

# Corrosão & Proteção

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

Ano 16 | n° 68 | jul/ago/set 2019



## Normas técnicas

Consolidação do conhecimento e da  
experiência na área de corrosão

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 2017/2018**

**Presidente**

Olga Baptista Ferraz - INT

**Vice-presidente**

Zehbour Panossian - IPT

**Diretores**

Danilo Natalio Sanches – ZINCOLIGAS

Eduardo Torres Serra – INDIVIDUAL

Adauto Carlos Colussi Riva – RENNER COATING

Carlos Roberto Patrício – BBOSCH

Diego Gonzalo Hita – HITA

José Rocha Andrade da Silva – ELÉTRON QUÍMICA

**Conselho Editorial**

Dra. Célia Aparecida Lino dos Santos

Dra. Olga Baptista Ferraz

Aldo Cordeiro Dutra – ABRACO

Caroline Sousa – ABRACO

Laerce de Paula Nunes – IEC

**REVISTA CORROSÃO & PROTEÇÃO**

**Revisão Técnica**

Aldo Cordeiro Dutra – ABRACO

**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](http://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.

- 03** Editorial
- 05** GRANDES NOMES DA CORROSÃO  
Marcel Pourbaix
- 08** Normas técnicas fazem parte do dia a dia da população
- 12** ARTIGO CIENTÍFICO  
Avaliação do efeito do nitrato em função da temperatura na geração biogênica de H<sub>2</sub>S em reservatórios de petróleo  
*Vanessa Vólaro Caminha Mota dos Santos, Maíra Paula de Sousa, Paula Fernandes de Aguiar, Eliana Flávia Camporese Sérvulo e Magali Christe Cammarota*
- 18** ARTIGO CIENTÍFICO  
O estado da arte da corrosão pelo etanol combustível  
*Célia Aparecida Lino dos Santos, Lorena Cristina de Oliveira Tiroel, Elcio Cruz de Oliveira, Neusvaldo Lira de Almeida*
- 29** ARTIGO TÉCNICO  
Estudo dos diagramas E-pH aplicados a revestimentos à base de Pentóxido de Nióbio  
*Rodney Santandrea, Simone L.D.C. Brasil, Leila Y.Reznik e Ladimir J.de Carvalho*
- 38** Trabalho do Cepel sobre corrosão tem potencial para gerar economia de milhões por ano
- 41** Programação de cursos 2019
- 42** Encontro com profissionais certificados do SNQC-CP
- 44** II Seminário Brasileiro de Corrosão Interna de Dutos e Equipamentos
- 45** Agenda de eventos 2019
- 46** COTEQ 2019
- 48** Sinergia entre a COTEQ e Rio Automação: debates convergem a integridade de equipamentos, a segurança e a transformação digital
- 50** COTEQ e Rio Automação discutem o futuro da indústria de energia
- 54** Empresas associadas

## Normalização Técnica

# Atividade estratégica na área de corrosão

A normalização técnica é uma atividade de extrema importância para a sociedade e para o país. Ela reflete o nível de evolução e de experiência que se tem em uma determinada área do conhecimento. No caso específico da corrosão muito cedo a ABRACO se lançou nas atividades normativas.

Em 1982 a Associação instituiu um convênio com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e desde esta época abriga Comissões de Estudo.

Inicialmente foi através do Comitê Brasileiro de Mineração e Metalurgia - ABNT / CB-1, porém, em meados da década de noventa, o CB-1 entrou em regime de insolvência progressiva, paralisando todo o processo de votação e publicação dos projetos de norma elaborados por nossas Comissões de Estudo.

Este fato motivou em 1999 a Diretoria da ABRACO a empreender negociações com a ABNT para que fossem incrementadas as atividades de gerenciamento do processo de normalização, que estavam estacionárias naquele momento.

Desta forma, foi proposta a estruturação de um novo CB, com secretaria sediada na ABRACO, e submetida à apreciação do Conselho Técnico da ABNT. Paralelamente foram efetuados investimentos com recursos próprios da ABRACO, que garantiram o funcionamento do futuro comitê. Na ocasião foram repassados, inclusive recursos pelo Projeto RedeCorr - liderado pela Divisão de Corrosão de Proteção do Instituto Nacional de Tecnologia que viabilizaram o funcionamento do CB-43.

Todo este esforço culminou com a criação do Comitê Brasileiro de Corrosão - ANBT / CB-43, cuja aprovação pela ABNT e instalação formal deu-se ao final do mês de junho de 2000.

Para que esta atividade seja desenvolvida a Associação conta com a colaboração de especialistas, centros de pesquisas, universidades e empresas devotadas ao estudo e ao combate da corrosão.

Neste período de cerca de vinte anos, do CB-43 muitas e importantes normas foram produzidas e colocadas à disposição da sociedade brasileira.

A partir do ano de 2017 a Diretoria da ABRACO decidiu, também implementar as Recomendações Práticas, que são documentos normativos referentes a boas práticas de engenharia na área de corrosão. No momento estão à disposição dos usuários, no portal da ABRACO, recomendações nas áreas de pintura anticorrosiva, proteção de condições especiais e proteção catódica e futuramente trabalharemos em outras, como por exemplo, corrosão de armaduras de concreto, gerenciamento de corrosão interna, dentre muitas áreas que podem ser exploradas.

Neste número da revista Corrosão e Proteção procuramos evidenciar a importância da normalização técnica como forma de consolidação do conhecimento e da experiência na área de corrosão. Nos sentimos muito honrados em participar desta contribuição para o avanço tecnológico e de seus benefícios para a sociedade brasileira.

**Laerce de Paula Nunes**

Presidente do Conselho  
Deliberativo da ABRACO



**Olga Baptista Ferraz**

Presidente da ABRACO



## Anuncie na Revista Corrosão & Proteção

Um veículo que leva  
seu anúncio ao alcance  
de quem realmente tem  
interesse na área.

INFORMAÇÕES:  
[marketing@abraco.org.br](mailto:marketing@abraco.org.br)



## GRANDES NOMES DA CORROSÃO

# Marcel Pourbaix

Por Laerce de Paula Nunes e Aldo Cordeiro Dutra



# Um dos maiores cientistas do século vinte

**M**arcel Pourbaix foi um grande pesquisador belga, um excepcional conhecedor de química e, nas horas vagas, pianista. Foi um estudioso da eletroquímica, especialmente nos aspectos termodinâmicos com um inigualável espírito inquiridor. Foi o criador dos famosos diagramas E-pH (potencial eletroquímico - pH), construído, com recursos da eletroquímica e da termodinâmica.

Em 1963 ele concluiu seu famoso Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, redigido em francês e, em 1966, foi traduzido para o inglês. Ele apresenta os diagramas potencial-pH de todos os elementos conhecidos, até então, em solução aquosa. Estes diagramas indicam os domínios de existência ou de estabilidade termodinâmica de uma espécie química em função do potencial eletroquímico e do pH. A sua rica criação impactou profundamente nos conceitos do estudo da corrosão.

Marcel Pourbaix nasceu em Myshega, nos arredores de Tula, situada ao sul de Moscou, na Rússia, em 16 de setembro de 1904, onde seu pai era consultor em um projeto de engenharia. Ele estudou em Bruxelas e se formou na Faculdade de Ciências Aplicadas da Université Libre de Bruxelles, em 1927. Em 1938, ele concebeu os diagramas de pH - potencial. Em 1939, pouco antes da eclosão da Segunda Guerra Mundial, ele apresentou à Faculdade

sua tese de doutorado, acompanhada de uma tese intitulada "Termodinâmica de soluções aquosas diluídas. Representação gráfica do papel do pH e do potencial".

A tese de doutorado de Pourbaix teve uma grande influência na ciência da corrosão. Ulick R. Evans considerou este trabalho importante e providenciou uma tradução para o inglês, publicada por Arnold (Londres) em 1949.

Nesse mesmo ano de 1949, ele foi um dos fundadores do CITCE (Comitê Internacional de Termodinâmica e Cinética Eletroquímica) juntamente com outros 13 eletroquímicos: C. Boute, J. Gillis, A. Julliard (Bélgica), P. Delahay, P. Van Rysselberghe (EUA), J. O'M. Bockris, T. P. Hoar (Reino Unido), G. Charlot, G. Valensi, (França) R. Piontelli (Itália), G. Burgers (Países Baixos) e J. Heyrovsky (Checoslováquia). O CITCE foi um grande sucesso. Em 1971, o nome do comitê foi mudado para International Society of Electrochemistry (ISE). Os seus membros atuais são mais de 1100, de 59 países. Em 1951 ele fundou o CEBELCOR, Centro Belga de Estudo da Corrosão, que se tornou um dos maiores centros dedicados ao estudo teórico e experimental dos fenômenos da corrosão, tendo atuado durante muitas décadas no CEBELCOR, onde criou toda uma linha de pesquisa e de pensamento que se tornou modelo em todo o mundo.

# Robustez e confiabilidade. Mesmo em ambientes agressivos.

A NOVA SÉRIE MMS® INSPECTION



A proteção contra corrosão inicia muito antes da primeira camada de pintura. O Kit para corrosão MMS Inspection inclui 3 equipamentos necessários antes, durante e depois de aplicação da proteção. Com o rugosímetro, é possível determinar o perfil da superfície para garantir que está pronta para receber a pintura. Com o medidor de ponto de orvalho, se pode obter todos os dados necessários para controle da umidade e garantir a aderência correta. O poderoso medidor de espessura de camada é seu confiável companheiro para medição precisa de camadas seja em bases ferrosas ou não-ferrosas. Para ter as análises completas a Fischer oferece também o Kit Bresle, que permite a verificação simples e rápida de contaminação da superfície com sal.

**FISCHER DO BRASIL**

+55 (11) 3588-0909

brasil@helmutfischer.com

www.helmut-fischer.net.br

Em 1952, Pourbaix fundou a Comissão de Eletroquímica da União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) e essa Comissão esclareceu, em 1953, a situação caótica que então prevalecia nos sinais dos potenciais eletroquímicos.

Pourbaix foi um colaborador internacional no combate à corrosão, visitando vários países, inclusive várias vezes ao Brasil, iniciando em 1972, graças ao empenho do Prof. Ubirajara Quaranta Cabral, da COPPE/UFRJ, sempre lecionando amplamente, durante toda a sua carreira. Ele contribuiu ativamente para a criação de um Conselho Internacional de Corrosão (ICC) com o objetivo de incentivar a pesquisa e a cooperação internacional em ciência e engenharia da corrosão e a amizade entre cientistas e engenheiros.

Para isto, em 1963, durante o II Congresso Internacional de Corrosão Metálica, realizado em Nova Iorque, quando Edward C. Greco criou o Permanent Council of the International Congress on Metallic Corrosion, Pourbaix assumiu a sua Vice Presidência. Esse Conselho decidiu então que esses congressos fossem realizados de três em três anos. Por isso, o III Congresso foi realizado em Moscou, em 1966. Nessa ocasião Pourbaix assumiu o cargo de Presidente do citado Permanent Council, até 1969 quando, durante o IV Congresso realizado em Amsterdam, na Holanda, ele transformou esse Permanent Council no atual International Corrosion Council - ICC. Em 1990, a National Association of Corrosion Engineers (NACE), criou uma "Bolsa Estudantil Marcel Pourbaix Award" e o ICC criou em 1996 um "Prêmio Marcel Pourbaix de Cooperação Internacional".

Pourbaix trabalhou no "Atlas de Equilíbrios Químicos e Eletroquímicos na Presença de uma Fase Gasosa", um trabalho que cobre um campo ainda mais amplo do que o Atlas em



*Marcel Pourbaix durante uma palestra na COPPE/UFRJ*

soluções aquosas. Marcel Pourbaix foi fundador, diretor honorário e conselheiro científico do CEBELCOR, Professor da Université Libre de Bruxelles, co-fundador da CITCE, presidente da Comissão de Eletroquímica da IUPAC (1952), do International Corrosion Council - ICC em 1969, membro do Comitê Consultivo da Electrochimica Acta (1959-1972) e do Conselho Executivo de Ciências Corrosivas.

Marcel Pourbaix veio várias vezes ao Brasil, tendo sido o grande incentivador da realização do VII International Congress on Metallic Corrosion, no Rio de Janeiro em 1978. Para homenageá-lo a Associação Brasileira de Corrosão deu o nome à sua biblioteca de Biblioteca Marcel Pourbaix.

Pourbaix deixou muitos discípulos em todo mundo, sendo no Brasil um dos mais destacados o Prof. Luiz Roberto Martins de Miranda, da COPPE/UFRJ.

Pourbaix morreu em 28 de setembro de 1998 com 94 anos, em Uccle, Bruxelas, na Bélgica.

### Referências

- Documentos consultados na Biblioteca da ABRACO, na Internet e referências pessoais dos autores.

# Normas técnicas fazem parte do dia a dia da população

Especialistas ouvidos pela ABRACO avaliam importância e impacto social de documentos normativos

**E**m 2020, completam-se duas décadas de criação do Comitê Brasileiro de Corrosão – ABNT / CB-43. Proposto pela ABRACO, em 1999, o documento foi aprovado no ano seguinte pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Desde então, foram publicadas mais de 50 normas na área de corrosão, elaboradas por quatro Comissões de Estudo do CB-43: Corrosão Atmosférica, Pintura Industrial, Inibidores de Corrosão e Proteção Catódica. A ABRACO sedia a Secretaria Técnica do Comitê, além de ser responsável, entre várias outras atribuições, pelo custeio de suas atividades e pela garantia de que as normas criadas por ele sigam as diretrizes da ABNT, que as publica.

Segundo a definição internacional, norma é um “documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto”. A área de corrosão é apenas uma entre as muitas atividades nas quais as normas técnicas estão inseridas. Presentes em todos os níveis da organização social, elas abrangem os mais diversos setores, influenciando a economia, a saúde e a segurança das pessoas e a qualidade dos produtos e serviços a elas ofertados. Ou, de modo mais sucinto,

“fazem as coisas funcionarem”, como descreve o presidente da ABNT, Ricardo Fragoso, no site da instituição.

O processo de normalização é dinâmico e deve abranger as diversas partes nele envolvidas: empresas, consumidores, institutos de pesquisa, universidades, governos, trabalhadores e outros. Para Erik Barbosa Nunes, coordenador da Comissão de Estudo de Pintura Industrial do CB-43, trata-se de “um processo de formulação e aplicação de regras para a solução ou prevenção de problemas, com a cooperação voluntária de todos os interessados”. “Dessa forma, procura-se estabelecer, de modo objetivo e neutro, condições que possibilitem que um produto, projeto, processo, sistema, bem ou serviço atendam às finalidades a que se destinam, sem se esquecer dos aspectos de segurança”, complementa.

Já para Marcelo de Almeida Lopes, secretário da Comissão de Estudo de Proteção Catódica, as normas técnicas possibilitam que a atuação de profissionais e empresas tenha requisitos mínimos de qualidade. Segundo ele, isso contribui para a melhoria dos materiais e serviços oferecidos à população, se comparados à execução das atividades sem a existência de um documento normativo. “As normas também uniformizam o conhecimento, pois, nelas, a experiência e a opinião de cada profissional são, em parte, debatidas



e retratadas, visto que os documentos são executados em grupo durante reuniões das comissões especiais”, defende.

O trabalho - voluntário - em equipe para a elaboração de normas técnicas é exaltado por João Klausling, coordenador da Comissão de Estudo de Proteção Catódica: “O tempo despendido com normalização técnica, embora oficialmente não remunerado, é uma grande oportunidade de aperfeiçoamento profissional, pois promove o encontro de especialistas”, afirma, acrescentando que essas reuniões são valorizadas e, muitas vezes, incentivadas pelas empresas, que se beneficiam desses encontros. “Boas práticas, novidades tecnológicas, soluções técnicas ou até mesmo relatos de falhas são típicas informações compartilhadas entre os participantes. Esses dados são fundamentais para o desenvolvimento tecnológico profissional e empresarial.”

Lopes endossa o discurso do colega de Comissão, ao destacar que documentos



Erik Barbosa Nunes



Marcelo de Almeida Lopes

normativos favorecem o relacionamento entre empresas. Isso acontece, segundo ele, porque as normas técnicas auxiliam as atividades de fiscalização de serviços e a definição de responsabilidades nas organizações. “Além disso, especificamente em nossa área de corrosão, contribuem para o aprendizado de novos profissionais. A participação em reuniões de comissões especiais, inclusive, é uma oportunidade para interagir com colegas mais experientes”, avalia.

## Atribuições da ABRACO no âmbito do CB-43

Compete à ABRACO e ao Comitê Brasileiro de Corrosão:

- Zelar e cumprir o disposto no Estatuto da ABNT e no contrato que ela tem com a ABRACO.
- Ser responsável pela Secretaria Técnica do CB-43 e prover instalações, pessoal e equipamentos necessários ao adequado desenvolvimento das atividades de normalização.
- Viabilizar o custeio das atividades de normalização do CB-43.
- Coordenar a elaboração, acompanhar a execução e garantir o cumprimento do Programa de Normalização Setorial (PNS).
- Garantir que as normas brasileiras sejam elaboradas de acordo com as diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas, verificando o atendimento à ABNT ISO/IEC Diretiva Parte 3.
- Coordenar e acompanhar a tramitação dos documentos normativos.
- Encaminhar à ABNT parecer técnico sobre os projetos de normas regionais e internacionais específicos do setor de corrosão.
- Zelar e manter à disposição toda a documentação relativa às suas atividades.
- Representar o CB-43 perante o Comitê Técnico da ABNT.
- Apresentar à ABNT relatório anual das atividades do CB-43.

## Práticas internacionais x normas nacionais

Os encontros das comissões, ainda de acordo com Lopes, são uma oportunidade para os profissionais brasileiros conhecerem e avaliarem práticas internacionais, já que elas costumam servir de referência para as normas elaboradas no País. Para ele, esse conhecimento, somado à experiência dos membros da comissão nacional, faz com que o mercado brasileiro se alinhe aos padrões mundiais, respeitadas as características locais.

Na opinião de Carlos Maciel, secretário da Comissão de Estudo de Corrosão Atmosférica do CB-43, as normas brasileiras refletem as características necessárias para atender ao mercado e ao ambiente nacionais quanto aos aspectos de qualidade e de segurança. “Quando uma comissão de estudo faz a adaptação de uma norma internacional, ela traduz, além da linguagem para o português, as características e denominações utilizadas habitualmente por nós, esclarecendo seu conteúdo para o usuário”, descreve.

Secretário da Comissão de Estudo de Pintura Industrial, Felipe Naciuk concorda que as normas brasileiras atendem ao que é desejado pelo mercado nacional. Mas prefere não compará-las às estrangeiras. “Países como Estados Unidos, Austrália e Alemanha, por exemplo, têm uma cultura diferente em relação à normatização. Eles valorizam muito mais essa área do que nós, e a prova disso é o grande número de comitês que há nesses países, onde a normatização é uma atividade de interesse das empresas. Isso impacta na qualidade e no número de normas disponíveis”, acredita.

## Brasileiras x empresariais

Além de normas técnicas nacionais – cuja criação é supervisionada pela ABNT, responsável também por sua aprovação e publicação – e estrangeiras – produzidas por entidades como NACE International – The Corrosion Society, ASTM International e International Standardization Organization (ISO) –, há também as empresariais. Na área de corrosão, várias organizações possuem normas próprias para atividades diversas, a exemplo de pintura anticorrosiva, sistemas de proteção catódica e gerenciamento da corrosão interna.

Para as empresas, a adoção de normas significa que os fornecedores podem desenvolver e oferecer produtos e serviços em consonância com especificações que já possuem ampla aceitação em seus setores, assegurando as características desejáveis para as organizações. Como as normas brasileiras fornecem apenas regras, diretrizes ou características mínimas, não abordando práticas específicas ou ainda não consolidadas por um determinado setor, é necessário, em algumas situações, elaborar uma norma empresarial que modifique ou adicione alguns requisitos ou informações para atender às suas necessidades específicas.

Para Nunes, essa medida, além de atender às particularidades daquele negócio, pode preencher lacunas deixadas por normas nacionais, como critérios de aceitação. Caso a organização decida pela criação de uma norma empresarial ou pela adoção de uma existente, o preenchimento desses “gaps” deve ser feito em comum acordo por todas as partes envolvidas no



João Klausling,  
Carlos Maciel e  
Felipe Naciuk



Zehbour Panossian

processo. “Se existirem questões em aberto em uma norma brasileira, a empresarial deve esclarecê-las de acordo com as exigências estabelecidas pelo usuário. Há o entendimento de que uma norma brasileira, em situações específicas, não deve deliberar o que pode ou não ser realizado ou aceito”, afirma.

Ainda de acordo com o coordenador da Comissão de Estudo de Pintura Industrial, normas empresariais podem ser mais rígidas que as nacionais. Outra diferença, acrescenta, diz respeito à flexibilidade e à rapidez de revisão do conteúdo. “Quando se observa alguma necessidade de melhoria de determinado produto ou processo em uma norma técnica, principalmente em atividades em que há grande dinamismo e surgimento constante de novas tecnologias, há, sem dúvida, maior agilidade no trâmite de revisão das normas empresariais. Isso, inclusive, pode ser um fator decisivo quanto à adoção ou não de uma norma brasileira em determinada atividade”, esclarece.

Independentemente do tipo ou da origem, uma norma se consagra pelo uso quando seus usuários entendem que ela atende plenamente ao objetivo a que se propôs. Para tal, é preciso que seja clara, concisa e baseada em conceitos firmes, nos aspectos que abranger. Essa é a opinião de Zehbour Panossian, coordenadora da Comissão de Estudo de Corrosão Atmosférica. “Uma vez reconhecida como fonte confiável e precisa, a tendência é que a norma se torne referência em sua área”, observa.

## Recomendações Práticas da ABRACO

A fim de oferecer subsídios técnicos a pessoas e empresas de vários setores da indústria brasileira em assuntos não contemplados nas normas da ABNT, a ABRACO lançou, em 2017, Recomendações Práticas referentes aos diversos métodos de prevenção e combate à corrosão. Os documentos, disponíveis para download gratuito no site da Associação, contemplam três áreas: revestimentos anticorrosivos, pintura anticorrosiva e proteção catódica.

Similares a documentos adotados por várias instituições internacionais de reconhecida tradição, as Recomendações Práticas da ABRACO são um conjunto de documentos técnicos com orientações de boas práticas. Apresentam aspectos técnicos baseados na experiência de especialistas em corrosão, com dados não estabelecidos em normas voluntárias nacionais, internacionais ou de empresas.

Ao utilizar as Recomendações Práticas da ABRACO, os usuários são alertados de que já devem ter experiência suficiente para entender adequadamente seu conteúdo. São 10 documentos ao todo: Recomendações para Proteção Anticorrosiva de Condições Especiais; Recomendações para Preparo de Superfície e Aplicação de Tintas – Controle do Processo e Inspeção; Recomendações para Seleção de Esquemas de Pintura Anticorrosiva; Tintas para Pintura Anticorrosiva; Critérios para Levantamentos de Campo para Sistemas de Proteção Catódica de Estruturas Terrestres; Recomendações para Especificação de Fontes de Corrente Contínua e de Drenagens de Corrente, em Sistemas de Proteção Catódica para Estruturas Terrestres Enterradas; Recomendações para Instalação de Sistemas de Proteção Catódica Terrestre; Recomendações para Pré-Operação de Sistemas de Proteção Catódica Terrestre; Recomendações para Inspeção de Sistemas de Proteção Catódica Terrestre; e Critérios para Sistemas de Proteção Catódica em Estruturas Marítimas.

# Avaliação do efeito do nitrato em função da temperatura na geração biogênica de H<sub>2</sub>S em reservatórios de petróleo

Vanessa Vólara Caminha Mota dos Santos<sup>a</sup>, Maira Paula de Sousa<sup>b</sup>, Paula Fernandes de Aguiar<sup>c</sup>, Eliana Flávia Camporese Sérvulo<sup>d</sup>, Magali Christe Cammarota<sup>e</sup>

**Abstract:** The biogenic generation of H<sub>2</sub>S (souring) in oil fields is generally due to the action of sulfate reducing prokaryotes microorganisms, which produce sulfide while oxidizing various electron donors. A more effective way of controlling souring is the addition of nitrate in the injection water during the oil recovery process to stimulate bacteria that reduce these compounds. The objective of the present work was to evaluate five nitrate concentrations (30, 50, 70, 90 and 110 mg/L) and three temperatures (30, 55 and 80 °C) and their interactions on H<sub>2</sub>S production. The experiments were conducted in hermetically sealed amber bottles, without agitation, with a contact medium that simulated the produced formation water in an oilfield and inoculum from the same reservoir. It was observed that the temperature had a considerable influence on the metabolism of the studied groups and that above 55 °C its growth was limited. There was a reduction in H<sub>2</sub>S contents at temperatures close to 30 °C with the dosage of 90 mg nitrate/L.

**Keywords:** biocompetitive exclusion, nitrate, souring, sulfate-reducing bacteria, biocorrosion.

**Resumo:** A geração biogênica de H<sub>2</sub>S (souring) em campos de petróleo é, em geral, decorrente da ação de microrganismos procaríotos redutores de sulfato, que produzem sulfeto enquanto oxidam diversos doadores de elétrons. Uma maneira mais efetiva de controle do souring é a adição de nitrato na água de injeção durante o processo de recuperação de petróleo para estimular bactérias que reduzem esses compostos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar cinco concentrações de nitrato (30, 50, 70, 90 e 110 mg/L) e três temperaturas (30, 55 e 80 °C) e suas interações sobre a produção de H<sub>2</sub>S. Os experimentos foram conduzidos em frascos âmbar hermeticamente fechados, sem agitação, com meio de contato que simulava a composição da água de formação de um campo de petróleo e inóculo oriundo do mesmo reservatório. Foi observado que a temperatura teve uma influência considerável no metabolismo dos grupos estudados e que acima de 55 °C o seu crescimento foi limitado. Verificou-se uma redução nos teores de H<sub>2</sub>S em temperaturas próximas a 30 °C com a dosagem de 90 mg/L de nitrato.

**Palavras-chave:** exclusão biocompetitiva, nitrato, souring, bactérias redutoras de sulfato, biocorrosão.

<sup>a</sup> Graduação-Bióloga - Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>b</sup> M.Sc-Bióloga - Petróleo Brasileiro S.A

<sup>c</sup> D.Sc-Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>d</sup> D.Sc-Engenharia Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>e</sup> D.Sc-Engenharia Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

## Introdução

A água do mar é normalmente injetada em poços de petróleo para aumentar a taxa de recuperação, porém os microrganismos presentes no sistema podem reduzir bioquimicamente os íons sulfato presentes na mesma, causando o *souring* (1). O controle da geração biogênica de  $H_2S$  (*souring*) melhora a qualidade do óleo produzido e, conseqüentemente, diminui os custos de produção.

Sabe-se que a redução do sulfato pode estar associada ao metabolismo de microorganismo que degradam hidrocarbonetos mono-aromáticos como, por exemplo, benzeno, tolueno e etilbenzeno (2). A degradação microbiana desses compostos libera ácidos graxos voláteis (AGV), os quais podem ser usados como doadores de elétrons pelos organismos presentes no ambiente para a redução de compostos como, por exemplo, na redução do sulfato a sulfeto (3). Sendo assim, o controle do crescimento microbiano, em especial de microrganismos procariotos redutores de sulfato (PRS), assim como o controle da geração de  $H_2S$ , é de grande importância para a indústria do petróleo. Um dos métodos utilizados para este controle é a adição de nitrato à água de injeção.

Ao introduzir o nitrato no sistema, o crescimento de bactérias redutoras de nitrato (BRN) é favorecido. Esse grupo de bactérias é bastante diverso metabolicamente, podendo prejudicar o crescimento dos PRS por exclusão biocompetitiva, já que disputam os mesmos recursos nutricionais ou pela produção de nitrito (como consequência da redução de nitrato), um inibidor dos PRS. Além disso, algumas BRN consomem sulfeto como fonte de energia e, desta forma, tendem a diminuir a concentração de  $H_2S$  no meio. Uma outra forma da injeção de nitrato atuar no controle da geração de  $H_2S$  é através da estimulação de espécies de PRS que alteram seu metabolismo para o consumo do nitrato, deixando de consumir o sulfato e, conseqüentemente, de produzir sulfeto de hidrogênio (4).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a concentração de nitrato mais eficaz, em função da temperatura, frente a microrganismos presentes

em amostras de reservatórios que já empregam a injeção de nitrato como tratamento.

## Metodologia

Para a avaliação do efeito do nitrato em função da temperatura na geração biogênica de  $H_2S$  foi definido um delineamento experimental (Doehlert), o que permitiu, dentre outras vantagens, a otimização do número de ensaios de modo a manter a representatividade dos resultados obtidos e a atenuação dos erros experimentais. Foram testadas diferentes concentrações de nitrato (30, 50, 70, 90 e 110 mg/L) e temperaturas (30, 55 e 80°C), totalizando 8 experimentos. O nitrato utilizado nos experimentos foi o nitrato de cálcio, o mesmo produto utilizado em campo por empresas do setor petrolífero, e os valores das concentrações de nitrato mencionados neste estudo referem-se às concentrações de nitrato de cálcio.

Para este estudo foram avaliadas as quantificações microbiológicas dos grupos das bactérias redutoras de sulfato (BRS), bactérias redutoras de nitrato organotróficas (BRNorg) e bactérias redutoras de nitrato oxidantes de sulfeto (BRN-OS), mesofílicas e termofílicas, pelo método do Número Mais Provável (NMP) e o teor de geração de sulfeto em diferentes tempos (1, 3, 7, 14 e 28 dias).

O inóculo utilizado nos experimentos foi obtido a partir dos cultivos de uma amostra coletada em um poço produtor de um reservatório de petróleo de uma indústria petrolífera que faz uso de nitrato de cálcio visando a mitigação da geração de  $H_2S$  biogênico. A temperatura inicial deste reservatório era de aproximadamente 80°C, salinidade aproximada de 35 g/L de NaCl (cloreto de sódio). A amostra foi cultivada sucessivamente em meios específicos para BRS, BRNorg e BRN-OS, em mesofilia e termofilia, ao longo de 6 meses.

Para as concentrações iniciais de BRS, BRN-OS e BRNorg, definiu-se a quantificação de massa de DNA total, já que pela técnica convencional utilizada para quantificação destas populações bacterianas (NMP) só se obtém os resultados após 28 dias de incubação, além da exposição

dos meios à temperaturas acima da ambiente poder levar a resultados errôneos por requerer maiores tempos de incubação ou, inclusive, por propiciar modificações da composição química.

O meio de contato utilizado nos experimentos simulava a composição química da água produzida do reservatório do qual as amostras foram coletadas. O meio de cultura foi composto de água do mar natural, suplementada com sais essenciais e ácidos orgânicos de cadeia curta como fonte de carbono. A concentração dos ácidos orgânicos foi calculada de modo a estabelecer a relação carbono/sulfato do meio Postgate E modificado (5), mantendo-se a proporção dos ácidos orgânicos encontrada na caracterização química da água de produção coletada do reservatório de petróleo em questão e adicionando-se solução de elementos-traço (6). O contato é o ensaio propriamente dito, onde o inóculo, as diferentes concentrações de nitrato e o meio de cultura específico são colocados em um mesmo frasco (contato), o qual é incubado de acordo com a temperatura definida para os experimentos.

Todos os ensaios foram realizados em frascos de vidro âmbar de 250 mL vedados com batoque e tampa de rosca para que não houvesse interferência do oxigênio, além de garantir que, caso houvesse geração de  $H_2S$ , este não escapasse para o ambiente.

## Resultados e discussão

Conforme apresentado na Tabela 1, foi possível extrair DNA de todos os grupos microbianos e temperaturas avaliados. No entanto, verifica-se que a massa de DNA total obtida diminui consideravelmente à medida que se aumenta a temperatura dos cultivos. Também cabe salientar que o meio de cultivo para BRN-OS não propiciou um crescimento bacteriano similar ao obtido nos outros dois meios avaliados.

É importante ressaltar que o DNA total foi extraído dos cultivos realizados a partir das amostras originais. No caso dos inóculos a 80°C, estes foram obtidos a partir dos cultivos já incubados à temperatura de 55 °C ao longo do tempo. Portanto, é possível que durante esse

período tenham sido perdidas algumas espécies somente capazes de sobreviver ou desenvolver em condições extremas de temperatura.

	30°C	55°C	80°C
BRS	845,0	54,6	23,3
BRNorg	626,6	144,6	24,4
BRN-OS	72,0	40,0	10,0

Tabela 1 - Quantificação em massa de DNA Total ng/ $\mu$ L

Cabe salientar também que, com exceção do meio de cultura para BRS termofílicas, os demais meios de cultura utilizados no preparo dos inóculos foram desenvolvidos para cultivos a 30 °C. Essa característica dos meios também pode reduzir as chances de recuperar grupos bacterianos termófilos e hipertermófilos.

As arqueias possuem estruturas de parede celular e de membrana que permitem que elas sobrevivam em ambientes extremos, como aqueles com temperaturas elevadas (7). O cultivo de arqueias anaeróbias é dificultado pelo fato de serem extremamente sensíveis ao oxigênio (8). Como as amostras originais, quando coletadas no reservatório, não ficaram totalmente isentas de oxigênio, é possível que tenham sido perdidos muitos grupos de arqueias. Além disso, o processo de cultivo e incubação das amostras não foi feito em meios específicos para arqueias, mas sim em meios conhecidos para bactérias, o que pode ter diminuído ainda mais a sobrevivência daqueles grupos.

### a) Análise dos resultados microbiológicos

As Figuras 1, 2 e 3 demonstram o comportamento dos grupos microbianos BRS, BRNorg e BRN-OS, respectivamente, ao longo do tempo, nos 8 ensaios do planejamento experimental definido para este trabalho.

É possível observar que a 30°C as BRS cresceram aproximadamente 4 ordens de grandeza, a partir do 7º dia, mantendo-se nas concentrações atingidas até o último dia do ensaio (28º dia), independentemente da concentração de nitrato. Já as temperaturas mais elevadas inibiram o crescimento deste grupo, que foi praticamente zero nestas condições (Figura 1).

O ligeiro aumento de BRS evidenciado no início do ensaio pode estar relacionado à atividade de algumas espécies de BRS que são capazes de crescer utilizando nitrato como acceptor final de elétrons (9,10). *Desulfovibrio desulfuricans* 27774 é um exemplo de BRS capaz de utilizar a redução dissimilativa do nitrato, na ausência de sulfato (11).

Como previsível, tanto as BRNorg quanto as BRN-OS (Figuras 2 e 3) apresentaram comportamento bem distinto ao das BRS (Figura 1), uma vez que a presença de nitrato estimula a competição entre elas pelas fontes de carbono disponíveis (12). Evidencia-se uma elevada concentração de bactérias redutoras de nitrato desde o primeiro dia do ensaio; valor que se manteve até o 14º dia, com considerável decaimento no 28º dia.

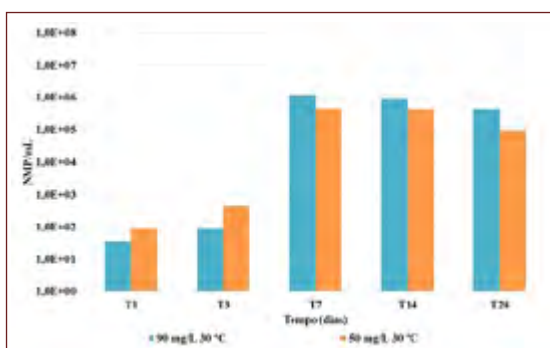


Figura 1 - Avaliação do efeito do nitrato x temperatura ao longo do tempo para as BRS.

Como citado anteriormente, o metabolismo dos microrganismos redutores de nitrato, por ser mais acelerado do que o das BRS, consome o nitrato disponível nos primeiros dias de ensaio. Assim, as BRS conseguem crescer notadamente somente após a supressão do nitrato (Figura 1). Também foi observado por SOUSA; CAMMAROTA; SÉRVULO (2010) que à medida que o nitrato é consumido e não é feita uma nova aplicação, as BRS voltam a consumir o sulfato disponível no meio, retomando seu crescimento. Daí a importância da adição periódica de nitrato como controle da biogênese de sulfeto em reservatórios.

Em relação à temperatura é possível observar uma maior influência no controle microbiano nos grupos avaliados a partir de 55 °C. Isto,

provavelmente, se deve ao fato de que pode ter havido perdas nas comunidades termófilas quando os inóculos, ao longo dos meses prévios ao experimento, foram cultivados em meios de cultivos não específicos para temperaturas mais altas (exceto no caso das BRS termófilas que foram cultivadas em meios específicos a 55 °C).

É importante salientar que neste estudo estão sendo avaliados os resultados encontrados a partir da quantificação microbiológica baseada em cultivo e que organismos de ambientes mais extremos são mais difíceis de serem cultivados e que técnicas moleculares podem ser mais aplicáveis neste caso.

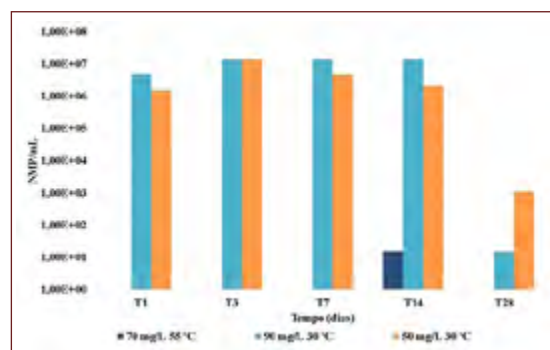


Figura 2 - Avaliação do efeito do nitrato x temperatura ao longo do tempo para as BRNorg.

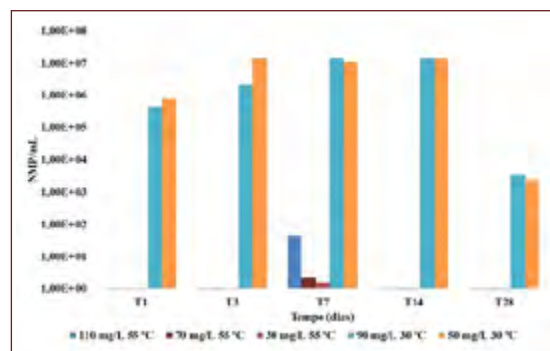


Figura 3 - Avaliação do efeito do nitrato x temperatura ao longo do tempo para as BRN-OS.

## b) Análise de Sulfeto

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos para a quantificação do sulfeto gerado, em mg/L, ao longo dos 5 tempos avaliados nos 8 ensaios do planejamento experimental. Não foi realizada a quantificação inicial do sulfeto por não haver tempo para a geração deste composto. Os ensaios descritos como 0 mg/L são ensaios que

receberam inóculo, mas não tiveram dosagem de nitrato.

Os teores de sulfeto gerados nos tempos 1 e 3 dias foram muito baixos, sendo apresentados na Figura 4 somente os resultados a partir de 7 dias, tempo em que se observou um alto crescimento das BRS mesofílicas. As diferenças encontradas entre os diferentes tratamentos estabelecidos pelo planejamento experimental foram muito tênues. É possível que o tempo de incubação dos ensaios tenha influenciado os resultados, visto que o metabolismo do sulfato é bastante lento. O mesmo pode ser dito em relação à temperatura.

Foi possível observar uma alta geração de sulfeto somente nos ensaios com temperatura de 30°C e 90 mg/L ou 50 mg/L de nitrato. Comparados ao ensaio em que não ocorreu dosagem de nitrato, no tempo 7 dias, houve uma redução da concentração de sulfeto de aproximadamente 40 % para a dosagem de 90 mg/L de nitrato, enquanto que para a dosagem de 50 mg/L de nitrato ocorreu uma redução de aproximadamente 13 % de sulfeto. Não foi observada uma geração significativa de sulfeto (aproximadamente 10 mg/L) nas temperaturas de 55 °C e 80 °C.

Já para o tempo de 14 dias não foi observada geração de H<sub>2</sub>S nas temperaturas de 55 °C e 80 °C, e nas temperaturas de 30 °C não foram observadas reduções na concentração de sulfeto, que se manteve em aproximadamente 180 mg/L de H<sub>2</sub>S.

No tempo de 28 dias, há um aumento da geração de H<sub>2</sub>S nas temperaturas de 55 °C e concentrações de nitrato de 110 mg/L e 70 mg/L, enquanto na temperatura de 80 °C foi observado um ligeiro aumento do sulfeto biogênico na dosagem de 90 mg/L de nitrato. Já na temperatura de 30 °C a geração de sulfeto torna a aumentar.

Confrontando com os resultados microbiológicos, também foi observado um decréscimo nas populações de bactérias redutoras de nitrato, tanto as BRNorg quanto as BRN-OS. É possível que após esse período o nitrato dosado tenha sido totalmente consumido pelos microrganismos redutores de nitrato. Com isso, as BRS devem voltar a consumir o sulfato disponível e, conseqüentemente, retomar o metabolismo de geração de H<sub>2</sub>S.

## Conclusões

A biocompetição estimulada pela presença do nitrato foi confirmada, incentivando o aumento na concentração dos grupos de BRNorg e BRN-OS, em detrimento do grupo das BRS. Apesar das BRS ainda estarem presentes no meio reacional, verificou-se que sua atividade (produção de H<sub>2</sub>S) estava reduzida. No entanto, com a supressão do nitrato, as BRS voltaram a consumir o sulfato disponível e a gerar o H<sub>2</sub>S, o que endossa a conclusão de que o nitrato exerce efeito inibidor sobre o metabolismo de redução de sulfato.

Temperaturas acima de 55 °C limitaram o crescimento dos grupos microbianos avaliados. Portanto, a eficácia do nitrato para controlar o metabolismo dos microrganismos estudados deve ser maior em reservatórios com altas temperaturas.

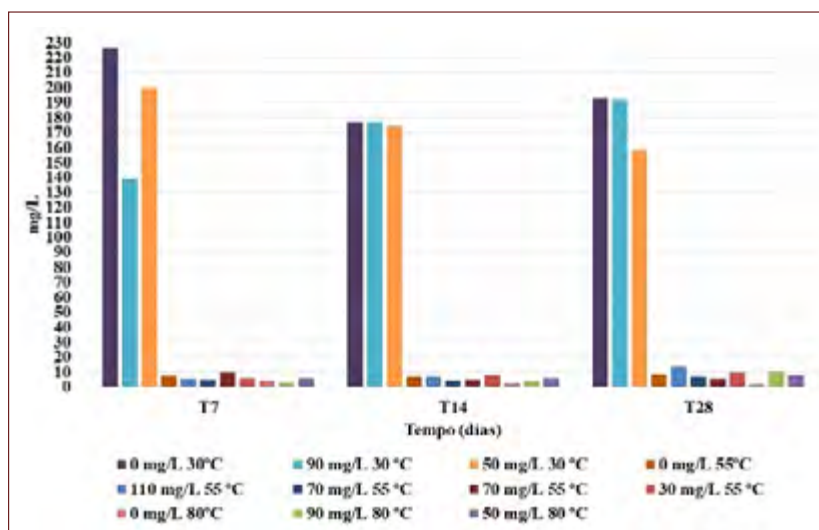


Figura 4 - Avaliação do efeito do nitrato x temperatura ao longo do tempo para o teor de Sulfeto Total.



Apesar de ter sido observado que a temperatura teve uma influência considerável no metabolismo dos grupos estudados, recomenda-se que essa variável seja reavaliada utilizando inóculos que tenham sido obtidos através de cultivos incubados sob as mesmas temperaturas selecionadas para os ensaios.

A mitigação da geração biológica de sulfeto foi constatada a 90 mg/L de nitrato, na temperatura de 30 °C em 7 dias.

### Referências bibliográficas

- (1) TANJI, Y., TOYAMA, K., HASEGAWA, R., MIYANAGA, K. Biological souring of crude oil under anaerobic conditions. *Biochemical Engineering Journal*, v. 90, p. 114-120, 2014.
- (2) WEIJMA, J., BOTS, E. A. A., TANDLINGER, G., STAMS, A. J. M., POL, L. W. H. LETTINGA, G. Optimisation of sulphate reduction in a methanol-fed thermophilic bioreactor. *Water Research*, v. 36, n. 7, p. 1825-1833, 2002.
- (3) HANDA, T., LIM, C. P., TAKASE, Y., MIYANAGA, K., TOMOE, Y., TANJI, Y. Microbial and chemical characterizations of oil field water through artificial souring experiment. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, v. 43, n. 9, p. 792-797, 2010.
- (4) HUBERT, C.; VOORDOUW, G. Oil field souring control by nitrate-reducing *Sulfurospirillum* spp. that outcompete sulfate-reducing bacteria for organic electron donors. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 73, n. 8, p. 2644-2652, 2007.
- (5) POSTGATE, J.R. *The sulphate-reducing bacteria*. New York: Press Syndicate of the University of Cambridge, 1984.
- (6) EDEN, B., LAYCOCK, P. J., FIELDER, M. *Oilfield Reservoir Souring*. 1993.
- (7) MADIGAN, M. T., MARTINKO, J. M., BENDER, K. S., BUCKLEY, D. S., STAHL, D. A. *Microbiologia de Brock*. Person Education, 2016.
- (8) ROTHE, O.; THOMM, M. A simplified method for the cultivation of extreme anaerobic Archaea based on the use of sodium sulfite as reducing agent. *Extremophiles : life under extreme conditions*, v. 4, p. 247-252, 2000.
- (9) SÁNCHEZ-ANDREA, I., STAMS, A. J. M., HEDRICH, S., ÑANCUCHEO, I., JOHNSON, D. B. *Desulfosporosinus acididurans* sp. nov.: an acidophilic sulfate-reducing bacterium isolated from acidic sediments. *Extremophiles*, v. 19, n. 1, p. 39-47, 2015.
- (10) MARIETOU, A. Nitrate reduction in sulfate-reducing bacteria. *FEMS Microbiology Letters*, v. 363, n. 15, p. 2016-2019, 2016.
- (11) MARIETOU, A., GRIFFITHS, L., COLE, J. Preferential reduction of the thermodynamically less favorable electron acceptor, sulfate, by a nitrate-reducing strain of the sulfate-reducing bacterium *Desulfovibrio desulfuricans* 27774. *Journal of Bacteriology*, v. 191, n. 3, p. 882-889, 2009.
- (12) MYHR, S., LILLEBØ, B. L., SUNDE, E., BEEDER, J., TORSVIK, T. Inhibition of microbial H<sub>2</sub>S production in an oil reservoir model column by nitrate injection. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 58, n. 3, p. 400-408, 2002.
- (13) SOUSA, K., CAMMAROTA, M. C., SÉRVULO, E. F. C. Efeito da aplicação de nitrato na redução biogênica de sulfeto sob diferentes concentrações iniciais de bactérias redutoras de nitrato e sulfato. *Química Nova*, v. 33, n. 2, p. 273-278, 2010.

# O estado da arte da corrosão pelo etanol combustível

Célia Aparecida Lino dos Santos<sup>a</sup>; Lorena Cristina de Oliveira Tiroel<sup>b</sup>; Elcio Cruz de Oliveira<sup>c</sup>; Neusvaldo Lira de Almeida<sup>d</sup>

**Abstract:** Brazil is the world's largest producer of sugar cane and of sugar and the second largest producer of fuel ethanol. Ethanol has been using in the Brazilian energy matrix as a vehicular fuel since the 1970s with a consolidated transport, storage and distribution infrastructure. In the 1970s and 1980s, many studies were carried out in the country to verify the behavior of ethanol derived from sugar cane on the corrosion of metallic materials. Nowadays, other challenges have arisen, for example, ethanol is produced from sugarcane, maize and lignocellulosic products, called second generation ethanol. Ethanol fuel is an organic compound capable of solubilizing polar compounds such as water and non-polar such as gasoline independent of its source of production. This behavior allows several compounds to interact and participate in the corrosion processes on various metallic materials. The objective of this work is to present, in the form of a bibliographical review article, the state of the art of corrosion of steel alloys used in tanks and pipelines by fuel ethanol and its blends with gasoline.

**Keywords:** fuel ethanol; corrosion; metallic material; stress corrosion cracking.

**Resumo:** O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar e de açúcar e o segundo maior produtor mundial de etanol combustível; sendo que, desde a década de 1970, utiliza-o em sua matriz energética como combustível veicular dispondo de consolidada infraestrutura de transporte, armazenagem e distribuição desse produto. Nas décadas de 1970 e 1980, muitos estudos foram desenvolvidos no país com o objetivo de verificar o comportamento do etanol de cana de açúcar frente à corrosão dos materiais metálicos. Atualmente, outros desafios surgiram, como por exemplo, produz-se etanol a partir da cana de açúcar, do milho e de produtos lignocelulósicos, o denominado etanol de segunda geração. Independente da sua fonte de produção, o etanol combustível é um composto orgânico capaz de solubilizar compostos polares como a água e apolares como a gasolina. Esse comportamento permite que vários compostos interajam e participem dos processos de corrosão frente a diversos materiais metálicos. O objetivo desse trabalho é apresentar, na forma de artigo de revisão bibliográfica, o estado da arte da corrosão de ligas de aço empregadas em tanques e dutos pelo etanol combustível e suas misturas com gasolina.

**Palavras-chave:** etanol combustível; corrosão; material metálico, corrosão sob tensão.

a Dra. em Ciências (Físico-Química), Bel<sup>a</sup> e Lic<sup>a</sup> em Química, Laboratório de Corrosão e Proteção - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A - IPT

b Me Eng. Química - Eng<sup>a</sup> de Terminais e Dutos - PETROBRAS TRANSPORTES S.A

c D.Sc., Desenvolvimento Tecnológico e Automação / Petrobras Transporte S.A. & PósMQI / PUC-Rio

d Me. Eng. Metalurgia e Materiais, Físico, Laboratório de Corrosão e Proteção - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A - IPT

## Introdução

O Brasil é o país com ampla experiência em produção, armazenagem e distribuição de etanol combustível anidro para ser adicionado à gasolina e álcool hidratado para abastecimento direto da frota de veículos leves. Desde meados da década de 1970, o país se estruturou e tem mantido o *know-how* nesse setor.

Esse trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre a corrosão de ligas de aço-carbono empregadas em tanques e dutos pelo etanol combustível e suas misturas com gasolina e abordará, também, os desafios que as novas tecnologias de produção de etanol reservam ao mercado consumidor nacional.

## Metodologia

A revisão bibliográfica abrangeu as seguintes bases de dados:

- ISI Web of Knowledge.
- SciELO Citation Index.
- Scopus.
- Repositórios digitais de dissertações e teses.

Todas as buscas foram feitas com base nas palavras-chave contidas no título e no resumo e as estratégias de buscas empregadas nas bases de dados e utilizaram as seguintes palavras-chave:

- Fuel ethanol and corrosion.
- Fuel ethanol blend and corrosion.
- Fuel ethanol and corrosion inhibitor.
- Fuel ethanol and stress corrosion cracking and carbon steel.
- Fuel ethanol and multi-product pipeline transport and corrosion.

## Revisão bibliográfica

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar e de açúcar e o segundo maior produtor mundial de etanol (álcool etílico) combustível, ficando atrás somente dos Estados Unidos da América. O Brasil também é o pioneiro na utilização de etanol como combustível veicular

a partir da implementação do PROÁLCOOL (Programa Nacional do Álcool), em 1975, quando o álcool etílico hidratado combustível (AEHC, 95 % de etanol e 5 % de água) passou a ser empregado diretamente nos veículos leves. Entretanto, desde 1931, a adição de 5% de álcool etílico anidro combustível (AEAC) à gasolina é obrigatória (1).

A quantidade de etanol anidro adicionado à gasolina variou muito ao longo dos anos; devido, inicialmente, à crise mundial do petróleo na década de 1970 e, posteriormente, às flutuações de oferta e dos preços de mercado do etanol combustível e do açúcar. Desde 2015, o percentual obrigatório de etanol anidro combustível na gasolina comum é de 27% e na gasolina premium é de 25 %, conforme Portaria Nº 75, de 5 de março de 2015, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2) e Resolução Nº 1, de 4 de março de 2015, do Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (3).

A partir do PROÁLCOOL, o país desenvolveu uma infraestrutura de produção e de distribuição de combustíveis baseada em diversos modais de transporte (rodoviário, ferroviário, fluvial e dutoviário) e sistemas intermediários de armazenagem, Figura 1, (4).

O etanol das usinas produtoras é recebido por modal rodoviário e despachado por diferentes modais, em geral, aquele que proporcione maior economia, ferroviário; fluvial ou dutoviário, para os terminais ou as bases primárias das distribuidoras de combustível, onde se realiza a mistura com gasolina. A gasolina com etanol (gasolina C) é distribuída para as bases secundárias ou diretamente aos postos revendedores das bandeiras nacionais e multinacionais, Figura 1, (4).

Esse complexo sistema de recepção e distribuição do etanol combustível exige manutenção constante porque movimentam volumes expressivos diariamente e, também, porque o transporte do etanol exige cuidados adicionais devido à sua elevada higroscopicidade e maior capacidade de dissolução de compostos em comparação com os derivados de petróleo (4).

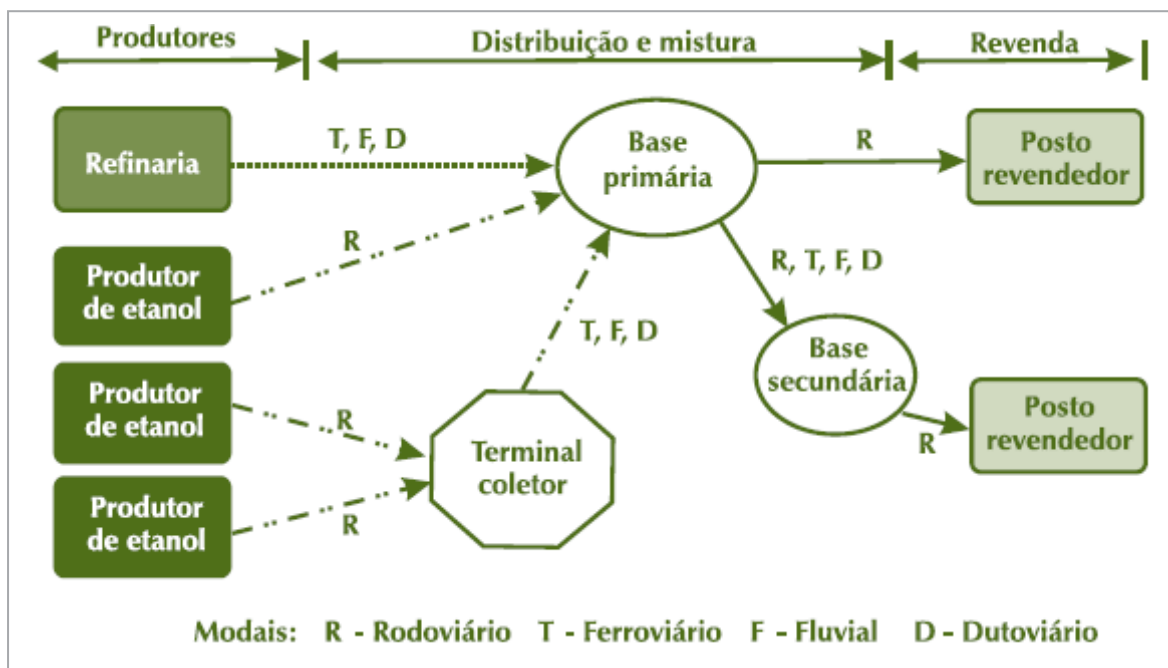


Figura 1 - Representação esquemática da produção e distribuição de combustível (gasolina e etanol) no Brasil.  
Fonte: Adaptado de (4).

Quando o Brasil implementou o programa PROÁLCOOL, houve um período de muitos trabalhos relacionados à corrosão do álcool combustível frente aos diversos materiais metálicos utilizados nos automóveis da época. O etanol comercializado, então, era totalmente produzido a partir da cana de açúcar e se mostrou mais agressivo que a gasolina. Foi necessário adaptar os veículos ao novo combustível introduzido no mercado.

Um dos trabalhos pioneiros foi desenvolvido por Tanaka et al. (5). Os autores estudaram o efeito de contaminantes sobre a corrosão do aço carbono pelo álcool carburante. Esse estudo foi conduzido por meio de ensaios de imersão para a determinação da perda de espessura dos corpos de prova que foram expostos ao álcool carburante (AEHC) sem e com a adição individual de íons cloretos, íons cúpricos e ácido acético. Os ensaios de imersão foram realizados em béqueres cobertos por películas plásticas flexíveis e em béqueres não cobertos.

Segundo Tanaka et al. (5), foi considerada a possibilidade de realizar ensaios de polarização linear, no entanto, face à elevada resistividade

do meio, não foi possível compensar a queda ôhmica com a instrumentação disponível à época. Recusou-se, também, empregar um eletrólito suporte para não alterar as propriedades intrínsecas do AEHC.

Os resultados mostraram que (5):

- os valores de perda de espessura foram muito maiores para os ensaios realizados com o béquer descoberto do que coberto;
- as condições das soluções alcoólicas podem ter sofrido alterações em função da evaporação do etanol e da variação do teor de água;
- a corrosão em meio de AEHC sem ou com aditivos era do tipo pite;
- houve um tempo de incubação antes da ocorrência dos pites para os meios de AEHC sem aditivos e adicionados individualmente de íons cloreto e de íons cúpricos, sendo que a taxa de corrosão aumentou com o teor de cloretos e diminuiu com a adição de íons cúpricos;
- o comportamento do ácido acético não ficou bem definido.

Kajimoto e Wolyneć (6) desenvolveram trabalho intitulado "A avaliação da resistência à corrosão de revestimentos metálicos em álcool etílico hidratado combustível (AEHC) Parte I – Ensaio em laboratório". Nesse trabalho, foram realizados ensaios de imersão em corpos de prova de aço-carbono revestidos com alumínio (aspersão térmica); cádmio; cádmio bicromatizado; chumbo; cromo duro; Dacromet (marca comercial de um revestimento especial de zinco); fosfatos; níquel (eletrolítico e deposição química-química); zinco; zinco bicromatizado e zinco/alumínio, além do alumínio anodizado. Os corpos de prova foram ensaiados em AEHC sem e com a adição individual de íons cloretos (NaCl) e íons sulfatos ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ou  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Os revestimentos de cádmio e de cromo duro apresentaram o melhor desempenho frente ao AEHC; sua resistência à corrosão não foi afetada pelos ânions cloretos e sulfatos em concentrações de até 10 mg/100 mL. O alumínio anodizado (óxido de alumínio) e o revestimento Dacromet apresentaram bom desempenho desde que se garantisse a continuidade do revestimento; a presença de cloretos e sulfatos diminuiu a resistência da camada do óxido de alumínio enquanto que o revestimento Dacromet foi afetado somente pelos cloretos. Os revestimentos de níquel eletrolítico e níquel químico apresentaram um desempenho satisfatório, porém, recomendou-se que fosse aplicada uma camada intermediária de um revestimento mais nobre, por exemplo, de cobre. O níquel eletrolítico foi afetado pelos cloretos e o níquel químico foi afetado pelos cloretos e sulfatos. O revestimento de estanho apresentou bom desempenho, porém, recomendou-se que fosse aplicada uma camada intermediária de um revestimento mais nobre, por exemplo, de cobre, à semelhança do revestimento de níquel. Os revestimentos de alumínio, de chumbo, de fosfatos, de zinco, e de zinco-alumínio apresentaram desempenho insatisfatório frente ao AEHC. A cromatização retardou o início da corrosão tanto de zinco como do cádmio (6).

Tanaka et al. (7) desenvolveram trabalho intitulado "A avaliação da resistência à corrosão de

revestimentos metálicos em álcool etílico hidratado combustível (AEHC) Parte II – Comparação entre resultados de ensaios em laboratório e em campo". Como o próprio título revela, foi comparado o revestimento de componentes retirados de veículos da primeira geração de automóveis movidos a álcool após cerca de 30.000 km de utilização normal em cidade e em rodovia. Os componentes revestidos com fosfato e com zinco apresentaram desempenho insatisfatório, conforme os ensaios em laboratório haviam indicado. Para o revestimento de estanho, percebeu-se que defeitos causados durante a conformação mecânica por estampagem poderiam ter sido uma fonte de dano ao revestimento. Observou-se também pontos de corrosão do substrato que revelaram a presença de porosidade na camada de estanho fato que reforçou a ideia da necessidade de uma camada intermediária de um metal mais nobre para a proteção do substrato. O revestimento de cádmio resistiu à corrosão para os componentes em que não havia escoamento de fluido e sofreu danos para os componentes sob a influência de escoamento de fluido. De modo geral, o desempenho dos revestimentos ensaiados em laboratório apresentou boa correlação com os revestimentos dos componentes retirados dos veículos após 30.000 km; destacou-se, porém, a influência que o escoamento de fluido pode exercer sobre os revestimentos quando da utilização normal do veículo.

Segundo Wolyneć (1984) citado por (1), com a substituição ou com o recobrimento de mais de 300 componentes de veículos leves, os problemas de corrosão foram diminuídos.

Tanaka (1983) em seu trabalho intitulado "Corrosão de metais pelos álcoois: revisão bibliográfica" fez uma análise abrangente do efeito dos álcoois (metanol, etanol e álcoois superiores) frente a vários metais e ligas metálicas (8). Nesse trabalho, um tópico foi dedicado ao AEHC frente ao aço-carbono e a diversos revestimentos metálicos, e, um fato que merece destaque é o trabalho de Costa Jr e Guimarães que trabalharam com corpos de prova instalados em oleodutos, citado por (8). Eles verificaram

que as taxas de corrosão do aço-carbono eram maiores naqueles corpos de prova que haviam entrado em contato alternado com hidrocarbonetos e álcool, chegando a ser cerca de seis vezes superior em relação à taxa de corrosão de corpos de prova que foram instalados em dutos que transportavam exclusivamente álcool hidratado, ressaltando o efeito deletério que a contaminação com gasolina por acarretar ao álcool combustível.

Tanaka (1984), em sua tese de doutorado intitulada "Corrosão do aço carbono pelo etanol", realizou estudos empregando elipsometria com o objetivo de compreender o crescimento da película de óxidos sobre o aço contendo 0,44 % de carbono em meio de etanol anidro P.A. desaerado com gás nitrogênio. Neste sistema, foram estudados os seguintes contaminantes: água; cloreto de sódio e os ácidos acético, cítrico, fosfórico, nítrico e sulfúrico (9).

Os ensaios elipsométricos mostraram que a adição da água, de cloreto de sódio e dos ácidos citados elevaram a taxa de crescimento da película superficial em relação ao etanol anidro P.A. A elevação da taxa de crescimento da película chegou a ser superior cerca de duas ordens de grandeza com a adição de 50 % de água ao etanol anidro e, quatro ordens de grandeza maior para a adição simultânea de 75 mg L<sup>-1</sup> de ácido sulfúrico e 5 % de água (9).

Tanaka (1984) verificou que a adição de 50 % de água e a adição de 0,5 mg L<sup>-1</sup> de cloreto de sódio determinou a ocorrência de corrosão localizada (pites) ao final dos ensaios; que a adição de 100 mg de ácido fosfórico levou ao crescimento de uma película superficial, provavelmente de fosfato de ferro. Verificou, também, que as superfícies ensaiadas apresentaram-se como se tivessem sido atacadas metalograficamente, logo após os ensaios com a adição simultânea de 75 mg L<sup>-1</sup> de ácido sulfúrico e 5 % de água (9).

Amaral (1984), em sua dissertação de mestrado intitulada "Corrosão de vários materiais metálicos em AEHC e sua inibição a 25° C", estudou o comportamento de metais e de ligas metálicas como o aço-carbono 1010, o cobre comercial, o latão (70 Cu-30 Zn) e o par galvânico

aço-carbono-latão em álcool etílico combustível sem e com aditivos como íons cloretos, acetato de sódio, ácido benzóico, trietanolamina, butanodiol e inibidor de corrosão comercial (Proal). Foram realizados ensaios de imersão e ensaios eletroquímicos de polarização anódica e catódica. Os íons cloretos aceleraram a corrosão de todos os materiais metálicos estudados em AEHC; a ausência de oxigênio acelerou a corrosão de todos os materiais metálicos estudados em AEHC; o acetato de sódio e o inibidor comercial (Proal) apresentaram a melhor inibição dos materiais metálicos frente ao AEHC; o emprego de perclorato de potássio como eletrólito suporte em AEHC nos ensaios eletroquímicos interferiu na forma das curvas de polarização do aço, do latão e do cobre.

A década de 1980 foi rica em pesquisas nacionais envolvendo o AEHC as quais foram realizadas empregando, principalmente, os ensaios de imersão. De maneira sintética, os resultados destes estudos indicaram como os principais fatores que aceleravam a corrosão em AEHC:

- pH - Cavalcanti et al. (1987); Bastos et al. (1989) citados por (1);
- íons cloreto - Wanderley et al. (1989); Vargas e Uller (1985); Guastaldi et al. (1983); Carbonel e Sathler (1982); Carbonel (1983) citados por (1);
- íons sulfato - Vargas e Uller (1985); Cavalcanti et al. (1987); Wanderley et al. (1983); Uller et al. (1984) citados por (1);
- íons acetato - Carbonel (1983) citado por (1);
- água - Vargas e Uller (1985); Cavalcanti et al. (1987); Bastos et al. (1989); Carbonel e Sathler (1982); Carbonel (1983); Uller et al. (1984) e Oliveira (1983) citados por (1).

Apesar das dificuldades experimentais para a realização de ensaios eletroquímicos em álcool combustível devido à sua baixa condutividade, muitos trabalhos foram realizados. D'alkaine et al. (1980) e D'alkaine et al. (1983) publicaram trabalhos pioneiros empregando técnicas potencioestáticas, galvanostáticas e voltamétricas (11, 12).

Athayde et al. (1987) publicaram artigo sobre o comportamento anódico do ferro em meio de etanol contendo diferentes quantidades de água. Os autores desenvolveram uma metodologia para sistemas altamente resistivos empregando-se uma célula simétrica com um eletrodo auxiliar grande e geometria fixa. Com isso, foi desenvolvido um sistema para determinar a queda ôhmica e corrigir as medições de polarização. Ficou demonstrado que era possível estudar a dissolução do ferro em etanol sem adição de qualquer eletrólito de suporte. Em relação ao íon perclorato, normalmente adicionado a este meio, verificou-se que a sua adição altera o comportamento anódico de ferro, introduz uma transição ativo-passivo e torna o metal mais ativo na região de potencial que precede a região de passivação (13).

Souza et al. (1987) realizaram ensaios de impedância eletroquímica empregando células eletroquímicas de dois e três eletrodos. As medidas realizadas com dois eletrodos mostraram-se mais sensíveis que as realizadas com a célula de três eletrodos. A adição de etanolaminas ao álcool combustível reduziu os valores de perda de massa dos corpos de prova, no entanto, a adição de trietanolamina gerou corrosão localizada (14).

Vivanco (1999), em sua tese de doutoramento intitulada "Influência da área do eletrodo na determinação da velocidade de corrosão em meios de baixa condutividade", estudou a influência da área do eletrodo na determinação da velocidade de corrosão do aço-carbono AISI 1020 em AEHC por meio de técnicas de polarização. O autor verificou que o potencial de corrosão não variou com a diminuição da área do eletrodo e, para eletrodos com diâmetros abaixo de 100  $\mu\text{m}$ , a corrente de corrosão assumiu comportamento estável com valores entre 0,13 nA a 0,25 nA (15).

Assis (2012), em sua dissertação de mestrado intitulada "Avaliação da corrosividade do etanol combustível utilizando arranjo de microeletrodos", desenvolveu um arranjo de microeletrodos de cobre construídos por fotolitografia para a verificação da queda ôhmica em AEHC

sintético contendo os valores máximos permitidos pela resolução ANP nº 36/2005. A autora verificou que a resistência do meio aumentou à medida que se diminui o diâmetro do microeletrodo quando considerado um eletrodo unitário, no entanto, a resistência diminuiu com o diâmetro do microeletrodo quando considerado num arranjo. Em relação à queda ôhmica, esta diminuiu com o decréscimo do diâmetro e por meio da compensação da queda ôhmica, observou-se que as compensações tiveram maior efeito nos microeletrodos de menor área (16).

Santos et al. (2010) desenvolveram trabalho como objetivo de verificar a corrosividade do etanol (álcool etílico anidro combustível - AEAC) a partir de soluções simuladas, por meio de ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica, utilizando-se aço-carbono como eletrodo de trabalho (com grande área) e o aço inoxidável AISI 316 como eletrodo auxiliar (com grande área) e eletrodo de quase-referência, sendo que a distância entre os eletrodos foi fixada e não se empregou eletrólito suporte. Foram estudados o etanol anidro de grau analítico sem e com a adição de água, de ácido acético e de cloreto de sódio nos limites previstos pela norma ASTM D 4806 (2009). O etanol anidro mostrou-se pouco agressivo. A adição de 1% de água e da mistura 1% de água e ácido acético ao etanol anidro não tornou os meios mais agressivos e houve o indicativo experimental da formação de uma película protetora sobre a superfície do aço-carbono nessas condições. A presença de cloreto mostrou-se agressiva indicando processo corrosivo (17).

Bragagnolo et al. (2011) estudaram a absorção de água pelo etanol anidro de diferentes fontes.

Foram estudadas três amostras de etanol: de cana de açúcar, de milho e etanol puro de qualidade analítica P. A. (anidro) e se verificou a capacidade dessas amostras absorverem vapor d'água da atmosfera. Duas condições de exposição foram consideradas: semiaberto e aberto. Para o sistema semiaberto, utilizou-se um frasco de vidro com capacidade de 550 mL e tampa metálica na qual foram feitos três furos a fim de permitir o contato das amostras testadas com o

ar atmosférico. O frasco foi preenchido com três volumes diferentes (250 mL, 375 mL e 550 mL) para cada amostra de etanol. Para o sistema aberto, empregou-se um cilindro graduado de 250 mL e um volume de 250 mL de cada amostra. Determinou-se o teor de água em função do tempo de exposição que foi de 80 horas. A determinação do teor de água foi feita pelo método de Karl Fischer (titulação potenciométrica). Para o sistema semiaberto, observou-se que, quando os frascos não estavam completamente preenchidos, a taxa de absorção de água das amostras foi praticamente a mesma (entre 0,008 %/h e 0,009 %/h para o volume de 250 mL), independentemente da origem do etanol. No entanto, quando o sistema foi completamente preenchido, a amostra de etanol de maior pureza (P.A.) apresentou a maior taxa de absorção (0,012%/h). Verificou-se também que quanto maior o espaço vazio (espaço vapor) maior a taxa de absorção de água para todas as condições estudadas. Para o sistema aberto, a taxa de absorção de água das três amostras de etanol apresentou a mesma ordem de grandeza (0,010%/h) (18).

Moreira et al. (2010) desenvolveram trabalho com etanol combustível anidro e hidratado (AEHC e AEAC). Em condições de estagnação, as quais representam eventuais momentos de parada do escoamento do produto em um duto, o etanol hidratado foi agressivo às ligas API 5L X46 e API 5L X65. Em condições de movimentação (circulação do fluido), essa agressividade não foi observada. O etanol anidro não foi agressivo às ligas API 5L X46 e API 5L X65, seja na condição de estagnação ou na condição de movimentação (exceto, se houvesse absorção acidental de água). No entanto, a agressividade das amostras de AEHC e de AEAC aumentou e houve mudança na coloração após essas amostras terem passado por dutos previamente corroídos internamente (os quais representavam o transporte do etanol por meio de polidutos). A gasolina brasileira (E25, mistura composta por 25 % AEAC em gasolina tipo A) não foi agressiva às ligas API 5L X46 e API 5L X65, tanto em condições de estagnação quanto em condições de movimento (exceto, se houvesse absorção acidental de água) (19).

Santos et al. (2011) realizaram ensaios de imersão (período de 21 dias) e de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) em etanol anidro P. A. sem e com os contaminantes que constam da norma ASTM D 4806 (ASTM, 2006c), em seus limites máximos, com o objetivo de verificar a agressividade dos aditivos estudados. Os ensaios de imersão e de EIE foram realizados em meio aerado (com borbulhamento de ar sintético superseco) e desaerado (com borbulhamento de nitrogênio ultrapuro). Os meios estudados foram: etanol anidro P. A. (com até 0,2 % (v/v) de água) e etanol P. A. (com até 1,0 % (v/v) de água). Além destes meios, foram estudados, individualmente, os seguintes contaminantes: ácido acético; cloreto de sódio; gasolina (desnaturante) e metanol todos dissolvidos em etanol P. A. (com até 1,0 % (v/v) de água). Para que os ensaios de imersão pudessem ser devidamente controlados, foram desenvolvidos frascos de imersão especiais que permitiram a manutenção dos gases injetados e, também, a não absorção de água da atmosfera pelo etanol. Nos ensaios de imersão em meio aerado, para quaisquer das condições estudadas, não se observou corrosão. Já para o meio desaerado, foram observadas manchas de corrosão na região de fixação dos corpos de prova (região de possível formação de fresta) para os meios contendo cloreto de sódio e ácido acético. Os ensaios de EIE mostraram que o cloreto de sódio foi o contaminante com maior potencial corrosivo, seja em meio aerado ou desaerado. Os meios desaerados contendo cloreto de sódio e ácido acético mostraram-se susceptíveis ao surgimento de corrosão em frestas e os ensaios de EIE apontaram o cloreto de sódio como o contaminante mais agressivo, seja em meio aerado ou desaerado (20).

Santos et al. (2012) verificaram a ocorrência de corrosão em fresta do aço baixo carbono em etanol anidro combustível (AEAC). Amostras de etanol coletadas em diferentes pontos da refinaria REPLAN e uma amostra de etanol importado foram ensaiadas. Os ensaios de imersão foram realizados por 21 dias e se utilizou o etanol anidro P.A. para comparação, sob três atmosferas diferentes: aeração forçada, naturalmente aerada e desaerada. Os



corpos de prova foram fixados por meio de um dispositivo de formação de frestas de Teflon os quais foram empregados para verificar a susceptibilidade à corrosão em frestas. Nos ensaios realizados com etanol Replan e com etanol anidro P.A., sob atmosfera de aeração forçada e naturalmente aerada, não se observou corrosão em quaisquer dos corpos de prova seja em suas superfícies, ou, nas frestas. Para os ensaios sob atmosfera desaerada, todos os lotes de etanol Replan apresentaram manchas escuras somente na região de frestas. Nesta última condição, não se observou qualquer corrosão nos corpos de prova imersos em etanol anidro P.A. Para o etanol importado, foram observadas manchas escuras nas frestas para as três atmosferas estudadas. Foram realizadas análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) associada à microanálise elementar (EDS) que detectou a presença do elemento enxofre elementar nas regiões corroídas. Este resultado indicou que a contaminação do etanol por compostos de enxofre favoreceu a ocorrência de corrosão em frestas (21).

O desempenho de outras ligas frente à corrosão pelo etanol combustível foi estudado por Traldi et al. (2001), Traldi (2003) e Santos (2004) citados por (1). A resistência à corrosão de ligas de Al-Si-Cu em etanol puro ou com adição de ácido e cloretos foi avaliada por meio de ensaios de perda de massa, de espectroscopia de impedância eletroquímica e polarização potenciodinâmica. Essa liga, que é empregada em cilindros automotivos, não apresentou corrosão significativa em etanol (1).

Lins et al. (2005) realizaram ensaios de imersão de ligas de Fe-Mn-Al-Si-C em gasolina, álcool combustível, solução de 40 % de ácido láctico, solução de 3 % de cloreto de sódio e em água em ebulição. As ligas imersas em álcool combustível (AEHC) apresentaram corrosão localizada por pites, com aumento da concentração de Fe, Mn, Cl e SiO<sub>2</sub> na solução alcoólica após o período de imersão (22).

Em 2004, um novo tema relacionado ao etanol combustível foi abordado por Kane et al. (2004). Tratou-se de um estudo sobre corrosão sob

tensão fraturante (*stress corrosion cracking - SCC*) em sistemas de armazenagem e transporte de etanol combustível. Os autores

verificaram que os fatores que aumentaram a agressividade e provocaram a falha do aço-carbono por SCC em etanol combustível foram o teor de água, a diminuição do pH e a concentração de enxofre, sulfato e cloreto (23).

Na esteira desse estudo, muitos outros trabalhos foram desenvolvidos (24-34). Em linhas gerais eles tratam do estudo da corrosão sob tensão fraturante do aço-carbono em etanol combustível ou em soluções simuladas considerando-se os compostos presentes na norma ASTM D 4806. O efeito da adição individual ou de todos os compostos previstos na norma já foi bastante explorado assim como a microestrutura dos aços e o efeito de inclusões metálicas. Os principais agentes causadores de SCC sobre aços-carbono em etanol combustível apontados nesses trabalhos foram a quantidade de oxigênio, o teor de água, a acidez e a presença de cloretos.

Vale ressaltar que grupos de pesquisas brasileiros também se envolveram com o entendimento da ocorrência de SCC em etanol de cana de açúcar (27-29). Houve o desenvolvimento da metodologia dos ensaios de tração com baixa tensão de deformação (27) e o estudo da influência de contaminantes sobre a ocorrência de SCC (28).

Santos et al. (2013) (29) estudaram a corrosão sob tensão do aço API 5L X70 em etanol de diferentes procedências: etanol anidro P.A., etanol da cana de açúcar (distintos lotes de uma refinaria) e etanol de milho. Foram utilizados, nos ensaios, corpos de prova com entalhe em forma geométrica "V" sob reduzida taxa de deformação ( $1,0 \times 10^{-5} \text{ mm.s}^{-1}$ ) e atmosferas de nitrogênio ultrapuro e ar sintético superseco. O etanol anidro P.A. não apresentou corrosão sob tensão; o etanol de cana de açúcar manifestou uma ligeira ação agressiva, particularmente para a atmosfera de ar sintético e o etanol de milho foi bastante agressivo na atmosfera de ar sintético (29).

Santos et al. (2018) (34) estudaram o comportamento do aço API 5L X70 em meio de solução

simulada de etanol combustível segundo a norma ASTM D 4806-11, substituindo-se a gasolina empregada como desnaturante pelo hidrocarboneto alifático hexano, além das soluções de etanol P.A. contendo hexano, íons cloretos e ácido acético adicionados individualmente. Os ensaios foram realizados sob atmosfera de ar sintético superseco e de nitrogênio ultrapuro. O meio mais agressivo foi a solução simulada com gasolina seguida da solução simulada contendo hexano. A solução de etanol P.A. com hexano e a solução de etanol P.A. com íons cloreto foram igualmente agressivas e a solução de etanol P.A. com ácido acético foi a menos agressiva. A atmosfera de nitrogênio tornou o meio de etanol P. A. com hexano mais agressivo do que sob a atmosfera de ar sintético. A presença de n-hexano mostrou-se tão agressivo quanto a presença dos íons cloreto, destacando a ação deletéria de hidrocarbonetos em misturas com etanol (34).

A experiência brasileira com a produção, distribuição e uso do etanol combustível foi descrita por Belincanta et al. (2016) (35). Nesse trabalho, os autores discutiram as características do mercado interno em que os veículos leves podem ser abastecidos com gasolina contendo de 18 % (v/v) a até 27,5 % (v/v) de etanol anidro ou com etanol hidratado, 7 % (v/v) de água. O risco de separação de fase das misturas gasolina-etanol induzida pela possível presença de água no etanol anidro é minimizado porque essa mistura é feita no terminal de distribuição, no próprio caminhão-tanque, ao invés de distribuí-la por meio de dutos. No caso do etanol, ele pode ser distribuído por meio de dutos ou caminhões, sendo que são poucos os dutos exclusivos para etanol. Para monitorar a qualidade desse produto, os autores indicaram vários pontos de amostragem como: nos tanques de armazenamento, nos dutos e em embarcações, se for o caso. Para essas amostras, os autores destacaram a importância de se avaliar os seguintes parâmetros indicativos da qualidade do produto: quantidade de hidrocarbonetos e de água, cor, condutividade e acidez. Os autores consideraram de grande importância a tarefa de monitoramento dos vários setores envolvidos, a saber, distribuição, transporte e

armazenamento do etanol para manter a qualidade do produto até o consumidor final.

## Discussão

O emprego do etanol como combustível para veículos leves já produziu muitos estudos no campo da corrosão de materiais metálicos, no entanto, não se esgotou o conhecimento. A produção de etanol se diversificou muito no início do século XXI. Além da sua produção a partir de biomassa rica em açúcares (cana de açúcar e beterraba) e da biomassa rica em amido (milho, trigo, mandioca), pode-se obter etanol a partir de biomassa celulósica, Figura 2.

O etanol produzido a partir da celulose (palha da cana ou bagaço da cana) recebeu a denominação de etanol de segunda geração. Esse etanol está sendo incorporado pelas usinas produtoras e, segundo Boosle (2018) (36), a produção combinada de etanol de primeira geração (obtido a partir de biomassa rica em açúcares ou amido) e de segunda geração (celulósico), denominado de etanol 1,5 G, será uma realidade no Brasil até 2020.

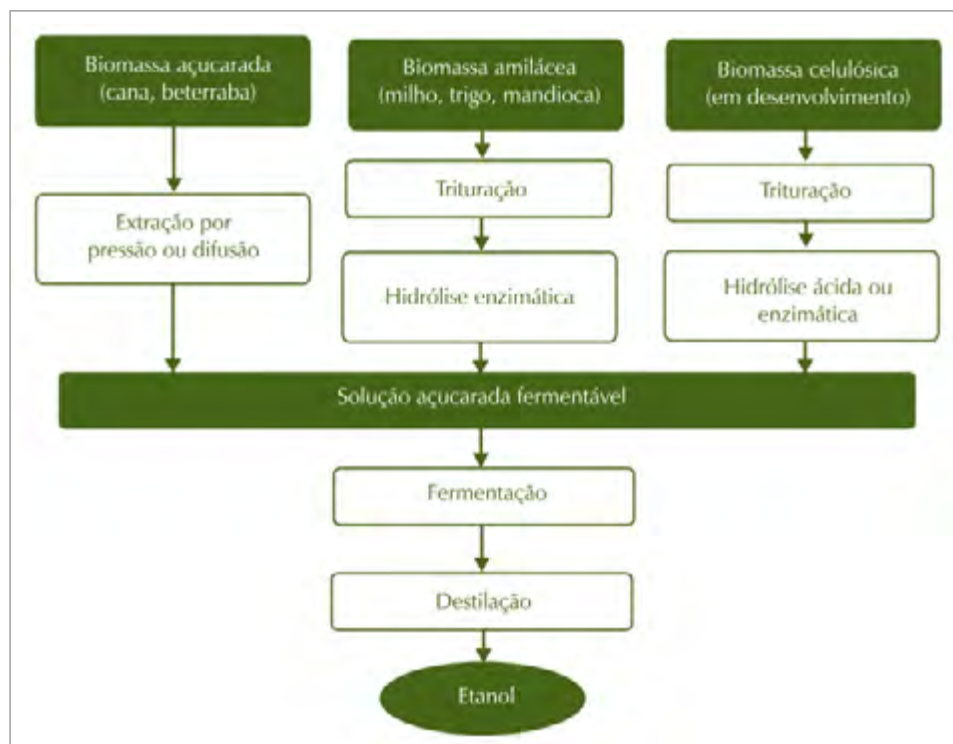
Diante desse cenário, teremos no mercado um etanol combustível que deverá atender às especificações da Resolução ANP N° 36 e cujo comportamento pode ser distinto do etanol combustível atual devido ao seu novo processo de obtenção.

Com isso, o vasto conhecimento já acumulado será de grande importância para a compreensão do comportamento do etanol combustível 1,5 G frente aos materiais metálicos porque já conhecemos os tipos de corrosão que podem ocorrer, os metais e os revestimentos adequados e os principais compostos orgânicos e inorgânicos agressivos.

## Conclusões

O Brasil foi o pioneiro no emprego do etanol combustível em sua matriz energética. No passado, a adoção desse combustível foi motivada pela crise do petróleo; nos dias atuais, o seu uso colabora para a redução da emissão de gases do efeito estufa.

Figura 2 - Representação esquemática das fontes de biomassa para a produção de etanol. Fonte: Adaptado de (4).



Uma infraestrutura coesa e robusta foi construída para viabilizar a produção e distribuição do etanol e um amplo estudo para verificação da compatibilidade de diversos metais em etanol combustível foi realizado pela comunidade científica brasileira entre as décadas de 1970 e 1980. Nos veículos leves, componentes de chumbo, de zinco e suas ligas foram substituídos ou revestidos por camadas de melhor desempenho frente ao etanol, como por exemplo, pelo revestimento de níquel. Os compostos especificados nas normas foram estudados individual e conjuntamente com os estudos relacionados à corrosão por tensão fraturante em etanol combustível. Os principais fatores agressivos foram: teor de água, teor de cloretos, teor de hidrocarbonetos, acidez e quantidade de oxigênio.

O momento atual será dedicado à consolidação do conhecimento das características do etanol de segunda geração e suas misturas frente à corrosão metálica.

### Referências bibliográficas

AMBROZIN, A. R. P.; KURI, S. E. Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e biocombustíveis. *Química Nova*, v. 32, n. 7, p. 1910-1916, 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA (2015). Portaria Mapa Nº 75 de 05/03/2015. [S.l.]: DOU, 06 mar. 2015.

CONSELHO INTERMINISTERIAL DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL - CIMA. (2015). Resolução Cima Nº 1 de 04/03/2015. [S.l.]: DO, 06 mar. 2015.

BNDES (ed.). *Bioetanol de cana-de-açúcar energia para o desenvolvimento sustentável*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2008.

TANAKA, D. K.; WOLYNEC, S.; FAIRBANKS, S.; PINTO, F. B. P. Efeito de contaminantes sobre a corrosão de aço carbono pelo álcool carburante. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CORROSÃO, 8, 1981, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Corrosão, 1981. p. 59-69.

KAJIMOTO, Z. P.; WOLYNEC, S. Avaliação da resistência à corrosão de revestimentos metálicos em álcool etílico hidratado combustível (AEHC). Parte I - Ensaio em laboratório. In: 3º Simpósio Nacional de Corrosão - Produção e Utilização do Álcool, 1983, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia/ Associação Brasileira de Corrosão, 1983. p. 237-249.

TANAKA, D. K.; KAJIMOTO, Z. P.; WOLYNEC, S. Avaliação da resistência à corrosão de revestimentos metálicos em álcool etílico hidratado combustível (AEHC). Parte II - Comparação entre resultados de ensaios em laboratório e em campo. In: 3º Simpósio Nacional de Corrosão - Produção e Utilização do Álcool, 1983, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia/ Associação Brasileira de Corrosão, 1983. p. 93-103.

TANAKA, D. K.; WOLYNEC, S. Corrosão de metais pelos álcoois: revisão bibliográfica. In: 3º Simpósio Nacional de Corrosão - Produção e Utilização do Álcool, 1983, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia/ Associação Brasileira de Corrosão, 1983. p. 1-38.

- TANAKA, D. K. **Corrosão do aço carbono pelo etanol**. 1984. 170 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1984.
- AMARAL, S. T. G. **Corrosão de vários materiais metálicos em álcool etílico hidratado combustível e sua inibição a 25° C**. 1984. 117 p. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.
- D'ALKAINE, C. V.; RÚVOLO FILHO, A.; BULHÕES, L. O. S. Estudo da corrosão do sistema etanol aço 1020 parte I – técnicas potencioestáticas e galvanostáticas. In: Seminário Nacional de Corrosão, 7., junho 1980, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Corrosão, 1980. p. 159-168.
- D'ALKAINE, C. V.; RÚVOLO FILHO, A.; BULHÕES, L. O. S. Estudo da corrosão do sistema etanol aço 1020 parte II – voltamétricas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ELETROQUÍMICA E ELETROANALÍTICA, 2., junho 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 1983. p. 139-146.
- ATHAYDE, M. G.; MATTOS, O. R. ; SATHLER, L. The anodic behaviour of iron in ethanol-water solutions in the presence and absence of NaClO<sub>4</sub>, as the supporting electrolyte. **Electrochimica Acta**, v. 32, n. 6, p. 909-913, 1987.
- SOUZA, J. P.; MATTOS, O. R.; SATHLER, S.; TAKENOUTI, H. Impedance measurements of corroding mild steel in an automotive fuel ethanol with and without inhibitor in a two and three electrode cell. **Corrosion Science**, v. 27, n. 21, p. 1351-1364, 1987.
- VIVANCO, M. J. F. **Influência da área do eletrodo na determinação da velocidade de corrosão em meios de baixa condutividade**. 1999. 105 p. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
- ASSIS, C. M. de. **Avaliação da corrosividade do etanol combustível utilizando arranjo de microeletrodos**. 2012. 70 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
- SANTOS, C. A. L. dos; PANOSSIAN, Z.; PIMENTA, G. de S. Estudos de corrosão em meio de etanol. In: INTERCORR 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABRACO, 2010.
- BRAGAGNOLO, G. M.; PANOSSIAN, Z.; SANTOS, C. A. L. dos; PIMENTA, G. S. Study of water absorption by anhydrous ethanol from different sources. In: Rio Pipeline 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBP, 2011.
- MOREIRA, A. R.; PANOSSIAN, Z.; BRAGAGNOLO, G. M.; SANTOS, C. A. L. dos; GANDUR, C.; SOUZA, E. M. de. Corrosividade do etanol anidro, do etanol hidratado e da mistura combustível E25 (25% etanol/75% gasolina). In: INTERCORR 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABRACO, 2010.
- SANTOS, C. A. L.; PANOSSIAN, Z.; SANTOS, J. V. S.; BARBOSA, E. A.; PIMENTA, G. S. Ensaio de corrosão em meios de etanol: estudo individual dos possíveis contaminantes que constam da norma ASTM D 4806. In: Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, COTEQ, 11., 2011, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: ABENDI, 2011.
- SANTOS, C. A. L. dos; SANTOS, J. V. S. dos; FLOR, J. P.; PANOSSIAN, Z.; PIMENTA, G. S. Verificação da ocorrência de corrosão em frestas em etanol anidro por meio de ensaios de imersão. In: INTERCORR 2012, Salvador. **Anais...** Salvador: ABRACO, 2012.
- LINS, V. F. C.; FREITAS, M. A.; PAULA e SILVA, E. M. P. Corrosion resistance study of Fe-Mn-Al-C alloys using immersion and potentiostatic tests. **Applied Surface Science**, v. 250, n. 1-4, p. 124-134, ago. 2005.
- KANE, R. D.; MALDONADO, J. G.; KLEIN, L. J. Stress corrosion cracking in fuel ethanol: a newly recognized phenomenon. In: Corrosion 2004, New Orleans. **Anais...** New Orleans: NACE, 2004.
- LOU, X.; YANG, D.; SINGH, P. M. Effect of ethanol chemistry on stress corrosion cracking of carbon steel in fuel-grade ethanol. **Corrosion**, v. 65, n. 12, p. 785-797, 2009.
- BEAVERS, J. A.; GUI, F.; SRIDHAR, N. Effects of environmental and metallurgical factors on the stress corrosion cracking of carbon steel in fuel-grade ethanol. **Corrosion**, v. 67, n. 2, p. 0250051-02500515, 2011.
- FERRAZ, O. B.; LANDIM, R. V.; SOUZA, S. M. C. de. The use of the slow strain rate method (SSRT) according to standards: ASTM G 129/06 to evaluate the susceptibility to stress corrosion cracking of materials to different ethanol environments. In: Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, COTEQ, 11. 2011, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: ABENDI, 2011.
- FERRAZ, O. B.; LANDIM, R. V.; SOUZA, S. M. C. de; Velasco, J. A. C.; PIMENTA, G. S.; PALMIERI, I.; ALTOÉ, P.; ARAÚJO, M.; OLIVEIRA, V. de; ABUD, I. de C.; CENTENO, R. O. Susceptibility to stress corrosion cracking of steel API 5L X70 used on pipelines transport of ethanol and their mixtures/influence of contaminants. COTEQ, 11. 2011, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: ABENDI, 2011.
- GUI, F.; CONG, H.; BEAVERS, J. A.; SRIDHAR, N. Inhibition of carbon steel stress corrosion cracking in fuel grade ethanol by chemical addition or oxygen control: a feasibility. **Corrosion** 2013, n. 2202, p. 1-35, 2013.
- SANTOS, C.; JOAQUIM, A. C.; SANTOS, J.; FLOR, J.; PANOSSIAN, Z.; PIMENTA, G. Ensaio de corrosão sob tensão do aço API 5L X70 em meio de etanol. **Corros. Prot. Mater.**, v. 32, p. 19-23, 2013.
- CAO, L.; FRANKEL, G. S.; SRIDHAR, N. Effect of chloride on stress corrosion cracking susceptibility of carbon steel in simulated fuel grade ethanol. **Electrochimica Acta**, v. 104, p. 255-266, 2013.
- TORKKELI, J.; HIRSI, V.; SAUKKONEN, T.; HÄNNINEN, H. Mechanistic study of stress corrosion cracking of carbon steel in ethanol. **Materials and Corrosion**, v. 64, n. 10, p. 866-875, 2013.
- TORKKELI, J.; SAUKKONEN, T.; HÄNNINEN, H. Stress corrosion cracking of carbon steel in ethanol-gasoline blends. **Materials and Corrosion**, v. 65, n. 6, p. 605-612, 2014.
- TORKKELI, J.; SAUKKONEN, T.; HÄNNINEN, H. Effect of MnS inclusion dissolution on carbon steel stress corrosion cracking in fuel-grade ethanol. **Corrosion Science**, v. 96, p. 14-22, 2015.
- SANTOS, C. A. L. dos; PANOSSIAN, Z.; PIMENTA, G. de S. Study of the n-hexane effect in fuel-grade ethanol mixtures in terms of stress corrosion cracking of API 5L X70 steel. In: Corrosion 2018, Phoenix. **Anais...** Phoenix: NACE, 2018.
- BELINCANTA, J.; ALCHORNE, J. A.; TEIXEIRA DA SILVA, M. The Brazilian experience with ethanol fuel: aspects of production, use, quality and distribution logistics. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 33, n. 4, p. 1091-1102, dez. 2016.
- BOSSLE, R. novacana.com. 15.02.2018. <https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/nem-1g-e-nem-2g-caminho-para-etanol-competitivo-passa-pelo-1-5g/>. Acesso em: 05.03.2018.

# ESTUDO DOS DIAGRAMAS E-pH APLICADOS A REVESTIMENTOS À BASE DE PENTÓXIDO DE NIÓBIO

## Rodney Santandrea

M.Sc.Engenheiro Metalúrgico - Escola de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

## Simone L.D.C.Brasil

D.Sc.Professora, Engenheira Química - Escola de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

## Leila Y.Reznik

D.Sc.Professora, Engenheira Química - Escola de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

## Ladimir J.de Carvalho

D.Sc.Professor, Engenheiro Químico - Escola de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

## Abstract

---

Niobium pentoxide based anticorrosive coatings are designed to be used in contact with extremely aggressive substances. Its high surface hardness and excellent resistance to chemical attack allow application in several areas such as, steel, mining, chemical and petrochemical industries, as well as combating microbiological corrosion, being applied to cleaned or even corroded ferrous substrates. This study presents the results found in some works performed in the mentioned areas, highlighting the use of the E-pH diagram (Pourbaix Diagram) for a Nb-H<sub>2</sub>O system as technical support for the coating good performance. It also presents a discussion on diagram variables modifications, by means of computer simulations, which can modify both passivation and corrosion areas and the species involved in the system. It also shows examples of E-pH diagrams obtained with the aid of a software, one for industrial environment and another one for marine environment, both suitable for the application of niobium pentoxide based coating.

**Keywords:** -pH Diagram, Niobium Pentoxide, Anticorrosive Coating

## Resumo

---

Os revestimentos anticorrosivos à base de pentóxido de nióbio são projetados para uso em contato direto com substâncias extremamente agressivas. Sua alta dureza superficial e sua excelente resistência ao ataque químico permitem a aplicação em diversas áreas como: indústrias siderúrgicas, de mineração, químicas e petroquímicas, além do combate à corrosão microbiológica, aplicando-se a substratos ferrosos limpos ou mesmo corroídos. Este estudo apresenta resultados encontrados em alguns trabalhos realizados nas áreas mencionadas, destacando o uso do Diagrama E-pH (Diagrama de Pourbaix) para o sistema Nb-H<sub>2</sub>O como suporte técnico para o bom desempenho do revestimento. Apresenta também uma discussão sobre modificações nas variáveis do diagrama, por meio de simulações computacionais, as quais podem alterar tanto as áreas de passivação e corrosão como as espécies envolvidas no sistema. Mostra ainda exemplos de diagramas E-pH obtidos com o auxílio de um software, tanto para um ambiente industrial como para um ambiente marinho, ambos propícios à aplicação dos revestimentos à base de pentóxido de nióbio.

**Palavras-chave:** Diagrama E-pH, Pentóxido de Nióbio, Revestimento Anticorrosivo

## Introdução

Devido às características do nióbio de alta resistência à corrosão, compostos deste elemento têm sido estudados e aplicados como revestimento protetor de materiais menos nobres e mais baratos, como é o caso dos aços carbonos, seja na forma de aspersão térmica ou na forma de tintas epóxi, conforme apresentado por Carvalho (1) e Bodstein (2), respectivamente. Dentre esses compostos, destaca-se a aplicação do pentóxido de nióbio, ou simplesmente  $Nb_2O_5$ .

Alguns estudos provendo informações importantes para caracterização desses revestimentos foram realizados em áreas de corrosão microbológica, siderurgia e em indústrias químicas e petroquímicas. Todos esses trabalhos têm em comum, além do estudo da resistência à corrosão do pentóxido de nióbio em diferentes meios, o uso de Diagramas E-pH, também conhecido como diagrama de Pourbaix, para o sistema  $Nb-H_2O$  a  $25^\circ C$ , explicando o bom desempenho do revestimento.

Sabe-se, entretanto, que os diagramas E-pH são construídos a partir do equilíbrio termodinâmico e que muitas vezes não levam em consideração todas as espécies químicas presentes nas soluções em estudo, devendo sua análise ser realizada levando esse fator em consideração. Para tanto, existem no mercado softwares capazes de fazer simulações e apresentar diagramas E-pH que consideram diversas espécies e permitem a alteração de variáveis do sistema. Considera-se que, apesar de extremamente úteis, esses softwares podem, no entanto, induzir a erro e a conclusões equivocadas se as espécies escolhidas para construção do mesmo não forem estáveis ou mesmo raras, principalmente devido à cinética das reações. O diagrama E-pH representa as condições de equilíbrio e não deve ser utilizado para prever a velocidade de uma reação, por isso a necessidade de interpretação da simulação obtida por computador.

## Metodologia

A primeira tarefa realizada para este estudo foi o levantamento de trabalhos que utilizaram o

diagrama E-pH a fim de explicar o bom desempenho de revestimentos à base de pentóxido de nióbio. Foram analisados os diagramas utilizados pelos autores dos trabalhos, destacando as espécies e as variáveis consideradas no sistema de cada estudo.

A simulação computacional dos diagramas foi realizada com o auxílio do software HSC Chemistry versão 7.0, trabalhando-se variáveis como: seleção e concentração das espécies de nióbio, temperatura e acréscimo de novas espécies e suas respectivas concentrações. Para o sistema  $Nb-H_2O$ , o banco de dados do software disponibiliza seis espécies de nióbio, a saber:  $Nb$ ,  $NbO$ ,  $NbO_2$  e  $Nb_2O_5$ , além do íon nióbico ( $Nb^{3+}$ ) e do íon niobato ( $NbO^{3-}$ ). Foram consideradas apenas as espécies condensadas e íons aquosos, sob pressão total do sistema constante e igual a 0,1MPa (1 bar), faixa de pH entre 0 e 14 e potenciais de -2,0V(EPH) a 2,0V(EPH) (Eletrodo Padrão de Hidrogênio).

Foram selecionadas ainda três temperaturas para as análises:  $4^\circ C$ , temperatura encontrada em ambientes marinhos a baixas temperaturas, conforme explicado por Roberge (3),  $25^\circ C$  para a temperatura ambiente, e  $95^\circ C$  como um limite superior de temperatura para soluções aquosas. Além disso, de forma a avaliar teoricamente a aplicação dos revestimentos à base de pentóxido de nióbio em diferentes condições, considerou-se a inclusão das espécies sódio e cloro para representação de um ambiente marítimo, e enxofre para simulação de ambientes industriais.

## Resultados e discussão

A pesquisa por trabalhos que utilizaram o diagrama E-pH para o sistema  $Nb-H_2O$  em revestimentos à base de pentóxido de nióbio levou aos seguintes resultados apresentados abaixo.

Quando sujeitas a meios corrosivos, seja em óleo cru com elevado índice de acidez ou mesmo em exposição atmosférica, ambos a temperaturas acima de  $100^\circ C$ , tintas epóxi à base de pentóxido de nióbio apresentam resultados bastante satisfatórios de resistência à corrosão, conforme apresentado por Bodstein (2). Já em presença de metanol com diferentes eletrólitos

suportes, como HCl, LiCl e LiClO<sub>4</sub>, na presença ou não de água, verificou-se em Quelhas (4) que o nióbio é espontaneamente passivo em todas as condições.

Para Araújo (5), os componentes do revestimento à base de pentóxido de nióbio apresentam efeito tóxico sobre populações planctônicas de bactérias heterotróficas aeróbias, bactérias redutoras de sulfato (BRS) e bactérias precipitantes de ferro, enquanto que bactérias heterotróficas anaeróbias não são susceptíveis aos mesmos. Outro estudo de exposição por dezoito meses em quatro microclimas de uma indústria de mineração realizado por Abreu (6), cada microclima contendo diferentes concentrações de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HF e HCl, e temperaturas de 25°C a 35°C, mostrou que o revestimento de pentóxido de nióbio não sofreu nenhum ataque e foi quimicamente inerte em todos os ambientes analisados. Para Oliveira (7), tintas com pentóxido de nióbio aplicadas sobre substratos ferrosos tratados ou mesmo corroídos, quando comparadas às tintas epóxi convencionais aplicadas em áreas de lixiviação, nas quais eletrólitos ácidos com pH inferior a 5,0 são encontrados, apresentam resultados excelentes e um custo/benefício extremamente satisfatório.

Observou-se que, nos trabalhos acima considerados, não houve um consenso a respeito das espécies existentes para o diagrama E-pH para o nióbio. Além disso, em muitos casos, a variável temperatura não foi levada em consideração, assim como a presença de outras espécies diferentes do nióbio como: cloro, lítio, flúor e enxofre.

Alguns desses trabalhos apresentaram também a possibilidade da existência de outras espécies químicas do nióbio, além do Nb, NbO, NbO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> encontrados no diagrama clássico para o sistema Nb-H<sub>2</sub>O apresentado por Pourbaix (8), como o NbO<sup>3-</sup> (niobato) e os ácidos pernióbicos/nióbicos. Isso também foi observado no trabalho de Asselin, Ahmed e Alfantazi (9), o qual propôs, por meio de simulações por computador, um novo diagrama E-pH para o nióbio com o íon NbO<sup>3-</sup> (niobato) a valores de pH mais altos, e o íon Nb(OH)<sup>4+</sup> (tetra-hidróxido de nióbio) para valores de pH mais baixos. O íon

niobato também foi sugerido por Schweitzer e Pesterfield (10) e é encontrado no diagrama E-pH proposto pelos autores.

Os programas de computador capazes de simular e construir os diagramas E-pH têm dependência direta com os bancos de dados termodinâmicos utilizados e, dependendo da diversidade encontrada nesses bancos de dados, diagramas E-pH diferentes serão gerados. Essas diferenças podem ser observadas no trabalho comparativo realizado por Takeno (11) com vários softwares para simulação dos diagramas E-pH.

A partir desse levantamento, foram realizadas as simulações por computador, e os primeiros diagramas obtidos estão apresentados na Figura 1. Foram utilizadas, neste caso, as seis espécies de nióbio fornecidas pelo software HSC Chemistry versão 7.0. Conforme explicado por Pourbaix (8), utilizou-se uma concentração, ou solubilidade, de 10<sup>-6</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O como forma de demarcação definitiva entre as regiões de corrosão/imunidade e corrosão/passivação.

No diagrama clássico de Pourbaix para o nióbio, Diagrama A, são encontradas apenas áreas de imunidade da espécie Nb, e passivação das espécies NbO, NbO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o que teoricamente garante a completa resistência do nióbio ao meio estudado, ou seja, água a 25°C. Entretanto, quando observados os demais diagramas B, C e D, nota-se a presença dos íons dissolvidos nióbico (Nb<sup>3+</sup>) e niobato (NbO<sup>3-</sup>), que assegurariam áreas de corrosão do nióbio. Essa primeira análise mostra a importância das espécies escolhidas.

Observa-se nesses diagramas que, para as espécies Nb, NbO, NbO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, as equações de potencial (E) são independentes da concentração das mesmas, sendo dependentes apenas do pH, como mostrado, por exemplo, na equação 1. As linhas dessas equações são paralelas às linhas de estabilidade (a) e (b) da água. Para as demais espécies estudadas, por sua vez, o potencial é dependente da concentração e do pH, como apresentado pela equação 2, ou ainda não apresenta nenhuma dependência, havendo, porém, dependência do pH com a concentração da espécie, como é o caso da equação 3. As três equações



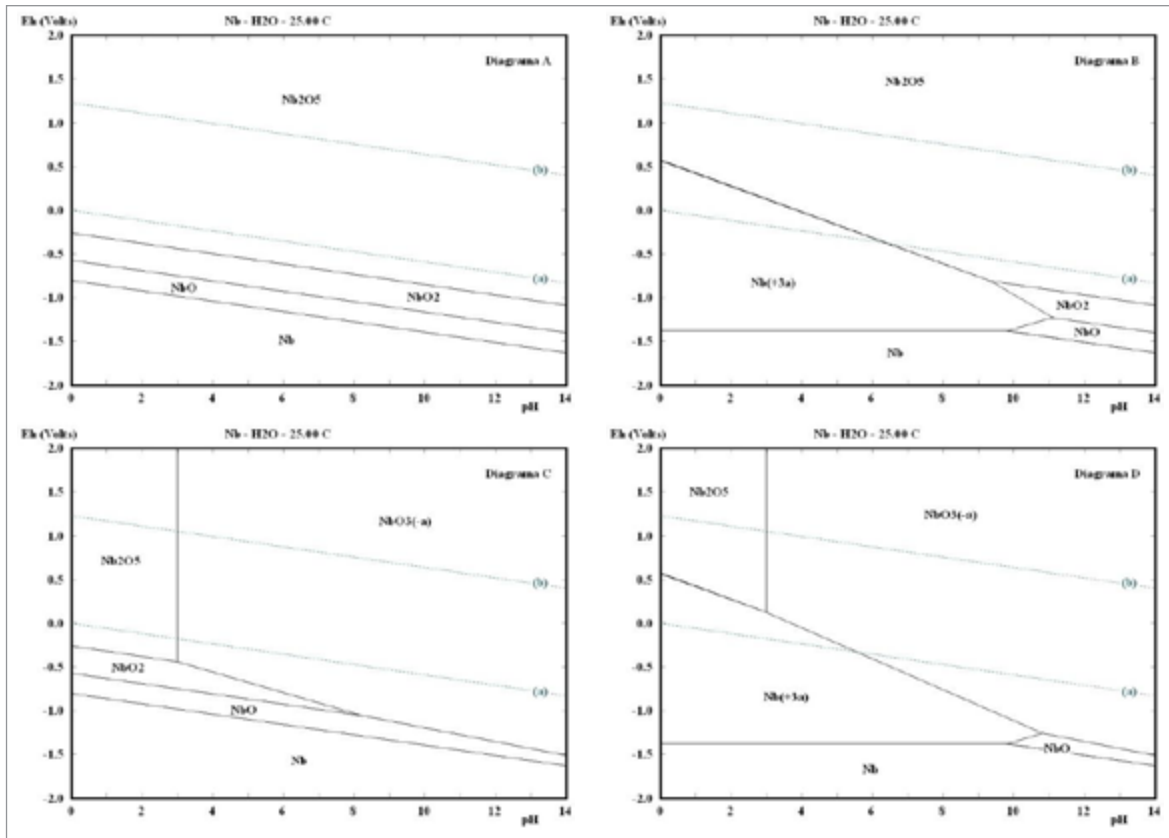


Figura 1 – Diagramas E-pH para o sistema Nb-H<sub>2</sub>O a 25°C, Pressão de 1bar e concentração de nióbio de 10<sup>-6</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O. Diagrama A – espécies Nb, NbO, NbO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Diagrama B – espécies Nb, NbO, NbO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + Nb<sup>3+</sup> Diagrama C – espécies Nb, NbO, NbO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + NbO<sub>3</sub><sup>-</sup> Diagrama D – espécies Nb, NbO, NbO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + Nb<sup>3+</sup> + NbO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Fonte: software HSC Chemistry versão 7.0)

apresentadas como exemplo podem ser encontradas em Schweitzer e Pesterfield (10):

$$\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{NbO}_2: E(\text{EPH}) = -0,26 - 0,059\text{pH} \quad (1)$$

$$\text{NbO}_3^-/\text{NbO}_2: E(\text{EPH}) = 0,46 - 0,118\text{pH} + 0,059 \log[\text{NbO}_3^-] \quad (2)$$

$$\text{NbO}_3^-/\text{Nb}_2\text{O}_5: 2\text{pH} = 24,4 + 2 \log[\text{NbO}_3^-] \quad (3)$$

Para os diagramas da Figura 1, destaca-se ainda que, conforme Halka e Nordstrom (12), o íon Nb<sup>3+</sup> é muito instável e resulta em rápida oxidação para o íon mais estável Nb<sup>5+</sup>. No caso do íon niobato, Schweitzer e Pesterfield (10) indicam que o NbO<sub>3</sub><sup>-</sup> seria uma representação simplificada do provável íon Nb<sub>6</sub>O<sub>19</sub><sup>8-</sup> e que o mesmo seria solúvel em água e estável apenas em valores elevados de pH.

A simulação seguinte, apresentada na Figura 2, considerou todas as espécies de nióbio disponíveis no software HSC Chemistry, e foram utilizadas concentrações de nióbio iguais a 10<sup>-4</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O e 10<sup>-2</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O, mostrando que, quanto maior o valor dessa concentração, menor a área de corrosão apresentada. Isso pode ser observado pela espécie NbO<sub>2</sub>, a qual tem sua área visível na maior concentração de 10<sup>-2</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O, enquanto que para as concentrações de 10<sup>-4</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O (Figura 2) e 10<sup>-6</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O (Diagrama D da Figura 1) esta espécie não existe, indicando a importância das concentrações nas simulações. Observa-se ainda que, se as linhas não são dependentes das concentrações, como mostrado na equação 1, o diagrama não é suscetível à essa variação de temperatura (Diagrama A da Figura 1).

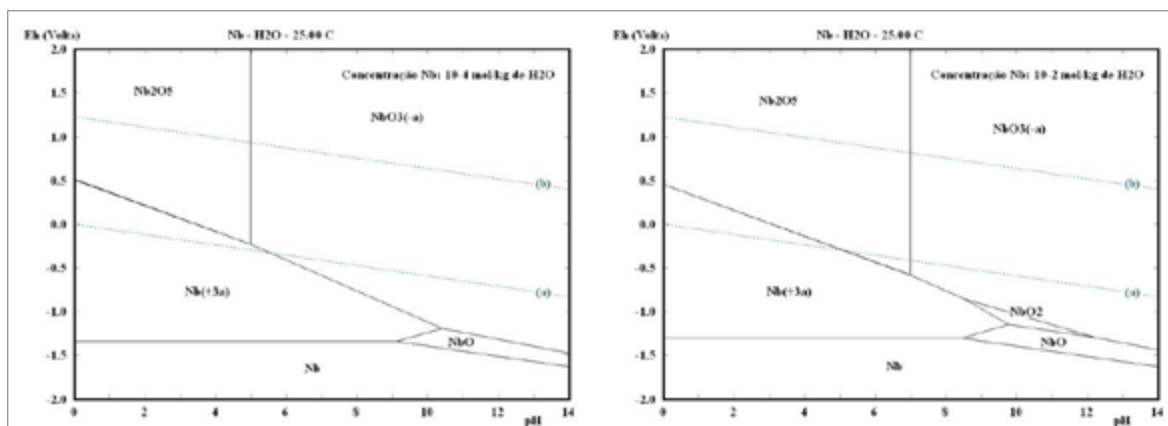


Figura 2 - Diagramas E-pH para o sistema Nb-H<sub>2</sub>O a 25°C, pressão de 1bar.

Espécies consideradas: Nb, NbO, NbO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + Nb<sup>3+</sup> + NbO<sup>3-</sup>

Concentração de nióbio igual a 10<sup>-4</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O e 10<sup>-2</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O.

(Fonte: software HSC Chemistry versão 7.0)

Quando as espécies e as concentrações envolvidas no sistema estão fixas, a temperatura também pode alterar o diagrama, como pode ser visto na Figura 3, a qual mostra os resultados para as temperaturas de 4°C e 95°C. Para melhor visualização das mudanças provocadas pela temperatura, foram consideradas apenas as espécies Nb, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e NbO<sup>3-</sup> na construção deste diagrama. Com o aumento da temperatura, há um pequeno aumento da área passiva da espécie Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, havendo mudanças mais significativas em outras linhas do diagrama, como a redução do valor de potencial na faixa de valores de pH mais altos. Essa mudança de potencial também é encontrada nas linhas (a) e (b) da água. Isso garante, para esta simulação, um pequeno aumento da área passiva da espécie Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e um aumento da área de corrosão de NbO<sup>3-</sup> a potenciais mais baixos e valores de pH mais altos.

Com base no apresentado acima, foram realizadas simulações em computador dos diagramas E-pH aplicados aos revestimentos à base de pentóxido de nióbio. Destaca-se que o principal objetivo dessas simulações foi identificar as condições que apresentam a maior área possível de passivação, em particular a presença da espécie Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, principal componente dos revestimentos analisados.

Sabendo-se que em ambiente industrial é frequente a presença da espécie enxofre, foi

inicialmente considerada a seguinte situação para simulação do diagrama E-pH: acréscimo da espécie enxofre ao sistema Nb-H<sub>2</sub>O; aumento da temperatura para 95°C; e utilização de concentrações de enxofre iguais a 10<sup>-4</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O e 1 mol/kg de H<sub>2</sub>O. O resultado está apresentado na Figura 4.

Observa-se, para este caso, que surgem duas espécies diferentes no diagrama clássico do sistema Nb-H<sub>2</sub>O (Diagrama A da Figura 1): NbS e NbS<sub>2</sub>. Essas duas espécies aparecem em valores de pH mais baixos, e sua área aumenta

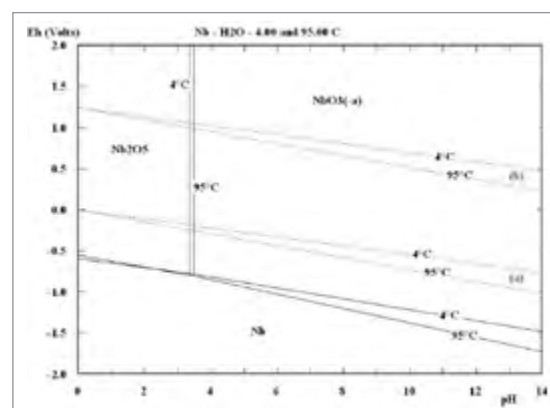


Figura 3 - Diagrama E-pH para o sistema Nb-H<sub>2</sub>O a 4°C e 95°C.

Pressão de 1bar e concentração de nióbio de 10<sup>-6</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O.

Espécies consideradas: Nb, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e NbO<sup>3-</sup>

(Fonte: software HSC Chemistry versão 7.0)

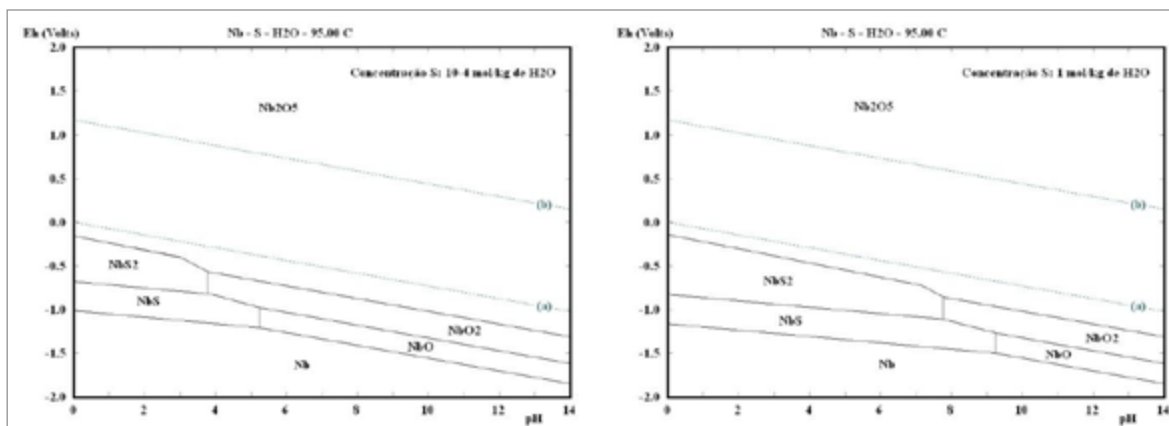


Figura 4 – Diagramas E-pH para o sistema Nb-S-H<sub>2</sub>O a 95°C. Pressão de 1bar e concentração de nióbio de 10<sup>-6</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O. Concentrações de enxofre iguais a 10<sup>-4</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O e 1 mol/kg de H<sub>2</sub>O. As espécies Nb<sup>3+</sup> e NbO<sup>3-</sup> não foram consideradas na construção dos diagramas. Simulação de um ambiente industrial para aplicação de revestimento à base de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. (Fonte: software HSC Chemistry versão 7.0)

com o aumento da concentração de enxofre, chegando a valores de pH próximos da neutralidade. Diante desse fato, torna-se essencial pesquisar se as duas espécies podem ser formadas nessas condições, isto é, estudar a sua cinética e verificar se as mesmas são danosas ao processo e à utilização de revestimentos à base de pentóxido de nióbio. Outra opção é considerar o uso dos revestimentos apenas a potenciais mais elevados, acima das espécies NbS e NbS<sub>2</sub>, ou em condições de operação que apresentem um valor de pH acima da formação das espécies com enxofre.

Para a segunda simulação por computador, considerou-se uma situação de aplicação do revestimento à base de pentóxido de nióbio em ambiente marinho a baixas temperaturas. Para tanto, foram utilizadas as seguintes variáveis: temperatura de 4°C; concentração das espécies de nióbio de 10<sup>-6</sup>mol/kg de H<sub>2</sub>O; e inclusão das espécies sódio e cloro, ambas com concentração de 0,6 mol/kg de H<sub>2</sub>O, o que equivale a uma concentração de 3,5% NaCl.

Observa-se na Figura 5 que, se for considerada apenas a inclusão da espécie cloro, tem-se o surgimento da espécie NbO<sub>2</sub>Cl a valores de pH mais baixos, enquanto que, se consideradas as duas espécies sódio e cloro, há também o

surgimento da espécie NaNbO<sub>3</sub> (niobato de sódio) a valores de pH mais altos.

Essas espécies apareceram no diagrama proposto por estarem no banco de dados termodinâmicos do software utilizado, e porque, durante a simulação, todas as espécies sugeridas pelo mesmo foram consideradas. Cabe então uma análise crítica dessas espécies por meio de uma pesquisa. A espécie niobato de sódio, NaNbO<sub>3</sub>, é normalmente sintetizada a temperaturas elevadas, conforme Yoneda, Fu e Kohara (13). À temperatura de 4°C, essa espécie demoraria muito tempo para aparecer ou não poderia ser formada, só podendo ser encontrada se já estivesse previamente presente no sistema, como por alguma contaminação da solução, por exemplo. A espécie NbO<sub>2</sub>Cl, por sua vez, pode ser encontrada em valores de pH mais ácidos conforme Ryan (14), o que estaria de acordo com o obtido no diagrama.

Observa-se que, para os dois exemplos apresentados acima, não houve o aparecimento de nenhuma espécie iônica e, conseqüentemente, nenhuma área de corrosão no sistema Nb-H<sub>2</sub>O estudado. Entretanto, houve a redução da área de estabilidade de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, principal componente do revestimento, o que poderia levar a uma maior possibilidade de falha do mesmo.

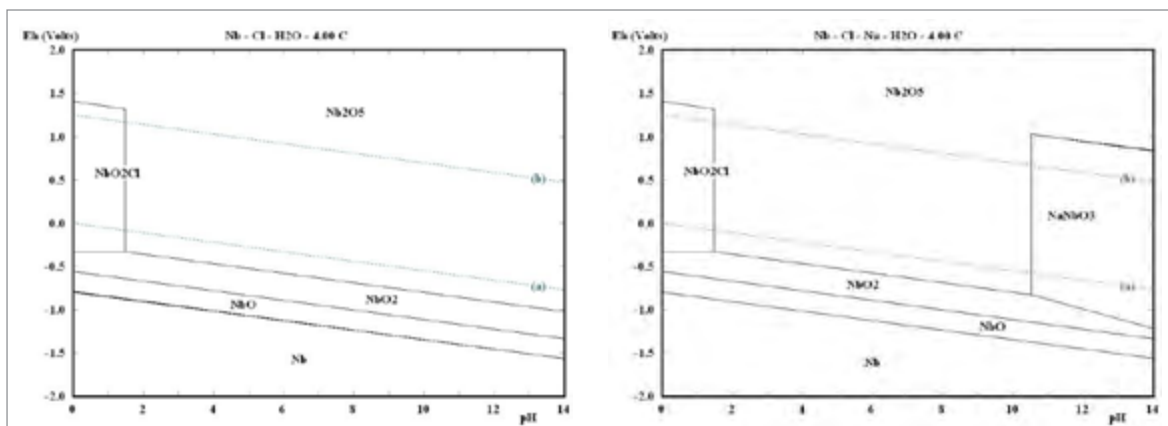


Figura 5 - Diagramas E-pH para o sistema Nb-Cl-H<sub>2</sub>O e sistema Nb-Cl-Na-H<sub>2</sub>O a 4°C. Pressão de 1bar e concentração de nióbio de 10<sup>-6</sup> mol/kg de H<sub>2</sub>O. Concentrações cloro e sódio iguais a 0,6 mol/kg de H<sub>2</sub>O. As espécies Nb<sup>3+</sup> e NbO<sup>3+</sup> não foram consideradas na construção dos diagramas. Simulação de um ambiente marinho para aplicação de revestimento à base de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. (Fonte: software HSC Chemistry versão 7.0)

A presença de áreas passivas no diagrama E-pH não assegura a ausência de corrosão para o material estudado. Elementos químicos que apresentam a formação de um filme protetor, isto é, de uma camada passiva, como é o caso do nióbio, podem apresentar imperfeição na mesma e ocorrer uma corrosão localizada (pites). Isso deve também ser levado em consideração na análise dos diagramas, em particular quando há presença de elementos halogênios como flúor, cloro e bromo.

Diante do apresentado, fica clara a necessidade de se levar em conta o maior número possível de variáveis para simulação em computador dos diagramas E-pH, atentando ainda para uma posterior análise das espécies encontradas, principalmente com relação à sua cinética de formação. Esse tipo de simulação e análise dos diagramas E-pH já foi utilizado em outras situações, com outras espécies químicas, e o índice de acerto para previsão dos problemas foi extremamente satisfatório, podendo o mesmo ser aplicado na análise dos revestimentos à base de pentóxido de nióbio, nos quais a presença da maior área de estabilidade do Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> é o principal objetivo.

## Conclusões

Trabalhos realizados com revestimentos à base de pentóxido de nióbio indicam seu bom

desempenho e utilizam os diagramas E-pH para o sistema Nb-H<sub>2</sub>O a 25°C para confirmar os bons resultados experimentais. Entretanto, as variáveis e as espécies químicas encontradas nesses diagramas não são um consenso entre os autores dos trabalhos.

Simulações em computador para construção de diagramas E-pH permitem a mudança de variáveis como concentração e temperatura, além da inserção de espécies químicas que podem ou não alterar o comportamento final do material-base do sistema. A um determinado pH e potencial, esse comportamento termodinâmico pode indicar a imunidade, passivação ou corrosão dos componentes de um revestimento anticorrosivo.

Os resultados das simulações em computador realizados para o sistema Nb-H<sub>2</sub>O até o presente momento indicam que, na prática, é muito provável que a maioria das situações recaiam no diagrama E-pH clássico com as espécies Nb, NbO, NbO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o que é benéfico para o uso dos revestimentos à base de pentóxido de nióbio. Entretanto, é essencial que o estudo teórico e ensaios *in situ* e em laboratório sejam realizados para comprovar a validade do diagrama obtido e o verdadeiro comportamento do material.

## Referências bibliográficas

- CARVALHO, Ladimir José de. **Estudo do Comportamento de Revestimentos à Base de Nióbio Aplicados por Aspersão Térmica na Corrosão de Aços ao Carbono em Presença de Ácidos Naftênicos e Sulfetos em Altas Temperaturas**. 2004. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- BODSTEIN, Helga Stefania Maranhão. **Estudo de sistemas de pintura para alta temperatura à base de resinas pigmentadas com Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**. 2006. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- ROBERGE, Pierre R. **Handbook of Corrosion Engineering**. Martinsburg: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2000.
- QUELHAS, Karen Alves de Souza. **Estudo da Corrosão do Nióbio em Meio Metanólico**. 2007. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Cap. 7106.
- ARAÚJO, Lindomar Cordeiro Antunes de. **Avaliação da corrosão induzida microbiologicamente em aço carbono AISI 1020 revestido com tinta pigmentada com óxido de nióbio**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- ABREU, Fernando Tomaz de. **Estudo das propriedades da tinta epóxi Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada na indústria química**. 2016. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2016.
- OLIVEIRA, Cláudio Bonfante de. **Revestimento Anticorrosivo à Base de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como Alternativa para Combater os Problemas de Corrosão na Indústria de Zinco Metálico**. 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Gestão de Sistemas de Engenharia, Universidade Católica de Petrópolis, Petrópolis, 2015.
- POURBAIX, Marcel. **Lectures on Electrochemical Corrosion**. Brussels: Cebelcor, 1973.
- ASSELIN, Edouard; AHMED, Tawfik M.; ALFANTAZI, Akram. Corrosion of niobium in sulphuric and hydrochloric acid solutions at 75°C and 95°C. *Corrosion Science*, [s.l.], v. 49, n. 2, p.694-710, feb. 2007. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2006.05.028>.
- SCHWEITZER, George K.; PESTERFIELD, Lester L. **The Aqueous Chemistry of the Elements**. New York: Oxford University Press, Inc., 2010.
- TAKENO, Naoto. **Atlas of Eh-pH diagrams: Intercomparison of thermodynamic databases**. 419. ed. Japan: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology - Research Center For Deep Geological Environments, 2005. (Geological Survey of Japan Open File Report).
- HALKA, Monica; NORDSTROM, Brian. **Transition Metals**. New York: Facts On File, Inc., 2011. (Periodic Table of the Elements)
- YONEDA, y; FU, D; KOHARA, S. **Local structure analysis of NaNbO<sub>3</sub>**. *Journal Of Physics: Conference Series*, [s.l.], v. 502, p.012022-012025, 10 abr. 2014. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/502/1/012022>.
- RYAN, Jack Lewis. **Characterization of Chloride Complexes of Niobium (V)**. 1955. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Chemistry, Dertment Of Chemistry, Oregon State College, Oregon, 1956.

# Trabalho do Cepel sobre corrosão tem potencial para gerar economia de milhões por ano

A corrosão é responsável pela degradação dos materiais metálicos, comprometendo sua integridade mecânica e gerando danos, muitas vezes, irreversíveis em equipamentos elétricos e estruturas de sustentação.

Estima-se que os custos com a corrosão no Brasil, considerando-se todos os setores produtivos, sejam em torno de 3,5% a 4% do PIB anual, conforme apresentado no livro “Corrosão e Proteção Anticorrosiva dos Metais do Solo”, publicado pelo Cepel em 2006.

Embora não haja, no país, uma metodologia desenvolvida para estabelecer os custos da corrosão associados ao setor elétrico, estima-se que fiquem em cerca de US\$ 1 bilhão. A aplicação de técnicas adequadas de combate à corrosão tem potencial de gerar uma economia da ordem de 20% do custo anual. Tais dados foram estimados por comparação das capacidades energéticas do Brasil e dos Estados Unidos, com base no estudo “Priorities for Corrosion Research and

Development for the Electric Power Industry”, publicado pelo Electric Power Research Institute (EPRI) em 2002, o mais recente em se tratando de corrosão no setor elétrico. O trabalho avaliou as perdas financeiras decorrentes da depreciação e da manutenção de equipamentos e estruturas metálicas nos EUA, como explica a equipe de Corrosão do Cepel.

“No estudo do EPRI, constatou-se que 22% dos custos com corrosão poderiam ser evitados se boas práticas de proteção anticorrosiva fossem adequadamente implantadas no projeto das estruturas e equipamentos. Concluiu-se também que, entre os custos de manutenção, os atribuídos aos pés de torres de linhas de transmissão são os de maior impacto. Apesar de não termos no Brasil um estudo deste tipo, a partir de demandas de pesquisa e ensaios das empresas Eletrobras junto ao Cepel, foram observadas muitas ocorrências de processos corrosivos em pés de torres no país, indicando que este dado pode ser qualitativamente equivalente à realidade brasileira”, assinalam os pesquisadores Alberto Ordine, Cristina Amorim, Elber Bendinelli e o técnico Marcos Sá, integrantes da equipe do Cepel que atua na linha de pesquisa sobre Corrosão.

De acordo com a equipe do Cepel, os custos diretos da Corrosão relacionam-se à substituição de peças de equipamentos e de estruturas, bem como aos serviços de manutenção. Já os indiretos são aqueles associados a atividades de substituição ou manutenção que não estavam programadas, a exemplo da interrupção de produção e transmissão de energia, operações elétricas imprevistas, mobilização de equipes e de infraestrutura para realizar manutenção e multas aplicadas pelos órgãos reguladores por indisponibilidade de ativos.

### O trabalho do Cepel e as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva

Com um corpo de especialistas na área de Corrosão e uma infraestrutura laboratorial com equipamentos de última geração, o Cepel dedica-se ao estudo das novas tecnologias de proteção anticorrosiva disponíveis no mercado, ao desenvolvimento de novas técnicas experimentais, à realização de ensaios para avaliação de desempenho e de conformidade de produtos e à investigação de causas de corrosão observadas no setor elétrico brasileiro. Estas atividades do Centro contribuem para reduzir os custos com a corrosão.

O Cepel também dissemina e disponibiliza o conhecimento desenvolvido sobre este tema à sociedade por meio da realização seminários, workshops, participação em congressos, divulgação de artigos técnicos, além de cursos de capacitação na área oferecidos regularmente pelo Centro.

“As boas práticas também são disponibilizadas nas **Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva**, contendo requisitos técnicos de procedimentos e de tintas para garantir a qualidade dos serviços de pintura anticorrosiva aplicados ao setor elétrico”, comenta Alberto Ordine, responsável pelo Laboratório de Corrosão do Cepel.

A elaboração das normas, lançadas em 2016, foi coordenada pelo Centro no âmbito da Comissão de Política Tecnológica da Eletrobras (CPT) e



do Subcomitê de Manutenção das Empresas Eletrobras (SCMT), e contou com a participação de representantes da Eletrobras, Furnas, Chesf, Eletrosul e Eletronorte.

A aplicação destas normas mostra-se bastante relevante, à medida que as empresas Eletrobras respondem por cerca de um terço do total da capacidade instalada de geração elétrica do Brasil e são responsáveis por aproximadamente metade do total de linhas de transmissão do país em sua rede básica, em alta e extra-alta tensão.

De acordo com Edson de Souza Santos, do Departamento de Coordenação Técnica da Eletronorte, os normativos de pintura constituem também ferramenta para eliminação de perdas. “A utilização plena dos procedimentos e produtos neles previstos, em obras novas e na pintura de manutenção dos equipamentos e estruturas, de acordo com a visão apresentada do sistema elétrico brasileiro, deverá impactar diretamente os indicadores de disponibilidade das empresas do Grupo”.

“A implementação desses normativos possibilitou que as revisões das especificações técnicas, das análises de propostas técnicas de transformadores, reatores, radiadores, transformadores de instrumentos, estruturas metálicas e a classificação do estado de corrosão de equipamentos em operação fossem realizadas de forma mais criteriosa, ágil e confiável. Dessa forma, conseguimos minimizar os riscos de ocorrência de falhas e, conseqüentemente, reduzir os gastos associados à corrosão”, complementa Josélia Ednar Antunes Piluski, do setor de Equipamentos da Eletrosul.



## Fatores que aceleram a corrosão e a parceria com a Eletronuclear

Os especialistas do Cepel ressaltam que os processos de corrosão são acelerados pela presença de poluentes industriais, como os compostos de enxofre, e de névoa salina encontrada em regiões próximas do mar. Nestes casos, há necessidade de uma proteção anticorrosiva mais adequada a estes ambientes. O Cepel investiga tecnologias de revestimentos anticorrosivos com tais características e, além do uso de ensaios acelerados de corrosão para avaliar o desempenho das tecnologias, conta com duas estações de corrosão atmosférica para realização de ensaios de exposição natural.

Uma das estações, na Unidade Fundão do Centro, apresenta teores de compostos de enxofre relativamente elevados, devido à proximidade com uma área de mangue e à presença de matéria orgânica em decomposição. A outra estação está localizada na Vila Residencial de Mambucaba, pertencente à Eletronuclear, no município de Paraty (RJ). Neste caso, as propriedades anticorrosivas dos revestimentos são avaliadas em um ambiente de frente para o mar, que recebe a névoa salina diariamente, além de ser extremamente úmido. Nesta condição, segundo Alberto Ordine, a corrosão é bastante acelerada, e os ensaios no local permitem o projeto de sistemas de proteção mais resistentes à corrosão, para uso em atmosferas marinhas.

O pesquisador comenta que, desde junho deste ano, a Eletronuclear, em parceria com o Cepel, instalou um novo local de exposição de corpos de prova, dentro da Usina de Angra 2, na região da tomada d'água, onde os equipamentos necessitam de pintura constante devido ao grau

extremo de corrosividade atmosférica. “Neste local, a névoa salina é intensa e ininterrupta. O objetivo deste sítio é permitir o estudo de tecnologias de revestimentos anticorrosivos para ampliar a vida útil dos equipamentos, reduzindo os custos com manutenção para a Eletronuclear”, pontua Alberto.

De acordo com o pesquisador, já foram instalados corpos de prova de aço carbono e aço galvanizado para que o Cepel determine a velocidade de corrosão destes materiais naquele ambiente, além de permitir a simulação de uma manutenção. Neste último caso, após o processo corrosivo, será realizado o tratamento de superfície e, também, aplicados diferentes esquemas de pintura para se investigar o seu desempenho.

Uma das tecnologias que será investigada é a tinta pigmentada com zinco aplicada a rolo e trincha. Esta tinta pode ser aplicada em superfícies com pouco preparo de superfície, condição bem comum nos serviços de manutenção do setor elétrico.

“Sabe-se que tintas de fundo pigmentadas com zinco apresentam maior resistência à corrosão do que as isentas de tal pigmento, porque o zinco atua como anodo de sacrifício e se corrói para proteger o substrato. Desta forma, havendo um dano na pintura, o zinco impede o avanço de corrosão e mantém o revestimento, protegendo o metal por tempo prolongado. Quando o elemento está ausente, aparece a ferrugem, observada em quinas, cantos vivos e frestas, exigindo manutenção constante da pintura. Em ambientes de elevada corrosividade, como o de Angra 2, tal processo é acelerado e, por isso, indicam-se esquemas de pintura com tintas de fundo pigmentadas com zinco.”



# Programação de cursos 2019

CURSOS	CIDADE	CH	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Inspetor de Pintura Nível 1	Rio de Janeiro/RJ	96	04/05 a 27/07			09 a 21			
	São Paulo/SP	96							02 a 14
	Macaé/RJ	88		08 a 19				25/11 a 06/12	
	Vitória/ES	88			05 a 16				
	Jaraguá do Sul/SC	88							
	Dias D'Ávila/BA	88					21/10 a 01/11		
	Fortaleza/CE	88				30/09 a 11/10			
Inspetor de Pintura Nível 2	Rio de Janeiro/RJ	40						04 a 08	
	São Paulo/SP	40	24 a 28						
Intensivo de Inspetor de Pintura Nível 1	Rio de Janeiro/RJ	40			19 a 23				
Encarregado de Pintura	Rio de Janeiro/RJ	40		22 a 26					09 a 13
Profissionais de Proteção Catódica Nível 1	Rio de Janeiro/RJ	40	03 a 07					25 a 29	
Básico de Pintura Industrial	Rio de Janeiro/RJ	8		20			19		
	São Paulo/SP	8							7
Básico de Corrosão	Rio de Janeiro/RJ	8				21			
Básico de Proteção Catódica	Rio de Janeiro/RJ	8						9	
Aulas Práticas para Inspetor N1	Rio de Janeiro/RJ	8	19		21	25	23	27	
Corrosão, Revestimento e Proteção Catódica	Rio de Janeiro/RJ	24	10 a 12						
	São Paulo/SP	24					14 a 16		
Corrosão: Fundamentos, Monitoração e Controle	Rio de Janeiro/RJ	24			26 a 28				

# Encontro com profissionais certificados do SNQC-CP

No dia 10 de julho de 2019, a Associação Brasileira de Corrosão - ABRACO promoveu mais um encontro com profissionais certificados pela Associação e que contou com a presença da Presidente da ABRACO, Dra. Olga Baptista Ferraz, os funcionários do Setor de Certificação Ednilton Alves, Úrsula Moraes e Eduarda Godoy, assim como dos inspetores Luis Carlos Moraes Filho, Márcio José Barbosa da Silva, Marcos Antônio Duarte, Nei Alves de Moura, Nilson Canellas Júnior e Robson José Nunes de Andrade. O encontro teve como objetivo principal promover a integração entre a ABRACO e os inspetores certificados pela Associação, através da apresentação das ações realizadas pela instituição e de demandas trazidas pelos inspetores.

Dentre os assuntos apresentados e discutidos no encontro estão os seguintes temas:

a) registro da função de Inspetor no CBO (Classificação Brasileira de Ocupações): Foi relatado o esforço realizado pela ABRACO em conjunto com outras instituições como a ABENDI, FBTS, IBP e alguns profissionais certificados pelos SNQCs, para inclusão no CBO da função de inspetor industrial (Pintura, ENDs, Soldagem, entre outras);

b) ações de reconhecimento do SNQC-CP: Foram descritas ações realizadas pela ABRACO

para o reconhecimento do processo de qualificação e certificação de profissionais do SNQC-CP junto a empresas de fora do país. Com relação a este item, o Setor de Certificação tem encaminhado para as empresas a descrição do processo adotado no Brasil para a certificação de Inspetores de Pintura Industrial, onde demonstra-se que a certificação do SNQC-CP atende normas internacionais como a ABNT NBR ISO 17024:2013 (Avaliação da conformidade - Requisitos gerais para organismos que certificam pessoas) e que está no mesmo nível de outras certificações realizadas internacionalmente;

c) manutenção da certificação de profissionais do SNQC-CP: Foi informada a aprovação da revisão do processo de manutenção da certificação de Inspetores de Pintura Industrial, considerando a atual realidade do mercado nacional. Com relação a este item, detalhou-se os novos critérios



exigidos de documentação e tempo de atuação na função para comprovação deste requisito da norma ABNT NBR 15216 (Critérios para a qualificação e certificação de inspetores de pintura industrial). Dentre as mudanças realizadas no processo estão o aceite de relatórios de inspeção de pintura e a redução do tempo para 6 (seis) meses de atuação no período inicial dos 30 (trinta) meses da certificação. Para o profissional que não consiga comprovar nem mesmo a atuação por 6 (seis) meses, foi criada a alternativa de atendimento deste requisito da norma pela realização de 1 (um) prova prática, escolhida aleatoriamente, relacionada ao nível de certificação do profissional (1 ou 2).

d) divulgação de vagas para os Inspetores: Informou-se também que, sempre que disponíveis, a ABRACO está divulgando na área restrita dos profissionais certificados as oportunidades abertas em empresas que entram em contato com a Associação;

e) revisão do processo de recertificação: Foi relatado o estudo que se encontra em andamento para a revisão do processo de recertificação pelo método de crédito estruturado, onde estão sendo definidos os critérios para pontuação de cursos de recertificação na referida metodologia. Além disso, foram discutidas outras atividades que se encontram em estudo para pontuação por esta metodologia como o aumento de escolaridade dos profissionais e a revisão do tempo de atuação na função de Inspetor.

Para maiores informações, solicitamos que entre em contato com o Setor de Certificação da ABRACO.

## Início do Processo de Qualificação e Certificação de Profissionais de Proteção Catódica de Estruturas Terrestres

Após realização de auditoria e aprovação do Conselho de Certificação, o Centro de Exames de Qualificação (CEQ) ABRACO foi aprovado para aplicar os exames de qualificação e recertificação de Profissionais de Proteção Catódica de Estruturas Terrestres Nível 1.

A certificação destes profissionais será realizada com base nos requisitos definidos na norma ABNT NBR 15653.

Os profissionais interessados nesta certificação devem consultar o site da ABRACO ([www.abraco.org.br](http://www.abraco.org.br)) que contém o detalhamento de todo o processo, tais como pré-requisitos, documentação, exames, entre outros.

### ESPAÇO DO INSPECTOR

Este espaço é destinado aos inspetores e pode ser ocupado com matérias técnicas enviadas pelos próprios profissionais, relatando experiências, casos de sucesso ou comentários sobre matérias publicadas nesta ou em outras publicações, por exemplo. Os inspetores que quiserem participar devem enviar seus textos para o e-mail [marketing@abraco.org.br](mailto:marketing@abraco.org.br), acompanhados do nome do inspetor e de seu número do SNQC.

# IV SBPC

Seminário Brasileiro de Proteção Catódica

5 DE NOVEMBRO EM SÃO PAULO | MARQUE NA SUA AGENDA!

# II Seminário Brasileiro de Corrosão Interna de Dutos e Equipamentos

O evento ocorreu no dia 13 de junho de 2019, na Sede da ABRACO, no Centro do Rio de Janeiro.

Reunindo aproximadamente 50 pessoas, teve por objetivo apresentar uma visão holística dos desafios, demandas, soluções de mercado e tendências tecnológicas do setor, além de um debate sobre as necessidades e oportunidades de capacitação para os profissionais especializados que atuam na área.

A programação contou com as seguintes apresentações:

- **Tecnologia Digital: oportunidades da Indústria 4.0 e IOT para a Monitoração da Corrosão Interna**  
*Juliana de Magalhães Tinoco e Fellipe Correia de Azevedo* | Emerson Automation Solutions
- **Segurança: requisitos para operações seguras das atividades de Monitoração da Corrosão**  
*Ricardo Bastos Mouro* | IEC Engenharia
- **Gestão do Ciclo de Vida de Ativos: estratégias de avaliação e mitigação da Corrosão Interna para maior segurança e retorno financeiro**  
*Pedro Altoé Ferreira* | Petrobras/CENPES
- **O Cenário da Corrosão: perspectivas atuais e futuras de unidades operacionais no midstream**  
*Jader Conde Rocha* | ANP

- **Gestão da Monitoração da Corrosão Interna**  
*Carlos Alexandre Martins da Silva* | Transpetro
- **Técnicas de proteção e monitoração de dutos de transporte de fluidos corrosivos**  
*João Paulo Klausing Gervásio* | Petrobras

O evento contou ainda com a mesa-redonda “O Profissional do Amanhã: a importância da capacitação dos profissionais ligados à Corrosão Interna para a sustentabilidade do negócio”, com a participação de Pedro Altoé Ferreira, da Petrobras/CENPES, Carlos Alexandre Martins da Silva, da Transpetro, Laerce de Paula Nunes, da IEC Engenharia e Ednilton Alves Pereira, da ABRACO.

O evento contou com a participação das seguintes empresas: ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, COMGAS - Companhia de Gás de São Paulo, Emerson Automation Solutions, Fundação COPPETEC, IEC Engenharia, INT - Instituto Nacional de Tecnologia, ITP - International Testing Pipelines, Petrobras/CENPES e Transpetro.

Para a próxima edição do Seminário, programada para 2020, a ABRACO pretende encontrar um novo local para sua realização, uma vez que neste evento ficou clara a tendência de crescimento do público, dada a relevância do assunto dentro do setor industrial.

# Agenda de eventos

Conheça a programação preliminar dos eventos agendados:

EVENTO	DATA	LOCAL	CIDADE
<b>SBPC 2019</b> <b>VI Seminário Brasileiro de Proteção Catódica</b>	05 de novembro	IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas	São Paulo - SP
<b>SBPA 2019</b> <b>VI Seminário Brasileiro de Pintura Anticorrosiva</b> * Conta pontos no método de crédito estruturado.	03 de dezembro	Centro de Convenções RB1	Rio de Janeiro - RJ
<b>21<sup>st</sup> ICC &amp; INTERCORR 2020</b> <b>21<sup>st</sup> International Corrosion Congress &amp; 8<sup>th</sup> International Corrosion Meeting</b> * Conta pontos no método de crédito estruturado. <b>CHAMADA DE TRABALHOS TÉCNICOS:</b> <b>PRAZO DE SUBMISSÃO ATÉ 30/10/2019</b>	10 a 14 de maio/2020	USP/CDI - Centro de Difusão Internacional	São Paulo - SP
<b>Seminário Brasileiro de Corrosão de Armaduras de Concreto</b>	A definir (2020)	INT - Instituto Nacional de Tecnologia	Rio de Janeiro - RJ

**MAIS INFORMAÇÕES E INSCRIÇÕES NO SITE DA ABRACO: [WWW.ABRACO.ORG.BR](http://WWW.ABRACO.ORG.BR)**

**SBPA 2019**  
VI Seminário Brasileiro de Pintura Anticorrosiva

Rio de Janeiro

03 • DEZ

Para os Inspectores de Pintura Industrial certificados pelo SNQC-CP, este seminário conta pontos no método de crédito estruturado

**Faça já sua inscrição e participe!**

Mais informações [www.abraco.org.br](http://www.abraco.org.br)

# COTEQ 2019

Ocorreu de 27 a 30 de maio, no Hotel Windsor Oceânico, Rio de Janeiro, a 15ª edição da COTEQ - Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, organizada pelo IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo), ABENDI (Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção) e ABCM (Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas), contando com o apoio da ABRACO e da FBTS (Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem).

O evento deste ano teve como lema “Tecnologia de Equipamentos: Integrando Pessoas e a Indústria Brasileira”, convergindo os assuntos relacionados a Integridade e Inspeção de Equipamentos, Ensaio Não Destrutivos, Corrosão e Pintura, Análise Experimental de Tensões e Comportamento Mecânico de Materiais e Soldagem.

Segundo os organizadores, o evento contou com 1.280 congressistas, 102 trabalhos técnicos, 4 sessões plenárias, 21 sessões especiais e 4 minicursos.

## 39ª CONBRASCORR

A ABRACO realizou dentro da COTEQ a 39ª edição de seu CONBRASCORR - Congresso

Brasileiro de Corrosão, que contou com 24 trabalhos técnicos da área de corrosão, tendo, pela primeira vez, um artigo premiado como melhor trabalho em apresentação oral:

**IBP416\_19 - Formulações inibidoras de corrosão a partir de *Peumus boldus* para fluidos de acidificação**

Autores: Luana Barros Furtado, Rafaela da Conceição Nascimento, Peter Rudolf Seidl, Janaína Cardozo da Rocha, Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimarães, José Antonio da Cunha Ponciano Gomes, Fabio Júnior Ferreira da Silva Henrique  
Instituição: UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro)

## Sessões especiais

O 39º CONBRASCORR contou também com a realização bem-sucedida de três sessões especiais, a saber:

### SESSÃO ESPECIAL: PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIES METÁLICAS

Data: 28.05

Horário: 16h às 18h

Objetivo: Reunir especialistas e profissionais da área de revestimentos anticorrosivos para discutir temas importantes relacionados a preparação de superfície, apresentando novas tecnologias e tendências de mercado.

Moderador: Erik Barbosa Nunes | PETROBRAS

Palestrante 1: Alberto Pires Ordine | CEPTEL

Título: Preparação de Superfície por Meio de Ferramentas Mecânicas e Manuais e suas Aplicações no Setor Elétrico

Palestrante 2: Fernando de Loureiro Fragata | SMARTCOAT/PRINER

Título: Avaliação do Método de Preparação de Superfícies por Meio de Laser, em Comparação com os Métodos Tradicionais de Limpeza

Palestrante 3: Mário Teixeira Peres Júnior |  
ECORESTAURO

Título: Preparação de Superfícies e a Inovação Tecnológica

### **SESSÃO ESPECIAL: CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Data: 29.05

Horário: 16h às 18h

Objetivo: Reunir especialistas e profissionais da área de inspeção, reparo e proteção de estruturas de concreto para discutir temas importantes relacionados a tecnologias de reparo e proteção, bem como técnicas de inspeção e monitoramento da corrosão.

Moderadora: Zehbour Panossian - IPT

Palestrante 1: Claudia de Andrade Oliveira |  
FAU/USP

Título: Inspeção de Estruturas de Concreto Aparente do Patrimônio Cultural Arquitetônico: desafios e oportunidades

Palestrante 2: José Geraldo Freire de Andrade Junior e Kátia Regina Anschau | GRUPO CCR/ ENGELOG

Título: Práticas na Gestão das Estruturas

Palestrante 3: Renato Stoicov e Larissa Haddad Vieira | EVONIK

Título: Sistemas de Proteção de Estruturas de Concreto

Palestrante 4: Adriana de Araujo - IPT

Título: Exame Visual e Ensaio Não Destrutivo na Avaliação de Estruturas de Concreto Armado

### **SESSÃO ESPECIAL: CORROSÃO ALIADA A ESFORÇOS MECÂNICOS**

Data: 30.05

Horário: 11h às 13h

Objetivo: Apresentar uma revisão metalúrgica básica da CST e apresentar casos interessantes para debate.

Moderador: Hermano Cezar Medaber Jambo |  
PETROBRAS

Palestrante 1: Hermano Cezar Medaber Jambo |  
PETROBRAS

Título: Metalurgia da CST

Palestrante 2: André da Silva Pelliccione |  
PETROBRAS

Título: Estudo de Casos Interessantes

Palestrante 3: Murilo Fonseca Leal |  
PETROBRAS

Título: Caso de Corrosão Sob Tensão em Aço Duplex UNS S32750

### **Reuniões de trabalho**

Além disso, a ABRACO realizou ainda 2 reuniões dentro da COTEQ, ambas no dia 29 de maio, a primeira foi sua Reunião de Diretoria Mensal e a outra foi a Reunião da Comissão de Estudo de Proteção Catódica, ligada ao CB-43/ABNT.

A ABRACO participou ainda da exposição paralela com um estande institucional, onde recebeu a visita de inúmeros associados e interessados em saber mais sobre a chamada de trabalhos do 21<sup>st</sup> ICC & INTERCORR 2020.

O Comitê Técnico-Organizador da COTEQ teve a participação da presidente da ABRACO, Olga Ferraz, além dos colaboradores: Denise Souza de Freitas, do INT, Simone Louise Delarue Cezar Brasil, da UFRJ e Carlos Alexandre Martins da Silva, da Transpetro, que participaram ativamente na coordenação da avaliação dos trabalhos técnicos e na moderação das sessões técnicas, junto com outros colaboradores.

A ABRACO registra aqui seu especial agradecimento a todos os profissionais que cederam seu tempo e conhecimento em prol da comunidade de corrosão, colaborando de alguma forma com o sucesso do 39<sup>o</sup> CONBRASCORR e da COTEQ 2019.

# Sinergia entre a COTEQ e Rio Automação: debates convergem a integridade de equipamentos, a segurança e a transformação digital

Realizados pelo IBP, os dois eventos aconteceram simultaneamente, abordando os principais impactos da digitalização e da segurança para a indústria e sociedade.

## Rio Automação

O primeiro dia do Congresso Rio Automação foi marcado por um grande debate em torno da transformação digital, em todas as esferas da indústria de petróleo e gás, desde o negócio até a força de trabalho.

André Clark, CEO da Siemens Brasil, declarou na plenária de abertura que o plano de negócios hoje é sobre dados e a automação e a instrumentação passaram a ser prioridade nas empresas. “Nós somos protagonistas do próprio futuro e o momento é singular, por isso, estamos firmes no nosso propósito de desenvolvimento do setor”.

Para Augusto Borella, gerente geral de Transformação Digital da Petrobras, “o processo

de transformação digital visa a transferência operacional para máquinas e priorização humana em atividades mais estratégicas e inspiradoras”. Ainda para ele, “o desafio da indústria é garantir as condições dessa transformação investindo em formação, treinamento e capacitação de mão de obra, com mudança de atitude e processos para melhor aproveitar esse ambiente exponencial e inovador, onde o uso de tecnologias no setor de óleo e gás proporcione a possibilidade de atuação remota, aumento da segurança e redução de custos”.

A transformação digital também tem grande impacto sobre a segurança operacional. Segundo Vitor Kiem, CEO MSA Safety, “à medida que a empresa offshore se torna digitalizada, ferramentas como análise de dados, inteligência artificial e computação cognitiva otimizam as operações e a segurança, pois com a integração de ativos, captura de dados e sistemas de análise preditiva, é possível analisar uma grande quantidade de informações sobre potenciais riscos, aumentando a segurança exponencialmente”.

O impacto da transformação digital na força de trabalho também permeou grande parte das



discussões, o *Career ThinkTank* reuniu líderes de RH de grandes players da indústria de petróleo e gás para apresentar as demandas de perfis para contratação no setor e identificar as lacunas de conhecimentos que precisam ser preenchidas pelo mercado e pela academia.

No painel “A transformação digital como ferramenta para eficiência operacional”, o tema voltou ao centro de debate. De acordo com Tarcísio Romero de Oliveira, *Digital Acceleration Consulting* da Aveva para América Latina, “o caminho para a transformação digital vai muito além da digitalização. A transformação ocorre a partir da renovação do trabalho, possibilitada pela digitalização. Estamos falando, necessariamente, de pessoas, processos e tecnologias, nessa ordem”.

O Congresso Rio Automação é patrocinado pela Petrobras, Aveva, Siemens, Honeywell, KPMG e MSA Safety, com apoio da Dassault Systems, ABCE e ISA Rio de Janeiro.

## COTEQ

Organizada pelo IBP, em parceria com a ABENDI, ABCM, ABRACO e FBTS, a 15ª edição da Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos (Coteq) também trouxe em sua plenária de abertura debates que permearam a segurança e eficiência da indústria, a transformação digital e a inclusão social. De acordo com Tânia Cosentino, presidente da Microsoft Brasil, “a importância da convergência entre de IT (*Information Technology*) e OT (*Operation Technology*) para otimização dos negócios e a inteligência artificial, podem e devem ser usados para acelerar o desenvolvimento de negócios, promover modelagens e simulações, aumentar a segurança e otimizar as operações de fabricação”.

Tânia também ressaltou a necessidade de atração de mulheres para atuar na área tecnológica, o que hoje corresponde a apenas 20% da força de trabalho. A executiva também destacou a crescente demanda por profissionais capacitados para atender a indústria de tecnologia. “Estudos do IDC (International Data Corporation) indicam que há meio milhão de

vagas em aberto que não conseguimos atender até 2021. Isso porque, anualmente, formamos 40 mil profissionais na área de tecnologia, porém a demanda é de 70 mil profissionais. Ou seja, existe um grande gap para o mercado de trabalho”.

A presidente da Microsoft Brasil afirma que o país precisa se atentar a dois fatores essenciais nesta retomada de crescimento econômico: a falta de energia e de pessoas qualificadas. “Como a gente embarca a diversidade e aumenta o *pool* de talentos? Como requalificamos rapidamente os profissionais para trabalhar neste novo mercado? E como conseguimos reter as pessoas no setor de óleo e gás para que elas possam adquirir o *expertise* necessário?”

José Firmo, presidente do IBP, ressaltou durante a abertura sobre a relevância do investimento em novas tecnologias pela indústria brasileira. “Nesse momento de transição do setor de óleo e gás e de grandes desafios, é essencial investir em inovação e tecnologia. Se nossos projetos não conseguirem promover um ambiente competitivo, todos os recursos migrarão para outros negócios, como o *shale gas* americano. O mundo está se transformando e essas mudanças também chegaram para o nosso setor”.

Durante o primeiro dia de congresso da *Coteq*, as sessões técnicas e especiais contaram com uma programação voltada para a integridade de equipamentos e eficiência operacional das instalações industriais, inspeção em tanques de armazenamento, preparação de superfícies metálicas, certificação de PH NR-13, integridade de equipamentos na visão de segurança de processos, caldeiras e vasos de pressão de produção seriada certificados conforme portarias do Inmetro e reparos e alterações em vasos de pressão e caldeiras.

O evento é patrocinado pela Petrobras, Eletronuclear e PetroRio, com apoio da AbesPetro, ABIMAQ, ABNT, Abramam, Abrisco, Asarendi, CCPS, Sistema Firjan, ICZ, Metalmat, Plural, Sebrae, SindiGas e YPP-Brazil.

---

Fonte: [www.ibp.org.br/noticias/release-coteq-1o-dia/](http://www.ibp.org.br/noticias/release-coteq-1o-dia/)

# COTEQ e Rio Automação discutem o futuro da indústria de energia

O último dia dos eventos, que reuniu cerca de 1.550 participantes, apresentou os desafios para os setores de petróleo e gás, refino e energia nuclear.

O último dia do Congresso Rio Automação trouxe mais uma vez o debate em torno da transformação digital na indústria de petróleo e gás, abordando a relevância da tecnologia para o fortalecimento do setor. Já na Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos (COTEQ), discussões em torno do futuro da energia nuclear e dos desafios do refino marcaram as plenárias do segundo dia de programação. Os eventos – realizados pelo IBP – aconteceram paralelamente, no Rio de Janeiro.

## Rio Automação

A transformação digital vem sendo o grande foco do setor de petróleo e gás. Seguindo essa tendência, Ruben Schulkes, gerente de Tecnologia e Inovação da Equinor, e Isabel Waclawek, diretora de Pesquisa & Desenvolvimento da Total E&P Brasil, apresentaram as tecnologias que vêm auxiliando as empresas operadoras internacionais (IOCs) na transição entre uma empresa exclusivamente de petróleo e gás para companhias de energia. De acordo com Schulkes, são necessários três caminhos para a sustentabilidade: redução da intensidade de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), energia renovável e descarbonização da cadeia de valor.

“Na Equinor, entendemos que não há conflito entre baixa emissão de carbono e alto valor agregado. Nesse sentido, 25% dos recursos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da companhia serão destinados para tecnologias de baixo carbono até o final de 2020. Além disso, na Noruega, estamos

desenvolvendo um projeto piloto para captura e armazenagem de CO<sub>2</sub> em escala industrial, o que é o primeiro passo para descarbonizar a cadeia de valor”, explicou Schulkes.

Já a Total está apostando na aproximação com startups. Segundo Isabel, essas empresas trazem um mindset diferente, com tecnologias disruptivas. “Estamos trazendo para o Brasil um modelo que desenvolvemos no exterior para aproximar as startups não só da Total e seus negócios, mas também da indústria de petróleo e gás. O digital cria mais valor a um custo menor”, expôs. Além disso, a companhia já obtém resultados significativos com outras tecnologias. “A robótica, por exemplo, está contribuindo para a segurança operacional atingindo reduções de custo em 20%”, complementou.

No painel de encerramento, Carlos Tunes, Watson IoT Latin America Executive da IBM, falou sobre a transformação digital, com foco na inteligência artificial, como iniciativa para melhorar a capacidade intelectual e física do profissional e da indústria de óleo e gás.

“A sociedade está em constante mudança, por isso as empresas e seus profissionais são obrigados a se transformarem. Uma pesquisa feita em 2015 com CEOs de multinacionais apontava a tecnologia como a mais importante força externa que poderia afetar, segundo eles, suas organizações. Portanto a transformação digital se tornou o caminho a ser percorrido na evolução do conhecimento e inovação”, explicou Tunes.

O Congresso Rio Automação é patrocinado pela Petrobras, Aveva, Siemens, Honeywell, KPMG e MSA Safety. Já a COTEQ é patrocinada pela Petrobras, Eletronuclear e PetroRio.

## COTEQ

Na plenária sobre o futuro da geração elétrica nuclear no Brasil, Leonam Guimarães, presidente da Eletronuclear, apresentou um amplo panorama sobre a relevância do país na industrial global. Com 309 mil toneladas, o Brasil tem a sétima maior reserva de urânio do mundo, tendo apenas 30% do território prospectado. De acordo com Guimarães, isso significa que o país poderia ter a maior reserva do mundo.

Outro aspecto apresentado por Guimarães foi a importância dessa fonte energética para o estado do Rio de Janeiro. Dados do último balanço energético do estado, de 2016, indicam que 40% de toda a energia elétrica consumida no estado foram geradas pelas usinas nucleares de Angra dos Reis. Se Angra 3 estivesse em operação naquele ano, o percentual teria sido 67%. Atualmente, a construção de Angra 3 está momentaneamente paralisada.

“Até 2015, o progresso físico da usina atingiu 62,5% das obras. A estimativa é que seja necessário um investimento de R\$ 15 bilhões para a conclusão de Angra 3, além dos R\$ 10 bilhões já investidos. O custo para não concluir a usina é de quase R\$ 12 bilhões e, portanto, essa opção está descartada. Inclusive, o edital para realização do leilão para retomada da construção de Angra 3 está previsto para o segundo semestre desse ano”, analisou o executivo.

Para a área de refino, Daniel Sales, gerente geral na Petrobras, acredita que a indústria do futuro necessitará desenvolver estratégias para vetores como meio ambiente e segurança das operações, com rigor crescente na regulação para a atividade, eficiência dos processos e transformação digital, a inteligência artificial na automação de todos os processos, margens cada vez mais estreitas, levando a controles precisos de custos e tomada de decisão em tempo real, conforme variações de processos e custo de matéria prima.

Por fim, a dificuldade de qualificação e adequação do profissional da indústria em relação à exigência do mercado atual marcou o encerramento da 15ª edição da COTEQ. Cláudio Makarovsky, head de O&G da Siemens e presidente da ABESPetro, debateu sobre as ferramentas da

indústria 4.0 na integridade de ativos, como a tecnologia pode ser usada em favor da indústria e a necessidade de nivelar e atualizar os profissionais em relação aos novos modelos de negócios e as inovações.

“Não adianta ter esse avanço tecnológico se não há uma transição, se o profissional não está no mesmo nível. Ou a gente se movimenta ou simplesmente está fora do jogo. Os jovens de hoje nasceram na era da digitalização, a seleção natural está acontecendo, então temos que nivelar todos os profissionais do setor, absorver todas as informações oferecidas e aprender a usar a tecnologia a nosso favor”, disse Makarovsky.

O encerramento da COTEQ 2019 ficou a cargo de Odilon Horta, gerente de certificação do IBP, que agradeceu aos parceiros e patrocinadores e destacou o balanço positivo da 15ª edição. “A palavra de ordem é colaboração. Precisamos conversar com os pares, trocar conhecimento, conteúdo, construir algo diferente, inovador e que nos conecte com o mundo e com o outro”, finalizou.

### Arena de Tecnologia de Equipamentos

O espaço voltado para apresentações, troca de novidades, conhecimentos e demonstrações das mais novas tecnologias e inovações trazidas pelos expositores e convidados externos foi a grande novidade desta edição da COTEQ.

A Arena da COTEQ serviu de palco para exibição de *drones*, bem como um ambiente para o *pitch* de startups com jovens trazendo as novidades na área de inovação em sistemas e softwares voltados para área de integridade de ativos, que é a temática principal do evento.

A 15ª Coteq 2019, ao longo dos seus quatro dias, apresentou uma programação com quatro sessões plenárias, 21 sessões especiais, 102 trabalhos técnicos, quatro minicursos e 28 expositores.

O evento foi patrocinado pela Petrobras, Eletronuclear e PetroRio.

---

Fonte: [www.ibp.org.br/noticias/coteq-e-rio-automacao-discutem-o-futuro-da-industria-de-energia/](http://www.ibp.org.br/noticias/coteq-e-rio-automacao-discutem-o-futuro-da-industria-de-energia/)



# Pintores Industriais

A ABRACO tem a satisfação de informar que iniciou, em setembro, o Processo de Qualificação de Pintores Industriais.

Entenda a importância da Qualificação do Profissional de Pintura (Pintor Industrial):

O objetivo da ABRACO é implantar uma nova sistemática que busca simplificar o processo de reconhecimento do profissional de pintura (pintor industrial) através da Qualificação.

Os profissionais qualificados pela ABRACO, ou seja, aprovados na avaliação escrita e prática serão diferenciados no mercado através da criação de um banco de dados no site da ABRACO que ficará disponível para consulta por empresa ou instituições quando houver necessidade de informação e/ou contratação de profissionais qualificados no mercado.

As Regras da Qualificação e a relação dos Centros de Treinamento credenciados podem ser consultadas através do site da ABRACO.

Mais informações, envie um e-mail para [qualipintor@abraco.org.br](mailto:qualipintor@abraco.org.br) ou entre em contato pelo telefone (21) 2516-1962.

# 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!



## EMPRESAS ASSOCIADAS

A IDEAL SOLUÇÕES ANTICORROSIVAS EIRELI ME  
[www.aideal.com.br/site/](http://www.aideal.com.br/site/)

---

ADVANCE TINTAS E VERNIZES LTDA.  
[www.advancetintas.com.br](http://www.advancetintas.com.br)

---

AKZO NOBEL LTDA - DIVISÃO COATINGS  
[www.akzonobel.com/international](http://www.akzonobel.com/international)

---

BBOSCH GALVANIZAÇÃO DO BRASIL LTDA.  
[www.bbosch.com.br](http://www.bbosch.com.br)

---

BLASPINT MANUTENÇÃO INDUSTRIAL LTDA.  
[www.blaspint.com.br](http://www.blaspint.com.br)

---

CEPEL - CENTRO PESQ. ENERGIA ELÉTRICA  
[www.cepel.com.br](http://www.cepel.com.br)

---

CIA. METROPOLITANO SÃO PAULO – METRÔ  
[www.metro.sp.gov.br](http://www.metro.sp.gov.br)

---

DE NORA DO BRASIL LTDA.  
[www.denora.com](http://www.denora.com)

---

DEEPWATER DO BRASIL ENGENHARIA LTDA.

---

EGD ENGENHARIA LTDA.  
[www.egdengenharia.com.br](http://www.egdengenharia.com.br)

---

ELÉTRON QUÍMICA COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA.  
[www.eletronquimica.com.br](http://www.eletronquimica.com.br)

---

FIRST FISCHER PROTEÇÃO CATÓDICA  
[www.firstfischer.com.br](http://www.firstfischer.com.br)

---

FISCHER DO BRASIL  
[www.helmut-fischer.com.br](http://www.helmut-fischer.com.br)

---

FOX TREINAMENTOS E SERVIÇOS ON & OFFSHORE  
[www.foxtreinamentos.com](http://www.foxtreinamentos.com)

---

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A  
[www.furnas.com.br](http://www.furnas.com.br)

---

G P NÍQUEL DURO LTDA.  
[www.grupogp.net](http://www.grupogp.net)

---

GAIATEC COM. E SERV. AUT SISTEMAS DO BR LTDA.  
[www.giatecsistemas.com.br](http://www.giatecsistemas.com.br)

---

HAPO PINTURAS LTDA – ME  
[www.grupohapopinturas.com.br](http://www.grupohapopinturas.com.br)

---

HITA COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA.  
[www.hita.com.br](http://www.hita.com.br)

---

IEC INSTALAÇÕES E ENG<sup>a</sup> DE CORROSÃO LTDA.  
[www.iecengenharia.com.br](http://www.iecengenharia.com.br)

---

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA – INT  
[www.int.gov.br](http://www.int.gov.br)

---

ITAGUAÍ CONSTRUÇÕES NAVAIS - ICN  
[www.icnavais.com](http://www.icnavais.com)

---

JOTUN BRASIL IMP. EXP. E IND. DE TINTAS LTDA.  
[www.jotun.com](http://www.jotun.com)

---

MARINE INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE TINTAS LTDA.  
[www.marinetintas.com.br](http://www.marinetintas.com.br)

---

MORKEN BRASIL COM. E SERV. DUTOS E INSTAL. LTDA.  
[www.morkenbrasil.com.br](http://www.morkenbrasil.com.br)

---

PAUMAR S.A - INDÚSTRIA E COMÉRCIO (WEG TINTAS LTDA.)  
[www.weg.net](http://www.weg.net)

---

PETROBRAS S/A - PETRÓLEO BRASILEIRO / CENPES  
[www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br)

---

PETROBRAS TRANSPORTES S/A - TRANSPETRO  
[www.transpetro.com.br](http://www.transpetro.com.br)

---

PINTURAS YPIRANGA LTDA.  
[www.pinturasypiranga.com.br](http://www.pinturasypiranga.com.br)

---

PRESSERV DO BRASIL LTDA.  
[www.cortecpresserv.com.br](http://www.cortecpresserv.com.br)

---

PRINER SERVIÇOS INDUSTRIAIS S.A.  
[www.priner.com.br](http://www.priner.com.br)

---

PROMAR TRATAMENTO ANTICORROSIVO LTDA.  
[www.promarpintura.com.br](http://www.promarpintura.com.br)

---

RENNER HERRMANN S/A  
[www.renner.com.br](http://www.renner.com.br)

---

REVESTIMENTOS E PINTURAS BERNARDI LTDA.  
[bernardi@pinturasbernardi.com.br](mailto:bernardi@pinturasbernardi.com.br)

---

SACOR SIDEROTÉCNICA S/A  
[www.sacor.com.br](http://www.sacor.com.br)

---

SMARTCOAT ENGENHARIA EM REVESTIMENTOS LTDA.  
[www.smartcoat.com.br](http://www.smartcoat.com.br)

---

TBG - TRANSP. BRAS. GASODUTO BOLÍVIA – BRASIL  
[www.tbg.com.br](http://www.tbg.com.br)

---

TECHNIQUES SURFACES DO BRASIL LTDA.  
[www.tsbrasil.srv.br](http://www.tsbrasil.srv.br)

---

TECNOFINK LTDA.  
[tecnofink.com](http://tecnofink.com)

---

TINÔCO ANTICORROSÃO LTDA.  
[www.tinocoanticorrosao.com.br](http://www.tinocoanticorrosao.com.br)

---

W&S SAURA LTDA.  
[wsequipamentos.com.br](http://wsequipamentos.com.br)

---

ZERUST PREVENÇÃO DE CORROSÃO LTDA.  
[www.zerust.com.br](http://www.zerust.com.br)

---

ZINCOLIGAS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.  
[www.zincoligas.com.br](http://www.zincoligas.com.br)

---



### **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO**

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

(21) 2516-1962 • [www.abraco.org.br](http://www.abraco.org.br)

Facebook: [facebook.com/abraco.oficial](https://facebook.com/abraco.oficial)

LinkedIn: [linkedin.com/in/abraco](https://linkedin.com/in/abraco)

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

Youtube: Associação Brasileira de Corrosão

### **SETORES**

Associados: [secretaria@abraco.org.br](mailto:secretaria@abraco.org.br)

Biblioteca: [biblioteca@abraco.org.br](mailto:biblioteca@abraco.org.br)

CB-43: [cb43@abraco.org.br](mailto:cb43@abraco.org.br)

Comunicação: [marketing@abraco.org.br](mailto:marketing@abraco.org.br)

Eventos: [eventos@abraco.org.br](mailto:eventos@abraco.org.br)

Financeiro: [financeiro@abraco.org.br](mailto:financeiro@abraco.org.br)

Gerência Geral: [gerenciageral@abraco.org.br](mailto:gerenciageral@abraco.org.br)

Presidência: [presidencia@abraco.org](mailto:presidencia@abraco.org)

Qualificação e Certificação: [qualificacao@abraco.org.br](mailto:qualificacao@abraco.org.br)

Treinamentos: [cursos@abraco.org.br](mailto:cursos@abraco.org.br)