

Corrosão & Proteção

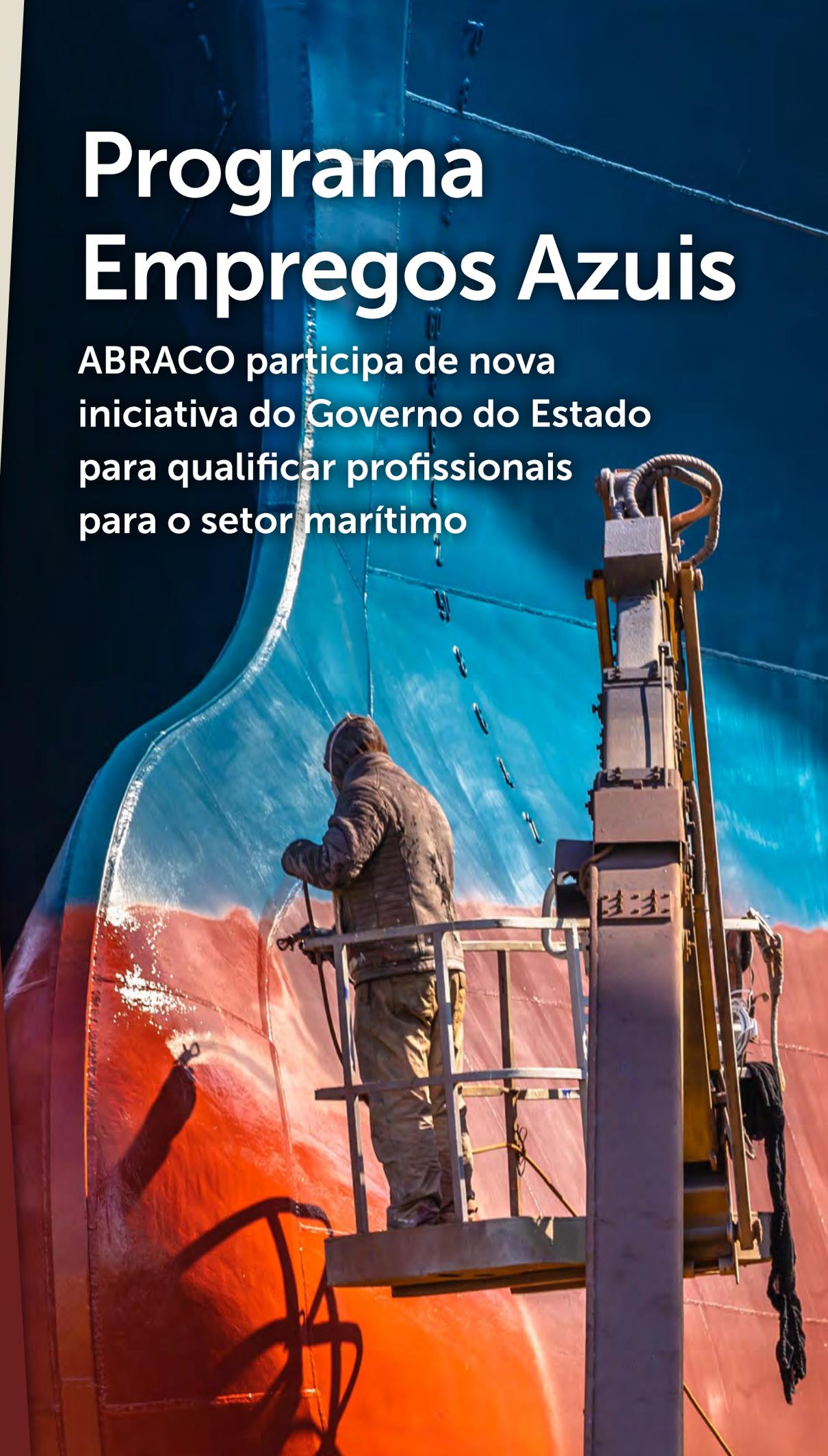
Revista da Associação Brasileira de Corrosão • ISSN 0100-1485 • Ciência e Tecnologia em Corrosão



Ano 21 | nº 80, abril 2025

Programa Empregos Azuis

ABRACO participa de nova iniciativa do Governo do Estado para qualificar profissionais para o setor marítimo



A **Revista Corrosão & Proteção** é uma publicação oficial da ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão, fundada em 17 de outubro de 1968.

ISSN 0100-1485

DIRETORIA EXECUTIVA ABRACO

Biênio 2025/2027

Presidente

Luiz Paulo Gomes

Vice-presidente

Carlos Alexandre Martins da Silva

Diretores

Carlos Roberto Patrício

Danilo Natalio Sanches

Emílio Duarte Lana Júnior

Juliane Carera Marin

Luiz Guilherme Araújo Prata

Conselho Editorial

Caroline Sousa – ABRACO

Laerce de Paula Nunes – IEC

REVISTA CORROSÃO & PROTEÇÃO

Revisão Técnica

Célia Aparecida Lino dos Santos

Neusvaldo Lira de Almeida

Zehbour Panossian

Jornalista Responsável

Luis Monteiro (Mtb 17055/RJ)

Redação e Publicidade

ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão

Fotografias

Arquivo ABRACO, arquivos pessoais, Can Stock Photo, Depositphotos, Dollar Photo, Fotos Públicas, Pexels, Shutterstock e Stock Unlimited.

A **Revista Corrosão & Proteção** é um veículo eletrônico concebido, desenvolvido e editado pela ABRACO. O periódico é publicado trimestralmente no site da Associação (www.abraco.org.br/revistas). A ABRACO não se responsabiliza, nem de forma individual, nem de forma solidária, pelas opiniões, ideias e conceitos emitidos nos textos, por serem de inteira responsabilidade de seus autores.

Nesta edição

- 03** Editorial
- 04** ABRACO apresenta nova Diretoria Executiva para o biênio 2025/2027
- 08** Empregos Azuis: a iniciativa que vai transformar o setor marítimo e gerar novas oportunidades
- 10** ARTIGO CIENTÍFICO
Revisão de potenciais substitutos sustentáveis para revestimentos de aço eletrolgalvanizado: avanços e desafios
Sandra Jesus Barradas Travassos, Gustavo Aristides Santana Martinez, Célia Regina Tomachuk
- 28** ARTIGO TÉCNICO
fuga de borda em tintas anticorrosivas
Celso Gnecco
- 38** ARTIGO TÉCNICO
novos retificadores de corrente impressa inteligentes com atuação remota pela smart grid e plataformas de inteligência artificial
Leandro Valente Costa
- 43** Dia Mundial da Conscientização sobre Corrosão - 24 de abril
- 43** Qualificação de Inspetor de Pintura Industrial Nível 1 em Salvador e Fortaleza
- 44** InterCorr 2025 reúne a comunidade técnico-científica em São Paulo para discutir os avanços no combate à corrosão
- 46** Empresas associadas

Prezados associados, parceiros e amigos,

É com grande honra que assumo a presidência da ABRACO para o biênio 2025/2027, tendo a responsabilidade de liderar nossa participação no programa Empregos Azuis - Um Mar de Oportunidades. Lançado em março, este programa - uma iniciativa da Secretaria de Estado de Energia e Economia do Mar - visa principalmente qualificar profissionais para o setor marítimo, com enfoque especial nas indústrias naval e offshore.

Esta iniciativa é um marco para o Brasil, pois abre portas para novos empregos e prepara a força de trabalho com a oferta de cursos gratuitos em diversas áreas, como segurança em plataformas, soldagem, caldeiraria, eletricidade de embarcação, e, é claro, corrosão, proteção catódica e pintura anticorrosiva, uma área fundamental para garantir a durabilidade e a segurança das estruturas que operam no mar.

A ABRACO, com sua expertise em corrosão e proteção anticorrosiva, participa do programa aplicando cursos especializados que capacitem profissionais para garantir a longevidade de embarcações e plataformas offshore, por meio de operações seguras, eficientes e sustentáveis.

A parceria com municípios e empresas do setor privado, mediada pela SEENEMAR, reforça a importância do programa, que promove a integração de diversos setores e leva a profissionais uma formação prática, alinhada às necessidades do mercado. A capacitação inclui o certificado, que oferece uma vantagem significativa no competitivo mercado de trabalho marítimo.

O Empregos Azuis não é apenas uma oportunidade de qualificação profissional, mas também um passo fundamental para impulsionar a inovação, promover o desenvolvimento sustentável e criar oportunidades de trabalho no setor marítimo. Este é o início de uma série de projetos que estamos desenvolvendo com o foco na capacitação contínua e na evolução da nossa indústria.

Como presidente da ABRACO, estou comprometido em seguir adiante com o trabalho iniciado por Neusvaldo e expandir nossas ações em várias frentes, permitindo que a ABRACO continue a ser uma instituição líder, contribuindo decisivamente para o crescimento e a modernização do setor marítimo e offshore no Brasil.

Conto com todos vocês para fazer deste projeto um grande sucesso, que trará benefícios duradouros para o setor e para todos os profissionais envolvidos.

Atenciosamente,

Luiz Paulo Gomes

Presidente da ABRACO



ABRACO apresenta nova Diretoria Executiva para o biênio 2025/2027

A Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) anunciou oficialmente sua nova Diretoria Executiva para o biênio 2025/2027. A divulgação foi feita por meio de uma arte institucional que apresenta os membros que estarão à frente da entidade nos próximos dois anos, reforçando o compromisso da ABRACO com a excelência e o desenvolvimento técnico no combate à corrosão no Brasil.

No comando da nova gestão, assume a presidência Luiz Paulo Gomes, representante do IEC (Instituto de Engenharia e Corrosão), acompanhado pelo vice-presidente Carlos Alexandre Martins da Silva, da Transpetro. A liderança da dupla sinaliza a continuidade de uma gestão técnica, moderna e alinhada com as demandas do setor.

A equipe diretiva é composta ainda pelos seguintes profissionais:

- Danilo Natalio Sanches (Zincoligas), como Diretor Financeiro;
- Luiz Guilherme Araújo Prata (Jotun), Diretor;
- Carlos Roberto Patrício (Bbosch), Diretor;
- Emílio Duarte Lana Júnior (Deepwater), Diretor;
- Juliane Carera Marin (Individual), Diretora.

O anúncio reforça a diversidade e a representatividade da nova diretoria, reunindo especialistas de empresas renomadas no setor de corrosão e proteção anticorrosiva. Com essa

composição, a ABRACO reafirma sua missão de difundir conhecimento técnico, apoiar a inovação e fortalecer o mercado de proteção anticorrosiva em todo o território nacional.

A expectativa é que, sob esta nova liderança, a Associação continue a expandir seus projetos educacionais, técnicos e institucionais, fortalecendo parcerias estratégicas e impulsionando o desenvolvimento de soluções para a integridade de ativos e preservação ambiental.

Para celebrar o início da nova gestão, foi realizada no dia **24 de abril de 2025** uma confraternização de posse na **Associação Atlética Banco do Brasil - AABB**, localizada na Lagoa, no Rio de Janeiro. O evento reuniu associados, empresas, parceiros e convidados especiais em um momento de integração e celebração.

A ABRACO agradece a presença de todos que participaram desta ocasião tão especial e convida a todos para conferirem as fotos da confraternização nas próximas páginas,

Mais informações podem ser encontradas no site oficial: www.abraco.org.br.



Diretoria Executiva

Biênio 2025/2027

 PRESIDENTE Luiz Paulo Gomes IEC	 VICE PRESIDENTE Carlos Alexandre Martins da Silva Transpetro	
Diretor Financeiro Danilo Natalio Sanches <i>Contabilidade</i>	Diretor Luiz Guilherme Araújo Prata <i>Jurim</i>	Diretor Carlos Roberto Patrício <i>Marketing</i>
Diretor Emílio Duarte Lana Júnior <i>Desenvolvimento</i>	Diretora Juliane Carera Marin <i>Individual</i>	

 **ABRACO**
Associação Brasileira para a Qualidade

www.ABRACO.org.br







Empregos Azuis: a iniciativa que vai transformar o setor marítimo e gerar novas oportunidades

O setor marítimo brasileiro está prestes a passar por uma grande transformação com o lançamento do programa *Empregos Azuis – um mar de oportunidades*, ocorrido na última sexta-feira, 14 de março. A iniciativa, do Governo do Estado, tem como objetivo capacitar e certificar profissionais para atuar no crescente segmento da Economia do Mar, oferecendo cursos gratuitos de especialização em diversas áreas.

Através de uma parceria com municípios e empresas do setor privado, mediada pela Secretaria de Estado de Energia e Economia do Mar (SEENEMAR), o programa oferece uma vasta gama de cursos especializados. Entre as opções estão as áreas de Segurança em Montagem de Andaime, Caldeireiro, Arrais Amador, Mestre Amador, Movimentação de Carga, Tai-feiro, Marinheiro de Convés, Marinheiro Auxiliar de Máquinas, Pintura Industrial e Corrosão, Soldador, Mecânico de Motor a Diesel, Eletricista de Embarcação, Segurança de Plataforma, Combate a Incêndio e Operador de Guindaste, entre outros. Esses cursos, que incluem treinamento prático e certificação, visam preparar os trabalhadores para enfrentar um mercado competitivo, focando na eficiência e segurança das operações marítimas.

A Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) teve um papel fundamental no lançamento do programa. A presença de Caroline Xavier, coordenadora de Cursos e Marketing da ABRACO, e Úrsula Faria, gerente de Certificação da instituição, no evento sublinhou o compromisso da ABRACO com a qualificação técnica no setor. A ABRACO, conhecida por sua expertise em corrosão e proteção anticorrosiva, integra o programa com a oferta do curso de Corrosão e Pintura Anticorrosiva, essencial para garantir a longevidade de embarcações e plataformas offshore.

De acordo com a SEENEMAR, o programa foi cuidadosamente estruturado para atender às demandas reais do setor, garantindo que os profissionais formados possuam as competências



necessárias para atuar em embarcações, portos e plataformas offshore. A capacitação se alinha às necessidades do mercado, e o treinamento prático é um diferencial para o sucesso profissional.

Capacitação: um diferencial competitivo para o setor marítimo

O programa *Empregos Azuis* não apenas abre novas oportunidades de emprego, mas também fortalece a economia do mar, um dos pilares da indústria nacional. A presença da ABRACO, com o curso de Corrosão e Pintura Anticorrosiva, é um exemplo de como a qualificação técnica é um diferencial estratégico. Técnicas adequadas de prevenção e controle da corrosão são essenciais para garantir a segurança e a eficiência operacional das embarcações e plataformas. Além disso, essas práticas ajudam a reduzir os custos com manutenção, um fator crucial para a sustentabilidade econômica das empresas do setor.

Inovação e formação profissional para o futuro da indústria naval

Com as crescentes exigências do mercado e a evolução da indústria naval, a modernização das técnicas de ensino torna-se um imperativo. O programa *Empregos Azuis* aposta em uma abordagem inovadora, combinando aulas teóricas com treinamentos práticos, a fim de capacitar os trabalhadores para os desafios reais do mercado. A ABRACO, ao integrar suas especializações, reafirma a importância da qualificação técnica contínua para o fortalecimento do setor marítimo e offshore no Brasil.

A participação da ABRACO neste projeto reflete seu compromisso com a capacitação profissional e com o desenvolvimento sustentável da economia do mar. A associação busca contribuir para um futuro mais seguro, eficiente e competitivo para o setor, garantindo a longevidade e a integridade das infraestruturas críticas do Brasil.

Para mais informações sobre o programa *Empregos Azuis*, acesse o site: <https://www.rj.gov.br/noticias/governo-do-estado-lanca-programa-de-capacitacao-profissional-para-ampliar-oportunidades-de-emprego-e-impulsionar-a-economia-do-mar-no-rio-de-janeiro9941>

REVISÃO DE POTENCIAIS SUBSTITUTOS SUSTENTÁVEIS PARA REVESTIMENTOS DE AÇO ELETROGALVANIZADO: AVANÇOS E DESAFIOS

Sandra Jesus Barradas Travassos¹, Gustavo Aristides Santana Martinez¹, Célia Regina Tomachuk¹

¹ Departamento de Ciências Básicas e Ambientais, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Estrada Municipal do Campinho, 100-, CEP 12602-810, Lorena - SP, Brasil
e-mails: stravassos29@gmail.com, gustavo.martinez@usp.br, celiatomachuk@usp.br

1. Introdução

Os revestimentos de zinco emergem como solução eficaz para a proteção de substratos de aço contra a corrosão, funcionando como uma barreira física e atuando como ânodo de sacrifício, aumentando a durabilidade e integridade estrutural dos metais em ambientes corrosivos [1]. A eficácia desses revestimentos pode ser melhorada por meio de tratamentos de conversão química, que não apenas protegem contra a degradação, mas também melhoram a adesão de pinturas subsequentes [2].

Historicamente, os tratamentos de conversão convencionais utilizam compostos contendo íons de cromo hexavalente, reconhecidamente tóxico e associado a riscos significativos à saúde humana e ao meio ambiente [3-5].

Com a entrada em vigor de regulamentações ambientais rigorosas, como a Norma Europeia EN 12476:2018, que proíbe o uso de Cr⁶⁺ em certos produtos e materiais, e a Diretiva Europeia 2000/53/CE, que restringe a utilização desses compostos em tratamentos para veículos, a pressão para adotar alternativas mais seguras tem crescido. Além da legislação, a conscientização crescente sobre os efeitos nocivos do Cr⁶⁺ tem impulsionado a pesquisa por tratamentos de conversão ambientalmente amigáveis, especialmente aplicáveis a superfícies de aço zincado [6-16]. Empresas que ainda usam Cr⁶⁺ precisam investir em tecnologia que reduza a exposição dos funcionários e o impacto no meio ambiente, ao mesmo tempo que procuram opções sustentáveis.

A substituição do cromo hexavalente (Cr⁶⁺) por alternativas mais seguras e sustentáveis é um desafio urgente para a indústria de tratamento de superfícies metálicas. O Cr⁶⁺, amplamente utilizado em revestimentos de conversão para aço eletrolgalvanizado, é reconhecidamente tóxico e apresenta sérios riscos à saúde humana e ao meio ambiente. A necessidade de proteger o meio ambiente e a saúde dos trabalhadores, sem comprometer a qualidade dos revestimentos, impulsiona a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias. Este artigo de revisão examina os principais tratamentos de conversão para aço eletrolgalvanizado, com foco na substituição do Cr⁶⁺. A análise inicia-se com os tratamentos tradicionais à base de cromo, incluindo o hexavalente e o trivalente, descrevendo seus mecanismos, vantagens e desvantagens. O artigo então explora alternativas sustentáveis, como a fosfatização e o uso de sais de cobalto, terras raras, zircônio e silanos. A pesquisa destaca a eficácia e a viabilidade industrial dessas alternativas, com ênfase em soluções que minimizem os impactos ambientais. O artigo discute o papel da Inteligência Artificial (IA) e do Aprendizado de Máquina (AM) na otimização desses processos. Essas tecnologias emergentes oferecem oportunidades para a modelagem de processos, previsão de desempenho e aprimoramento contínuo dos métodos de tratamento, resultando em operações mais eficientes e com menor desperdício de materiais. A adoção de alternativas sustentáveis não apenas atende aos requisitos técnicos, mas também promove práticas industriais mais responsáveis.

Palavras-chaves: Tratamento de conversão. Cromatização. Aço eletrolgalvanizado. Sustentabilidade. Tratamento de superfície.

Review of potential sustainable substitutes for electrogalvanized steel: advances and challenges

The replacement of hexavalent chromium (Cr⁶⁺) with safer and more sustainable alternatives is an urgent challenge for the metal surface treatment industry. Cr⁶⁺, widely used in conversion coatings for electrogalvanized steel, is known to be toxic and poses significant risks to human health and the environment. The need to protect the environment and workers' health without compromising coating quality drives research and development of new technologies. This review article examines the main conversion treatments for electrogalvanized steel, focusing on the replacement of Cr⁶⁺. The analysis begins with traditional chromium-based treatments, including hexavalent and trivalent chromium, describing their mechanisms, advantages, and disadvantages. The article then explores sustainable alternatives, such as phosphating and the use of cobalt salts, rare earths, zirconium, and silanes. The research highlights the efficacy and industrial feasibility of these alternatives, emphasizing solutions that minimize environmental impacts. The article also discusses the role of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) in optimizing these processes. These emerging technologies offer opportunities for process modeling, performance prediction, and continuous improvement of treatment methods, resulting in more efficient operations with reduced material waste. Adopting sustainable alternatives not only meets technical requirements but also promotes more responsible industrial practices.

Keywords: Conversion treatment. Chromating. Electrogalvanized steel. Sustainability. Surface treatment.

No Brasil, o uso de cromo hexavalente é regulamentado por órgãos como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), o Instituto Nacional do Câncer (INCA) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Por exemplo, a Resolução RDC nº 481/1999 da ANVISA proíbe o uso de Cr⁶⁺ em cosméticos como tinturas de cabelo, enquanto normas do MTE limitam sua exposição no ambiente de trabalho, e o CONAMA estabelece parâmetros para o descarte de resíduos que contenham cromo hexavalente.

A literatura técnica documenta uma variedade de alternativas para o tratamento de conversão,

incluindo compostos à base de sais de cobalto [12, 16], titânio [17-19], zircônio [19-21], vanádio [22], molibdênio [23-24], elementos de terras raras como Ce, La, Ne, e Y [25], silanos [6-7, 26-27], entre outros [28]. Cada processo apresenta características únicas e promissoras, potencialmente viáveis como substitutos para os tratamentos convencionais com Cr⁶⁺.

Além da pesquisa de novos materiais, a Inteligência Artificial (IA) e o Aprendizado de Máquina (AM) têm emergido como ferramentas poderosas para otimizar os processos de tratamento de conversão. Por meio da modelagem, simulação e análise de dados, a IA pode auxiliar

na identificação de formulações e parâmetros de processo que maximizem a resistência à corrosão e minimizem o impacto ambiental.

Neste contexto, este artigo propõe-se a explorar os potenciais substitutos que estão sob investigação, analisando suas propriedades anticorrosivas, eficiência de adesão e viabilidade industrial. A busca por soluções inovadoras e sustentáveis é essencial para assegurar a proteção dos substratos metálicos, em conformidade com diretrizes ambientais cada vez mais rigorosas, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais.

A estrutura deste artigo está organizada da seguinte forma: uma revisão breve sobre o estado da arte dos tratamentos de conversão, seguida por uma análise detalhada de cada alternativa ao Cr^{6+} , discussão sobre sustentabilidade e impacto ambiental das tecnologias, e perspectivas futuras com ênfase no papel da IA e do AM nesta área.

2. Tratamentos de conversão para aço eletro galvanizado

Os tratamentos de conversão química são fundamentais para aprimorar as propriedades do aço eletro galvanizado, aumentando significativamente sua resistência à corrosão e garantindo uma maior durabilidade e eficiência em aplicações variadas [1-2, 9, 29]. Contudo, a escolha do tratamento de conversão adequado depende de diversos fatores críticos, como a aplicação final do produto, o ambiente em que será utilizado e as especificações técnicas exigidas. Por exemplo, em ambientes altamente corrosivos, como áreas marinhas ou industriais, tratamentos com alta eficiência anticorrosiva são imprescindíveis para evitar a rápida deterioração do material e assegurar o desempenho adequado [30]. Além disso, aplicações em setores como o automotivo, o aeroespacial e a construção civil requerem tratamentos específicos que não apenas resistam à corrosão, mas também ofereçam compatibilidade com revestimentos adicionais, como tintas e camadas protetoras [31].

Sendo assim, a realização de ensaios de desempenho e a análise das condições de uso são essenciais para determinar a melhor abordagem a ser adotada.

Ensaio como o de exposição em câmara de névoa salina (ASTM B117), a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) e a análise de polarização potenciodinâmica são amplamente utilizados para avaliar a eficácia dos tratamentos de conversão e comparar diferentes formulações [32-33]. Esses ensaios permitem não apenas a comparação da eficácia dos diferentes tratamentos, mas também a avaliação da durabilidade em cenários reais de uso, auxiliando na escolha de um tratamento que atenda tanto às normas de qualidade quanto às exigências ambientais.

Neste artigo de revisão os tratamentos à base de íons cromo (Cr^{6+} , Cr^{3+}) e os tratamentos isentos de íons cromo (fosfatização, sais de cobalto, sais de terras raras, sais de zircônio, silanos) são contemplados.

2.1 Cromo hexavalente

O tratamento de conversão à base de cromo (Cr^{6+}) é realizado em soluções ácidas em pH que varia de 1,0 a 3,5. A espessura da camada resultante é de (200 a 300) nm, correspondendo a uma massa de 0,43 g/m². Essa camada é composta por óxidos e hidróxidos de zinco, Cr^{3+} e Cr^{6+} . Oferecem boa resistência à corrosão em vários ambientes e servem como excelente base para pintura [8, 11, 32, 34-35]. Todavia, são considerados substância cancerígena, têm sua utilização restrita pelas normas europeias [3-5]. Essa preocupação tem levado à pesquisa de alternativas menos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana.

A formação da camada de conversão é descrita como uma reação redox entre os íons de Cr^{6+} oxidantes e o metal do substrato e ocorre em dois estágios: (I) dissolução do zinco na solução ácida de tratamento, que facilita a interação dos íons de Cr^{6+} com a superfície metálica (II) formação de um precipitado aderente de Cr^{3+} , que resulta da reação redox em que os íons de Cr^{6+} são reduzidos [8, 13, 36]. Esse processo é acompanhado por um aumento

do pH local, devido ao consumo de íons de hidrogênio que participam da redução do Cr^{6+} , promovendo a precipitação de compostos insolúveis de cromo trivalente. Assim, o cromo na camada de conversão é encontrado em dois estados de oxidação, Cr^{3+} e Cr^{6+} , o que pode influenciar suas propriedades eletroquímicas e a resistência à corrosão.

A Figura 1 ilustra a micrografia do substrato de zinco tratado com Cr^{6+} [37]. Sendo a Figura 1(b) uma imagem ampliada da superfície representada na Figura 1(a). Observa-se microfissuras presentes na camada de conversão, característica típica desse revestimento, que pode ser atribuído às tensões de tração desenvolvidas durante os processos de deposição e ou secagem [36]. Camadas espessas à base de Cr^{6+} apresentam maior suscetibilidade à formação de microtrincas [35-37], o que pode comprometer a integridade da proteção anticorrosiva. Portanto, a otimização dos parâmetros de tratamento e o controle da espessura da camada são essenciais para maximizar a eficácia dos tratamentos de conversão e minimizar os defeitos associados.

2.2 Cromo trivalente

Os tratamentos de conversão à base de cromo trivalente são considerados alternativas comercialmente aceitáveis para certas aplicações, embora apresentem propriedades anticorrosivas parciais. Esta limitação tem motivado a investigação de estratégias adicionais que

busquem aprimorar a proteção oferecida por essas camadas de conversão [8, 11-13, 15-16, 37-43]. A adição de sais contendo cobalto [12, 16, 44-46] ou cério [47-48] ao eletrólito de conversão tem sido bastante explorada, onde cada um desses elementos desempenha um papel fundamental na melhoria das características anticorrosivas e na promoção da adesão de tintas em superfícies de aço zincado. Essa evolução representa um avanço significativo no campo dos tratamentos de superfície, com implicações profundas em termos de sustentabilidade, segurança e eficácia, especialmente em conformidade com regulamentações ambientais mais rigorosas que restringem o uso de compostos à base de Cr^{6+} .

No entanto, é importante ressaltar que o processo de conversão com Cr^{6+} envolve sua redução a Cr^{3+} e a formação de hidróxido por hidrólise sobre o metal exposto, que contribui para a proteção do substrato contra corrosão, mas, também, ajuda a “curar” eventuais defeitos presente na camada passivante formada [8, 13, 49]. Isso não é possível quando se utiliza banhos contendo somente Cr^{3+} , tornando a busca por alternativas ainda mais relevantes.

Adicionalmente, alguns banhos comerciais de Cr^{3+} , que utilizam em soluções de $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, têm mostrado potencial para gerar Cr^{6+} ao longo do tempo, devido à ação oxidante do nitrato. A temperatura de deposição e de secagem da camada de conversão, também podem

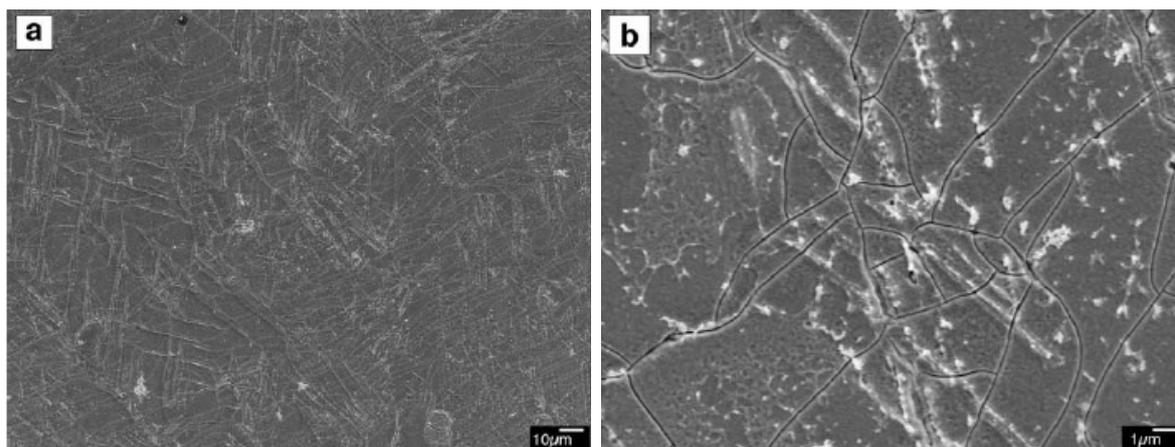


Figura 1: Micrografia do substrato de zinco tratado com Cr^{6+} (60 s) em estufa por 30 min em diferentes aumentos [37].

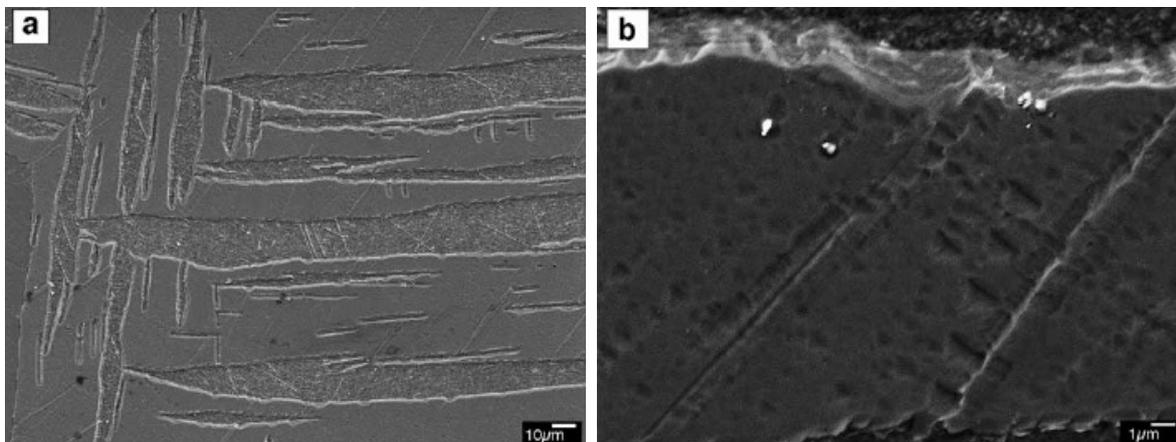


Figura 2: Micrografia do substrato de zinco tratado com Cr^{3+} (60 s) seca em estufa por 30 min em diferentes aumentos [37].

promover a oxidação do Cr^{3+} [34]. Este fenômeno levanta preocupações sobre a segurança ambiental, já que a conversão para Cr^{6+} reduz os ganhos de sustentabilidade esperados com o uso de Cr^{3+} .

A Figura 2 apresenta a micrografia do substrato de zinco submetido ao tratamento com Cr^{3+} [37]. A Figura 2(a) mostra uma visão geral da superfície do revestimento. Nota-se uma mudança na textura da superfície, com algumas áreas apresentando uma textura mais lisa. A Figura 2(b) expande uma região particular da Figura 2(a), focando uma área de ataque preferida. Diferentemente das camadas que contêm Cr^{6+} (Figura 1), não foram detectadas fissuras. Contudo, notam-se regiões com ataque predileto, indicando que a formação da camada, no processo de Cr^{3+} , é afetada pela disposição dos grãos de zinco individuais [37]. Ao longo da deposição da camada, a composição química e a estrutura microscópica da camada de conversão se alteram dinamicamente conforme o tempo de imersão [15-16, 37, 42-43]. Assim, um controle rigoroso dos parâmetros do processo, como o tempo de imersão e a temperatura do banho, podem afetar de maneira significativa as características do revestimento final.

Pesquisas recentes têm explorado a combinação de Cr^{3+} com nanopartículas de óxido metálico para melhorar ainda mais a proteção anticorrosiva, além de alterar as propriedades ópticas da superfície tratada [50]. O uso de

aditivos orgânicos também tem sido investigado para aumentar a durabilidade e a resistência à corrosão das camadas de conversão à base de Cr^{3+} [8, 13].

Ressalta-se que, embora os tratamentos de conversão à base de Cr^{3+} representem um avanço importante em relação aos métodos tradicionais que utilizam Cr^{6+} , a pesquisa contínua em aditivos e modificações de processos é essencial para otimizar a eficácia e a sustentabilidade desses tratamentos, assegurando a proteção adequada do material zincado em aplicações industriais e comerciais.

2.3 Fosfatização

A fosfatização é um processo de tratamento químico conhecido há mais de um século, ganhou destaque durante a Segunda Guerra Mundial, impulsionado pela intensificação da mecanização e pelo aumento no uso de metais e suas ligas [51]. Mesmo com o fim do conflito, o processo de fosfatização não perdeu relevância: os grandes avanços de tecnologia e processos fabris conquistados durante os anos de guerra deram continuidade ao aumento do consumo de metais, que ao invés de serem destinados aos esforços da guerra passaram a ser utilizados na modernização e reconstrução, em especial de fábricas. Até os dias de hoje, a fosfatização ainda é estudada e melhorias são desenvolvidas de forma contínua [8, 13, 52-57].

Trata-se da conversão do metal em um fosfato insolúvel do íon metálico; o fosfato insolúvel deposita-se sobre o metal modificando as suas propriedades superficiais. Este filme é formado por meio de reação eletroquímica em um ambiente com composição química controlada, onde os produtos da corrosão atuam como agentes protetores [53]. Devido à área superficial e ao volume de peças a serem tratadas, o processo de fosfatização requer grandes quantidades de água, gerando resíduos sólidos e efluentes líquidos. O resíduo gerado durante a fosfatização contém íons fosfato, que podem contribuir para a eutrofização das águas [55].

A técnica de fosfatização pode ser classificada de acordo com o tipo de cristal formado, podendo resultar em camadas cristalinas ou amorfas. A camada cristalina, que geralmente é preferida, oferece uma proteção mais robusta e duradoura, enquanto a amorfa é frequentemente utilizada para proteção temporária contra a corrosão ou como uma opção de custo reduzido para pinturas [56].

Os dois tipos de camadas, cristalina e amorfa, são apresentadas na Figura 3 [56].

Existem diversos tipos de camadas fosfatizadas, algumas amplamente utilizadas em escala industrial, outras menos e algumas ainda em desenvolvimento sem aplicação industrial estabelecida. Exemplos desses processos incluem a fosfatização à base de fosfato de ferro; fosfato de zinco e; fosfato de manganês. É

importante ressaltar que, embora esses nomes sejam usados para diferenciá-las, as camadas não são formadas exclusivamente por apenas um único tipo de fosfato (seja ferro, zinco ou manganês). Em vez disso, são compostas por uma combinação complexa de diferentes sais de fosfato, resultando em propriedades variadas que podem ser otimizadas para atender a necessidades específicas de proteção e aderência em diversos contextos industriais [53, 57].

- **Fosfato de Ferro:** foi um dos primeiros processos comercialmente disponíveis, caracterizado por um revestimento opaco de coloração cinza escuro. Atualmente, banhos modernos incluem aditivos como fosfatos de metais alcalinos ou de amônio, além de aceleradores. A base da camada é uma mistura de fosfato de ferro e óxido de ferro (magnetita), e essas camadas possuem um bom custo-benefício, sendo eficientes em processos que eliminam a necessidade de desengraxar.
- **Fosfato de Zinco:** é amplamente utilizado, especialmente em indústrias automobilísticas, devido às altas exigências de proteção anticorrosiva e estética. Os revestimentos são geralmente cristalinos e podem apresentar variantes em sua composição, com uma estrutura interna rica em ferro na camada mais próxima do substrato e ácido fosfórico como componente vital. A coloração dos revestimentos de fosfato de zinco varia de cinza claro a cinza escuro e, apesar

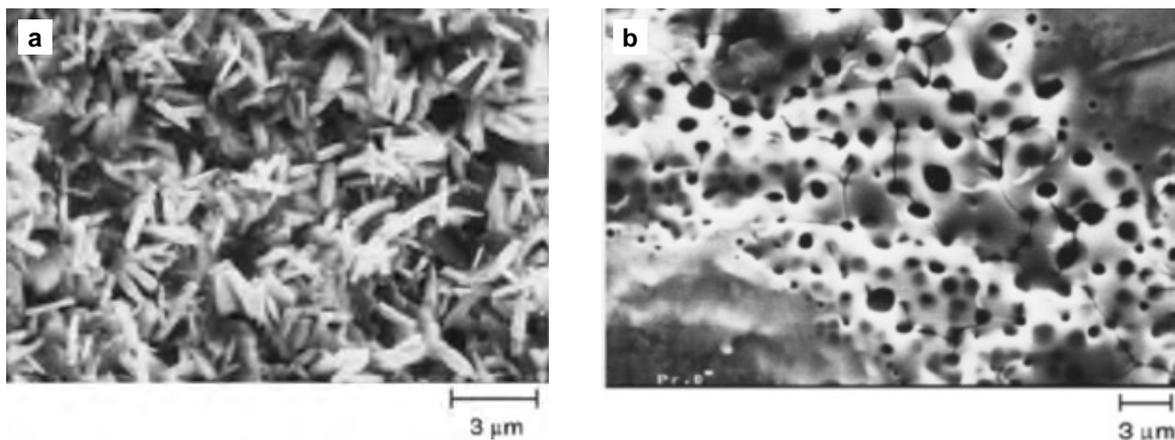


Figura 3: Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura: (a) camada de fosfato cristalino e, (b) camada de fosfato amorfo, aplicadas sobre aço carbono [56]

de sua resistência à corrosão, estas camadas ainda não apresentam boa resistência a altas temperaturas.

- **Fosfato de Manganês:** obtidas por imersão a temperaturas elevadas (85°C a 95°C), as camadas de fosfato de manganês são conhecidas por sua excelente resistência à abrasão e corrosão. Este procedimento é especialmente útil em aplicações que requerem proteção sob condições de temperatura extremas, podendo suportar temperaturas de até 200°C. A coloração característica das camadas de manganês é uma tonalidade preta com um acabamento brilhante.

O processo de fosfatização, portanto, é um tratamento essencial na indústria de metais, contribui para aumentar a vida útil e a resistência à corrosão dos componentes tratados. A literatura tem mostrado que o uso de aditivos como Fe, Mn, Ca, Cu, Ni, Co e metais de terras raras (TR), podem funcionar como importantes aceleradores na fosfatização [52, 54, 58-59]. Esses aceleradores químicos não apenas reduzem o tempo necessário para a formação da camada, mas também possibilitam que o processo ocorra a temperaturas mais baixas, muitas vezes à temperatura ambiente, o que representa uma significativa economia de energia e recursos.

Su e Lin [60] investigaram a adição de Ni^{2+} e de Mn^{2+} , de forma independente, no banho de fosfatização de zinco. Observaram que esses íons desempenham papéis distintos na formação da camada protetora. O Ni^{2+} foi reduzido pelo Zn, promovendo a nucleação de hopeita, enquanto o Mn^{2+} intensificou a nucleação e aumentou a interação com espécies reagentes durante o processo. Adicionalmente, tanto o Ni^{2+} quanto o Mn^{2+} contribuíram para a diminuição do tamanho do grão e da porosidade, o que, por sua vez, aumentou a resistência à corrosão do revestimento de fosfato.

An e colaboradores [61] investigaram camadas de fosfatização submetidas a um pós-tratamento de selagem com solução de silicato, visando avaliar seu impacto na resistência à corrosão de aço eletrolgalvanizado. Os resultados

mostraram que, durante o processo de fosfatização, formaram-se cristais de fosfato porosos, os quais foram eficazmente preenchidos pela presença de silicato de sódio, formando uma camada contínua de filme de silicato sobre o revestimento. A selagem proporcionou uma melhoria significativa na resistência à corrosão, reduzindo a densidade de corrosão em uma ordem de magnitude. O estudo também destacou que a oxidação anódica e a redução catódica do zinco foram inibidas, resultando em uma menor dissolução ativa do zinco, o que contribuiu para uma proteção eficaz contra a corrosão do aço eletrolgalvanizado.

A evolução contínua das técnicas de fosfatização, alimentada pela pesquisa e pelo desenvolvimento de novos métodos e modificadores, ressalta a adaptabilidade e a relevância desse processo, que continua a desempenhar um papel crucial em diversas aplicações, principalmente nas indústrias automotiva e de maquinaria. As inovações nesse campo [62-64] prometem aprimorar ainda mais a eficácia das camadas fosfatizadas, visando um equilíbrio entre custo e desempenho, o que é crucial em um contexto industrial competitivo.

2.4 Sais de cobalto

A adição de sais de cobalto no banho de tratamento de conversão à base de cromo trivalente apresenta vantagens [8, 12-13, 16, 44-46], a saber:

- **estabilidade química** que contribui significativamente para a durabilidade da camada de conversão. Isso resulta em uma maior resistência à corrosão e ao desgaste, prolongando a vida útil do revestimento.
- **aumento da aderência** de pinturas e revestimentos aplicados sobre o aço. A interação entre a camada de conversão e os materiais subsequentes é crucial para evitar descascamentos e falhas no revestimento.
- **melhoria na resistência à corrosão** especialmente em ambientes agressivos. Isso é fundamental para aplicações em indústrias como automotiva, construção e eletroeletrônica.

Apesar das vantagens, a adição de íons de cobalto também apresenta desvantagens, a saber:

- **controle de banho:** um dos principais desafios. O excesso de íons de cobalto pode levar a uma formação não uniforme da camada de conversão, resultando em reduções na qualidade do revestimento. Além disso, o controle constante do banho é necessário para garantir a consistência do processo.
- **custo:** sais de cobalto é relativamente caro e seu preço pode ser volátil. Isso pode impactar a viabilidade econômica do tratamento em larga escala.
- **questões ambientais:** o cobalto, em concentrações elevadas, pode ser tóxico, levantando preocupações sobre a segurança ambiental e a saúde dos trabalhadores envolvidos no processo. A gestão e descarte adequado dos resíduos gerados pelo processo são, portanto, fundamentais.
- **regulamentação:** devido as implicações ambientais e de saúde, existem regulamentações crescentes sobre o uso de metais pesados como o cobalto. A conformidade com normas ambientais é uma consideração importante para a indústria.

Cho, Rho e Kwon [16] investigaram a camada de conversão obtida a partir de banho contendo Cr^{3+} e Co^{2+} e, identificaram microfissuras na superfície do revestimento. Notaram que a densidade dessas microfissuras e a espessura do revestimento estão diretamente relacionadas com o tempo de imersão e ao pH do banho. Com o aumento da espessura, a densidade de corrente de corrosão diminuiu resultando em uma maior resistência à corrosão. A melhor condição identificada foi pH 1,7, tempo de imersão de 40 s e, temperatura de secagem a 40°C a 4 min.

Embora existam vantagens significativas, como estabilidade química e aumento da resistência à corrosão, desafios como o controle do banho, custos e questões ambientais não podem ser ignorados. Portanto, é essencial continuar a pesquisa e o desenvolvimento de métodos que maximizem os benefícios do cobalto enquanto

minimiza seus impactos negativos, buscando alternativas sustentáveis e econômicas para o tratamento de superfícies metálicas.

2.5 Sais de terras raras

A eficácia dos sais de terras raras (TR), especialmente Ce e La, como inibidores de corrosão ou em tratamentos de conversão, tem sido consideravelmente investigada como potenciais alternativas isentas de cromo [8, 13, 47-48, 65-67].

Tratamentos de conversão à base de cério [68-77] têm demonstrado resultados significativos no que diz respeito à proteção contra a corrosão, por meio da inibição e da formação de camadas protetoras que melhoram a adesão de recobrimentos. O óxido de cério (CeO_2) destaca-se por suas propriedades de resistência à corrosão e pela capacidade de formar ligas estáveis com o zinco, resultando em uma barreira eficiente contra o ataque corrosivo.

Além disso, as pesquisas de Song e Manself [75] e de Aramaki [76] demonstraram grande potencial na aplicação de *primers* à base de óxido de cério sobre superfícies zincadas, contribuindo para a compreensão do comportamento eletroquímico em sistemas de eletrolgalvanizado. Esses estudos pré-definiram conceitos importantes para a implementação de tratamentos que melhoram a durabilidade e a resistência à corrosão das superfícies metálicas.

Entretanto, para alcançar um desempenho ótimo dos tratamentos de conversão com sais de cério, são necessários ajustes nos processos de aplicação, bem como nas composições dos banhos. Variações nas concentrações de sais, nos parâmetros de temperatura e tempo de imersão, e nas condições de pH podem impactar significativamente a qualidade da camada formada, sua adesão e, conseqüentemente, sua eficiência na proteção contra a corrosão [69, 73-75].

É relevante considerar a integração de técnicas de caracterização avançadas, como espectroscopia de fotoelétrons de raios X (XPS) e microscopia eletrônica de varredura (SEM), para compreender melhor as interações entre os sais de cério e as superfícies de zinco

e para otimizar os processos de conversão [35]. Esses estudos adicionais permitem identificar as condições ideais para a aplicação de tratamentos de conversão, maximizando assim a proteção anticorrosiva e aumentando a vida útil dos componentes metálicos tratados.

Além disso, a avaliação da sustentabilidade e a análise do ciclo de vida dos processos envolvendo sais de cério é fundamental, uma vez que a redução do impacto ambiental é uma preocupação crescente na indústria. Portanto, a pesquisa contínua nessa área poderá abrir novas oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e ambientalmente responsáveis no tratamento de proteção de superfícies metálicas e composições dos banhos ainda são necessárias para atingir os resultados desejados.

2.6 Sais de Zircônio

Nos últimos anos, houve um crescente interesse na utilização de metais do grupo IIIB (como o boro e o gálio), IVB (como o titânio e o zircônio) e VB (como o vanádio e o nióbio) da tabela periódica para melhorar processos de proteção de superfícies metálicas. Dentre esses, o zircônio e o titânio se destacam por apresentarem uma combinação ideal de propriedades que promovem eficácias funcionais e viabilidade econômica na indústria de tratamento de superfícies, especialmente em processos de conversão aplicados em eletrolvanizado [8, 13, 17-22, 78-86].

Estes revestimentos são às vezes referidos como nanocerâmicos, pois são formados como um produto sólido inorgânico composto por elementos metálicos e não metálicos, apresentando cristallitos com dimensões abaixo de 100 nm. Pela sua inércia química, fornecem uma camada protetora altamente densa e uniforme na superfície dos materiais, isolando-os efetivamente de agentes corrosivos como umidade, produtos químicos e sais [81,83]. Para minimizar o tensionamento nas camadas obtidas, muitas vezes são adicionados plastificantes e até mesmo silanos [87].

Os tratamentos de conversão à base de zircônio oferecem vantagens significativas em relação aos métodos convencionais contendo

cromatos [13, 21]. Esses produtos geralmente contêm, além do metal de interesse, uma fonte de flúor livre e uma fonte de flúor que está quimicamente ligada aos metais. O flúor livre atua como um agente que promove o ataque ao substrato metálico, facilitando a deposição dos óxidos metálicos formados pelo zircônio ou titânio presentes na solução [79-82, 85]. Esse processo resulta na formação de uma camada protetora de óxido metálico de espessura nanométrica, que proporciona uma segurança adicional contra a corrosão.

A implementação de tratamentos de conversão à base de zircônio não apenas proporciona proteção eficaz contra corrosão, mas também leva a grandes reduções de custos operacionais e respeito ao meio ambiente [8, 13]. Entre os principais benefícios estão:

- **redução no consumo:** as soluções de tratamento de conversão são formuladas de forma a minimizar a quantidade de material utilizado na aplicação, abrangendo apenas o necessário para uma cobertura eficaz.
- **baixo consumo de água e energia:** os processos exigem quantidades reduzidas de água e energia elétrica. Processo de conversão a quente, tradicionalmente utilizado, pode ser substituído por processos a frio ou em temperaturas moderadas, otimizando o uso de recursos.
- **processos acelerados:** o tempo de imersão e os ciclos de tratamento são significativamente mais curtos. Isso não só aumenta a eficiência de produção, mas também melhora a produtividade das linhas de montagem.
- **menor geração de resíduos:** devido ao menor consumo de produtos químicos e à natureza dos tratamentos, a quantidade de resíduos gerados é reduzida, facilitando a gestão e o descarte.

Os tratamentos de conversão à base de zircônio são versáteis e podem ser aplicados não apenas a revestimentos de zinco, tendo mostrado eficiência sobre diversos substratos [84-85], incluindo:

- **alumínio:** o zircônio forma uma camada passivante que protege contra a corrosão, melhorando a durabilidade de componentes em ambientes agressivos.
- **aço laminado a frio:** a aplicação de tratamentos em aço laminado garante uma camada de proteção que melhora a adesão de revestimentos posteriores, como pintura ou galvanização.
- **aço galvanizado:** em revestimentos já galvanizados, o tratamento à base de zircônio pode aumentar a resistência da camada de zinco, prolongando a vida útil do material.

A utilização de sais de zircônio no tratamento de conversão sobre eletro galvanizado representa um avanço significativo nas tecnologias de proteção de superfícies metálicas, conjugando eficiência, economia e sustentabilidade. Como a indústria continua a buscar métodos que reduzam seu impacto ambiental enquanto atendem a requisitos de durabilidade e eficiência, os tratamentos à base de zircônio surgem como uma solução promissora que satisfaz essas demandas. A pesquisa e inovação contínuas nesse campo são essenciais para otimizar ainda mais os processos e expandir as suas aplicações na indústria [86].

2.7 Silanos

Os silanos são compostos químicos que possuem uma estrutura baseada em silício, sendo classificados como silanos simples ($-\text{SiH}_3$) ou bissilanos ($-\text{Si}_2\text{H}_5$). Eles têm se destacado no tratamento de conversão para eletro galvanizados devido aos seus benefícios ambientais e técnicos [6-7, 87-90]. Em comparação aos processos tradicionais de fosfatização, os silanos oferecem um acabamento mais ecológico, com menor geração de resíduos, reduzido consumo de energia e de água, embora sua eficácia dependa fortemente da qualidade da água utilizada no processo. A água que contém alto teor de cálcio e magnésio pode afetar a adesão e a formação do filme de silano na superfície [87-88].

Os silanos de primeira geração eram predominantemente baseados na aderência física do

depósito formado sobre o substrato metálico. Essa abordagem, embora funcional, apresentava limitações em termos de durabilidade e resistência ao desgaste. Com o avanço da tecnologia, a segunda geração de silanos surgiu, oferecendo uma melhoria significativa na adesão. Esses silanos promovem não apenas a aderência física, mas também uma interação química com a superfície do substrato, resultando em uma camada de silano que se liga quimicamente ao material base [88, 91].

Essa interligação é facilitada pela formação de ligações Si-O-Si, que criam uma rede tridimensional estável e robusta. A camada resultante proporciona não apenas uma aderência superior, mas também uma proteção eficaz contra a corrosão, prolongando a vida útil do revestimento eletro galvanizado. Além disso, os silanos de segunda geração podem ser formulados para melhorar a resistência à degradação em ambientes agressivos e podem ser adaptados para diferentes aplicações, incluindo ambientes industriais e automotivos [90].

Os silanos quando aplicados em conjunto com os tratamentos à base de cério, ocorre uma sinergia que potencializa a formação de uma barreira protetora ainda mais eficaz, pois há formação de uma rede molecular que não só encapsula as partículas de cério, mas também melhora a aderência e a integridade da camada protetora. Essa interação promove um aumento na resistência à corrosão, atuando como uma primeira linha de defesa contra fatores ambientais, como umidade, salinidade e substâncias químicas agressivas [27, 77].

Diversos métodos têm sido propostos para a formação dessas camadas inertes, destacando-se o processo sol-gel [91-93], a eletrodeposição, a deposição física ou química da fase vapor e a *spray-pirólise*.

Após o processo sol-gel, que consiste na transformação de uma solução precursora em uma rede sólida semelhante a um gel por hidrólise e condensação de alcóxidos metálicos [93], é comum a necessidade de um tratamento térmico para conferir caráter cerâmico ao revestimento. Esses revestimentos oferecem

boa adesão e podem ser adaptados a diversas composições e espessuras [87, 90].

Nguyen e colaboradores [93] investigaram o desempenho da resistência à corrosão de camadas obtidas pelo processo sol-gel híbrido orgânico/inorgânico de Si/Zr dopado com várias concentrações de nitrato de cério aplicado sobre aço galvanizado a quente. A solução de sol-gel de Si/Zr foi preparada a partir de tetraetil ortossilicato (TEOS), 3-(trimetoxisilil) propil metacrilato (MAPTMS) e propóxido de zircônio (IV) (ZTP) como precursores. Os resultados mostraram que os teores de nitrato de cério influenciam significativamente o comportamento protetor do revestimento sol-gel a longo prazo. Entre as condições analisadas, o sol-gel dopado com 650 ppm de Ce^{3+} foi a que demonstrou melhor desempenho.

O uso de silanos no tratamento de conversão para aços eletro galvanizados, portanto, representa uma inovação importante na busca por processos mais sustentáveis e eficientes. A evolução do desenvolvimento desses compostos tem permitido otimizar suas propriedades, aumentando a resistência e a durabilidade dos revestimentos, e contribuindo para a proteção ambiental. Essa combinação de vantagens torna os silanos uma alternativa atraente aos tratamentos convencionais, atendendo às demandas da indústria moderna.

3. Sustentabilidade na substituição do cromo hexavalente

a sustentabilidade no setor de tratamento de superfície vai além da simples substituição do íon cromo hexavalente para atender à demanda regulatória. Essa abordagem implica uma análise abrangente dos impactos ao longo do ciclo de vida dos materiais utilizados, promovendo, assim, a competitividade no mercado global. Deste modo, a adoção de substitutos deve considerar não apenas a resistência à corrosão, mas também fatores como a minimização da geração de resíduo, o uso eficiente de recursos e a segurança dos trabalhadores.

Com base no exposto, o Quadro 1 apresenta uma análise comparativa dos tratamentos de conversão, destacando aspectos como a resistência à corrosão, sustentabilidade, geração de resíduos e outras considerações pertinentes. Entretanto, é fundamental otimizar os parâmetros de deposição para alcançar os melhores resultados possíveis.

Vale ressaltar que a pesquisa e desenvolvimento de soluções sustentáveis são fases cruciais para assegurar que as alternativas adotadas contribuam efetivamente para um futuro mais responsável e ambientalmente amigável. A transição para novas tecnologias requer investimentos significativos em P&D, treinamento do pessoal e adaptações na infraestrutura existente. Apesar desses desafios, os benefícios são claros e tangíveis. A implementação de tratamentos menos prejudiciais ao meio ambiente pode resultar em redução de custos relacionados à conformidade regulatória, além de aprimorar a imagem e a aceitação da empresa entre um público cada vez mais consciente sobre questões sustentáveis.

Além disso, empresas que lideram essa transição em direção a processos mais limpos e seguros tendem a se destacar em um cenário onde a responsabilidade social e ambiental assume um papel central nas decisões de consumidores e investidores. Essas iniciativas não apenas criam vantagens competitivas, mas também promovem uma cultura de inovação e responsabilidade que pode inspirar toda a indústria a seguir o mesmo caminho. Assim, a adoção de práticas sustentáveis representa não apenas uma obrigação, mas uma oportunidade para redefinir o futuro do setor de tratamento de superfície de forma integral e positiva.

4. Inteligência artificial e aprendizado de máquina

A integração da Inteligência Artificial (IA) e do Aprendizado de Máquina (AM) ao setor de tratamento de superfícies apresenta oportunidades promissoras e inovadoras, embora ainda esteja em estágio exploratório.

Quadro 1: Análise comparativa de tratamentos de conversão aplicados em aços eletro galvanizados

Tratamento de conversão	Resistência à corrosão	Sustentabilidade	Geração de Resíduos	Custo	Considerações pertinentes
cromo hexavalente	alta	baixa	alta	moderado	tóxico, regulamentações rigorosas
cromo trivalente	moderada	moderada	moderada	moderado	pode gerar Cr ⁶⁺ ao longo do tempo
fosfatização	alta	baixa	alta	baixo	questões ambientais e regulatórias
Cr ³⁺ + sais de cobalto	moderada a alta	moderada	moderada	alto	questões ambientais e regulatórias
sais de terras raras	moderada a alta	moderada	baixa	alto	eficácia promissora, mas impacto da extração
sais de zircônio	moderada a alta	moderada a alta	baixa	moderado a alto	redução significativa no consumo de recursos
silanos	moderada a alta	moderada	baixa	alto	dependente da qualidade da água utilizada

Fonte: Autor

No estado da arte atual, o número de estudos sobre o uso dessas tecnologias é relativamente limitado, tanto na área da corrosão [94-96] quanto em setores específicos, como o de petróleo e gás [97-100], no desenvolvimento de ligas metálicas [101-102] e, na eletroquímica [103-105]. No entanto, o potencial transformador dessas ferramentas já é evidente.

Os algoritmos de AM têm se mostrado eficazes na otimização de variáveis fundamentais, como tempo, temperatura e composição dos banhos químicos [94], com o objetivo de melhorar a resistência à corrosão e minimizar os impactos ambientais. Essa abordagem permite a identificação de novas formulações e processos mais eficazes. Em aplicações específicas, o AM tem sido utilizado para prever a corrosão em oleodutos, viabilizando ações de manutenção preventiva e reduzindo significativamente o risco de falhas catastróficas [94].

Pesquisas como as de Saminathan e colaboradores [95] destacam a aplicação da IA no monitoramento da corrosão em estruturas metálicas, como tanques de armazenamento de produtos químicos e edificações de grande porte. A utilização de sensores e sistemas de análise em tempo real possibilitou a emissão de alertas sobre potenciais problemas,

garantindo respostas rápidas e eficazes. Da mesma forma, Chen e colaboradores [103-104] exploraram o uso de técnicas de AM na análise de voltamogramas, identificação de mecanismos eletroquímicos e extração de parâmetros essenciais, tais como taxas de reação e coeficientes de difusão, a partir de dados amperométricos de natureza estocástica. Esses autores também investigaram o uso de redes neurais na simulação de processos eletroquímicos, por meio da integração de equações de transporte de massa e condições de contorno, na busca de soluções mais precisas e eficientes.

Esses avanços destacam o enorme potencial de IA e AM para transformar o setor. A capacidade extraordinária de processar grandes volumes de dados de maneira ágil, rápida e eficiente gera *insights* valiosos que impulsionam avanços significativos na proteção anticorrosiva [97, 105] e na análise de falhas [94, 98]. Essa agilidade permite que as organizações respondam de forma mais prontamente às mudanças nas demandas do mercado e nas exigências regulatórias, proporcionando uma vantagem competitiva estratégica.

Além disso, a convergência dessas tecnologias promove processos personalizados e a sustentabilidade dos processos industriais, reduzindo

desperdícios e maximizando a eficiência no uso de recursos. Com o progresso das pesquisas, espera-se o desenvolvimento de formulações e técnicas que elevem os padrões de desempenho e resistência à corrosão, ampliando as fronteiras do setor.

Entretanto, a implementação de IA enfrenta desafios significativos. A necessidade de amplos conjuntos de dados de alta qualidade para treinar algoritmos apresenta uma barreira importante, assim como a complexidade dos mecanismos de corrosão e a escassez de dados confiáveis. Superar essas limitações requer investimentos em infraestrutura de dados, capacitação de equipes e colaborações interdisciplinares que unam especialistas em tecnologia e ciência dos materiais.

Apesar desses desafios, a IA e o AM têm grande potencial para promover processos mais sustentáveis. Essas tecnologias podem otimizar o uso de recursos, como água e energia, nos processos de tratamento de superfícies, reduzindo custos operacionais e impactos ambientais. Além disso, pode contribuir para minimizar a geração de resíduos ao aprimorar os procedimentos produtivos e selecionar materiais com menor toxicidade, alinhando-se aos princípios da economia circular. Com a implementação adequada, IA e AM não apenas aumentam a eficiência dos processos industriais, mas fomentam práticas responsáveis, alinhadas às demandas por sustentabilidade e inovação tecnológica.

A aplicação dessas tecnologias em áreas específicas, como revestimentos de zinco e tratamentos de conversão, apresenta um potencial transformador para as práticas industriais atuais. Ao converter dados complexos em conhecimento aplicável, IA e AM oferecem não apenas melhorias operacionais, mas também avanços significativos na durabilidade dos materiais e na proteção contra corrosão. Nesse contexto de inovação contínua, a IA posiciona-se como um elemento estratégico essencial para o futuro dos tratamentos de superfície, equilibrando a busca por sustentabilidade com a necessidade de progresso tecnológico. Assim, essas tecnologias emergentes não apenas

garantem a competitividade no presente, mas também moldam o futuro das práticas industriais de forma responsável e inovadora.

5. Considerações finais

A substituição do cromo hexavalente em tratamentos de conversão para aço eletrolgalvanizado é uma necessidade urgente para garantir a proteção ambiental e a saúde humana. Diferentes alternativas, como o cromo trivalente, a fosfatação, os sais de terras raras, os sais de cobalto, os sais de zircônio e os silanos, demonstram potencial para substituir o Cr^{6+} de forma eficaz e sustentável. Contudo, a otimização dos processos, o desenvolvimento de novas formulações e a análise do ciclo de vida dos materiais são essenciais para a consolidação dessas tecnologias.

A Inteligência Artificial e o Aprendizado de Máquina despontam como ferramentas poderosas para acelerar a pesquisa e o desenvolvimento de revestimentos mais eficientes e ecológicos. A modelagem, a simulação, a otimização de parâmetros e a análise de dados podem contribuir para a criação de soluções inovadoras e personalizadas.

A busca por alternativas ao cromo hexavalente exige um esforço conjunto de pesquisadores, indústria e órgãos reguladores. O investimento em pesquisa e desenvolvimento, a adoção de práticas sustentáveis e a disseminação de conhecimento são fundamentais para impulsionar a inovação e garantir um futuro mais limpo e seguro para o setor de tratamento de superfícies.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da FAPESP (Processo 2015/09952-0 e Processo 2016/50454-6), CNPQ (Processo 407549/2022-6) e a CAPES (Código de Financiamento 001).

Referências

- [1] Roberge, P. R., "Corrosion Engineering: Principles and Practice", Ed. McGraw-Hill Education. 754 p., 2008.
- [2] WINAND, R., "Electrodeposition of zinc and zinc Alloys", In: Schlesinger, M., Paunovic, M. (eds), *Modern Electroplating*, 2010.
<https://doi.org/10.1002/9780470602638.ch10>

- [3] MONGA, A., FULKE, A.B., DASGUPTA, D., "Recent developments in essentiality of trivalent chromium and toxicity of hexavalent chromium: implication on human health and remediation strategies", *Journal of Hazardous Materials Advances*, v. 7, pp. 100113, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125967>
- [4] ZHANG, Z, CAO, Z., SONG, N., ZHANG, L., CAO, Y., TAI, T., "Long-term hexavalent chromium exposure facilitates colorectal cancer in mice associated with changes in gut microbiota composition", *Food and Chemical Toxicology*, v. 138, pp. 111237, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111237>
- [5] HANDA, K., JINDAL, R., "Genotoxicity induced by hexavalent chromium leading to eryptosis in *Ctenopharyngodon idellus*", *Chemosphere*, v. 247, pp. 125967, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125967>
- [6] ZAFERANI, S.H., PEIKARI, M., ZAAREI, D., MOHAMMADI, M., "Using silane films to produce an alternative for chromate conversion coatings", *Corrosion*, v. 69, n. 4, pp. 273-387, 2013.
<https://doi.org/10.5006/0686>
- [7] SERÉ, P.R., DEYÁ, C., EGLI, W.A., ELSNER, C.I., DI SARLI, A.R., "Protection of galvanized steel with silanes: its comparison with chromium (VI)", *Journal of Materials Engineering and Performance*, v. 23, pp. 342- 348, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11665-013-0746-1>
- [8] GAO, Z., ZHANG, D., LIU, Z., LI, X., JIANG, S., ZHANG, Q., "Formation mechanisms of environmentally acceptable chemical conversion coatings for zinc: a review", *Journal of Coatings Technology and Research*, v. 16, n. 1, pp. 1-13, 2019.
<https://doi.org/10.1007/s11998-018-0076-1>
- [9] BIBBER, J.W., "An overview of nonhexavalent chromium conversion coatings-Part II: Zinc" *Metal Finishing*, v. 100, pp. 97-102, 2002.
[https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(01\)81711-6](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(01)81711-6)
- [10] LI, Q., LI, F., AN, M., "Alternative chromium-free passivation combined with nano-electrodeposition for electrogalvanized steel", *Journal of Materials Engineering and Performance*, v. 7, pp. 3961-3971, 2018.
<https://doi.org/10.1007/s11665-018-3498-0>
- [11] GUO, X., WANG, Y., SUN, H., "Comparative research on properties of trivalent and hexavalent passive film on galvanized steel", *Advanced Materials Research*, v. 396-398, pp. 1760-1763, 2012.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.396-398.1760>
- [12] HERNANDEZ, V. E. P., "Comportamento de corrosão de camadas isentas de cromo hexavalente e sem enxágue aplicadas sobre superfícies eletrozincadas produzidas em linhas contínuas", *Dissertação de Mestrado*, Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2014.
Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-31122015-115301/>. Acesso em: 21 out. 2024
- [13] SHAHINI, M., MOHAMMADLOO, H.E.E., RAMEZANZADEH, B., "Recent advances in steel surface treatment via novel/green conversion coatings for anti-corrosion applications", *Journal of Coatings Technology and Research*, v. 19, pp. 159-199, 2022.
<https://doi.org/10.1007/s11998-021-00466-0>
- [14] FENG, J., WANG, Y., LIN, X., BIAN, M., WIE, Y., "SECM in situ investigation of corrosion and self-healing behavior of trivalent chromium conversion coating on the zinc", *Surface and Coatings Technology*, v. 459, pp. 129411, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.129411>
- [15] WEN, N.T., CHEN, F.J., GER, M.D., PAN, Y.N., LIN, C.S., "Microstructure of trivalent chromium conversion coating on electrogalvanized steel plate", *Electrochemical and Solid-State Letters*, v. 11, pp. C47-50, 2008.
<http://dx.doi.org/10.1149/1.2932053>
- [16] CHO, K.W., RAO, V.S., KWON, H.S., "Microstructure and electrochemical characterization of trivalent chromium-based conversion coating on zinc", *Electrochimica Acta*, v. 52, pp.4449-4456, 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2006.12.032>
- [17] ZHU, L., YANG, F., DING, N., "Corrosion resistance of the electrogalvanized steel treated in a titanium conversion solution", *Surface and Coatings Technology*, v. 201, pp. 7829-7834, 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.03.024>
- [18] SALDANHA, J.L.B., "Emprego de agente redutor no processo de conversão de revestimento nanocerâmico à base de Ti sobre aço carbono e galvanizado. "Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2022.
Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/248682>, Acesso em: 21 out. 2024.
- [19] MILOŠEV, I., FRANKEL, G., "Review - Conversion coatings based on zirconium and/or titanium", *Journal of the Electrochemical Society*, v. 165, n. 3, pp. C127, 2018.
<https://doi.org/10.1149/2.0371803JES>
- [20] HAVIGH, M. D., NABIZADEH, M., WOUTERS, B., HALLEMANS, N., HAUFFMAN, T., LATAIRE, J., HUBIN, A., TERRY, H., "Operando odd random phase electrochemical impedance spectroscopy (ORP-EIS) for in situ monitoring of the Zr-based conversion coating growth in the presence of (in)organic additives", *Corrosion Science*, v. 223, pp. 111469, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111469>
- [21] TAHERI, P., LILL, K., DE WIT, J., MOL, J., TERRY, H., "Effects of zinc surface acid-based properties on formation mechanisms and interfacial bonding properties of zirconium-based conversion layers", *The Journal of Physical Chemistry*, v. 116, n. 15, pp. 8426-8436, 2012.
<https://doi.org/10.1021/JP209422D>
- [22] ZOU, Z., LI, N., LI, D., LIU, H., MU, S., "A vanadium-based conversion coating as chromate replacement for electrogalvanized steel substrates", *Journal of Alloys and Compounds*, v. 509, n. 2, pp. 503-507, 2011.
<https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2010.09.080>
- [23] LEWIS, O.D., GREENFIELD, D., AKID, R., DAHM, R.H., WILCOX, G.D., "Conversion coatings for zinc electrodeposits from modified molybdate solutions", *Transactions of the Institute Metal Finishing*, v. 88, n. 2, pp. 107-116, 2010.
<https://doi.org/10.1179/174591910X12646062076760>
- [24] LIU, D., YANG, Z., WANG, Z., ZHANG, C., "Synthesis and evaluation of corrosion resistance of molybdate-based conversion coatings on electroplated zinc", *Surface and Coatings Technology*, v. 205, n. 7, pp. 2328-2334, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.09.018>
- [25] MAJD, M.T., SHAHRABI, T., RAMEZANZADEH, B., "The role of neodymium based thin film on the epoxy/steel interfacial adhesion and corrosion protection promotion", *Applied Surface Science*, v. 464, pp. 516-533, 2019.
<https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2018.09.109>
- [26] SERÉ, P. R.; PARY, P., GÓMEZ-ESPINOSA, E., EGLI, W., DI SARLI, A. R., DEYÁ, C., "Surface preparation and double layer effect for silane application on electrogalvanized

- steel", *Corrosion Reviews*, v. 41, n. 4, pp. 497-513, 2023. <https://doi.org/10.1515/corrrev-2022-0042>
- [27] KONG, G., LU J.; WU H., "Post treatment of silane and cerium salt as chromate replacers on galvanized steel", *Journal of Rare Earths*, v. 27, n. 1, pp. 164-168, 2009. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(08\)60213-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(08)60213-6)
- [28] ZABERI, A., BAHMANI, E., AGHDAM, A.S.R., "Plant extracts as sustainable and green corrosion inhibitors for protection of ferrous metals in corrosive media: a mini review", *Corrosion Communication*, v. 5, pp. 22-38, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.corcom.2022.03.002>
- [29] LI, Q., LI, F., NA, M. "Alternative chromium-free passivation combined with nano-electrodeposition for electrogalvanized steel", *Journal of Materials Engineering and Performance*, v. 27, pp. 3961-3971, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3498-0>
- [30] JONES, D. A. *Principles and Prevention of Corrosion*. 2nd Edition, Ed. Pearson, 592p., 1995.
- [31] FONTANA, M. G., *Corrosion Engineering*. Ed. Tata McGraw-Hill, 556p., 2005.
- [32] ALJIBORI, H.S., ALAMIERY, A., KADHUM, A.A.A.H., "Advances in corrosion protection coatings: a comprehensive review", *International Journal of Corrosion Scale Inhibition*, v. 12, n. 4, pp. 1476-150, 2023. <http://dx.doi.org/10.17675/2305-6894-2023-12-4-6>
- [33] ORAZEN, M.E., TRIBOLLET, B., "Electrochemical Impedance Spectroscopy", Ed. Wiley, New York, 2008.
- [34] LI, J., YAO, C., LIU, Y., LI D., ZHOU, B., CAI, W., "The hazardous hexavalent chromium conversion coating: the origin, influence factors and control measures. *Journal Hazardous Materials*, v. 221-222, pp. 56-61, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.004>
- [35] ZHANG, X., SLOOF, W.G., HOVESTAD, A., VAN WESTING, E.P.M., TERRYN, H., DE WIT, J.H.W., "Characterization of chromate conversion coatings on zinc using XPS and SKPFM", *Surface and Coatings Technology*, v. 197, n. 2-3, pp. 168-176, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.08.196>
- [36] MARTYAH, N.M., "Internal Stresses in Zinc Chromate Coating", *Surface Coating and Technology*, v. 88, n. 1-3, pp. 139-146, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(96\)02927-1](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(96)02927-1)
- [37] ZHANG, X., VAN DEN BOS, C., SLOOF, W.G., HOVESTAD, A., TERRYN, H., DE WIT J.H.W., "Comparison of the morphology and corrosion performance of Cr(VI) and Cr(III)-based conversion coatings on zinc", *Surface and Coatings Technology*, v. 199, n. 1, pp. 92-104, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.12.002>
- [38] ZAKI, N., "Trivalent chrome conversion coating for zinc and zinc alloys", *Metale Finishing*, v. 105, n.10, pp. 425-435, 2007. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(07\)80361-8](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(07)80361-8)
- [39] ZHANG, X., VAN DEN BOS, C., SLOOF, W.G., TERRYN, H., HOVESTAD, A., DE WIT J.H.W., "Investigation of Cr(III) based conversion coatings on electrogalvanized steel", *Surface Engineering*, v. 20, n. 4, pp. 244- 250, 2004. <https://doi.org/10.1179/026708404225016436>
- [40] GARCÍA-ANTÓN, J., FERNANDÉZ-DOMENE, R.M., SÁNCHEZ-TOVAR, R., ESCRIVÀ-CERDÁN, C., LEIVA-GARCÍA, V., URTIAGA, A., "Improvement of the electrochemical behaviour of Zn-electroplated steel using regenerated Cr(III) passivation baths", *Chemical Engineering Science*, v. 111, pp. 402- 409, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.03.005>
- [41] HESAMEDINI, S., BUND A., "Trivalent chromium conversion coatings", *Journal of Coatings Technology and Research*, v. 16, n. 3, pp. 623-641, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11998-019-00210-9>
- [42] CHANG, Y-T, WEN, N-T, CHEN, W-K., GER, M-D, PAN, G-T, YANG, T-C-K., "The effects of immersion time on morphology and electrochemical properties of the Cr(III)-based conversion coatings on zinc coated", *Corrosion Science*, v. 50, n. 12, pp. 3494-3499, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.08.051>
- [43] LIU, X., WANG, L., WANG, M., FENGHUA, L., GAO, J., LI, J., "Dynamic structures, and electrochemical behavior during the formation of trivalent chromium-based conversion coating on Zn", *Surface and Coatings Technology*, v. 31, pp. 128041, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.128041>
- [44] DI SARLI, A.R., CULCASI, J.D., TOMACHUK, C.R., ELSNER, C.I., FERRERIRA-JR, J.M.; COSTA, I., "A conversion layer based on trivalent chromium and cobalt for the corrosion protection of electrogalvanized steel", *Surface and Coatings Technology*, v. 258, pp. 426-436, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.08.057>
- [45] HESAMEDINI, S., ECKE, G., BUND, A., "Structure and formation of trivalent chromium conversion coatings containing cobalt on zinc plated steel", *Journal of the Electrochemical Society*, v. 165, n. 10, pp. C657-669, 2018. <https://doi.org/10.1149/2.0951810jes>
- [46] RAMEZANZADEH, B., ATTAR, M.M., "Effects of Co(II) and Ni(II) on the surface morphology and anticorrosion performance of the steel samples pretreated by Cr(III) conversion coating", *Corrosion*, v. 68, n. 1-11, pp. 015008-1-015008-11, 2012. <https://doi.org/10.5006/1.3676629>
- [47] LIU, X., WANG, M., LI, H., WANG, L., XU, Y., "Electrochemical effects of pH value on the corrosion inhibition and microstructure of cerium doped trivalent chromium conversion coating on Zn", *Corrosion Science*, v. 167, pp. 108538, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108538>
- [48] DI SARLI, A.R., ELSNER, C.I., PALOMINO, L.E.M., TOMACHUK, C.R., "Corrosion performance of conversion treatments for electrogalvanized steel sheet", *Journal of Materials and Materials Characterization and Engineering*, v. 7, pp. 307-329, 2019. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2019.75022>
- [49] ALMEIDA, E., DIAMANTINO, T.C., FIGUEIREDO, M.O., SÁ, C., "Oxidizing alternative species to chromium VI in zinc galvanized steel surface treatment. Part 1- A morphological and chemical study", *Surface and Coatings Technology*, v. 106, n. 1, pp. 8-17, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(98\)00464-2](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(98)00464-2)
- [50] ROMERO, R., MARTIN, F., RAMOS-BARRADO, J.R., LEINEN, D., "Study of different inorganic oxide thin films as barrier coatings against the corrosion of galvanized steel", *Surface and Coatings Technology*, v. 204, n. 12-13, pp. 2060-2063, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.10.006>
- [51] BEEVOR, A., *A Segunda Guerra Mundial*, Rio de Janeiro, Editora Record Ltda, 2012.

- [52] RAMEZANZADEH, B., VAKILI, H., AMINI, R., "Improved performance of cerium conversion coatings on steel with zinc phosphate post-treatment", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 30, pp. 225-233, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.05.026>
- [53] PANOSSIAN, Z., DOS SANTOS, C.A.L., "Corrosão e Proteção, Compêndio de artigos técnicos sobre fosfatização de metais ferrosos", Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317348781_Compêndio_de_artigos_técnicos_sobre_fosfatizacao_de_metalos_ferrosos, Acesso em 22 de outubro de 2024.
- [54] SAID, V.H., HAAKMANN, F., BRINKBAUMER, J., ULBRICHT, M., "Comparison of the nucleation and growth of a phosphate conversion coating on Zn-Al and Zn-Al-Mg coatings under the influence of a corrosion inhibitor film", *Surface and Coatings Technology*, v. 451, pp. 129044, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.129044>
- [55] SILVA-FERNÁNDEZ, S., DÍAZ, B., FEIJOO, I., RAMÓN NÓVOA, X., PÉREZ, C., "Influence of pH and temperature in the performance of Zn phosphate conversion coatings", *Electrochimica Acta*, v. 457, pp. 142510, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2023.142510>
- [56] GUERREIRO, M.A.V., "Avaliação de processo de fosfatização", *Trabalho de Conclusão de Curso*, Departamento de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/24746>, Acesso em 26 de outubro de 2024.
- [57] PANOSSIAN, Z.; DOS SANTOS, C.A.L., "Fosfatização de Metais Ferrosos Parte 2 - tipos de camadas fosfatizadas", *Corrosão & Proteção*, v. 10, n. 3, pp. 24-26, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317348781_Compêndio_de_artigos_técnicos_sobre_fosfatizacao_de_metalos_ferrosos, Acesso em 22 de outubro de 2024.
- [58] TSAI, C.Y., LIU, J.S., CHEN, P.L., LIN, C.S., "Effect of Mg²⁺ on the microstructure and corrosion resistance of the phosphate conversion coating on hot-dip galvanized sheet steel", *Corrosion Science*, v. 52, n. 12, pp. 3907-3912, 2010. <https://doi.org/10.1016/J.CORSCI.2010.08.007>
- [59] GIRCIENĖ, O., GUDAVICIUTĖ, L., SELSKIENĖ, A., KIRDEIKIENE, A., RAMANAUSKAS, R., "Electrochemical investigations of the anticorrosive behaviour of the phosphated electrogalvanized steel additionally coated with conversion layer of cerium oxide", *Chemija*, v. 31, pp. 77-86, 2020. <https://doi.org/10.6001/chemija.v31i2.4219>
- [60] SU, H-Y, LIN, C-S, "Effect of additives on the properties of phosphate conversion coating on electrogalvanized steel sheet", *Corrosion Science*, v. 83, pp. 137-146, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2014.02.002>
- [61] AN, K., AN, C., YANG, C., QING, Y., SHANG, Y., LIU, C., "Effect of phosphating and post-sealing on the corrosion resistance of electrogalvanized steel", *International Journal Electrochemical Society*, v. 12, n. 3, pp. 2102-2111, 2017. <https://doi.org/10.20964/2017.03.39>
- [62] RAMEZANZADEH, B., VAKILI, H., AMINI, R., "The effects of addition of poly(vinyl) alcohol (PVA) as a green corrosion inhibitor to the phosphate conversion coating on the anticorrosion and adhesion properties of the epoxy coating on the steel substrate", *Applied Surface Science*, v. 327, pp. 174-181, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.11.167>
- [63] VELASQUEZ, C.S., PIMENTA, E.P.S., LINS, V.F.C., "Anticorrosive behavior and porosity of tricationic phosphate and zirconium conversion coating on galvanized steel", *Journal of Materials Engineering and Performance*, v. 27, pp. 2138-2147, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3294-x>
- [64] JAZBINSEK, L.A.R., "Investigação de tratamentos alternativos de fosfatização para eliminação do níquel e cromo hexavalente", *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-05122014-083916/>, Acesso em 21 outubro de 2024.
- [65] MONTEMOR, M.F., SIMÕES, A.M., FERREIRA, M.G.S., "Composition and corrosion behaviour of galvanized steel treated with rare-earth salts: the effect of the cation", *Progress in Organic Coatings*, v. 44, n. 2, pp. 111-120, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(01\)00250-8](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(01)00250-8)
- [66] KONG G., LIU, L., LU, J., CHE, C., ZHANG, Z., "Corrosion behavior of lanthanum-based conversion coating modified with citric acid on hot dip galvanized steel in aerated 1 M NaCl solution", *Corrosion Science*, v. 53, n. 4, pp. 1621-1626, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.01.038>
- [67] ZHANG, S.H., KONG, G., LU, J.T., CHE, C.S., LIU, L.Y., "Growth behavior of lanthanum conversion coating on hot-dip galvanized steel", *Surface and Coatings Technology*, v. 259, pp. 654-659, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.10.017>
- [68] ARENAS, M.A., DE DAMBORENA J.J., "Surface characterisation of cerium layers on galvanized steel", *Surface and Coatings Technology*, v. 187, n. 2-3, pp. 320-325, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.02.033>
- [69] MONTEMOR, M.F., SIMÕES, A.M.M., FERREIRA, M.G.S., "Composition and corrosion behaviour of cerium films on galvanized steel", *Progress in Organic Coatings*, v. 43, pp. 274-281, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(01\)00209-0](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(01)00209-0)
- [70] FERREIRA-JR, J.M., SOUZA, K.P., QUEIROZ, F.M., COSTA, I.; TOMACHUK, C.R., "Electrochemical and chemical characterization of electrodeposited zinc surface exposed to new surface treatments", *Surface and Coatings Technology*, v. 294, pp. 36-46, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.03.023>
- [71] FERREIRA-JR J.M., ROSSI J.L., BAKER M.A., HINDER S.J., COSTA I., "Deposition and characterization of a new mixed organic/inorganic cerium containing coating for the corrosion protection of electrogalvanized steel", *International Journal of Electrochemical Science*, v. 9, n. 4, pp. 1827-1839, 2014. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)07895-1](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)07895-1)
- [72] ZHELUDKOVA, E. A., ABRASHOV, A. A., GRIGORYAN, N. S., ASNIS, N. A., VAGRAMYAN, T. A., "Cerium-containing solution for chromate-free passivation of zinc coatings", *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, v. 55, n. 7, pp. 1329-1334, 2019. <https://doi.org/10.1134/s2070205119070190>
- [73] MOTTE, C., MAURY N, OLIVIER M.G., PETITI-JEAN J.P., WILLEN J.F., "Cerium treatments for temporary protection of electroplated steel", *Surface and Coatings Technology*, v. 200, n. 7, pp. 2366-2375, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.11.032>

- [74] HUANG, H.Y., MANSFELD, M.F., "Evaluation of the effects of different process parameters on the corrosion protection provided by cerium-based coatings on galvanized steels", *Corrosion*, v. 65, pp. 507-510, 2009.
<https://doi.org/10.5006/1.3319154>
- [75] SONG, Y.K., MANSFELD, F., "Evaluation of the corrosion resistance of different galvanized steels treated in a cerium salt solution", *Materials and Corrosion Werkstoffe und Korrosion*, v. 6, n. 4, pp. 229-236, 2005.
<https://doi.org/10.1002/maco.200403830>
- [76] ARAMAKI, K., "A self-healing protective film prepared on zinc by treatment in a Ce (NO₃)₃ solution and modification with Ce (NO₃)₃", *Corrosion Science*, v. 47, n. 5, pp. 1285-1298, 2005.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2004.05.022>
- [77] LI, C., LIANG, T., MA, R., DU, A., FAN, Y., ZHAO, X., CAO, X., "Superhydrophobic surface containing cerium salt and organosilane for corrosion protection of galvanized steel", *Journal of Alloys Compounds*, v. 825, n. 5, pp. 153921, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.153921>
- [78] SZCZYGIEL, B., WINIARSKI, J., TYLUS, W., "Effect of deposition time on morphology, corrosion resistance and mechanical properties of Ti-containing conversion coatings on zinc", *Materials Chemistry and Physics*, v. 129, n. 3, pp. 1126-1131, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.05.074>
- [79] WINIARSKI, J., MASALSKI, J., SZCZYGIEL, B., "Corrosion resistance of chromium-free conversion coatings deposited on electrogalvanized steel from potassium hexafluorotitanate(IV) containing bath", *Surface and Coatings Technology*, v. 236, pp. 252- 261, 2013.
<https://doi.org/10.1016/J.SURFCOAT.2013.09.056>
- [80] MOHAMMADLOO, S., SARABI, A.A., MOHAMMAD HOSSEINI, R., SARAYLOO, M., SAMEIE, H., SALIMI, R., "A comprehensive study of the green hexafluorozirconic acid-based conversion coating", *Surface and Coatings Technology*, v. 253, pp. 65-72, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.10.006>
- [81] ES-SOUFI, H., BERDIMURODOV, E., SAYYED, M.I., BIH L., "Nanoceramic-based coatings for corrosion protection: a review on synthesis, mechanisms, and applications", *Environmental Science and Pollution Research*, (2024).
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-31658-3>
- [82] MOHAMMADLOO, H. E., SARABI, A. A., ALVANI, A. A. S., SAMEIE, H., SALIMI, R., "Nanoceramic hexafluoro-zirconic acid-based conversion thin film: surface characterization and electrochemical study", *Surface and Coatings Technology*, v. 206, n. 19-20, pp. 4132-413, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.04.009>
- [83] DRONIOU, P., FRISTAD, W., LIANG, J-L., "Nanoceramic-based Conversion Coating: Ecological and economic benefits position process as a viable alternative to phosphating systems", *Metal Finishing*, v. 103, n. 12, pp. 41-43, 2005.
[https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(05\)80849-9](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(05)80849-9)
- [84] FOCKAERT, L.I., TAHERI, P., ABRAHAMI, S.T., BOELEN, B., TERRY, H., MOL, J.M.C., "Zirconium-based conversion film formation on zinc, aluminum and magnesium oxides and their interactions with functionalized molecules", *Applied Surface Science*, v. 423, pp. 817-828, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.174>
- [85] CEREZO, J., VANDENDAEL, I., POSNER, R., TERRY, H., "Initiation, and growth of modified Zr-based conversion coatings on multi-metal surfaces", *Surface and Coatings Technology*, v. 236, pp. 284-289, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.09.059>
- [86] CRISTAUDO, V., BAERT, K., LAHA, P., LIM, M. L., "A combined XPS/ToF-SIMS approach for the 3D compositional characterization of Zr-based conversion of galvanized steel", *Applied Surface Science*, v. 562, pp. 150166, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.150166>
- [87] OOLJ, W.J., ZHU, D., STACY, M., SETH, A., MUGADA, T., GANDHI, J., PUOMI, P., "Corrosion protection properties of organofunctional silanes—An overview", *Tsinghua Science and Technology*, v. 10, n. 6, pp. 639-664, 2005.
[https://doi.org/10.1016/S1007-0214\(05\)70134-6](https://doi.org/10.1016/S1007-0214(05)70134-6)
- [88] PANTOJA, M., ABENOJAR, J., MARTÍNEZ, M.A., VELASCO, F., "Silane pretreatment of electrogalvanized steels: effect on adhesive properties", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 65, pp. 54-62, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.11.006>
- [89] SERÉ, P.R., EGLI, W., DI SARLI A.R., DEYÁ, C., "Preparation and characterization of silanes films to protect electrogalvanized steel", *Journal of Materials Engineering and Performance*, v. 27, n. 3, pp. 1194-1202, 2018.
<https://doi.org/10.1007/s11665-018-3178-0>
- [90] SERÉ, P.R., BANERA, M., EGLI, W., ELSNER, C.I., DI SARLI, A.R., DEYÁ, C., "Effect on temporary protection and adhesion promoter of silane nanofilms applied on electrogalvanized steel", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 65, pp. 88-95, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.11.008>
- [91] ALI, S.M., AL LEHAIBI, H.A., "Protective sol-gel coatings for zinc corrosion: precursor type effect", *Surface and Coatings Technology*, v. 11, pp. 172-181, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.01.010>
- [92] ZHELUDKEVICH M.L., MIRANDA-SALVADO I., FERREIRA M.G.S., "Sol-gel coatings for corrosion protection of metals", *Journal of Materials Chemistry*, v. 15, n. 48, pp. 5099-5111, 2005.
<https://doi.org/10.1039/b419153f>
- [93] NGUYEN, T.T., THAI, T.T., PAINT, Y., TRINCH, A.T., OLIVIER, M-G., "Effect of cerium nitrate concentration on corrosion protection of hybrid organic/inorganic Si/Zr sol-gel coating applied on hot-dip galvanized steel", *Surface and Coatings Technology*, v. 480, pp. 130562, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130562>
- [94] ALAMRI, A., "Application of machine learning to stress corrosion cracking risk assessment", *Egyptian Journal of Petroleum*, v. 31, pp. 11-21, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.165984>
- [95] SAMINATHAN, R., NASHALI, A.Y.A., HAQAWI, A.A., MARAPPAN, S., NATESAN, S.P., SHAKEEL, F., "Role of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in the corrosion monitoring process", *Zastita Materijala*, v. 65, n. 3, pp. 473-480, 2024.
<https://doi.org/10.62638/ZasMat1192>
- [96] PEI, Z., ZHANG, D., ZHI, Y., YANG, T., JIN, L., FU, D., CHENG, X., TERRY, H.A., MOL, J.M.C., LI, XIAOGANG., "Towards understanding and prediction of atmospheric corrosion of an Fe/Cu corrosion sensor via machine learning", *Corrosion Science*, v. 170, n. 1, pp. 108697, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108697>

- [97] XU, L., WANG, Y., MO, L., TANG, Y., WANG, F., LI, C., "The research progress and prospect of data mining methods on corrosion prediction of oil and gas pipelines", *Engineering Failure Analysis*, v. 144, pp. 106951, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106951>
- [98] AL-SABAEI, A. M., ALHUSSIAN, H., ABDULKADIR, S. J., JAGADEESH, A., "Prediction of oil and gas pipeline failures through machine learning approaches: a systematic review", *Energy Reports*, v. 10, pp. 1313-1338, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.08.009>
- [99] LIU, Y., BAO, Y., "Review on automated condition assessment of pipelines with machine learning", *Advances in Engineering Informatics*, v. 53, pp. 101687, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101687>
- [100] MAHADI HASAN IMRAN, M.D., JAMALUDIN, S., MOHAMAD AYOB, A.F., "A critical review of machine learning algorithms in maritime, offshore, and oil & gas corrosion research: a comprehensive analysis of ANN and RF models", *Ocean Engineering*, v. 295, pp. 116796, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116796>
- [101] LIU, X., XU, P., ZHAO, J., LU, W., LI, W., WANG, G., "Material machine learning for alloys: applications, challenges and perspectives", *Journal of Alloys and Compounds*, v. 921, pp. 165984, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.165984>
- [102] HU, M., TAN, Q., KNIBBE, R., XU, M., JIANG, B., WANG, S., LI, X., ZHANG, M., "Recent applications of machine learning in alloy design: a review", *Materials Science and Engineering: R: Reports*, v. 155, pp. 100746, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.mser.2023.100746>
- [103] CHEN, H., KATELHON, E., COMPTON, R.G., "Predicting voltammetry using physics-informed neural networks", *The Journal of Physical Chemistry Letters*, v. 13, pp. 536-543, 2022.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.1c04054>
- [104] CHEN, H., KATELHON, E., COMPTON, R.G., "Machine learning in fundamental electrochemistry: recent advances and future opportunities", *Current Opinion in Electrochemistry*, v. 38, pp. 101214, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.coelec.2023.101214>
- [105] COELHO, L.B., ZHANG, D., INGELGEM, Y.V., STECKELMACHER, D., NOWÉ, A., TERRY, H., "Reviewing machine learning of corrosion prediction in a data-oriented perspective", *Materials Degradation*, v. 6, p. 8, 2002.
<https://doi.org/10.1038/s41529-022-00218-4>

Biografia dos autores:

Sandra de Jesus Barradas Travassos

stravassos29@gmail.com

Engenheira metalúrgica com doutorado em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP), com mais de 20 anos de experiência no setor industrial, atuando em empresas multinacionais e de grande porte. Possui ampla expertise nas áreas de Comercial, Novos Negócios, Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação Industrial, Marketing e Vendas, com foco no segmento de Construção Civil. Experiência comprovada em parcerias colaborativas com instituições de pesquisa e no desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras para enfrentar desafios industriais. Reconhecida por suas contribuições ao setor e premiada por sua excelência acadêmica e profissional.

<https://orcid.org/0000-0001-8115-7648>

<http://lattes.cnpq.br/7172169347886687>

Gustavo Aristides Santana Martinez

gustavo.martinez@usp.br

Graduação em Administração pela Universidade Metodista de São Paulo (2012), graduação em Engenharia de Operação Mecânica pela Universidade Braz Cubas (1982), mestrado (1993) e doutorado (1998) em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. Atualmente é Professor Associado na Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena. Tem experiência na área de Administração e Engenharia Mecânica, com ênfase em Conformação. Atua principalmente nos seguintes temas: solução inventiva de problemas, ensino da engenharia, trefilação, conformação mecânica, tribologia e lubrificação

<http://lattes.cnpq.br/3828935126781467>

<https://orcid.org/0000-0002-7870-9269>

Célia Regina Tomachuk

celiatomachuk@usp.br

Química, Mestre e Doutora em Engenharia na área de Processos de Fabricação pela UNICAMP e pela Università Politecnica delle Marche, Ancona, Itália, pós-doutorado em Corrosão pela Università degli Studi di Napoli "Federico II", Itália e pelo IPEN. Atualmente é Professora Doutora na Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Ciências Básicas e Ambientais. Atua na área de materiais, com ênfase em eletroquímica, revestimentos e corrosão.

<https://orcid.org/0000-0002-3771-5945>

<http://lattes.cnpq.br/0670006721310285>

FUGA DE BORDA EM TINTAS ANTICORROSIVAS

ATUALIZADO EM JANEIRO DE 2025

Celso Gnecco

Instrutor da ABRACO

Introdução

Um dos problemas muito frequentes que encontramos em pinturas anticorrosivas é a fuga de borda. O que é fuga de borda? As tintas líquidas tendem a ter a espessura menor nas arestas vivas, quinas e cantos, por causa de propriedades de tensão superficial e evaporação dos solventes que compõe as tintas. Parece que a tinta foge destas áreas, daí o nome “Fuga de Borda”. Na **Figura 1**, pode ser visto o que acontece com a tinta convencional, nas áreas de arestas vivas ou quinas, após a sua aplicação.

As tintas líquidas nestas regiões ficam com espessura menor e é por esta razão que os problemas de corrosão começam. Por isso é recomendável tomar uma das seguintes providências:

A - Reforçar a pintura nestas áreas para compensar a falta de tinta. Este reforço é chamado em inglês de “Stripe Coat”.

B - Arredondar, ou chanfrar, ou adoçar as arestas vivas ou quinas, ou ainda,

C - Usar tintas com propriedades de Retenção nas Bordas (Edge Retention).

Exemplos de falhas em regiões com fuga de borda, consideradas áreas críticas, sem os cuidados de arredondamento ou chanfradura das arestas vivas ou sem o uso de tintas “Edge Retentive” são mostrados nas **Figuras 2 e 3**.

A - Reforçar a pintura ou “Stripe Coat”

Consiste em aplicar uma camada de tinta nas bordas, soldas, cantos externos, fendas, arestas, cabeças e roscas de parafusos, antes e

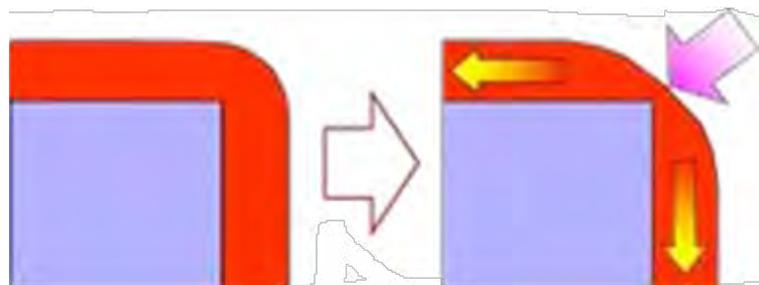


Figura 1 - Desenho de uma borda no momento da aplicação da tinta e depois, apresentando fuga de borda com espessura menor justamente na área crítica, a aresta viva

Este artigo trata do fenômeno que ocorre, com mais frequência em tintas líquidas convencionais, nas quais o revestimento tende a se contrair, ficando a espessura do filme, mais fina nas bordas, em arestas vivas ou em quinas. Esse fenômeno é chamado de **Fuga de Borda**. A consequência é a diminuição da proteção das tintas, com a ocorrência de corrosão nessas áreas.

Existem algumas maneiras de mitigar esses problemas, como as técnicas de:

- A - Reforçar a pintura nessas áreas,
- B - Arredondar ou Chanfrar as arestas vivas ou quinas, ou
- C - Usar tintas com propriedades de retenção nas bordas.

Esses procedimentos reduzem os casos de corrosão que causam tantos danos aos equipamentos de aço carbono por desconhecimento de quem projeta ou pinta tais estruturas. Algumas normas recomendam procedimentos para a realização e melhoria da qualidade da proteção por meio de tintas anticorrosivas. Neste artigo, também serão abordados, de maneira breve, os cuidados nessas áreas críticas da pintura eletrostática com tinta em pó.

This article deals with the phenomenon that occurs more frequently in conventional liquid paints, in which the coating tends to contract, leaving the film thickness thinner at the edges, sharp edges or corners. This phenomenon is called **Edge Escape**. The consequence is a decrease in paint protection, with the occurrence of corrosion in these areas.

There are a few ways to mitigate these problems, such as the techniques of:

- A - Reinforcing the paint in these areas,
- B - Rounding or chamfering the sharp edges or corners, or
- C - Using paints with retention properties on the edges.

These procedures reduce the cases of corrosion that cause so much damage to carbon steel equipment due to the lack of knowledge of those who design or paint such structures.

Some standards recommend procedures for carrying out and improving the quality of protection by means of anti-corrosion paints. In this article, we will also briefly address the care in these critical areas of electrostatic painting with powder paint.

depois de aplicar a pintura completa em toda a superfície. Na norma Petrobras N-13 M, há os seguintes itens que abordam o assunto:

4.9.9 - A demão de reforço ("stripe coat") nos pontos críticos, tais como regiões soldadas, cantos vivos, cavidades e fendas, alvéolos e



Figura 2 - Corrosão em arestas vivas nas abas de uma coluna



Figura 3 - Corrosão nas arestas vivas em uma Viga de aço

rites, flanges e válvulas flangeadas, bordas e quinas de vigas, deve ser executada obrigatoriamente com trincha.

4.9.9.1 A quantidade de demãos de reforço dependerá da quantidade de demãos do esquema especificado. Em esquemas com mais de uma demão, deve ser aplicada uma demão de reforço a menos do que a quantidade total de demãos do esquema de pintura. Em sistemas de demão única, deve ser aplicada, igualmente, uma demão de reforço.

4.9.9.1.1 Em obras novas ou feitas em canteiro, recomenda-se que a demão de reforço seja feita diretamente sobre o substrato, imediatamente após a preparação de superfície.

4.9.9.1.2 Em pintura de manutenção, ou feitas em ambientes onde exista possibilidade de se perder o padrão de preparação de superfície, recomenda-se que seja aplicada a primeira demão do sistema de pintura em toda a superfície antes da aplicação da primeira demão de reforço.

4.9.9.4 Tintas com propriedades de retenção nas arestas (edge retentive) podem ser utilizadas para aplicação do stripe coat por meio de pistola sem ar nos cantos vivos, flanges e válvulas flangeadas, bordas e quinas de vigas.

O “stripe coating” realizado com trincha ou pincel, além de aumentar a espessura de película na borda das peças ou vigas, é melhor no molhamento da superfície, forçando a tinta em rachaduras e fendas, grânulos provenientes da solda e nas cabeças salientes de parafusos e porcas e outras áreas que estão sujeitas à falhas prematuras.

O Fernando Fragata em trabalho apresentado no SBPA da ABRACO de 2014 tratou do assunto com profundidade e fez comentários muito úteis as técnicas de “stripe coating”.

Na **Figura 4** é ilustrada a aplicação de reforço de pintura na aresta viva de um perfil (cantoneira) com pincel redondo. Um pincel que pode ser utilizado é o Tigre Ref; 835 de

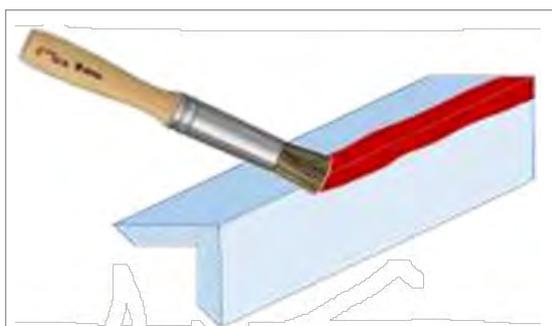


Figura 4 - “Stripe coat” aplicado na aresta de cantoneira e Pinceis redondos cabo curto da TIGRE - ref. 835 (1)

Figura 5 - peças pintadas com o primer e o “stripe coat”



O pintor improvisou uma “ferramenta” para aplicação do “stripe coat”. Antes isto do que nada (2)



“Stripe coat” aplicado corretamente (3)



Figura 6 - Desenhos da norma ISO 12944-3 mostrando a chanfradura e o arredondamento

cerda gris (mistura de cerdas brancas com pretas) de formato redondo tipo broxinha com cabo curto que pode ser visto na **Figura 5**.

B - Arredondamento, chanfradura ou adoçamento

Estas são formas de atenuar o problema de fuga de borda. Na norma ISO 12944-3 de 2017 há recomendações de como deve ser feita a operação de arredondamento das arestas vivas ou quinas. Um exemplo é mostrado na **Figura 6**.

No dicionário Aulete, o termo Adoçamento significa: Tornar menos agudos, marcantes ou salientes (aresta, canto de elemento arquitetônico) ex.: adoçar as arestas, suavizando-as. É exatamente isto que queremos na pintura anticorrosiva. O termo Adoçamento é muito usado na Área Naval. Na indústria, os termos mais usados são: desbastar ou arredondar quinas e em inglês é “chamfer” e pode ser dito também chanfrar.

Na apostila da ABRACO, Inspecção de Pintura Industrial Nível 1, é referenciada a “quebra dos cantos”. Na **Figura 7** é mostrado um trecho da apostila onde são ilustradas formas de “quebrar os cantos”.

Adoçar, desbastar, chanfrar, rebarbar ou quebrar o canto, não importa o termo, o importante é suavizar as quinas. Nas **Figuras 8 a 11** são exibidas operações de arredondamento ou chanfradura de arestas vivas antes da pintura.

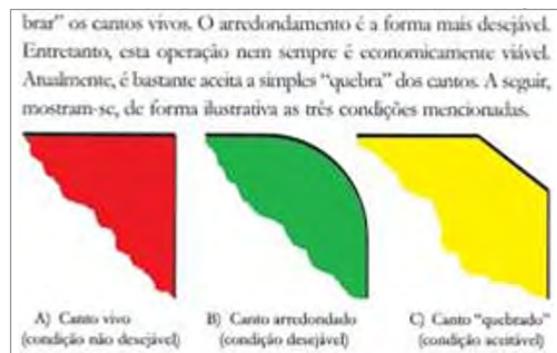


Figura 7 - Trecho da apostila ABRACO do Curso para Inspetor de Pintura Industrial Nível 1 - Módulo 1 mostrando: A) Canto vivo, B) Canto arredondado e C) Canto “quebrado”

A norma SSPC-PA Guide 11:2008 - Paint Application Guide N.11 - Protective Edges, Crevices, and Irregular Steel Surfaces by Stripe Coating, também trata deste assunto da proteção de bordas e tem desenhos que orientam como proceder, e está ilustrado no desenho esquemático na **Figura 12**.

Neste desenho, é mostrado que o chanframento reduz uma aresta viva de 90° a dois de 135°. Há medidores que permitem verificar o arredondamento correto das bordas como o mostrado nas **Figuras 13 e 14**.

Há casos de sucesso de chanfradura das arestas vivas, como o que é mostrado na **Figura 15** em uma indústria próxima ao mar e que tem no seu microclima vapores de ácido sulfúrico, A manutenção era feita a cada 3 meses e após a providência de chanfrar as arestas



Figura 8 - Arredondando uma aresta viva (4)



Figura 9 - Chanfrando uma aresta viva (4)



Figura 10 - Canto arredondado (5)



Figura 11 - Canto chanfrado (5)

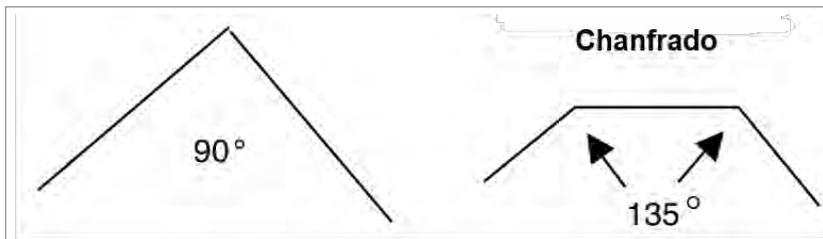


Figura 12 - Desenho da norma SSPC-PA Guide 11

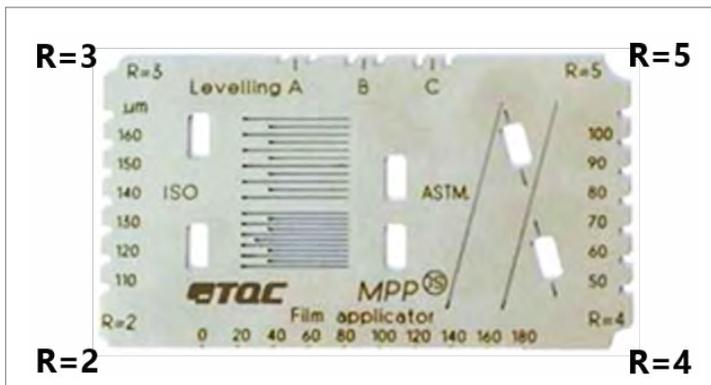


Figura 13 - Medidor da TQC. Possui quatro raios de medidas, 2, 3, 4 e 5 mm (6)

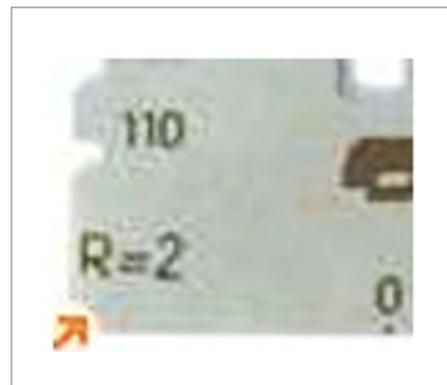


Figura 14 - Detalhe do MPP2000 multi purpose paint tester R = 2 mm



Figura 15 - Estruturas pintadas com as bordas arredondadas (maior vida útil sem corrosão) (7)

aumentou a frequência para 12 meses, ou seja a cada ano, o que estendeu o prazo em 4 vezes. Com isto imaginem a economia com manutenção na empresa.

C - Tintas com propriedades de Retenção nas Bordas (Edge Retention)

Com a evolução da tecnologia de tintas, os formuladores conseguiram criar tintas modernas que oferecem Retenção nas Bordas (Edge Retention) Como a propriedade foi conseguida? Nestas tintas os fatores que contribuem para a retenção do filme líquido sobre as bordas foram: o menor teor de solventes (menores esforços de contrações com a perda deste componente), melhor interação e harmonia entre os componentes da fórmula, aditivos que diminuem a tensão superficial, maior impermeabilidade das resinas e utilização de pigmentos lamelares que melhoram a distribuição da tinta nestas áreas e aumentam a barreira contra a corrosão. Na verdade, é uma conjugação de fatores. Como já vimos, é muito comum em

tintas convencionais os problemas de corrosão começarem exatamente nas arestas vivas e quinas. A utilização de pigmentos lamelares nas tintas é uma das soluções, porque eles ajudam a proteger de maneira mais eficiente as arestas vivas e as quinas.

O seu uso, em muitos casos, elimina a necessidade de chanfrar, adoçar ou arredondar as arestas vivas, quinas e cantos. Os pigmentos considerados lamelares (na forma de lamelas, escamas ou plaquetas), como o Alumínio, Talco, alguns Caulins, Flocos de Vidro e também o Óxido de Ferro Micáceo (MIOX) podem reduzir a tarefa de cuidar das arestas vivas no processo de pintura anticorrosiva. Flocos de vidro (Glass Flakes) Flocos de vidro são plaquetas de vidro extremamente finas com uma espessura média de 5 ± 2 micrometros. Os flocos de vidro são matéria-prima avançada para tintas e revestimentos pois conferem maior resistência à corrosão e a abrasão e forte impermeabilidade, que proporciona também grande



Figura 16 - Flocos de vidro ao natural (8)

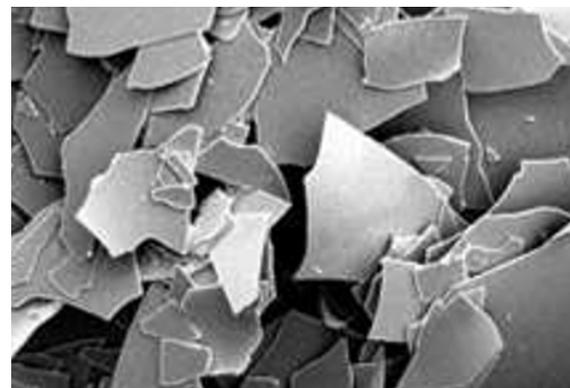


Figura 17 - Flocos de vidro vistos ao microscópio (8)

resistência a produtos químicos e a solventes. Uma tinta epóxi ou uma novolac com flocos de vidro oferece proteção superior a substratos de concreto e ao aço em segmentos como nas indústrias: naval, de petróleo bruto e gás, usinas de energia, químicas e petroquímicas e de papel & celulose. Na **Figura 16** e **17** podem ser vistas fotos dos flocos de vidro (*glass flakes*) natural e ao microscópio.

Óxido de Ferro Micáceo

Outro pigmento lamelar é o Óxido de Ferro Micáceo (MIOX ou MIO), que por ser livre de ingredientes tóxicos como metais pesados, é extremamente útil em tintas para Indústrias Alimentícias, Laticínios, Cervejarias, Bebidas em geral e Indústrias de Cosméticos e Farmacêuticas. Este pigmento não é novo e há registros do uso do MIOX há centenas de anos, como por exemplo a pintura da Torre Eiffel em Paris no ano de 1889. Este pigmento tem muito boa aceitação em tintas epóxi a base de solventes e base água para transformadores, pode ser utilizado na tinta Epóxi “Novolac” de cura térmica ou à temperatura ambiente. Nas tintas Epoxi Novolac, temos a sinergia entre a resina e o pigmento lamelar, ou seja, alta impermeabilidade da resina aliada ao formato lamelar do pigmento MIOX.

Nas **Figuras 18** e **19** são mostrados o pigmento de Óxido de Ferro Micáceo ao natural e visto ao microscópio.

O óxido de ferro Micáceo, além da excelente barreira, oferece uma eficiente proteção de bordas por causa do formato lamelar de seu

pigmento como pode ser observado nos desenhos e foto da **Figura 20**.

A norma ISO 10601- Micaceous iron oxide pigments for paints -- Specifications and test methods trata deste tipo de pigmentos para tintas.

Retenção nas bordas (Edge retention) MIL-PRF-23236D Appendix A

Esta norma trata de como determinar a retenção nas bordas em termos de porcentagem de retenção. O método, em linhas gerais consiste em: cortar cantoneiras de alumínio (liga 6061) de aproximadamente 15 cm de comprimento, jatear com Óxido de Alumínio (Al_2O_3) para alcançar um perfil de rugosidade de 25 a 75 micrometros como mostrado na **Figura 21**.

Aplicar a tinta sobre a cantoneira, na face externa. Depois de seca, medir a espessura da camada de tinta nas duas abas e no vértice como mostrado na parte de baixo da **Figura 21**.

Após a obtenção das medidas, usar a fórmula mostrada na **Figura 22** para calcular a porcentagem de retenção nas bordas.

Critérios de passa / não passa

Três corpos de prova serão cortadas de cada amostra, a espessura do revestimento medida e a retenção de borda calculada.

Qualquer corpo de prova com menos de 50% de retenção de borda constituirá em reprovação. A média dos três não deve ser inferior a 70 %.

Na **Figura 23** é mostrada microfotografia de uma tinta convencional com fuga de borda e



Figura 18 - Pigmento de MIOX em pó (9)

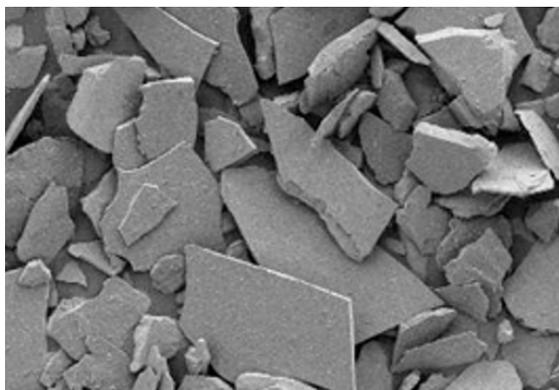


Figura 19 - MIOX visto ao microscópio (9)



Figura 20 – Desenhos e Fotos do desempenho do Óxido de Ferro Micáceo



Figura 21 – O desenho mostra como é o teste segundo MIL-PRF 23236 D (EPS = Espessura da Película Seca)

$$\text{Cálculo da retenção(\%)} = \frac{\text{EPS do vértice}}{\text{EPS da parte plana}} \times 100$$

Figura 22 – Fórmula do Cálculo da Retenção segundo a norma MIL-PRF-23236D Appendix A FIGURE A-2 Edge Retention. As medidas são realizadas em um microscópio óptico

na **Figura 24** uma tinta moderna com retenção de borda acima de 70 %.

O poder das pontas nas pinturas eletrostáticas a pó:

Em Eletrostática (parte da física que estuda as propriedades e o comportamento das cargas elétricas em repouso) há um fenômeno chamado de “poder das pontas” no qual as cargas se concentram em extremidades pontiagudas. É nessa teoria que se baseia o funcionamento do para-raios e pode-se imaginar que em áreas como arestas vivas e quinas, como há mais cargas, a concentração de tinta seria maior, como se observa na **Figura 25**.

Em parte, isto é verdade, pois há uma quantidade de pó maior, atraído pela carga de sinal contrário nas pontas. Pode-se afirmar que nas tintas em pó o problema de fuga de borda é menor. No entanto, quando a tinta entra na estufa e sofre a fusão, ela se comporta como um

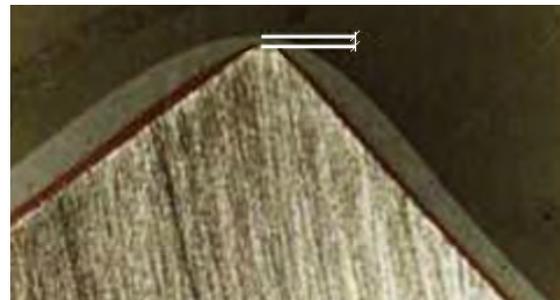


Figura 23 – Tinta convencional de baixa retenção (11)

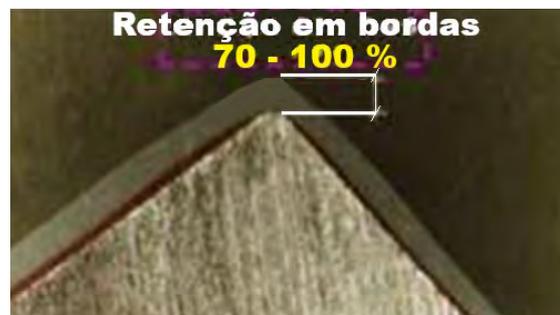


Figura 24 – Tinta moderna com alta retenção (11)

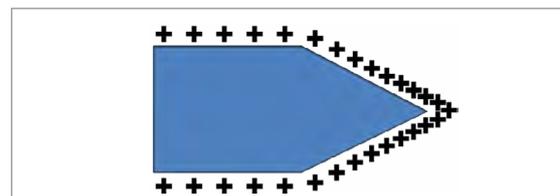


Figura 25 – As cargas elétricas se concentram na pontas agudas

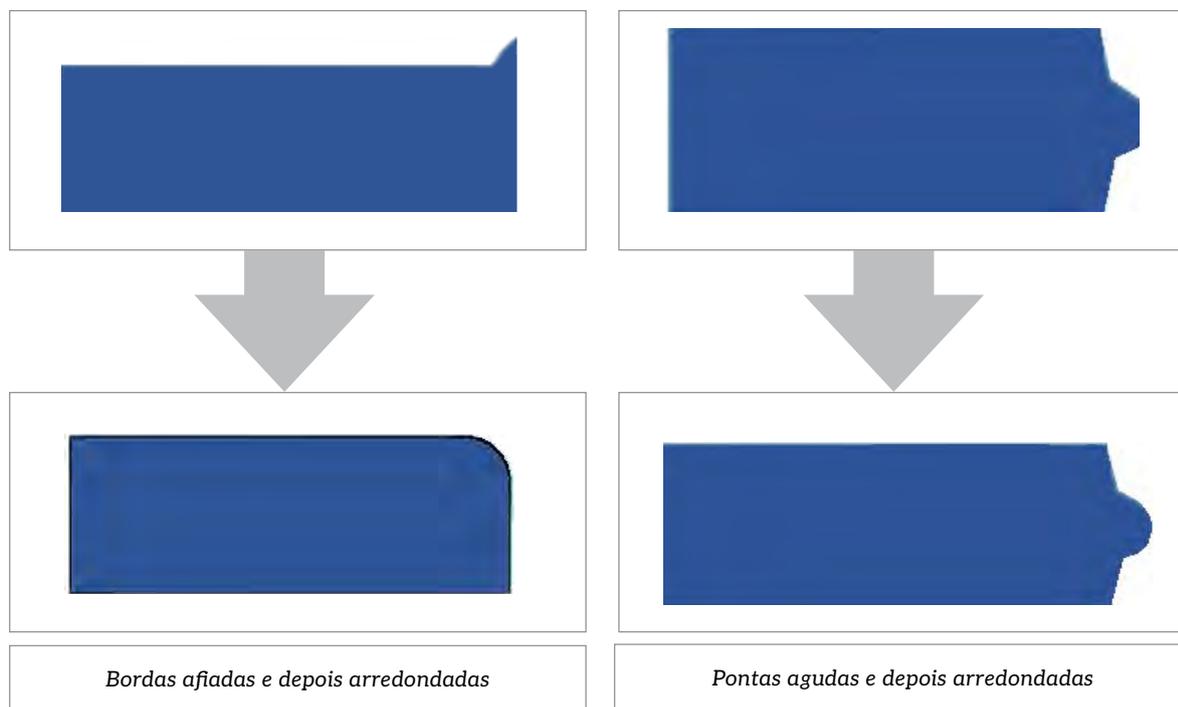


Figura 26 – Bordas e pontas que devem ser corrigidas antes da pintura com tinta em pó

líquido e pode haver falha na pintura destas áreas. Por esta razão, para não se surpreender com menor proteção nas arestas vivas ou quinas, os cuidados devem ser os mesmos que vimos para as tintas líquidas, como pode ser visto na ilustração da **Figura 26**

As bordas afiadas, lascas, cantos vivos ou rebarbas originadas no corte das chapas em guilhotinas ou por ação de maçarico, devem ser evitadas. Podem ser esmerilhadas ou lixadas para suavizar a ocorrência com um raio > 2 mm.

Conclusão

Fuga de borda é um fenômeno que ocorre geralmente com tintas convencionais nas arestas vivas, bordas e quinas em construções metálicas. Uma solução é aplicar um “stripe coating” ou reforço de tinta nestas regiões para minimizar os efeitos da fuga de borda e com isso diminuir os problemas de corrosão, principalmente em estruturas de aço carbono. Outra solução é chanfrar, adoçar ou arredondar estas regiões para diminuir o problema

de retração ou fuga da tinta que resultam em corrosão. Mais uma solução é utilizar tintas que tenham propriedades de retenção nas bordas (edge retention) que minimizam o problema e as vezes, eliminam a necessidade de aplicar o reforço de pintura ou arredondar cantos vivos. Mesmo em tintas em pó aplicadas por processo eletrostático é aconselhável cuidar das arestas vivas e quinas para não incorrer nos mesmos erros das tintas líquidas convencionais, embora com as tintas em pó, por causa do poder das pontas e a tinta não conter solventes, o problema seja menor. A tecnologia de tintas anticorrosivas continua evoluindo cada vez mais e é possível que no futuro venhamos a ter produtos que possam ser aplicados até em “fio de navalha” sem problemas. Lógico que isto é um exagero, mas podemos acreditar que a corrosão em áreas críticas como arestas vivas e quinas será cada vez menor. Por enquanto, vamos cuidar bem destas áreas com reforço de pintura “stripe coatings”, arredondamentos, chanfraduras, ou adoçamentos e com tintas de retenção nas bordas (*edge retentives*).

Referências normativas:

ISO 10601:2007 - Micaceous iron oxide pigments for paints -- Specifications and test methods;

ISO 12944-3: 2018 - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems Design considerations

SSPC-PA Guide 11:2008 - Paint Application Guide N.11 - Protective Edges, Crevices, and Irregular Steel Surfaces by Stripe Coating,

Petrobras N-13 M - Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura

MIL-PRF-23236D:2009 - Performance specification coating systems for ship structures Appendix A

Referência especial:

Fragata, Fernando - Fundamentos de Stripe Coating em Pintura Anticorrosiva no SBPA da ABRACO - 2014

Referência das figuras:

(1) Pincéis Tigre - <https://www.tigre.com.br/broxinha-redonda-ref-835>

(2) Foto cortesia do Sr. Oscar Windmuller

(3) Foto cortesia de Leandro Adiers - RS

(4) <https://docplayer.com.br/68874685-Discos-de-corte-e-desbaste.html>

(5) Figuras 10 e 11 - cortesia de Felipe Naciuk - SW Rio Grande do Sul

(6) <https://industrialphysics.com/product/master-paint-plate-multitester/>

(7) Fotos cortesia de Roberto Mariano

(8) <https://www.pcimag.com/articles/100695-glass-flake>

(9) <https://kmi.at/en/>

(10) folheto bibliografia da Karntner Montanindustrie Gesellschaft mbH

(11) folheto de divulgação do produto DURAPLATE 301K da Sherwin-Williams

NOVOS RETIFICADORES DE CORRENTE IMPRESSA INTELIGENTES COM ATUAÇÃO REMOTA PELA SMART GRID E PLATAFORMAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Leandro Valente Costa, D.Sc.

IEC-Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda.
leandrovalente@iecengenharia.com.br

Introdução

O monitoramento e a atuação remota em processos de transporte e distribuição de produtos por dutos vêm sofrendo uma rápida modernização tecnológica ao redor do mundo, por inúmeros motivos e demandas. A manutenção da integridade dos ativos associado a necessidade e urgência em se evitar acidentes nos ambientes de trabalho, principalmente em campo, leis mais severas e o temor de penalidades governamentais cada vez mais elevadas, tanto para a pessoa jurídica quanto para a pessoa física, está de certa forma, acelerando a transição tecnológica de processos antigos manuais e automáticos para sistemas modernos remotos inteligentes.

No segundo plano desse cenário está a expressiva melhoria na eficiência operacional

dos processos, com o avanço das leituras on-line e real time cada vez mais precisas e instantâneas, atualizando rapidamente os modelos de cálculos e as bases de dados nas nuvens, com uma precisão jamais vista. Como último aspecto, e não menos importante, não poderia deixar de comentar sobre a redução de custos a médio e longo prazo, dado a modernização do parque de ativos das empresas e recuperação em médio prazo do investimento realizado.

Nesse artigo técnico, são apresentados os novos Retificadores Inteligentes de corrente impressa dos Sistemas de Proteção Catódica de dutos de aço enterrados, sua interconexão via sistema supervisor Scada, com a operação remota via SMART GRID e gestão pelas plataformas de Inteligência Artificial.

Modernização dos Sistemas de Proteção Catódica de Dutos de aço enterrados

Os primeiros passos na modernização dos sistemas de proteção catódica de dutos de aços enterrados no Brasil foram dados no início de 2007, quando as transportadoras e distribuidoras de gás natural canalizado brasileiras iniciaram a importação da Europa, e conseqüente implementação em suas redes, dos primeiros elementos da Smart Grid Internacional, que foram os equipamentos de telemedição dos potenciais elétricos de proteção catódica dos dutos.

Seguindo essa linha de inovação e modernidade, agora estamos acompanhando a chegada e implementação do complemento da SMART GRID para o combate a corrosão e Proteção Catódica, que são os primeiros Retificadores de corrente impressa inteligentes (figura1), que podem ser ajustados remotamente por qualquer equipamento de coleta e transmissão de dados (figura 2) instalados na rede de transporte ou distribuição de gás canalizado, tornando o processo bem mais efetivo, podendo ser instalado naquele ponto da rede onde a proteção do duto de aço é mais crítica.

Segundo a fabricante do equipamento, ele trabalha com determinado tipo de chaveamento que reduz o consumo de energia em até 20% para dar o mesmo potencial protetivo. Outra característica importante, é que se trata de um equipamento bem menor e mais leve do que um retificador comum. E sem dúvidas, a grande vantagem dessa inovação é a capacidade dos operadores de realizarem os ajustes necessários remotamente, conforme funcionalidades previstas na SMART GRID (figura 3) abaixo, além disso, de maneira instantânea, enviar diagnósticos caso ocorram quaisquer problemas em sua rede, como rompimento de cabo, falta de energia, abertura de porta, etc.

Por trás de toda essa estrutura de coleta remota de dados está a plataforma de Inteligência Artificial gerenciando e atuando sobre os processos (figura 4), o que de certa forma, muda



Fig. 1 Retificador Inteligente de Proteção Catódica (Fonte: Automa Srl.)



Fig. 2 Equipamento GOLIAH G4C (Fonte: Automa Srl.)

completamente a forma de se fazer gestão e atuação no segmento, o exemplo citado nesse artigo refere-se a revolução que está em andamento no processo de gestão de redes de transporte e distribuição de gases combustíveis por meio de dutos, onde a Inteligência Artificial obtém acesso as informações via nuvem, após a sua aquisição através sistemas supervisórios conectados remotamente aos elementos da Smart Grid em campo.

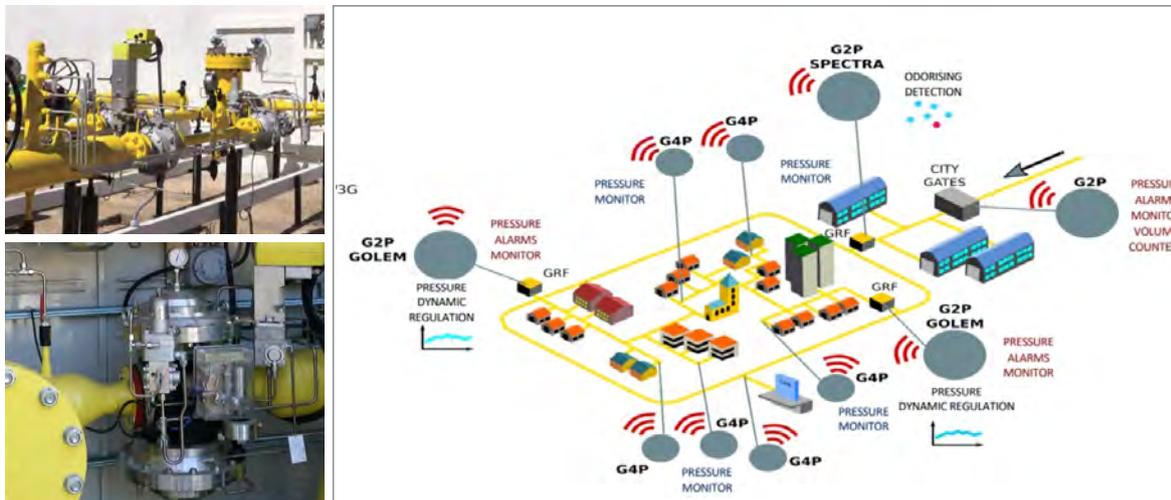


Fig. 3 - Smart Grid - Gestão Remota dos Ativos (Fonte: Automa Srl.)

GIANT®, *Gas Integrated and Automated Network Technology*, makes possible remote control of the operating outlet pressure of PRIs and its dynamic regulation based on readings from the most critical gas mains. Artificial intelligence capabilities allow to manage complex network scenarios along predictive features needed to cope with inertia and fluid dynamics of the gas network.

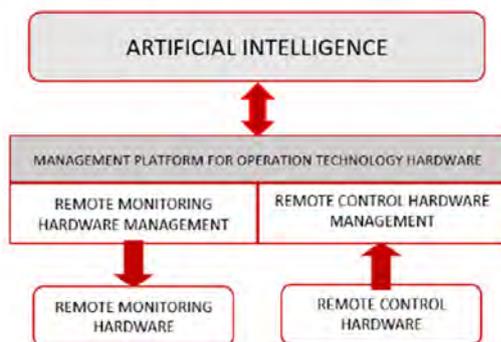


Fig. 4 - Plataforma GIANT de Inteligência Artificial (Fonte: Automa Srl.)

Toda estrutura de colaboradores técnicos das empresas do segmento está tendo que se adaptar ao novo cenário tecnológico e disruptivo das tecnologias remotas e inteligentes, com cada vez mais a decisão está direcionada para fluxos de inteligência analítica dos processos e não mais na ação direta humana rotineira, passível de falhas e de costumes arcaicos.

Na figura 5, observa-se a tela do supervisor Scada apresentando os valores instantâneos

das variáveis de processo controladas pela Smart Grid e seus sensores instalados em pontos estratégicos da rede.

No caso dos Sistemas de Proteção Catódica, com a adoção dos Retificadores Inteligentes e da Smart Grid captando dados e alimentando a Plataforma de Inteligência Artificial, o processo se transforma em totalmente remoto e digital. As equipes de campo que antes necessitam percorrer suas rotas de pontos do Sistema de Proteção Catódica, por centenas de quilômetros, estradas difíceis e repletas de obstáculos e riscos de acidentes, para realizar as suas medições dos potenciais elétricos de proteção dos dutos de aço enterrados, agora são deslocadas para executar outras atividades, gerando com isso, como mencionado já mencionado nesse artigo: maior segurança operacional dos processos, redução de acidentes em campo, redução das penalidades efetuadas pelos órgãos de fiscalização governamentais e um ganho de eficiência exponencial, com medições precisas e instantâneas, além é lógico da redução de gastos diretos, que praticamente pagam pelo investimento realizado nessas novas tecnologias.

Conclusão

Nesse artigo técnico, o objetivo foi apresentar as novas tecnologias disruptivas e tecnológicas que vêm transformando a forma de se realizar gestão de processos através do

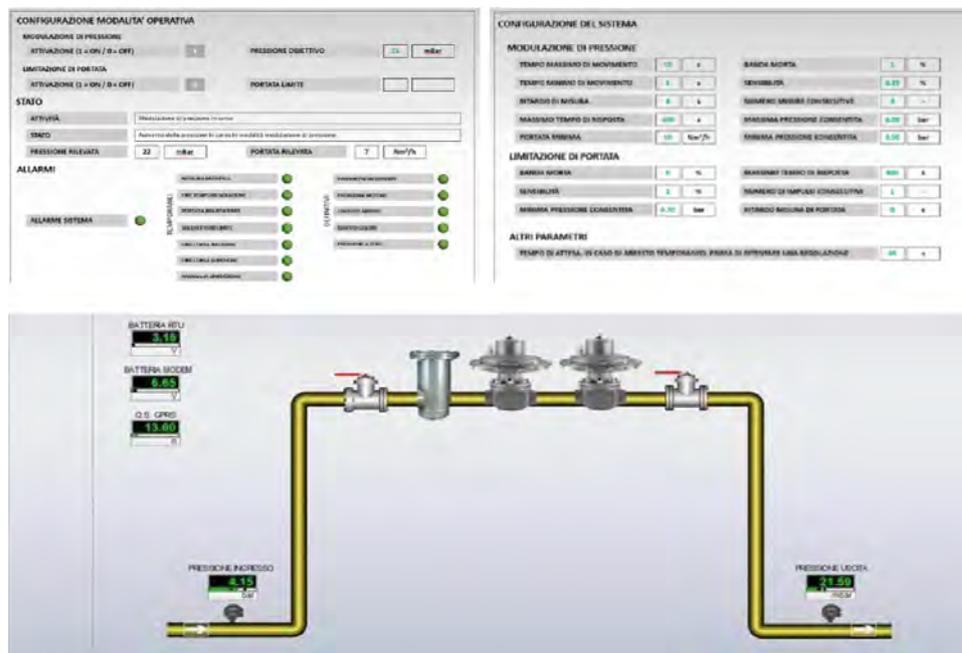


Fig. 5 - Smart Grid by Supervisório Scada (Fonte: Automa Srl.)

monitoramento e atuação remota, associado ao uso da Inteligência Artificial, no segmento de Proteção Catódica de dutos de aço enterrados.

A mudança primordial está sendo gerada nesses processos e sistemas com a recente possibilidade da ação remota sob as premissas da Inteligência Analítica aplicada e não mais relacionadas aos velhos e retrógrados procedimentos operacionais feitos a mão e repletos de vícios sistêmicos.

Percebe-se que o combate a corrosão de dutos de aço enterrados via sistemas de Proteção Catódica ganha um novo e importante capítulo com a inserção dos Retificadores Inteligentes vinculados a Smart Grid e a Plataforma de Inteligência Artificial.

Essa evolução, traz consigo novas diretrizes de trabalho e gestão no segmento de transporte e distribuição de gás combustível canalizado no Brasil, estabelecendo uma visão mais clara e objetiva, daquilo que é realmente necessário e que deve existir numa rede, e de como esses equipamentos deveriam se interconectar para contribuir para um melhor monitoramento e entendimento dos fenômenos físicos que ocorrem nos seus ativos.

Tanto nos Sistemas de Proteção Catódica, quanto nos demais que atuam no combate a

corrosão nos dutos enterrados, nota-se um esforço de investimentos ao redor do mundo, em novos elementos tecnológicos e disruptivos vinculados às redes Inteligentes com gestão conectada às plataformas mais modernas.

Espera-se que muito em breve, toda essa estrutura da Smart Grid possa chegar ao Brasil e oferecer aquilo que a maioria dos outros países ao redor do mundo já usufruem, que é a Integridade dos Ativos sendo monitorada e mantida por ações vinculadas as conclusões obtidas pelos relatórios precisos e ações contundentes geradas pela Inteligência artificial aplicada aos processos.

Referências

Magnifico, Ivano; Mercanti, Manlio. Soluciones de Vanguardia en Telecontrol y Monitoreo en Protección Catódica. LatinCORR & InterCorr, 2023.

EL-Alem, Ashraf I., Ahmed M. Azmy, and A. Hosam-Eldin. "DESIGN OF A CATHODIC PROTECTION SYSTEM TO PREVENT CORROSION OF METALLIC STRUCTURES USING HYBRID RENEWABLE ENERGY SOURCES." 2018.

C. A. Sibiya, K. Kusakana Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering Central University of Technology Bloemfontein, South Africa "SMART SYSTEM FOR IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION RUNNING ON HYBRID RENEWABLE ENERGY".

Remote Monitoring of Pipeline Cathodic Protection Systems by Neil Summers April - June 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO

MISSÃO

Difundir e desenvolver o conhecimento da corrosão e da proteção anticorrosiva, congregando empresas, entidades e especialistas e contribuindo para que a sociedade possa garantir a integridade de ativos, proteger as pessoas e o meio ambiente dos efeitos da corrosão.

ATIVIDADES

CURSOS: Ministra cursos em sua própria sede, que conta com modernas instalações. Também são realizados cursos em parceria com importantes instituições nacionais de áreas afins e cursos In Company, sempre com instrutores altamente qualificados.

EVENTOS: Organiza periodicamente diversos eventos como: congressos, seminários, palestras, workshops e fóruns, com o objetivo de promover o intercâmbio de conhecimento e informação, além de compartilhar os principais avanços tecnológicos do setor.

QUALIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO: Mantém um programa de qualificação e certificação de profissionais da área de corrosão e técnicas anticorrosivas, por meio do seu Conselho de Certificação e do Bureau de Certificação.

BIBLIOTECA: Possui uma Biblioteca especializada nos temas corrosão, proteção anticorrosiva e assuntos correlatos. O acervo é composto por livros, periódicos, normas técnicas, trabalhos técnicos, anais de eventos e fotografias da ação corrosiva.

CB-43: Coordena o CB-43 – Comitê Brasileiro de Corrosão, que abrange a corrosão de metais e suas ligas no que concerne à terminologia, requisitos, avaliação, classificação, métodos de ensaio e generalidade. O trabalho é desenvolvido desde 2000, após aprovação da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

COMUNICAÇÃO: Utiliza canais de comunicação para informar ao mercado e à comunidade técnico-empresarial todas as novidades da área, conquistas da Associação, dos filiados e de parceiros, por meio de boletins eletrônicos, site, redes sociais e revista.

ASSOCIE-SE À ABRACO E APROVEITE SEUS BENEFÍCIOS:

Descontos em cursos e eventos técnicos

Descontos significativos nas aquisições de publicações na área de corrosão e proteção anticorrosiva

Descontos em anúncios na Revista Corrosão & Proteção

Recebimento de exemplares da Revista Corrosão & Proteção

Pesquisas bibliográficas gratuitas na Biblioteca da ABRACO

Inserção do perfil da empresa no site institucional da ABRACO

E MUITO MAIS! PARTICIPE DO DESENVOLVIMENTO DA ÁREA!

DIA MUNDIAL DA CONSCIENTIZAÇÃO SOBRE CORROSÃO - 24 DE ABRIL

ABRACO: unidos pela prevenção, inovação e sustentabilidade

Em 24 de abril celebramos o Dia Mundial da Conscientização sobre Corrosão, uma data reconhecida por associações de todo o mundo para reforçar a importância de prevenir e controlar um dos maiores inimigos invisíveis da infraestrutura global: a corrosão.

Segundo o estudo International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies (IMPACT), conduzido pela Association for Materials Protection and Performance (AMPP), os custos globais da corrosão ultrapassam US\$ 2,5 trilhões por ano, o que representa cerca de 3% do PIB mundial. Além do impacto econômico, os efeitos da corrosão comprometem a segurança de estruturas, afetam

o meio ambiente e colocam em risco vidas humanas.

No Brasil, a ABRACO tem atuado há mais de 50 anos na educação técnica, na formação de especialistas e na difusão do conhecimento, contribuindo para o avanço da gestão da integridade de ativos e da durabilidade das estruturas em setores como petróleo & gás, energia e construção civil.

Neste 24 de abril, convidamos você a refletir sobre a importância de prevenir, monitorar e mitigar os efeitos da corrosão. Participe da transformação! Acompanhe os cursos, eventos e demais atividades da ABRACO e fortaleça sua atuação no combate à corrosão. Prevenir é proteger. Conhecer é preservar.

Qualificação de Inspetor de Pintura Industrial Nível 1 em Salvador e Fortaleza

Depois de sete anos, a ABRACO levou para a Bahia uma nova turma do Curso para Qualificação de Inspetor de Pintura Industrial Nível 1, realizada em Salvador, no período de 1º a 12 de abril.

O curso, conduzido pelos instrutores Fernando Fernandes e Washington Silva, aconteceu no Fiesta Bahia Hotel e reuniu profissionais de diversas áreas, em uma formação técnica de alto nível, em conformidade com a excelência das formações oferecidas pela ABRACO.

Da mesma forma, a capital do Ceará também receberá uma turma do curso para profissionais de pintura industrial, no período de 1º a 12 de setembro, a ser realizada no Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará - Nutec, em Fortaleza.

Os interessados na qualificação já podem se inscrever, através do [site](https://abraco.org.br/cursos/cursos-abraco/curso-para-qualificacao-de-inspetor-de-pintura-industrial-nivel-1-presencial-em-fortaleza-ce/) da ABRACO [https://abraco.org.br/cursos/cursos-abraco/curso-para-qualificacao-de-inspetor-de-pintura-industrial-nivel-1-presencial-em-fortaleza-ce/], onde obterão todas as informações necessárias.

O Curso de Qualificação de Inspetor de Pintura Industrial Nível 1, desenvolvido pela ABRACO, oferece uma formação completa por meio de conteúdos teóricos, aulas expositivas, vídeos de treinamento, estudos de caso e exercícios práticos. O curso tem como objetivo qualificar e habilitar o aluno para o bom desempenho de suas atividades profissionais.

InterCorr 2025 reúne a comunidade técnico-científica em São Paulo para discutir os avanços no combate à corrosão

A capital paulista será palco do maior congresso sobre corrosão da América Latina entre os dias 8 e 11 de julho de 2025.

A cidade de São Paulo sediará, de 8 a 11 de julho de 2025, a décima edição do InterCorr – Congresso Internacional de Corrosão, promovido pela ABRACO (Associação Brasileira de Corrosão) e pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. O evento acontecerá no Centro de Difusão Internacional da USP e reunirá pesquisadores, engenheiros, profissionais da indústria, estudantes e representantes de instituições de todo o mundo.

Reconhecido como o mais importante encontro técnico-científico sobre corrosão na América Latina, o InterCorr 2025 terá uma programação intensa e abrangente, com sessões técnicas, apresentação de trabalhos científicos, conferências e palestras com especialistas renomados, painéis de discussão e atividades de networking técnico.

Além da agenda principal, o congresso contará com a tradicional Exposição de Tecnologias para Prevenção e Controle da Corrosão e com a 22ª edição do Concurso de Fotografia de Corrosão e Degradação de Materiais, que premia as melhores imagens sobre o tema.

As fotos devem retratar de forma didática e visual o impacto da corrosão em equipamentos e materiais. Apenas congressistas inscritos podem participar, e as inscrições estão abertas até o dia 5 de junho de 2025. Cada participante pode enviar uma única imagem. A votação será realizada pelos próprios participantes do congresso, e os três cliques mais votados serão premiados e anunciados durante a cerimônia de encerramento.

Os prêmios incluem:

1º lugar: Apple iPhone 16 (128GB – preto)

2º lugar: Echo Show 10 Smart Display

3º lugar: Samsung Galaxy Watch 7 Smartwatch

Os vencedores terão a oportunidade de receber reconhecimento técnico e visibilidade junto à comunidade científica e industrial. Para mais detalhes e regulamento completo, acesse: <https://abraco.org.br/intercorr2025/concurso-de-fotografia/>

Homenagem ao conhecimento técnico: Prêmio Professor Vicente Gentil

Entre as premiações mais aguardadas do evento, destaca-se o Prêmio Professor Vicente Gentil, que homenageia um dos maiores nomes da ciência da corrosão no Brasil e fundador da ABRACO. A premiação reconhece o melhor trabalho técnico apresentado oralmente durante o congresso, com base em critérios de originalidade, relevância técnica e qualidade da apresentação. O vencedor recebe um troféu e isenção na inscrição para o próximo InterCorr. A seleção é realizada por um comitê de especialistas designado pelo Comitê Executivo.

Corrosão em foco: conhecimento, inovação e sustentabilidade

Mais do que um encontro científico, o InterCorr 2025 representa uma oportunidade estratégica para a atualização profissional,



troca de experiências, divulgação de pesquisas aplicadas e formação de parcerias. A temática da corrosão é cada vez mais relevante para segmentos como petróleo e gás, energia, infraestrutura, transporte, construção civil e meio ambiente, devido ao seu impacto na integridade de ativos e na sustentabilidade dos processos industriais.

O papel da ABRACO na organização do evento e no desenvolvimento acadêmico

A ABRACO desempenha um papel crucial não apenas na organização do InterCorr 2025, mas também como pilar do desenvolvimento tecnológico na área de corrosão e proteção de materiais. A associação é responsável por fomentar a troca de conhecimento entre academia e indústria, promovendo a divulgação de artigos e estudos que contribuem para a formação de profissionais altamente qualificados. Sua atuação fortalece o compromisso com a inovação, permitindo a constante atualização e capacitação de estudantes e profissionais da área, assegurando o avanço contínuo no campo da corrosão.

Exposições e empresas participantes

Durante o InterCorr 2025, será realizada a Exposição de Tecnologias para Prevenção e Controle da Corrosão, onde diversas empresas líderes no setor estarão com estandes apresentando seus produtos e soluções inovadoras. A lista completa pode ser consultada no site oficial do evento.

Os participantes do evento terão a oportunidade de visitar os estandes, conhecer as tecnologias de ponta e estabelecer conexões valiosas com essas empresas.

Apoio e Patrocínios

O InterCorr 2025 é possível graças ao apoio de várias empresas e instituições do setor. Durante o evento, será apresentada a logomarca dos apoiadores, patrocinadores nas categorias

Platina, Ouro, Prata e Bronze, expositores, e ainda os parceiros de merchandising. Este apoio contribui para a realização de um congresso de alta qualidade, fortalecendo a presença de grandes nomes da indústria no debate sobre o futuro da corrosão e proteção de materiais.

Organização de peso e apoio institucional

A estrutura organizacional é formada por comitês executivos e técnico-científicos compostos por profissionais de destaque, que garantem a qualidade técnica e científica do encontro.

- Comitê Executivo:
 - Presidente: Zehbour Panossian (IPT - SP)
 - Vice-presidente: Luiz Paulo Gomes (IEC Engenharia / ABRACO)
 - Membros: Carlos Alexandre Martins da Silva (Transpetro), Daniel Cypriano (Petrobras), João Paulo Klausing Gervásio (Petrobras), Neusvaldo Lira de Almeida (IPT-SP / ABRACO), Simone Braga (ABRACO), Simone Louise Delarue Cezar Brasil (UFRJ)
- Comitê Técnico-Científico, presidido por Neusvaldo Lira de Almeida, reúne nomes de destaque da academia, indústria e centros de pesquisa, como Petrobras, IPT, UFRJ, USP, UFRGS, INT, IPEN, Transpetro, entre outros.

A lista completa dos integrantes está disponível no site do evento.

Oportunidade única

A ABRACO fortalece seu papel no avanço do combate à corrosão com o InterCorr 2025, oferecendo uma oportunidade única de aprendizado e networking. Participe e amplie seu conhecimento no setor.

Ao final do congresso, todos os trabalhos apresentados serão publicados no site que reúne as edições anteriores: www.intercorr.com.br. Aproveite a chance de divulgar sua pesquisa e torná-la acessível ao público!

Inscrições abertas e como se tornar associado da ABRACO

As inscrições para o InterCorr 2025 já estão abertas e podem ser feitas no site: www.abraco.org.br/intercorr2025. Se você ainda não é um associado da ABRACO, é a oportunidade perfeita para se tornar um! Durante o evento, haverá um espaço dedicado à ABRACO, onde será possível preencher a ficha de associação e tornar-se um novo associado.



EMPRESAS E ENTIDADES ASSOCIADAS

NOVO ASSOCIADO

A IDEAL SOLUÇÕES ANTICORROSIVAS EIRELI ME
www.aideal.com.br/site/

ADVANCE TINTAS E VERNIZES LTDA.
www.advancetintas.com.br

AKZO NOBEL LTDA - DIVISÃO COATINGS
www.akzonobel.com/international

APERAM SOUTH AMERICA
www.aperam.com/pt-br/

APIDUTOS - PROTEÇÃO CATÓDICA LTDA
www.apidutos.com.br

BBOSCH GALVANIZAÇÃO DO BRASIL LTDA.
www.bbosch.com.br

CENTRO DE TECNOLOGIA EM DUTOS
www.ctdut.org.br

COVESTRO INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE POLÍMEROS LTDA.
www.covestro.com

CTR3SM TECNOLOGIAS CRÍTICAS LTDA.
www.ctr3sm.com.br

CPL ENGENHARIA LTDA.
www.cplengenharia.com.br

DE NORA DO BRASIL LTDA.
www.denora.com

DEEPWATER
www.stoprust.com

DETEN QUÍMICA S.A.
www.deten.com.br

G P NÍQUEL DURO LTDA.
www.grupogp.com.br

HITA COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA.
www.hita.com.br

HKM METAIS LTDA.
www.hkmmetais.ind.br

IEC INSTALAÇÕES E ENG^a DE CORROSÃO LTDA.
www.iecengenharia.com.br

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS
– IBP
www.ibp.org.br

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO
PAULO – IPT
www.ipt.br

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA – INT
www.int.gov.br

JOTUN BRASIL IMP. EXP. E IND. DE TINTAS LTDA.
www.jotun.com

LGE COMERCIO E SERVIÇOS LTDA.
www.lgeserv.com.br

METAL SALES COMÉRCIO E INDÚSTRIA DE METAIS LTDA.
www.metalsales.ind.br

PETROBRAS - PETRÓLEO BRASILEIRO S/A
www.petrobras.com.br

PPL MANUTENCAO E SERVIÇOS LTDA.
www.pplmanutencao.com.br

PRESSERV DO BRASIL LTDA.
<https://presserv.com/brazil/>

PROMAR TRATAMENTO ANTICORROSIVO LTDA.
www.promarpintura.com.br

REFRAMAX ENGENHARIA LTDA.
www.reframax.com.br

RENNER COATINGS
www.rennercoatings.com

SACOR SIDEROTÉCNICA S/A
www.sacor.com.br

SHERWIN-WILLIAMS DO BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO LTDA.
www.https://sherwin.com.br/

SMARTCOAT - ENGENHARIA EM REVESTIMENTOS LTDA.
www.smartcoat.com.br

TBG - TRANSP. BRAS. GASODUTO BOLÍVIA – BRASIL
www.tbg.com.br

TECHNIQUES SURFACES DO BRASIL LTDA.
www.tsbrasil.srv.br

TECNOFINK LTDA.
www.tecnofink.com

TINÔCO ANTICORROSÃO LTDA.
www.tinocoanticorrosao.com.br

TRANSPETRO - PETROBRAS TRANSPORTE S/A
www.transpetro.com.br

WEG TINTAS LTDA.
www.weg.net

ZERUST PREVENÇÃO DE CORROSÃO LTDA.
www.zerust.com.br

ZINCOLIGAS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
www.zincoligas.com.br

ZINGA METALL BRASIL COMÉRCIO DE PRODUTOS E SERVIÇOS PARA
CORROSÃO LTDA.
www.zingabr.com



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO

Av. Venezuela, 27 • Sl. 412/418 • Centro • Rio de Janeiro • CEP 20081-311

(21) 2516-1962 • www.abraco.org.br

Facebook: facebook.com/abraco.oficial

LinkedIn: linkedin.com/in/abraco

Instagram: [@abraco_br](https://instagram.com/abraco_br)

Youtube: Associação Brasileira de Corrosão

SETORES

Associados: secretaria@abraco.org.br

Biblioteca: biblioteca@abraco.org.br

CB-43: cb43@abraco.org.br

Comunicação: marketing@abraco.org.br

Eventos: eventos@abraco.org.br

Financeiro: financeiro@abraco.org.br

Gerência Geral: gerenciageral@abraco.org.br

Presidência: presidencia@abraco.org

Qualificação e Certificação: qualificacao@abraco.org.br

Treinamentos: cursos@abraco.org.br