Solda	Epóxi Sem Solv.	AMRJ	3	
	CPs 6, 10 e 22								
12	Aço	Carbono	+	Filete	de Solda	Epóxi Sem Solv.	EACF	3	
	CPs 19, 44 e 65								
13	Aço	Carbono	+	Filete	de Solda	+ Galv.	Alquídico	EACF	3
	CPs 7, 42 e 56								
14	Aço	Carbono	+	Filete	de Solda	+ Galv.	Epóxi Sem Solv.	EACF	3
	CPs 2, 30 e 50								
15	Aço	Carbono			Riscado	Alquídico	EACF	3	
	CPs 26, 43 e 60								
16	Aço	Carbono			Riscado	Epóxi Sem Solv.	EACF	3	
	CPs 8, 46 e 64								
17	Aço	Carb.+Fil.	Solda+Galv.c/Pint		s/Cont.	Alquídico	EACF	3	
	CPs 27, 48 e 57								
18	Aço				Cor-tem	--	--	3	
	CPs 4, 12 e 74								



19	Aço Carbono sem Pintura CPs 35, 38, 48, 52, 53, 66, 68, 70, 85, 87 e 89	--	--	11
20	Titânio CPs 11, 20 e 80	--	--	3
21	Aço Carbono + Filete de Solda CPs 3, 29 e 77	Epóxi Intern.	EACF	3
22	Aço Carbono CPs 21, 73 e 83	Epóxi NP	AMRJ	3
23	Aço Carbono Galvanizado a frio CPs 15, 78 e 82	--	--	3
24	Alumínio CPs 45, 79 e 81	--	--	3
25	Aço Carbono (Plano Vert. E Horiz.) CPs 71 e 84	Alquídico	EACF	2
26	Aço Carbono + Filete de Solda + Galv. (Plano Vert. e Horiz.) CPs 67, 69, 72, 75, 85 e 86	Alquídico	EACF	6

Conforme mencionado anteriormente, os **ensaios acelerado de corrosão**, consistem de testes desenvolvidos em laboratórios, numa escala temporal reduzida, tendo como finalidade estudar o comportamento de alguns materiais e/ou esquemas de pintura, para uma posterior correlação com o ambiente no qual o material e/ou esquemas de pintura serão utilizados em serviço. Existem inúmeros testes deste tipo envolvendo diversas variáveis, como por exemplo: radiação ultravioleta, umidade, temperatura, presença de contaminantes, entre outras.

Deste modo, foram realizados, no Brasil, diversos ensaios acelerados de corrosão com o esquema de pintura usado atualmente na EACF - "primer" alquídico com acabamento alquídico - utilizado em 90% das estruturas da Estação e no Quadro II denominado "Ferraz".

Quadro II - Esquema de pintura estudado.

Esquemas de Pintura	Descrição (tinta de fundo/tinta de acabamento)	Espessura da tinta de fundo (μm)	Espessura da tinta de acabamento (μm)	Espessura total (μm)
"Ferraz"	Primer alquídico comum/Alquídico	30	60 (2 x 30)**	90

**** Indicativo de duas demãos.**

Após o término dos ensaios acelerados de corrosão, todos os corpos-de-prova foram analisados em diferentes aspectos, com o propósito de se verificar a resistência do esquema de pintura, no que se refere à proteção anticorrosiva.

Os aspectos mencionados anteriormente foram: grau de empolamento ("*blistering*"), norteado pela norma ISO 4628/2 [8]; grau de corrosão, norteado pela norma ISO 4628/3 [9]; grau de fendimento, também conhecido como fissuração ("*cracking*"), norteado pela norma ISO 4628/4 [10]; grau de descascamento ("*flaking*"), norteado pela norma ISO 4628/5 [11]; e grau de gizamento ("*chalking*"), norteado pela norma ASTM D 659 [12].



Do mesmo modo, também foram avaliados a degradação na incisão [13] e o avanço de corrosão na incisão [14], nos corpos-de-prova que a possuíam. É oportuno destacar que, excetuando o teste de imersão em solução de NaCl, o qual contou com um corpo-de-prova, todos os demais ensaios contaram com dois corpos-de-prova com incisão e um outro sem, totalizando três corpos-de-prova.

O ensaio de exposição à radiação ultravioleta (UV) e condensação de umidade, foi realizado em ciclos de 08 (oito) horas de radiação UV-B a 60 °C e 04 (quatro) horas de condensação de umidade a 50 °C, sendo que o ensaio teve a duração 1000 (mil) horas. Já para o ensaio de exposição contínua em névoa salina, foram adotados os preceitos da norma ASTM B 117 [16], utilizando-se solução de NaCl à 5%, à temperatura de 35°C, tendo uma duração total de 1000 (mil) horas.

O ciclo PETROBRAS modificado é parte dos testes que comporão a norma ISO 20340, ainda em elaboração. Este teste consiste em um ensaio ciclado, com a seguinte composição: 72 horas de exposição contínua em névoa salina, exposição ao frio a -10 °C por 24 horas, e, por último, 72 horas em exposição à radiação ultravioleta (UV-A) a 60 °C por 4 horas e condensação de umidade a 50 °C por 4 horas.

Nesta pesquisa, modificou-se o ciclo, com a finalidade de ampliar o grau de rigor, observando-se que a modificação proposta deixou o ensaio ciclado com a seguinte composição: 144 horas em exposição à radiação ultravioleta/condensação de umidade, sendo utilizado o ciclo de 8 horas de exposição à radiação (UV-B) a 60 °C, e condensação a 50 °C por 4 horas, a seguir, 144 horas de exposição contínua em névoa salina, e, por último, exposição ao frio a -15 °C, por 48 horas seguidas. O ensaio total teve uma duração de 1000 horas.

Também foi realizado o ensaio de imersão em solução de NaCl, cujo propósito foi conhecer o comportamento do esquema de pintura em presença do eletrólito, que consistia numa solução de 3,5% em NaCl. O ensaio teve a duração de 700 (setecentas) horas e, correlacionando com o aspecto prático, é a tentativa de simular o contato da neve com os diferentes esquemas de pintura, obviamente submetido à temperatura mais elevada, com o intuito de acelerar as reações do processo de corrosão.

4. RESULTADOS

Em relação aos ensaios não acelerados, já se pode classificar os diversos graus de enferrujamento (GE) em que se encontram os corpos-de-prova pintados (Quadro III) e pode-se afirmar, com base na norma NBR 5770 [6], onde F0 significa isento de corrosão e F1, F2, F3, F4 e F5 níveis de corrosão correspondentes às figuras da norma, que:

- As primeiras avaliações sinalizam que os dois esquemas de pintura em exposição estão apresentando resultados satisfatórios, quando aplicados sobre superfícies de aço galvanizadas e, para superfícies não galvanizadas, os sinais de corrosão são bastante incipientes;



- Não foram constatadas evidências de que o local de pintura - o AMRJ ou a EACF -, influenciem no desempenho dos esquemas de pintura, considerando o tempo decorrido de exposição;
- A aplicação de um composto galvânico na região das soldas apresenta bons resultados e deverá ser mantida;
- Os corpos-de-prova de aço Cor-ten apresentaram a corrosão esperada, porém, necessitam de maior tempo de observação, já que é possível que a pátina formada não tenha características protetoras;
- Materiais como alumínio e titânio estão apresentando excelentes resultados.

Quadro III - Resumo da performance dos corpos-de-prova expostos no período de 18 meses na ECACF.

IDENTIFICAÇÃO DO ITEM	COMENTÁRIOS
1 e 2	▪ Pequenos sinais de corrosão GE F1.
3 e 4	▪ Ótimo desempenho não havendo sinais de corrosão GE F0.
5 e 6	▪ Sinais significativos de corrosão GE F2.
7 e 8	▪ Ótimo desempenho GE F0.
9 e 10	▪ Sinais evidentes de corrosão GE F2.
11 e 12	▪ Ótimo desempenho GE F0.
13	▪ Bom desempenho com os primeiros sinais de corrosão GE F1.
14	▪ Ótimo desempenho sem sinais de corrosão GE F0.
15	▪ Baixíssimo desempenho com corrosão generalizada GE F2.
16	▪ Bom desempenho porém com sinais de corrosão GE F1.
17	▪ Sinais generalizados de corrosão GE F2.
18	▪ Corrosão uniforme sem pintura.
19	▪ Corrosão geral sem pintura.
20	▪ Excelente desempenho, isento de corrosão sem pintura.
21	▪ O pior desempenho dos epóxis GE F3.
22	▪ Bom desempenho com indícios de corrosão GE F0.

23	▪ Excelente desempenho sem pintura.
24	▪ Excelente desempenho sem pintura.
25	▪ Corrosão generalizada GE F2.
26	▪ Corrosão generalizada GE F2.

A figura 1 ilustra o desempenho distinto de dois corpos-de-prova expostos na ECACF.



Figura 1- Corpos-de-prova expostos por 18 meses na Estação Antártica Comandante Ferraz, sendo ambos de aço carbono com esquema epóxi branco.

Ressalta-se que o desempenho dos principais esquemas de pintura utilizados, por alguns não apresentarem a performance esperada, induziu à ampliação da amostragem visando explorar novos esquemas de pintura, inclusive aqueles à base de ferrugem protetora.

No que diz respeito aos ensaios acelerados, seguem os principais resultados obtidos.

4.1. Ensaio de exposição à radiação ultravioleta (UV) e condensação de umidade:

Como pode ser observado no Quadro IV, o esquema de pintura utilizado em Ferraz apresentou gizamento em grau 8 [12], também conhecido como “chalking”, que, simplificada, ocorre devido a ação da radiação ultravioleta (UV), cuja reação fotoquímica ocasiona a liberação dos pigmentos da tinta. Destaca-se que, neste ensaio, não houve defeitos nos demais aspectos avaliados.



Quadro IV - Resumo da performance do esquema de pintura no ensaio de exposição à radiação ultravioleta (UV-B) e condensação de umidade - 1000 horas.

Exposição à radiação ultravioleta (UV-B) e condensação de umidade (1000 horas)							
Esquema de pintura	Propriedades						
	Empolamento	Corrosão	Fendimento	Descascamento	Gizamento	Degradação na incisão	Avanço na incisão
"Ferraz"	0	Ri0	0	0	8	0	0

4.2. Ensaio de exposição contínua em névoa salina:

O Quadro V apresenta os resultados do ensaio em névoa salina, observando-se que os corpos-de-prova com incisão apresentaram bolhas com densidade 5 e tamanho 3; o outro corpo-de-prova, pintado com este esquema de pintura, também apresentou empolamento com densidade 5 e tamanho 2. Já em relação à degradação na incisão, este esquema apresentou bolhas com densidade 4 e tamanho 2, na região da mesma.

Quadro V - Resumo da performance dos esquemas de pintura no ensaio de exposição contínua em névoa salina - 1000 horas.

Exposição CONTÍNUA EM NÉVOA SALINA (1000 horas)							
Esquema de pintura	Propriedades						
	Empolamento	Corrosão	Fendimento	Descascamento	Gizamento	Degradação na incisão	Avanço na incisão
"Ferraz"	5(S3)	-	0	0	4(S2)	-	-

É importante ressaltar que todos os corpos-de-prova apresentaram uma área corroída superior a 50% da superfície pintada, deste modo, não foi possível classificá-los segundo a norma ISO 4628/3 [9], assim, também não foi possível quantificar o avanço na incisão.

Para este ensaio, o esquema de pintura usado na EACF não apresentou defeitos do tipo fendimento ou descascamento.

4.3. Ensaio ciclo PETROBRÁS modificado

O Quadro VI apresenta a síntese dos resultados obtidos no ensaio ciclo PETROBRAS modificado, observando-se que o esquema de pintura adotado na EACF, no aspecto empolamento, apresentou em um dos corpos-de-prova, dotado de incisão, bolhas de densidade 2 e tamanho 2; o outro corpo-de-prova, também com incisão, apresentou bolhas com densidade 5 e tamanho 3, sendo que o corpo-de-prova sem incisão apresentou bolhas com densidade 3 e tamanho 2.

No aspecto corrosão, observou-se que um dos corpos-de-prova pintado com o esquema de pintura apresentou bolhas de densidade 2 e tamanho 2, e recebeu o grau Ri4. O mesmo grau recebeu o corpo-de-prova sem incisão, na medida em que apresentou uma área de 8% da superfície corroída. Já o terceiro corpo-de-prova (com incisão), apresentou uma área corroída



superior a 50% da superfície pintada, deste modo, não foi possível classificá-lo segundo a norma ISO 4628/3 [9].

Em relação às falhas do tipo fendimento ou descascamento, o esquema de pintura usado atualmente na Estação Antártica Comandante Ferraz não as apresentou.

Em relação ao aspecto de gizamento, obtiveram-se os mesmos resultados do ensaio de exposição à radiação ultravioleta (UV-B) e condensação de umidade, isto é, o esquema de pintura foi avaliado com grau 8.

Em relação à degradação na incisão, os corpos-de-prova apresentaram resultados bem diferentes: um apresentou bolhas de densidade 5 e tamanho 2, enquanto no outro corpo-de-prova dotado de incisão, não foi possível avaliar este aspecto em virtude do elevado grau de deterioração.

No que tange ao avanço na incisão os corpos-de-prova apresentaram um avanço de 1,3 mm.

Quadro VI - Resumo da performance dos esquemas de pintura no ensaio ciclo PETROBRAS modificado - 1000 horas.

Ciclo Petrobras modificado (1000 horas)							
Esquema de pintura	Propriedades						
	Empolamento	Corrosão	Fendimento	Descascamento	Gizamento	Degradação na incisão	Avanço na incisão
"Ferraz"	2(S2)	Ri4	0	0	8	5(S2)	1,3

Do ensaio em pauta, pode-se inferir que, os corpos-de-prova pintados com o esquema de pintura usado atualmente na EACF apresentaram um péssimo desempenho em virtude do seu elevado grau de corrosão, sendo que, um deles, não pôde ser classificado pela norma ISO 4628/3 [9], pois apresentava uma área corroída superior a 50%, após as 1000 horas de ensaio.

4.4. Ensaio de imersão em solução de Naci:

Conforme o Quadro VII, no aspecto empolamento, o esquema de pintura apresentou bolhas com o tamanho 3 e densidade 5.

Destaca-se que, o esquema de pintura utilizado atualmente na Estação Antártica Comandante Ferraz foi classificado como Ri5, pois apresentou uma área enferrujada que representa de 40 a 50% da superfície analisada [9].

No que tange ao fendimento, o esquema de pintura não apresentou este tipo de falha.

Em relação ao aspecto descascamento, também conhecido como "*flaking*", o esquema de pintura apresentou um descascamento grau 5, em virtude da área defeituosa ser superior a 15%, com dimensões do descascamento de até 10 mm (dimensão 3), sendo que o descascamento foi na camada de acabamento. Destaca-se que o verso deste corpo-de-prova apresentou um grau de



descascamento superior a 15%, portanto, extrapolou os critérios da norma ISO 4628/5 [11], sendo que todo o sistema de pintura soltou, expondo em diversos pontos o substrato metálico.

Do exposto, pode-se afirmar que o esquema de pintura utilizado atualmente na Estação Antártica Comandante Ferraz obteve um péssimo desempenho no ensaio.

Quadro VII - Resumo da performance dos esquemas de pintura no ensaio de imersão em solução de NaCl 3,5% - 700 horas.

Ensaio de imersão em solução de NaCl 3,5% a 40°C (700 horas)				
Esquema de pintura	Propriedades			
	Empolamento	Corrosão	Fendimento	Descascamento
"Ferraz"	5(S3)	Ri5	0	5(S3)a

Com base nos resultados alcançados, tanto no ensaio não acelerado, realizado através da Estação de Corrosão Atmosférica Comandante Ferraz, como no acelerado, realizado em laboratórios no Rio de Janeiro, pode-se concluir que:

1. É necessário promover a substituição do atual esquema de pintura utilizado na EACF (alquídico), ressaltando-se que, concomitante à pesquisa em andamento, já estão sendo estudados esquemas alternativos de pintura, possíveis de serem adotados com as técnicas e os recursos disponíveis, visando a aplicação gradativa nos módulos metálicos que compõem a Estação Antártica Comandante Ferraz;
2. Foi observado que alguns corpos de prova, que eram de coloração verde, após um ano, perderam a cor. Este fenômeno é denominado "Chalking" ou gizamento, provocado pela ação dos raios UV, provavelmente amplificado, em função do denominado "Buraco de Ozônio" evidenciado na região polar Sul. É desejável incrementar a pesquisa com outras instituições, brasileiras ou não, a fim de quantificar e qualificar o fenômeno específico.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Na evolução dos trabalhos relativos à temática, ressalta-se que foi claramente identificada a necessidade de união dos esforços entre a instituição acadêmica, no caso a UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, com a organização militar responsável pelas obras de manutenção das edificações brasileiras na Antártica, o AMRJ - Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro. Além dos resultados já alcançados, a troca de experiências e o direcionamento das ações das instituições envolvidas têm permitido o aprimoramento dos recursos humanos, seja em cursos de pós graduação, seja em atividades práticas no campo.



Considerando os resultados preliminares obtidos, para o amadurecimento das pesquisas é desejável que ocorra, também, o intercâmbio de informações com outras nações que desenvolvam estudos semelhantes, visto ser este um assunto de interesse dos países que possuem edificações com elementos metálicos na Antártica e que se preocupam com as conseqüências ambientais da ocupação humana na região.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Direção do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro; à Universidade Federal do Espírito Santo; às coordenações do PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro) na SECIRM (Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar) e no CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte técnico, financeiro e político de apoio a esta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVAREZ, C. E de, SOUZA, H. T. Estudo da corrosão nas edificações metálicas da Estação Antártica Comandante Ferraz In: XIV RAPAL - Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos, 2003, Montevideo. **Documento de Informacion - RAPAL XIV**. Montevideo: Instituto Antártico Uruguayo, 2003.
- [2] ALVAREZ, C. E. de. **Avaliação de Habitabilidade da Estação Antártica Comandante Ferraz**. Vitória, ES: LPP/UFES. 2002.
- [3] ANGELATS, J. G., ALVAREZ, C. E. de, CASTRO, M. A. F., PALMA, M. A. W., SANTOS, S. D. O., FONTES, O. H. P. M., SOUZA, H. T. Estudo do processo de corrosão das estruturas metálicas da Estação Antártica Comandante Ferraz - Brasil In: XV RAPAL - Reunion de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos, 2004, Guayaquil. **Documento de Informacion - RAPAL XV**. Guayaquil: Programa Antártico Ecuatoriano, 2004.
- [4] ALVAREZ, C. E. de, CASAGRANDE, B., SOARES, G. R. A contribuição ambiental pelo design: proposta de layout para o Plano Diretor da Estação Antártica Comandante Ferraz In: XII Seminário Sobre Pesquisa Antártica, 2004, São Paulo. **Programa e Resumos**. São Paulo: 2004.
- [5] ALVAREZ, C. E. de, SOUZA, H. T. Controle de resíduos nas edificações brasileiras na Antártica In: XV RAPAL - Reunion de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos, 2004, Guayaquil. **Documento de Informacion RAPAL XV**. Guayaquil: Programa Antártico Ecuatoriano, 2004.
- [6] NBR 5770 "Determinação do grau de enferrujamento de superfícies pintadas", 2003.



- [7] VERA, R., ROSALES, B. M., TAPIA, C., "Effect of the Exposure Angle in the Corrosion Rate of Plain Carbon Steel in a Marine Atmospheric", *Corrosion Science* v. 45, pp. 321-337, 2003.
- [8] ISO 4628, "Paints and Varnishes – Evaluation of Degradation of Paint Coatings – Designation of Intensity, Quantity and Size of Common Types of Defect – Part 2: Designation of Degree of Blistering", ISO, Geneve, 1982.
- [9] ISO 4628, "Paints and Varnishes – Evaluation of Degradation of Paint Coatings – Designation of Intensity, Quantity and Size of Common Types of Defect – Part 3: Designation of Degree of Rusting", ISO, Geneve, 1982.
- [10] ISO 4628, "Paints and Varnishes – Evaluation of Degradation of Paint Coatings – Designation of Intensity, Quantity and Size of Common Types of Defect – Part 4: Designation of Degree of Cracking", ISO, Geneve, 1982.
- [11] ISO 4628, "Paints and Varnishes – Evaluation of Degradation of Paint Coatings – Designation of Intensity, Quantity and Size of Common Types of Defect – Part 5: Designation of Degree of Flaking", ISO, Geneve, 1982.
- [12] ASTM D 659, "Evaluation Degree of Chalking of Exterior Paints", Philadelphia, USA, 1979.
- [13] FLORES, S., "Normas para la Evaluación de Recubrimientos", *In: Corrosion y Protección de Metales en las Atmosferas de Iberoamérica, Parte II – Protección Anticorrosiva de Metales en las Atmosferas de Iberoamérica (Rede Temática Patina, XV.D/CYTED)*, Gráficas Salué, S. A., pp. 707-742, 2002.
- [14] FRAGATA, F. L., "Informações para Avaliação dos corpos-de-prova do Grupo I e Preenchimento das Planilhas de Inspeção". Documento PATINA G1-5, 1996. Citado por [13]
- [15] FRAGATA, F., ALMEIDA, E., CORVO, F., et al., "Desempenho Anticorrosivo de Esquemas de Pintura Convencionais Aplicados em Aço Carbono e em Aço Galvanizado". *In: Corrosion y Protección de Metales en las Atmosferas de Iberoamérica, Parte II – Protección Anticorrosiva de Metales en las Atmosferas de Iberoamérica (Rede Temática Patina, XV.D/CYTED)*, Gráficas Salué, S. A., pp. 343-410, 2002.
- [16] ASTM B117-97, "Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus", 1997.