

Corrosão de metais no setor produtivo: luta incessante para preservação de ativos

Zehbour Panossian

*Palestra on-line apresentação na Universidade do Bale do Paraíba –
INIVAP, aula magna dos cursos de Pós-graduação na Universidade ,
2021. 57 slides*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

DIAS 12 E 13 DE AGOSTO

AULA MAGNA

Stricto Sensu



Instituto de Pesquisa
e Desenvolvimento



Universidade do Vale do Paraíba



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

Corrosão de metais no setor produtivo: luta incessante para preservação de ativos

Zehbour Panossian (Zepir)

Pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Proteção
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A., IPT

12.08.2021

- ✓ Introdução: apresentação do IPT/LCP, métodos de proteção contra corrosão
 - Estudos relacionados com seleção de materiais
 - Desenvolvimento de materiais mais resistentes
 - Desenvolvimento de ensaios e monitoramento da corrosão
 - Curiosidades em corrosão
- ✓ Conclusão

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeB8SuRWo7Gtv0mt_yN0Fbn4OOqP6eT_YEF9O1uuTtHZ6vIEw/viewform?usp=sf_link

Responder as questões 1 e 2



Fundada em 1899

O IPT teve e tem um papel importante no desenvolvimento tecnológico do estado de São Paulo e do país



Fundada em 1963

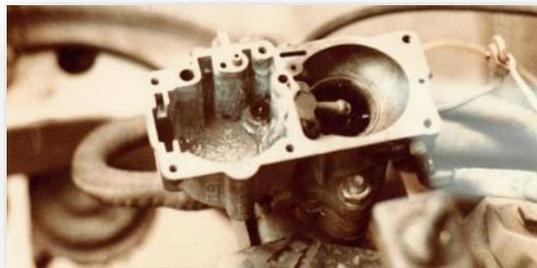
O LCP vem trabalhando com o setor produtivo (público e privado) com o objetivo único de garantir a integridade de ativos por meio de soluções tecnológicas de proteção contra corrosão

História do LCP



Análise de falhas e ensaios

Primeiro: Petrobras – ruptura do OSBAT 24



Programa Proálcool: projetos de P&D e serviços tecnológicos para montadoras, governo federal e usinas

Introdução do carburador com níquel químico (Ford) e apoio na seleção de materiais dos injetores eletrônicos (WV)

Incorporação do Lab. Tintas



Atuação forte no setor de **óleo e gás e biocombustíveis**. **Reinauguração: 2009** (17 milhões - Petrobras).

Petrobras 2003 a 2021: 86 projetos de PD&I



Projetos P&D – 4 projetos

EUA lança custo da corrosão: (3 a 4) % PIB 30 % podem ser economizados!!!!

IPT inicia estudos de corrosão atmosférica no Brasil



Reposicionamento do Laboratório: **Lab. de Corrosão e Proteção**
Benchmarking internacional (visita 12 instituições em 6 países)
Grandes projetos com empresas estatais participação no CYTED.

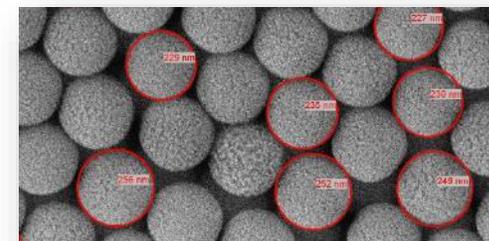
Lançamento de 4 livros



Inserção **internacional** e foco em **inovação** (materiais nanoestruturados e novos materiais)

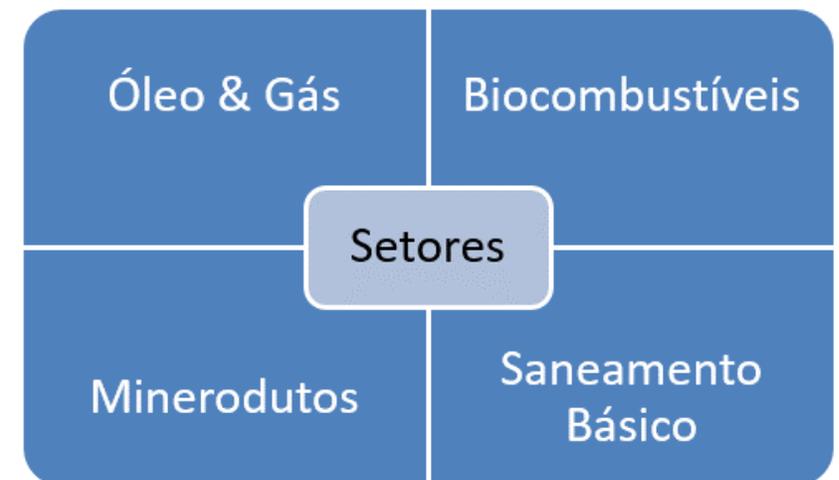
Projetos Nanomar e TBE e programa Embrapii

Incorporação Seção Metalografia



Laboratório de corrosão e Proteção

Infraestrutura em
corrosão interna,
corrosão externa,
proteção catódica
e monitoramento



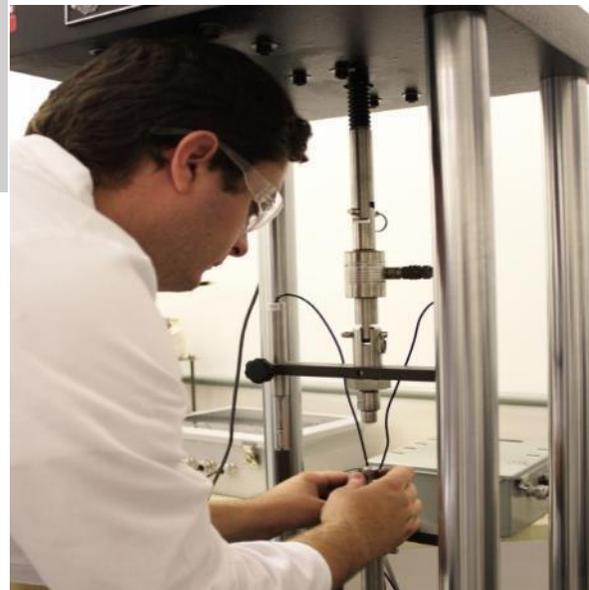
Laboratório de corrosão e Proteção

Infraestrutura
em ensaios
dinâmicos com
loop de
corrosão



Laboratório de corrosão e Proteção

Infraestrutura em corrosão associada a esforços mecânicos, incluindo altas T e P



Laboratório de corrosão e Proteção

Ensaio acelerados,
ensaio de simulação
de meios entre
outros



Equipe multidisciplinar

5	Doutores
10	Mestres
7	Graduados
17	Técnicos

- ✓ Engenheiros metalurgistas
- ✓ Engenheiros de Materiais
- ✓ Engenheiros mecânicos
- ✓ Físicos
- ✓ Químicos
- ✓ Tecnólogos

Infraestrutura

Mais de 6000 m²

Um laboratório flutuante

Instalações e equipamentos diversos e modernos

Responder a questão 3



Análise de falhas e desenvolvimento de ensaios



Seleção de materiais



Inibidores de corrosão

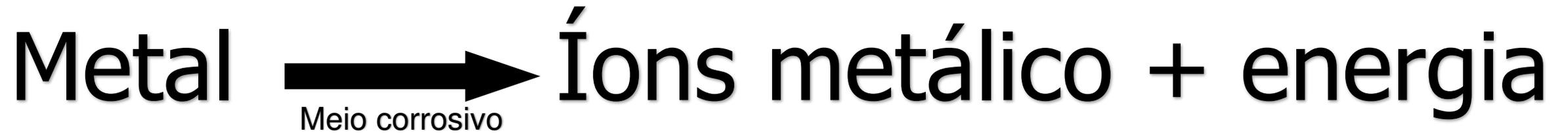


Revestimentos metálicos e orgânicos



Proteção catódica

Combate à corrosão: princípio



Mudando material: seleção de materiais

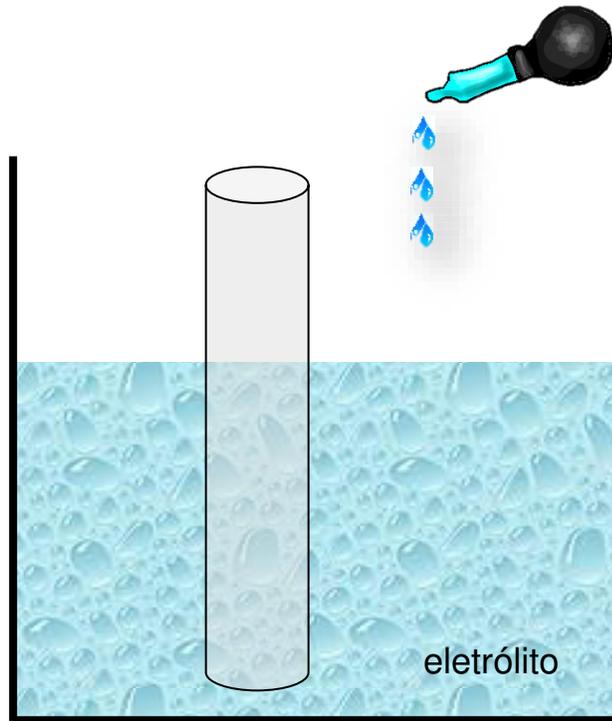
Aço-carbono



Aço inoxidável
(passivação)



Mudando o meio: inibidor de corrosão



Interpor barreira

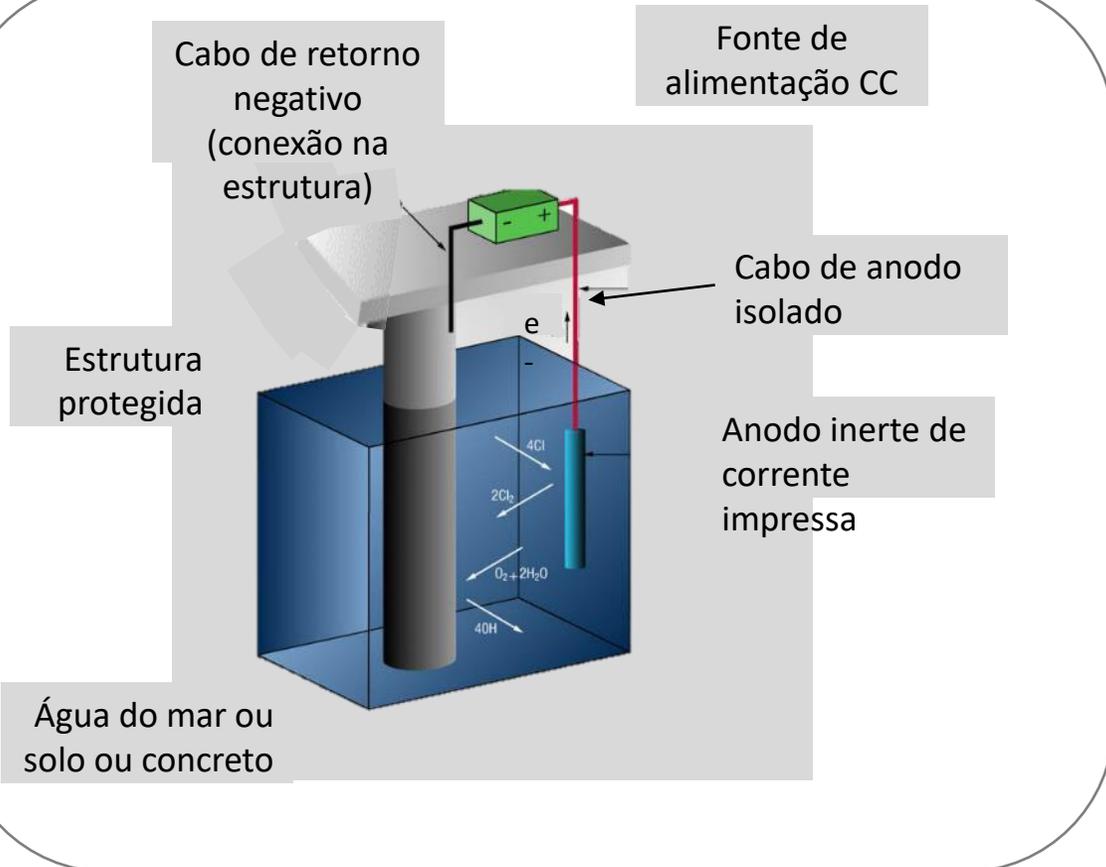
Revestimentos (metálicos ou orgânicos)



Fornecer energia

Proteção catódica (tornar a estrutura mais negativa)

Corrente impressa



Anodo de sacrifício



- ✓ Introdução: apresentação do IPT/LCP, métodos de proteção contra corrosão
 - Estudos relacionados com seleção de materiais
 - Desenvolvimento de materiais mais resistentes
 - Desenvolvimento de ensaios e monitoramento da corrosão
 - Melhoria de processo
 - Curiosidades em corrosão
- ✓ Conclusão

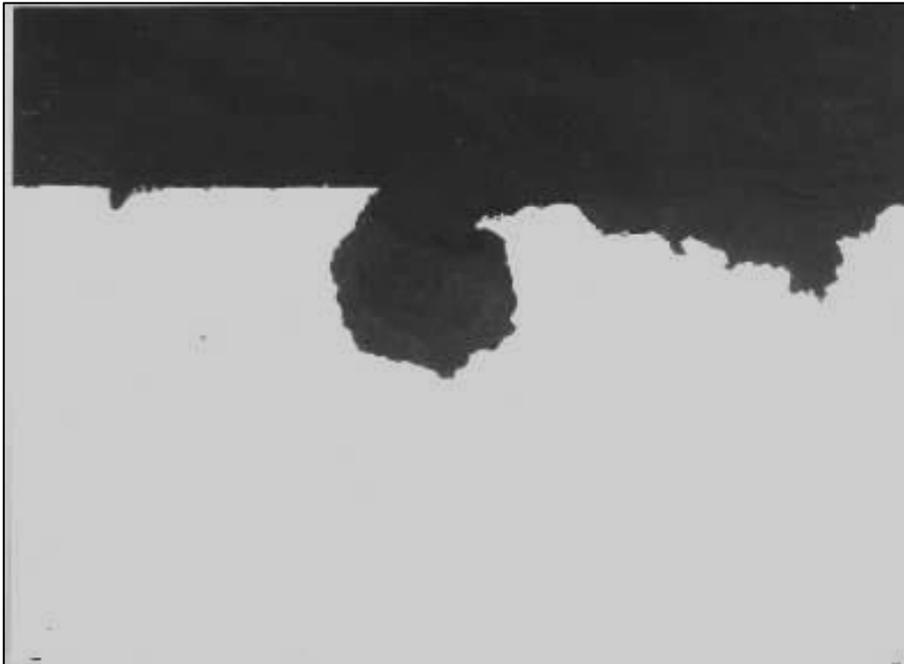
Corrosão por pites afetando pessoas

- Corrosão por pites em garrafas térmicas em uma produção industrial;



Corrosão por pites afetando pessoas

- Sabão usado para trefila (facilitar o repuxo) continha íons cloreto;
- Borracha nitrílica é muito permeável: o vapor migrava através da borracha, atingindo o aço.

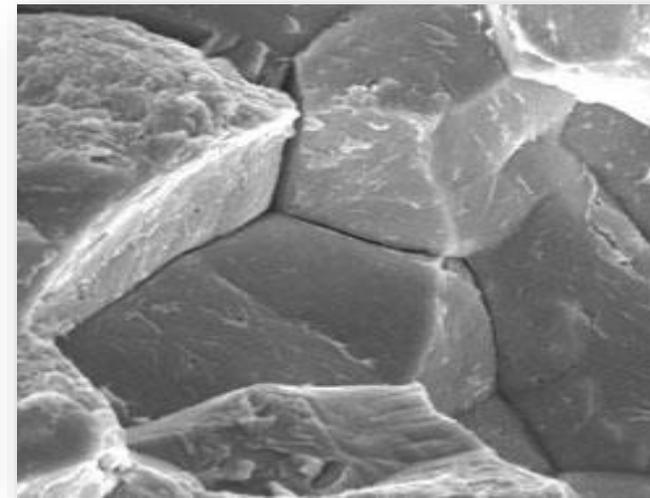
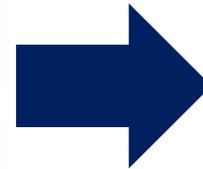


Ações de correção:

- Substituir o sabão de trefila por sabão neutro;
- Substituir a borracha nitrílica por borracha de silicone.

Corrosão intergranular

Aço inoxidável austenítico



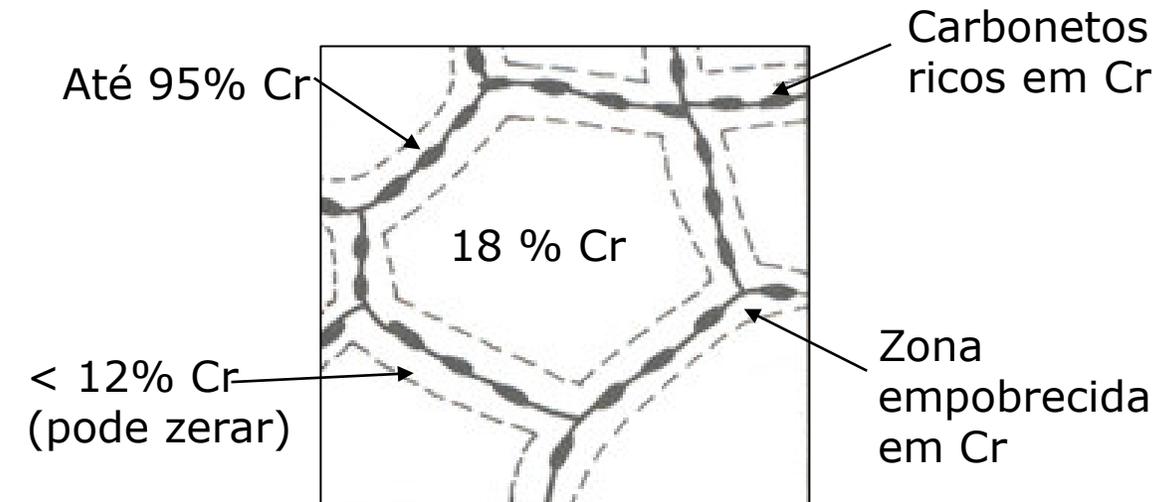
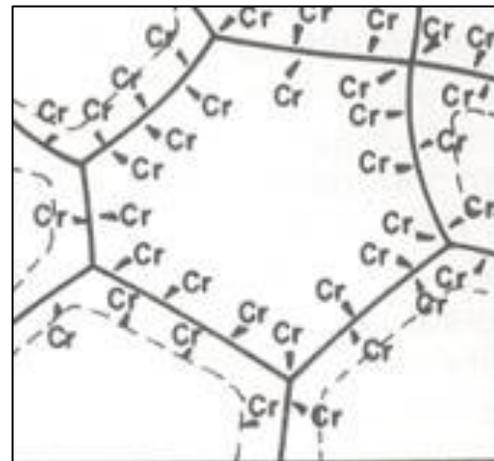
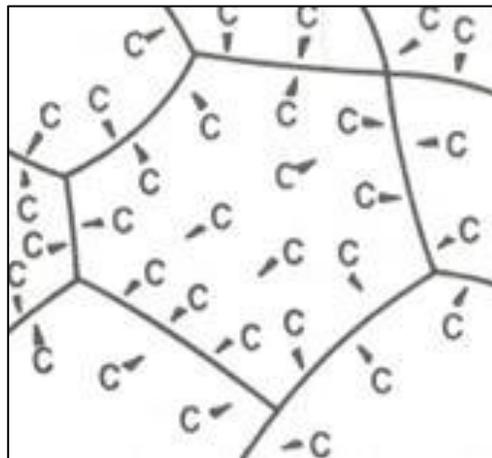
Corrosão intergranular

Porque ocorre?

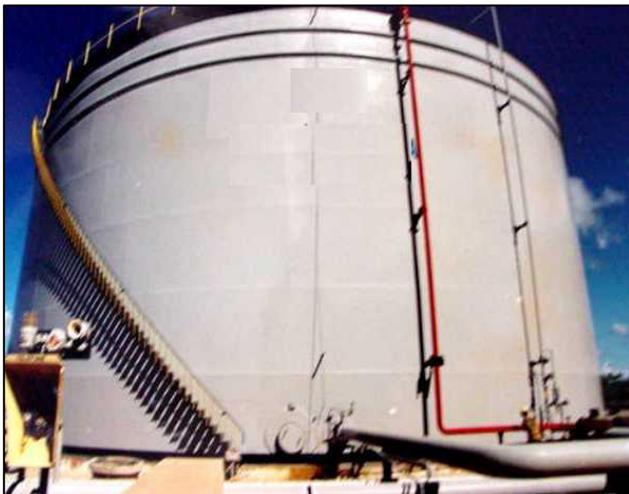
É uma forma de ataque localizado no qual uma faixa estreita, situada ao longo dos contornos de grão de uma LIGA metálica é corroída preferencialmente.



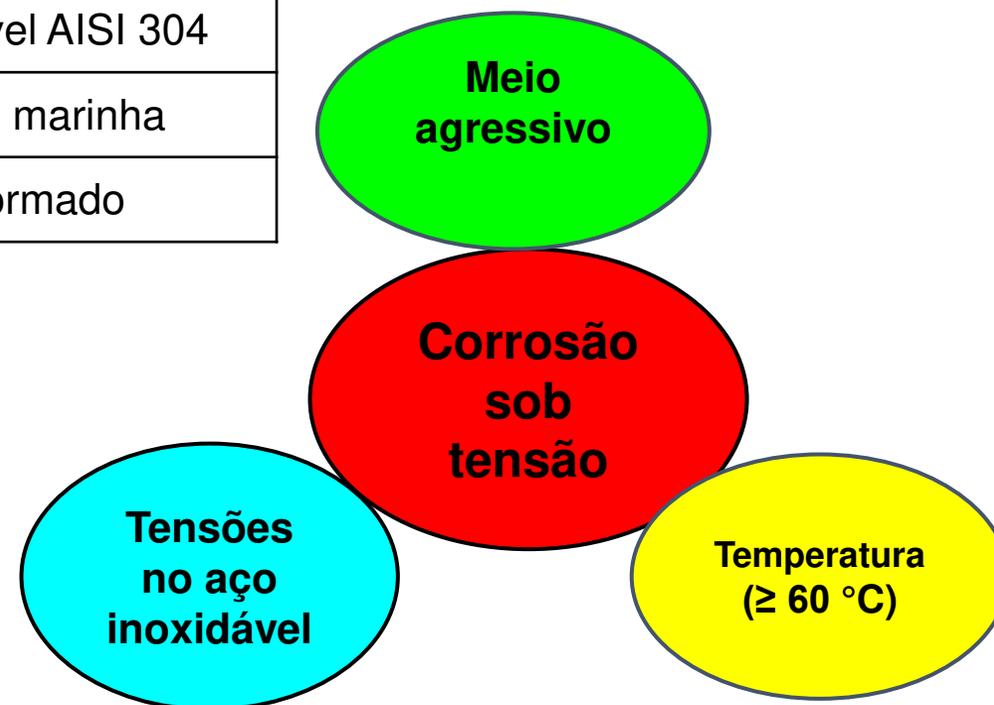
- Presença de precipitados de segunda fase em contorno de grão.
- Presença de segregações em contorno de grão.
- Enriquecimento de uma fina zona adjacente ao contorno de grão por um elemento de liga.
- Empobrecimento de uma fina zona adjacente ao contorno de grão por um elemento de liga.



Corrosão sob tensão/intergranular



Equipamento	Tanque de solvente orgânico
Material	Aço inoxidável AISI 304
Meio	Atmosfera marinha
Tempo de operação	Não informado



Micrografia de corrosão sob tensão em aço inoxidável

Corrosão generalizada

Problemas de corrosão em uma cidade no litoral de São Paulo: uso de material inadequado



Instalação de corrimão e montagem de coluna quiosque em região marítima misturando aço ferrítico com aços inoxidáveis austeníticos - Região: Litoral SP

Responder a questão 5

Aços patináveis



- ✓ São ligas ferro-carbono contendo, além dos elementos residuais do aço-carbono, pequenas adições de cobre e de outros elementos como níquel e cromo.
- ✓ Competem com o aço-carbono em exposição atmosféricas.
- ✓ Em atmosferas moderadamente contaminadas, forma-se uma camada de produtos de corrosão compacta, aderente, protetora, porém VISÍVEL (pátina). Por esta razão apresentam um bom desempenho, dispensando proteção superficial.
- ✓ Para formação da pátina:
 - condições de molhamento e secagem;
 - ambiente moderadamente contaminado.

Uso inadequado dos aços patináveis



O uso inadequado levou fornecedor e usuário a travarem um embate sobre variações da composição química do aço!

Pequenas variações da composição não resolveriam o problema!

Responder a questão 6

Aços zincado

Zinco

Aço



Armaduras de estruturas de concreto

O píer foi construído com as boas práticas de construção e concreto armado porém com armaduras de aço-carbono.

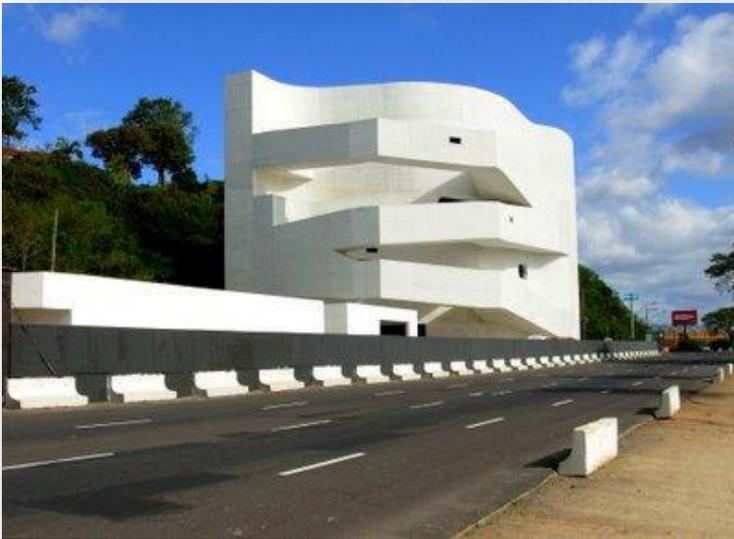
No Brasil, nessa época nem se cogitava o uso de armaduras de material alternativo.

Hoje, quase 50 anos depois, eu tenho conhecimento de três obras no Brasil com armaduras que não de aço-carbono.



Píer construído em 1973 (ano de conclusão) foi submetido a 10 intervenções (algumas reconstruções)

Armaduras de estruturas de concreto



Obra com utilização de 100 % de
vergalhão galvanizado.
Inaugurado em 2008

Arquiteto Álvaro Siza



Museu de Arte do Rio



Moreira Sales, São Paulo

Armaduras de estruturas de concreto



Pier de concreto, estrutura em barras de aço inoxidável (2 km + com 4,5 km = 6,5 km)

Ano: 1941

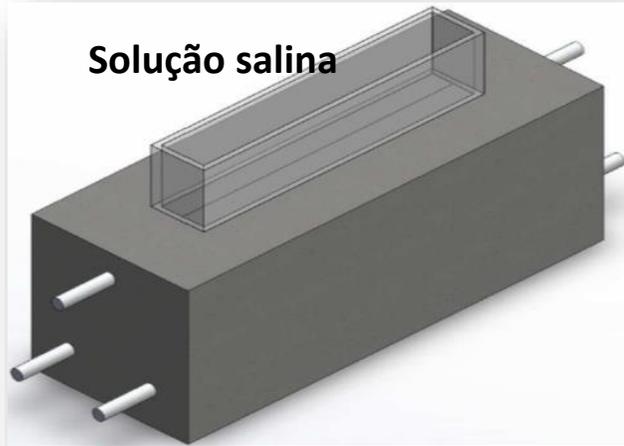


Pier de concreto, armaduras de aço-carbono

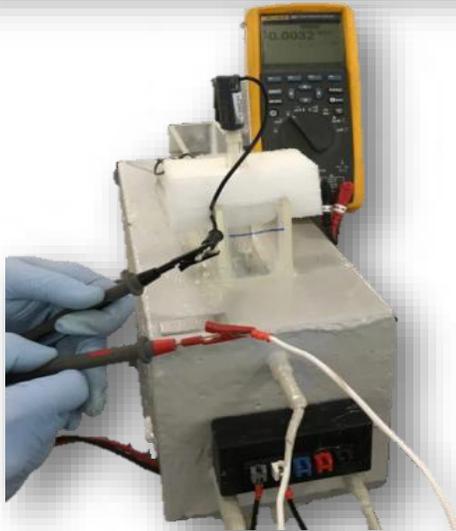
Ano: 1969



Armaduras de estruturas de concreto



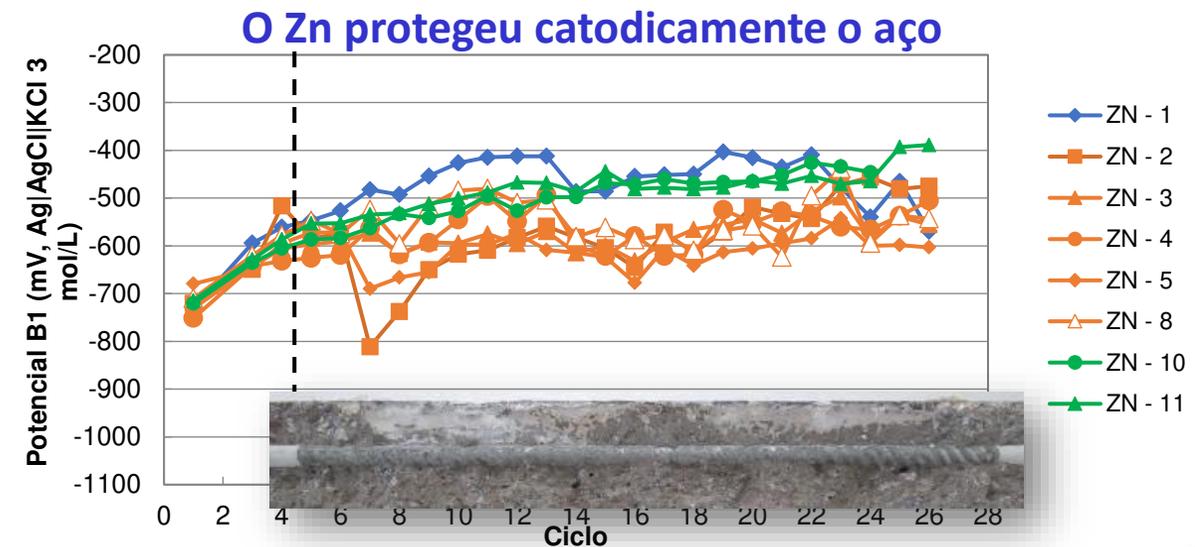
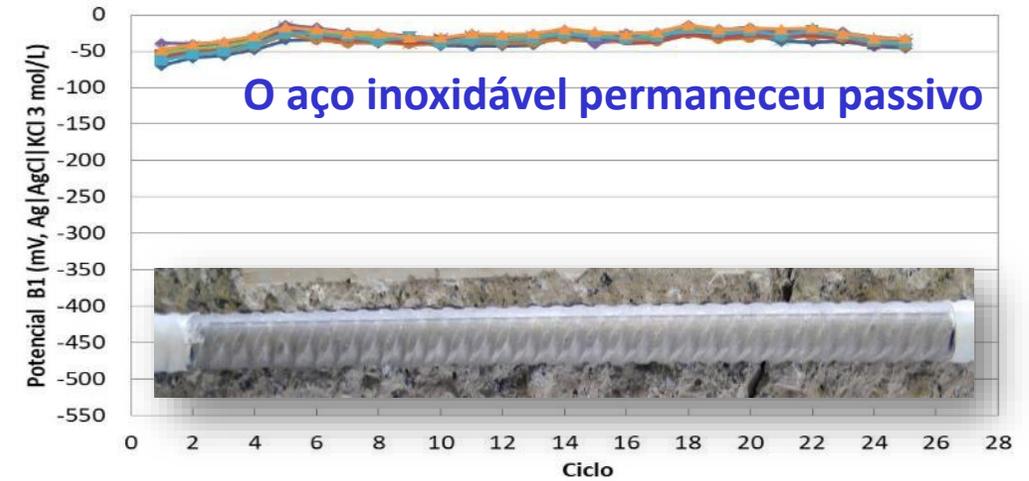
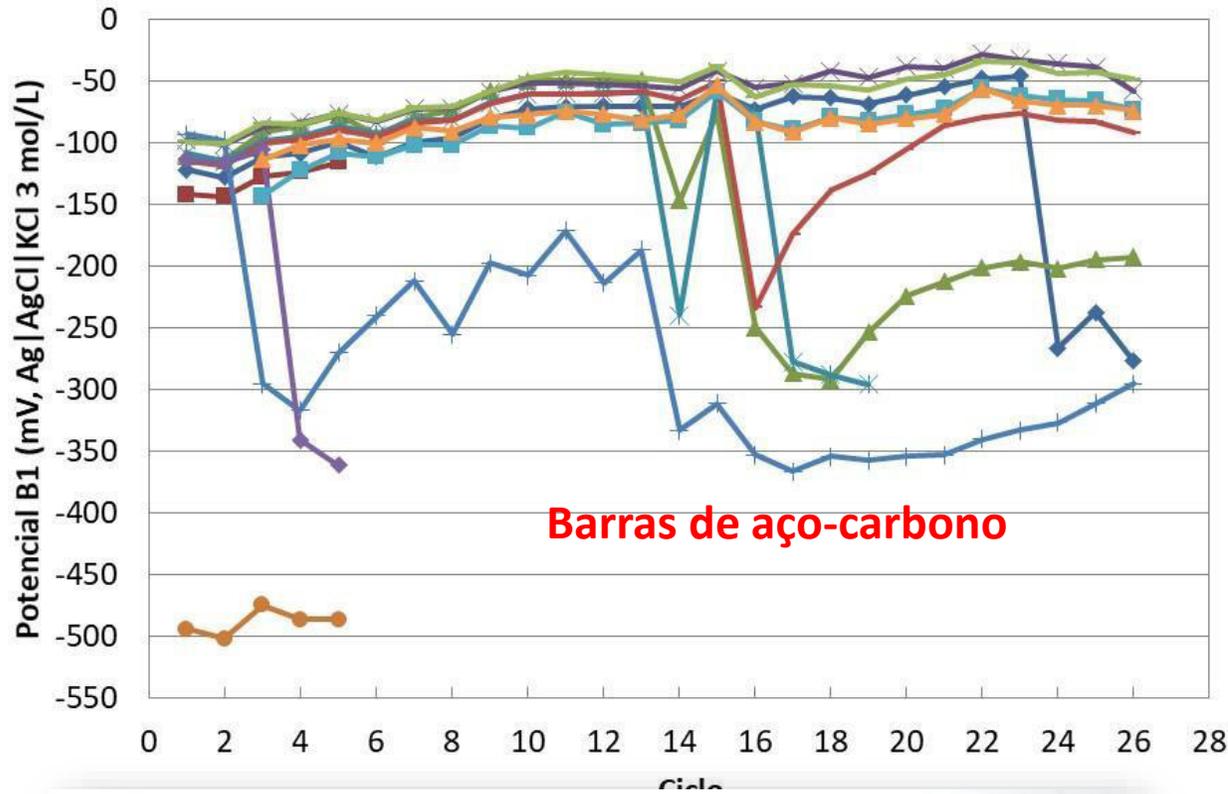
Foram estudados vários materiais



Entre eles aços inoxidáveis lean duplex, aço inoxidável SAE 304 e o aço zincado



Armaduras de estruturas de concreto



AVALIAÇÃO TÉCNICO, ECONÔMICO E AMBIENTAL

- custo inicial;
- execução;
- durabilidade;
- impacto ambiental.

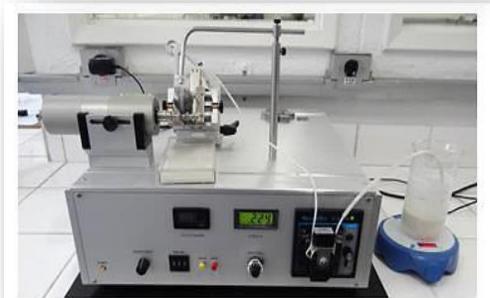
Conclusões

- ✓ Todos os resultados obtidos para os materiais alternativos sob o ponto de **vista técnico, econômico e ambiental** indicaram que o **aço inoxidável** e o **aço zincado** são os materiais de armadura mais adequados para serem utilizados em estruturas instaladas em **ambiente marinho**.
- ✓ Nas estruturas em que se verifica dificuldade de acesso para realizar manutenções ou que se tem necessidade de vida útil **superior a 100 anos**, recomenda-se o uso de armaduras de **aço inoxidável**.
- ✓ Nas demais condições, a armadura zincada confere desempenho superior ao da armadura de aço-carbono.

- ✓ Introdução: apresentação do IPT/LCP, métodos de proteção contra corrosão
 - Estudos relacionados com seleção de materiais
 - Desenvolvimento de materiais mais resistentes
 - Desenvolvimento de ensaios e monitoramento da corrosão
 - Melhoria de processo
 - Curiosidades em corrosão
- ✓ Conclusão

Materiais mais resistentes ao desgaste

Planta de produção de etanol de 2ª geração (corrosão erosão)



Equipamento e
ensaio desenvolvidos



Antes

A substituição de partes era feita semanalmente.

Depois

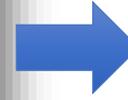
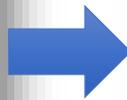
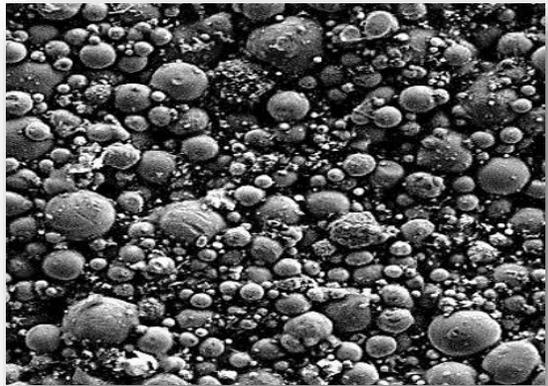
A frequência de substituição passou a ser trimestral.

Além do ganho de produtividade, devido à diminuição das paradas, foram economizados mais de U\$ 2,5 milhões em substituição de revestimentos.

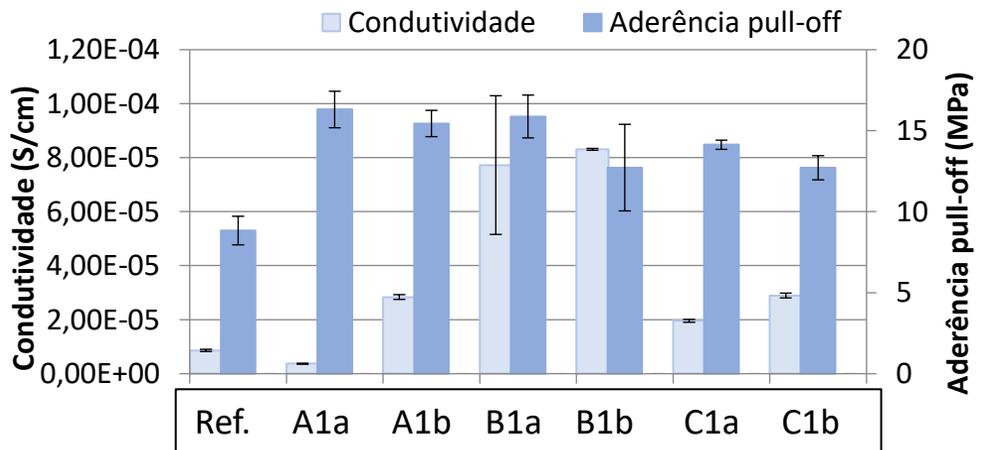
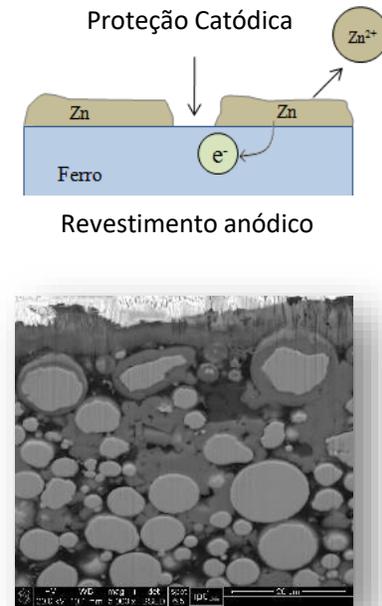
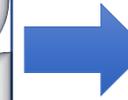
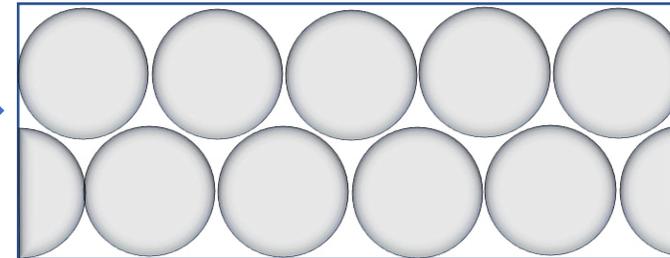
Desenvolvimento de uma TRZ

Com melhores propriedades mecânica

Tintas ricas em zinco



Necessidade de contato elétrico

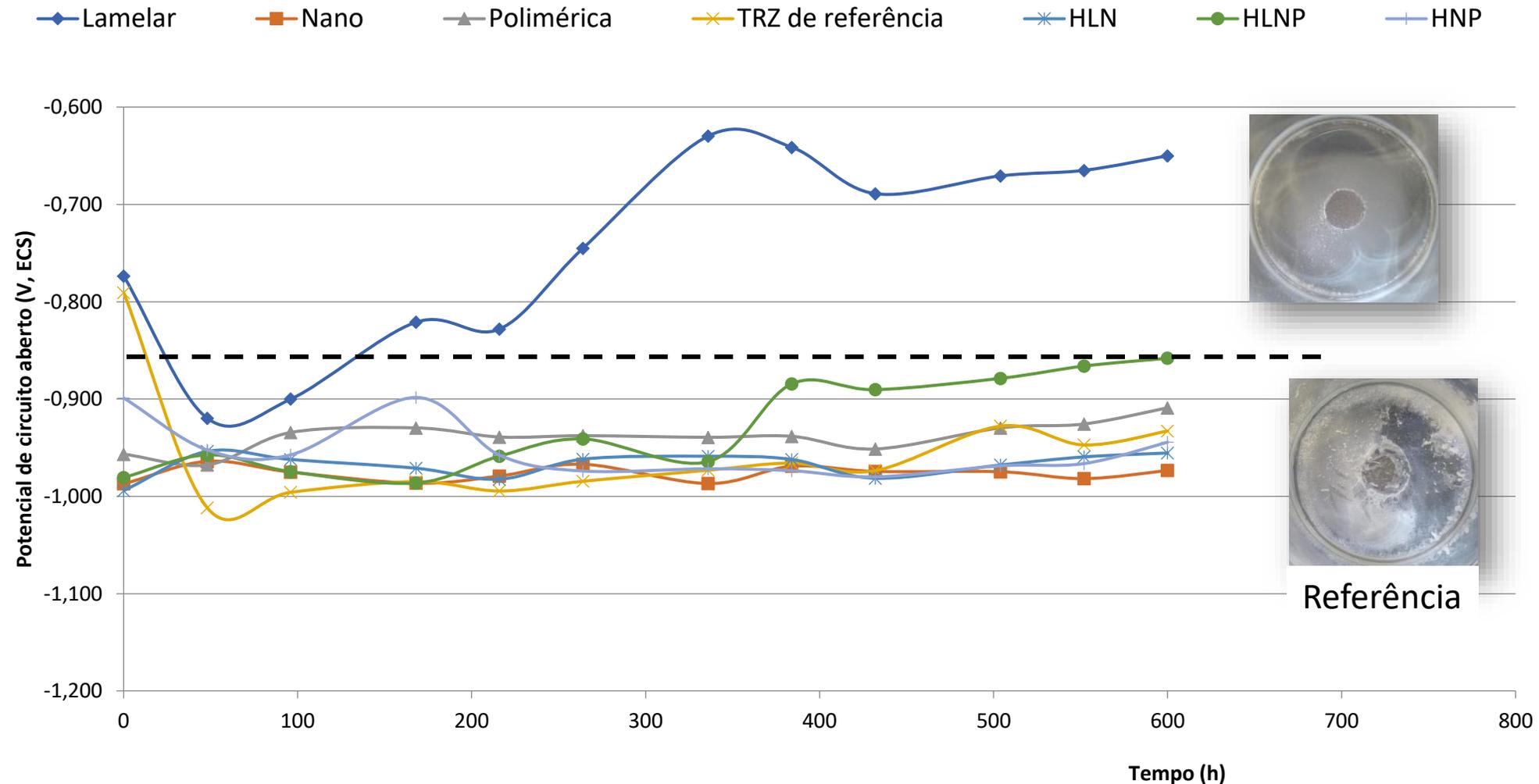


Patente depositada para três formulações, agora em fase de validação em campo



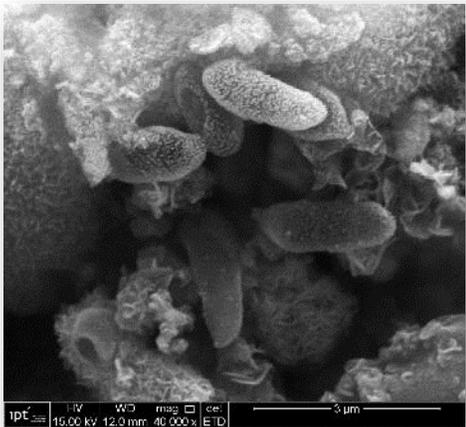
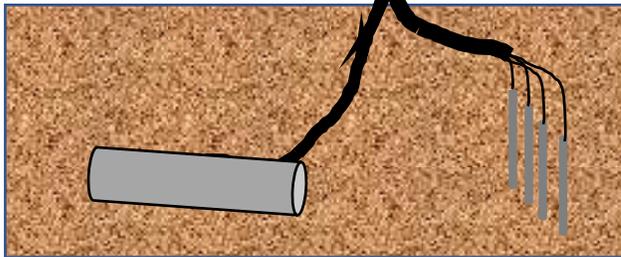
Ensaio de desempenho

$E < -0,850$ V, ECS, ausência de corrosão vermelha no defeito



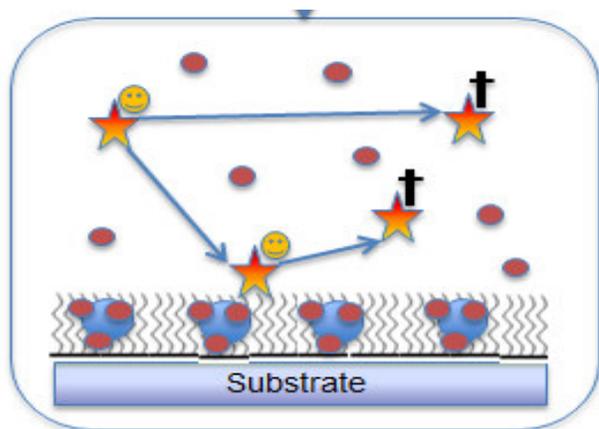
Prevenção de crescimento de bactérias redutoras de sulfato (BRS) por meio de nano reservatórios com biocidas incorporadas em resina epóxi (FBE) e polietileno (P3L) já no processo de manufatura

Retificador

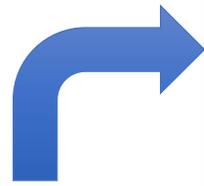


- ✓ Tubulações enterradas são protegidas por revestimentos orgânicos de alto desempenho.
- ✓ Os revestimentos sempre apresentam falhas.
- ✓ Proteção catódica: aplicação de um potencial mais negativo do que o potencial natural tubo/solo.
- ✓ Esse potencial deve ser diminuído para valores abaixo $-0,85 \text{ V vs Cu|CuSO}_4 \text{ sat.}$ Não podendo ser menor do que $-1,2 \text{ V vs Cu|CuSO}_4 \text{ sat.}$, pois poderá haver descolamento catódico do revestimento.
- ✓ As bactérias redutoras de sulfato (muito comum em solos), em condições anaeróbicas transformam sulfato em sulfeto.
- ✓ Na presença de sulfetos, o potencial de proteção deve ser inferior a $-0,95 \text{ V vs Cu|CuSO}_4 \text{ sat.}$
- ✓ Se o sulfeto for originário de bactérias, esse valor mais reduzido pode não ser suficiente, pois, sobre as bactérias, forma-se um biopolímero.
- ✓ Uma alternativa é a eliminação das bactérias.

Proteção catódica x BRS



- Polímero hidrofóbico
- Nano prata (Ag)
- Íons de prata (Ag⁺)
- Bactéria viva
- Bactéria morta



- ✓ Introdução: apresentação do IPT/LCP, métodos de proteção contra corrosão
 - Estudos relacionados com seleção de materiais
 - Desenvolvimento de materiais mais resistentes
 - Desenvolvimento de ensaios e monitoramento da corrosão
 - Melhoria de processo
 - Curiosidades em corrosão
- ✓ Conclusão

Ensaio: resistência à fadiga de revestimentos

Alta salinidade, alta temperatura e presença de gás



Os petroleiros estão sujeitos a variações de temperatura e movimentos de fluidos que podem causar falhas por fadiga no substrato e no revestimento.

NACE TM-104, NACE TM-0404 e ISO 20340 têm ensaios para avaliar resistência à corrosão e propriedades mecânicas mas não simultaneamente.



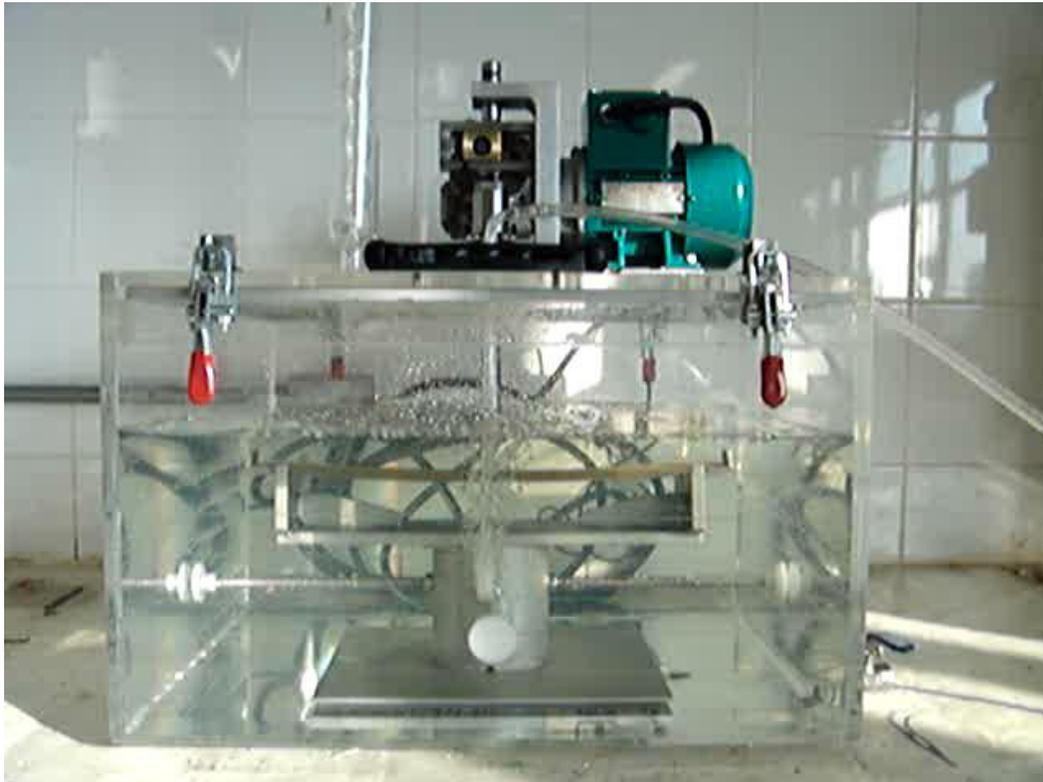
As estruturas em geral consideram níveis de tensão de cerca de 80 % do limite de escoamento do material



Os revestimentos devem também resistir a esses níveis de tensão e apresentar boa resistência a corrosão.

Ensaio: resistência à fadiga de revestimentos

Alta salinidade, alta temperatura e presença de gás



	TECHNICAL SPECIFICATION	Nº	I-ET-3510.01-1200-956-PPC-001	REV.	0
	BADEJO 1 PLATFORM (PBD-1)			SHEET	85 of 87
	GENERAL PAINTING			CORPORATE	
ANNEX E – BEND TEST					
E.1 Introduction:					
E.1.1 This test aims to simulate the bending deflections of ballast tanks plates and by so to evaluate the resistance of a paint system to corrosive environment and stress due to plate bending at the same time.					
E.2 Test solution					
E.2.1 Synthetic seawater used in the test shall be prepared with the sea salt chemical composition in accordance with ASTM D 1141.					
E.3 Test specimens					
E.3.1 Test Specimen Geometry, Size, Substrate Material and other requirements according table E.1.					
Table E.1 - Test Specimen Geometry, Size, Substrate Material and other requirements					
Test Geometry	Size	Substrate material	Paint system		
			Surface preparation	Specification	
Rectangular plate	Rectangular (area 100 cm ² minimum and thickness equal to or higher than 1,4 mm). Recommended: 30 cm length, 10 cm width and 2 mm thick.	Structural carbon steel (NOTE 1)	As required by item 17.2 of this Technical specification	According the paint system tested	
NOTE 1: Preferable the same specification for material used for tank construction or, when not available, UNS C10200 material					

NACE TM-0172 (2001)

Corrosive properties of cargoes in petroleum product pipelines



METODOLOGIA

Agitação 4 h

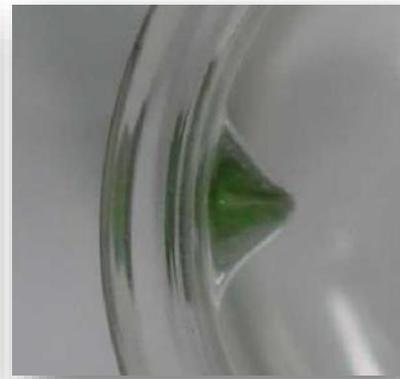
Avalia a área corroída

É um ensaio de rotina para determinação da corrosividade de derivados de petróleo e para a determinação da dosagem mínima de inibidor de corrosão.

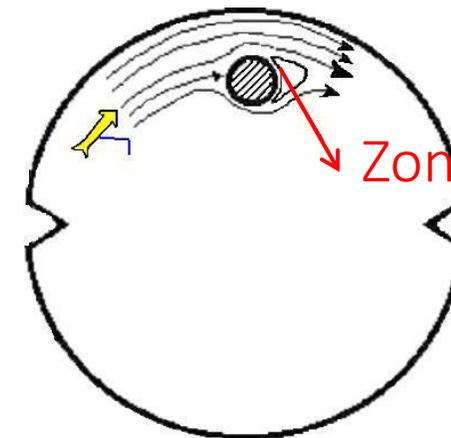
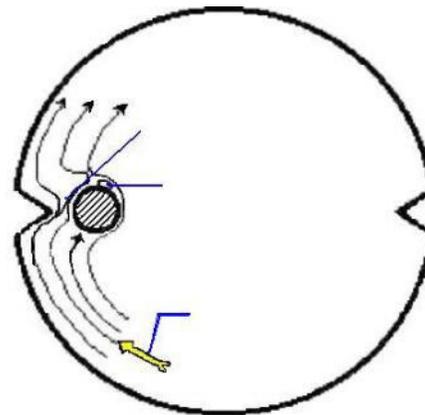
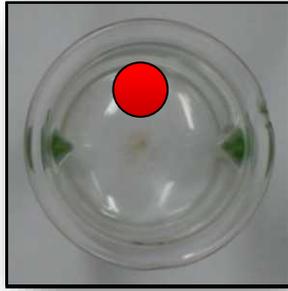
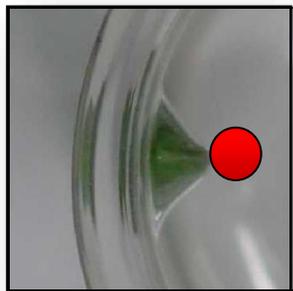


NACE TM-0172 (2001)

Corrosive properties of cargoes in petroleum product pipelines



O mercado oferecia recipientes específicos para o ensaio, porém não havia uma especificação clara!



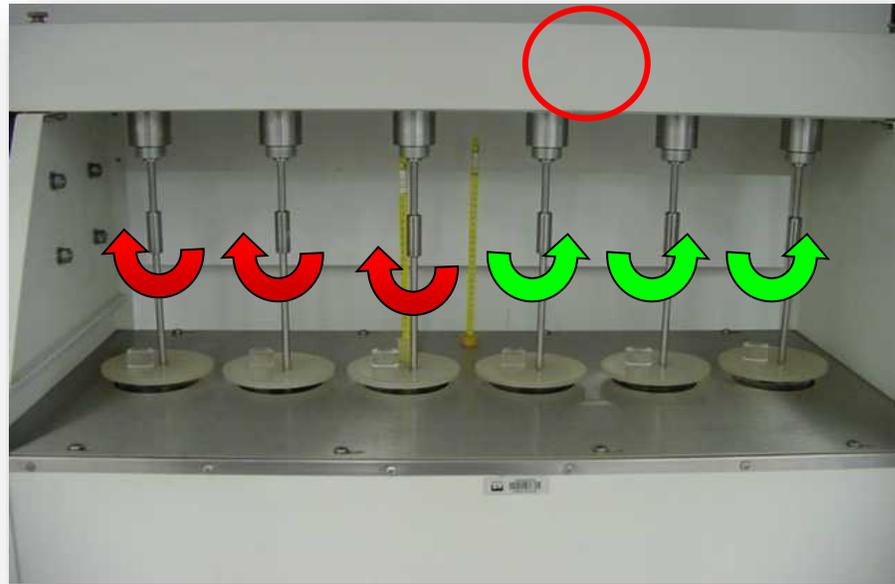
Zona de estagnação

Norma não clara

Posição correta

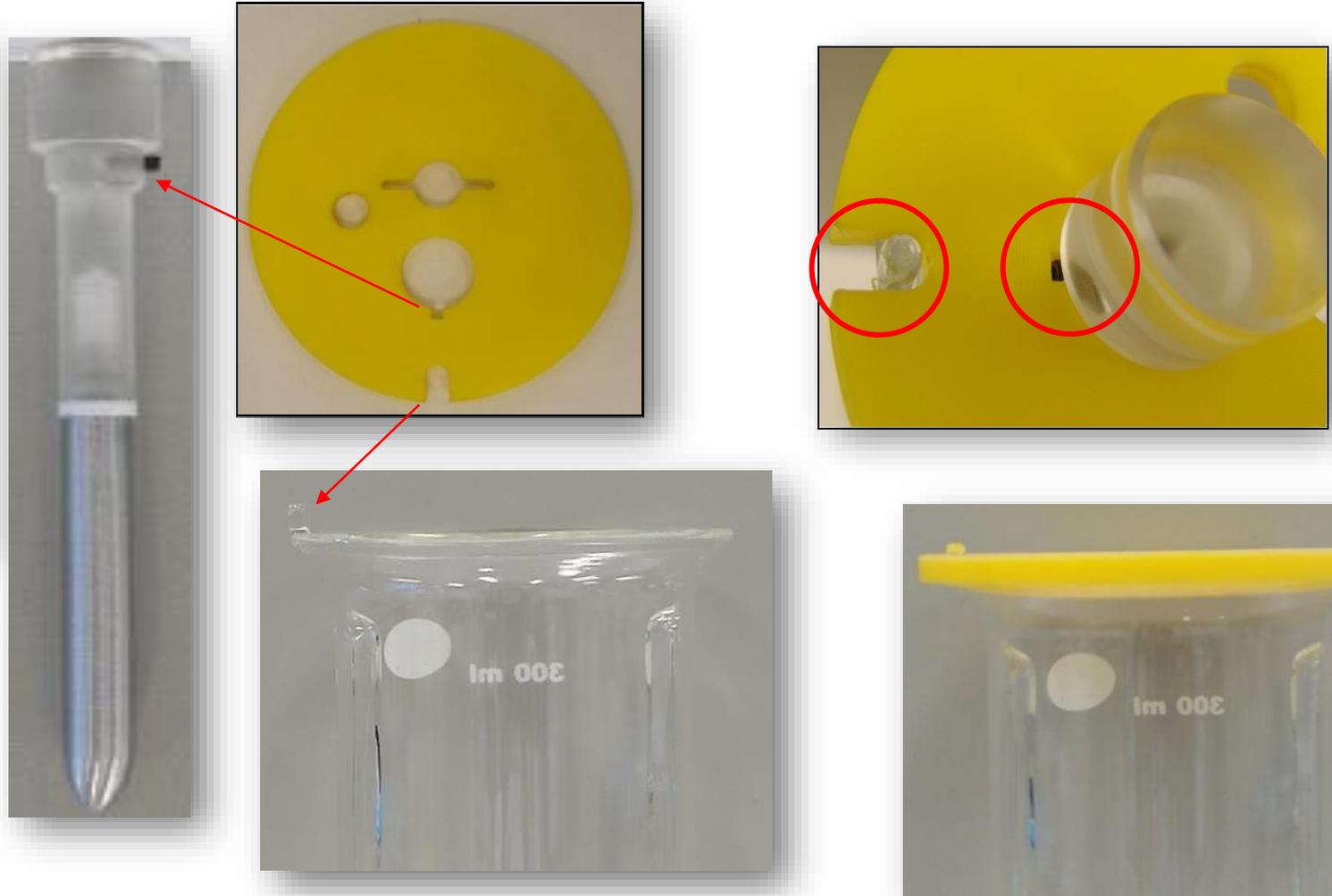
NACE TM-0172 (2001)

Corrosive properties of cargoes in petroleum product pipelines



Ensaio realizado sob agitação de 1200 rpm

O corpo de prova saia da posição “em frente do chanfro”



NACE TM-0172 (2001)

Corrosive properties of cargoes in petroleum product pipelines



Date Prepared: 2008-07-17
STG 35

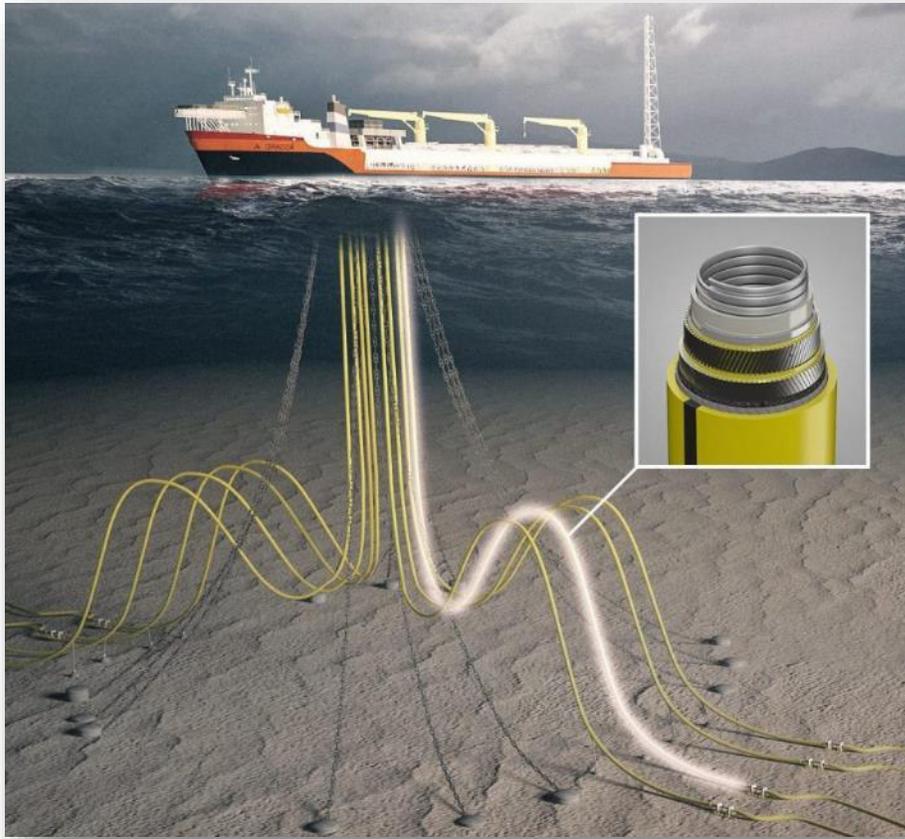
NOT APPROVED: This draft of a proposed NACE standard is for committee use only and shall not be duplicated in any form for publication or any use other than committee work.

FIGURE 5 – Test beaker glass ro and beaker cover gap aligned
Copyright IPT. Reprinted with permission

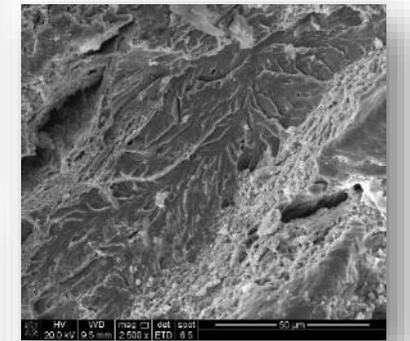
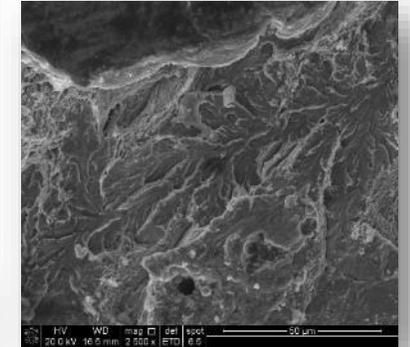
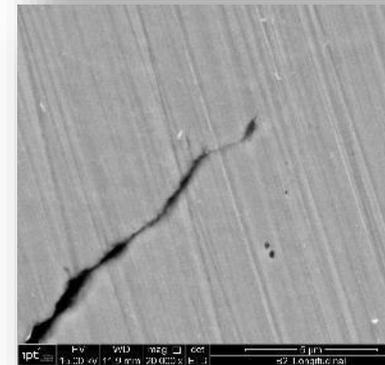
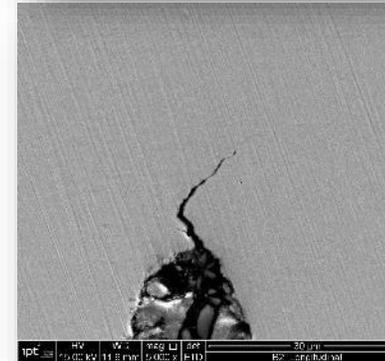
PROPOSED REVISION TO NACE STANDARD TM0172-2001

“Determining Corrosive Properties of Cargoes in Petroleum Product Pipelines”

Mecanismo de CST em dutos flexíveis



- Etapa 1: ensaio em fase de validação
- Etapa 2: estudo de mecanismos
- Etapa 3: proposições de mitigação



Quase clivagem

Monitoramento da corrosão de dutos



Tradicionalmente, o monitoramento da corrosão de dutos é feita com cupons e sonda de resistência intrusivos



Monitoramento da corrosão de dutos

- Vários dispositivos não intrusivos são disponíveis no mercado internacional para avaliação de danos por corrosão e erosão.
- Há também uma grande gama de sistemas de comunicação sem fio de baixo custo, o que torna o monitoramento online atrativo.
- Há muitos estudos em andamento para desenvolvimento de novos dispositivos com técnicas variadas.



Objetivo: estudar a aplicabilidade e a resolução de técnicas não intrusivas de monitoramento da corrosão interna, avaliar seus limites de detecção, velocidade de resposta e sensibilidade, além de indicar a mais adequada para os fluidos simulados e para quando se trabalha com inibidor de corrosão (limite mínimo de detecção de 25 $\mu\text{m}/\text{ano}$)

Monitoramento da corrosão de dutos

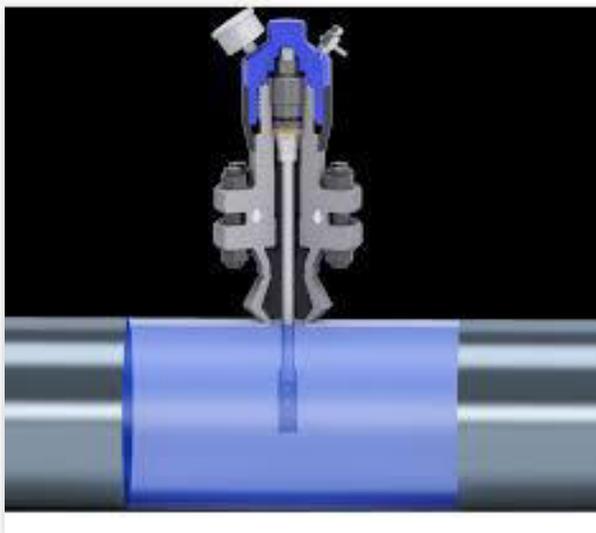


Cupom

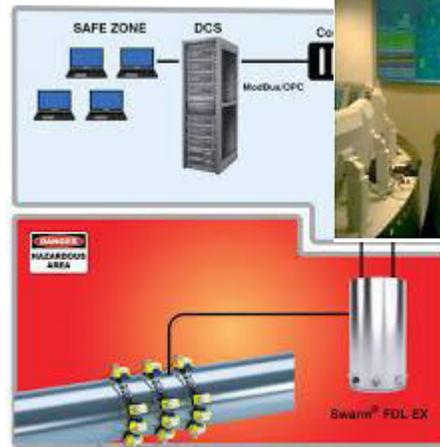


Sonda de resistência

- ✓ Hoje, as técnicas utilizadas para monitoramento da corrosão interna de dutos de transporte de petróleo e derivados são de natureza intrusiva, e envolvem inserção de cupons de perda de massa e sondas de resistência elétrica nos locais apropriados.
- ✓ A operacionalização é custosa, além de trazer riscos de contaminação do meio ambiente e ao ser humano, uma vez que as atividades são executadas com os dutos em carga.
- ✓ Ensaio no IPT: 6 não intrusivos comerciais (5 ultrassom e 1 campo elétrico) e os dois tipos de intrusivos em água DI, sem e com NaCl (3,5 %); T_{ambiente} duração de 30 a 60 dias.



cosasco.com



cosasco.com



RESULTADOS PARCIAIS E CONCLUSÕES

- ✓ As sondas não intrusivas apresentaram a mesma tendência da intrusiva, sendo capazes de detectar diferenças do grau de corrosividade do meio.
- ✓ Estudos estão em andamento incluindo maior número de sondas.

- ✓ Introdução: apresentação do IPT/LCP, métodos de proteção contra corrosão
 - Estudos relacionados com seleção de materiais
 - Desenvolvimento de materiais mais resistentes
 - Desenvolvimento de ensaios e monitoramento da corrosão
 - Curiosidades em corrosão
- ✓ Conclusão

Apoio à recuperação e preservação Patrimônio histórico nacional



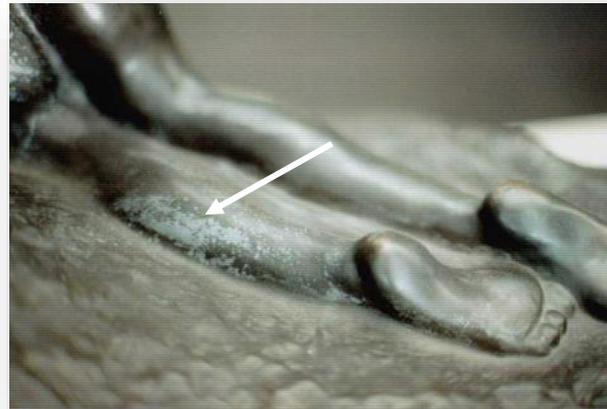
- ✓ O MASP foi reformado entre 1996 e 2001.
- ✓ Artigos de latão que ficavam expostos na Galeria passaram a apresentar manchas cinza após um ano da conclusão da reforma.
- ✓ Reforma na Galeria:
 - troca do piso de borracha (mesmo tipo e do mesmo fabricante);
 - instalação de sistema de ar condicionado;
 - instalação de divisórias em MDF (Medium Density Fiberboard);
 - construção de alicerces para suporte de esculturas em MDF; e
 - vedação das janelas com massa adequada.
- ✓ As obras de arte costumavam ser protegidas com ceras protetoras no passado.



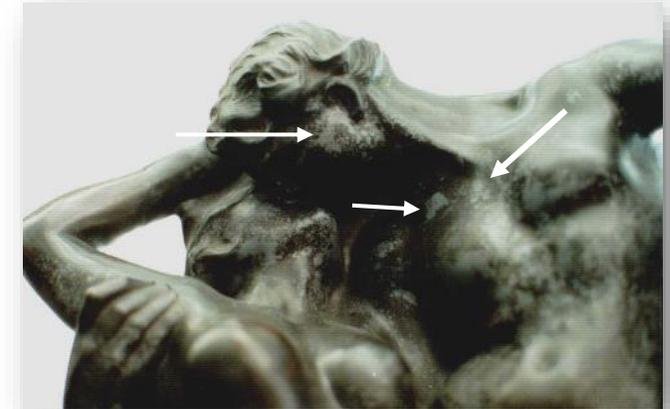
Apoio à recuperação e preservação Patrimônio histórico nacional



The Eternal Spring"
François Auguste René Rodin

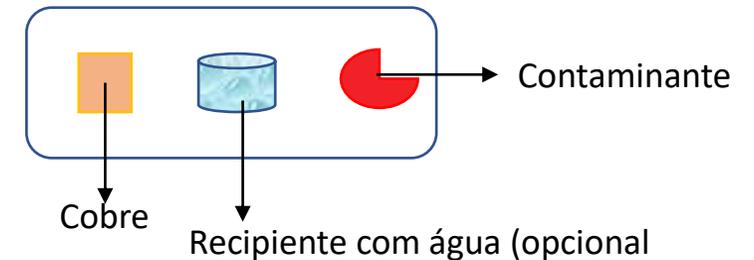


Manchas cinzas



Manchas cinzas

- ✓ Foram analisadas: pó retirado das manchas, piso (novo e o retirado) e o seu adesivo, MDF, massa de vidro, amostras coletadas dos filtros do ar condicionado.
- ✓ Ensaio "ODDY " com duração de oito meses:



Apoio à recuperação e preservação Patrimônio histórico nacional

Resultados da análise por dispersão de energia

Sample analysed	Elementos detectados																	
	Cu	Sn	Zn	C	Fe	O	Si	Al	Ca	K	S	Mg	Ti	Cl	Na	Au	P	Mn
Bronze	Dark Green	Light Green	Light Green	1	Light Green			Light Green										
Patina sem mancha	Orange		Light Green	Dark Green	Light Green	Orange	Light Green			Light Green								
Patina com mancha cinza	Red		Light Green	Dark Green	Light Green	Orange	Light Green			Red								
Piso velho			Light Green	Dark Green	Light Green	Orange	Light Green			Light Green		*						
Piso novo			Light Green	Dark Green	Light Green	Red	Light Green	Red										
MDF			Light Green	Dark Green	Light Green	Red	Light Green					*						
Adesivo			Light Green	Dark Green	Light Green	Red	Dark Green	Orange	Red	Light Green	Light Green	Light Green			Light Green	*		
Selante			Light Green	Dark Green	Light Green	Orange	Orange	Dark Green				Orange				*	Light Green	
Oddy branco sem água (cobre)	Dark Green				Light Green													
Oddy branco com água (cobre)	Dark Green				Light Green													
Oddy+ cobre + MDF + sem água	Dark Green				Light Green													
Oddy+ cobre + MDF + com água	Dark Green				Light Green													
Oddy + cobre + piso novo + sem água	Dark Green				Light Green	Red	Light Green				Red							
Oddy + cobre + piso novo + com água	Dark Green				Light Green	Red	Light Green				Red							
Filtro do ar proveniente do ambiente externo do Museu			Light Green	Dark Green	Orange	Red	Dark Green	Red	Red	Light Green	Light Green	Orange	Light Green	Red	Red		Orange	
			Light Green	Dark Green	Light Green	Red	Dark Green	Red	Light Green	Light Green	Light Green		Light Green					
			Light Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Orange	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green		Light Green		Light Green			
			Light Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Orange	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green		Light Green		Light Green			

Nota: Dark Green muito alto teor, Red alto teor, Orange medio teor, Light Green baixo teor, Very Light Green muito baixo teor.

* Au usado para recobrir as amostras analisadas

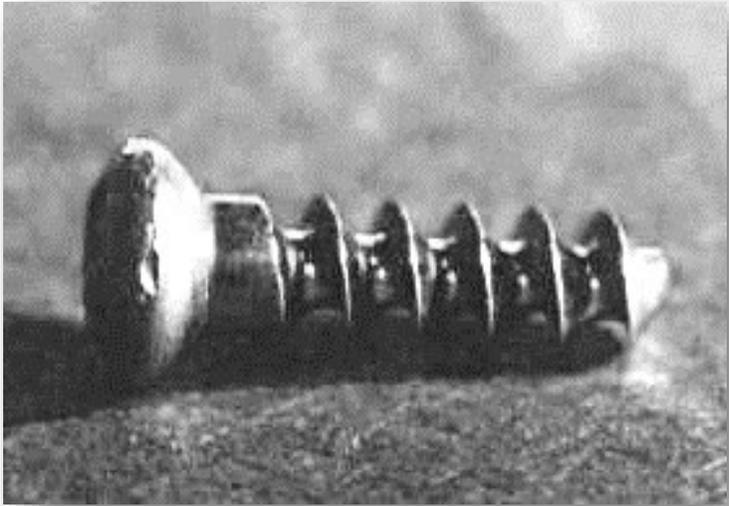
A análise por difração de raios X dos patina com mancha acusou a presença de altas concentrações de quartzo (óxido de silício) e fuligem (grafite)

Conclusão

A presença de enxofre em altos teores na atmosfera da Galeria resultou na formação de uma camada de produtos de corrosão espessa e porosa. A deposição de particulados sólidos (quartzo e grafite) sobre essa camada possibilitou a mudança de cor. As regiões não manchadas estavam com vestígios de cera protetor usada no passado.

Um caso curioso

“Corrosão” em implante cirúrgico



Material: Aço Inoxidável 316 L

Corrosão na cabeça do parafuso

O paciente teve que se submetido a intervenção cirúrgica

A fenda estava oxidada.

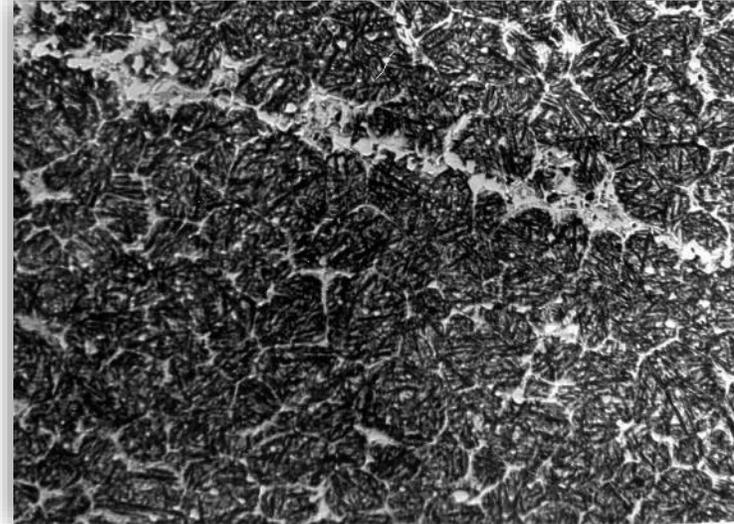
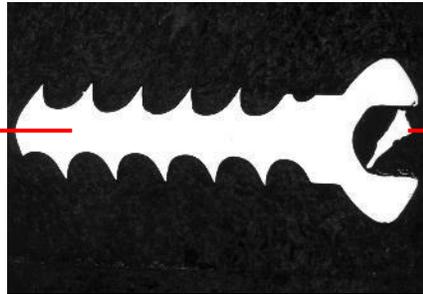
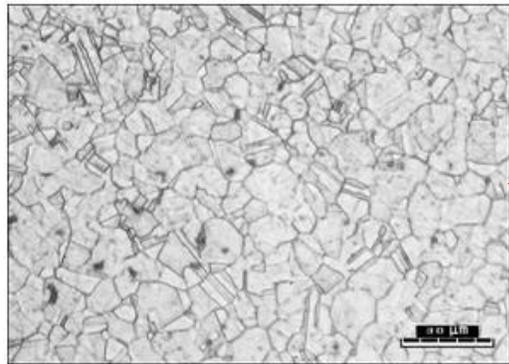


Parafuso tipo Allen exigem o uso de chave de fenda específica



Um caso curioso

“Corrosão” em implante cirúrgico



Análise por dispersão de energia e a metalografia indicaram tratar-se de aço ferramenta

*O parafuso era tipo allen mas ...
... foi apertado com chave de fenda*



A chave quebrou e oxidou

- ✓ Introdução: apresentação do IPT/LCP, métodos de proteção contra corrosão
 - Estudos relacionados com seleção de materiais
 - Desenvolvimento de materiais mais resistentes
 - Desenvolvimento de ensaios e monitoramento da corrosão
 - Melhoria de processo
 - Curiosidades em corrosão
- ✓ Conclusão

Conclusão

- ✓ Pode-se verificar que a corrosão no Brasil é bastante difundida, com profissionais reconhecidos e entidades especializadas, podendo oferecer um vasto campo de atuação para jovens que desejam fazer parte desta área de conhecimento.
- ✓ Os conhecimentos dos princípios da corrosão se aplicados corretamente podem mitigar a corrosão garantindo a integridade de ativos. Isso é fato consumado!!!!
- ✓ Como os materiais metálicos são utilizados em praticamente todos os setores e por toda a população (muitos dos quais leigos) e novas ligas metálicas e novas aplicações surgem continuamente, mitigar a corrosão pela raiz é tarefa difícil e requer contínua difusão de conhecimento, treinamento e profissionais competentes.
- ✓ Temos muito o que fazer ainda para garantir a integridade de ativos no setor produtivo, destacando-se as seguintes áreas:
 - **monitoramento da corrosão:** desenvolvimento de sensores cada vez mais eficientes associada à inteligência artificial, objetivando prever falhas em serviço e poder mitigá-los eficientemente;
 - desenvolvimento de **novos revestimentos, materiais mais resistentes e processos mais sustentáveis**, fazendo uso da nanotecnologia, da tecnologia dos compósitos e dos produtos químicos obtidos a partir de fontes renováveis.

Obrigada

