

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Controle de corrosão em equipamentos da indústria, uma proposta de integração entre a Academia e a Indústria**

Ávila S. Ávila<sup>a</sup>, Casais D. Casais<sup>b</sup>, Kiperstok A. Kiperstok<sup>c</sup>

### **Abstract**

In the industrial processes, equipment is susceptible to corrosion, which may make it unfit for use and cause financial loss or problems to human health. In cooling water systems one of the best ways to combat corrosion is the study of the corrosive potential of the medium. The installation of a corrosion laboratory using trees with test coupons in the field or in the laboratory allows knowing the corrosive potential of these systems or evaluating the degree of corrosion or fouling of a process already in operation. Another way to measure the corrosion potential is the installation of probes for measuring the potential difference. The laboratory to be mounted will possess the ability to perform chemical testing of water, electrochemical tests and gravimetric tests. The aim of the project is to create a methodology for monitoring and controlling corrosion in the field of industrial critical systems, using potentiometric probes and trees corrosion. In this context, the corrosion laboratory will be cooperation between the academic- scientific community and industry to reduce the number of losses by corrosion in the chemical and petrochemical segments.

**Keywords:** Trees corrosion. Corrosion potential. Potentiometric probes. Integration University-Industry.

### **Resumo**

Nos processos industriais, os equipamentos estão suscetíveis à corrosão, que pode torná-lo inadequado para o uso e assim causar prejuízos financeiros ou a saúde humana. Em sistemas de resfriamento de água umas das melhores maneiras de combate à corrosão é o estudo do potencial corrosivo do meio. A montagem de um laboratório de corrosão utilizando árvores com cupons de prova no campo ou no próprio laboratório permite conhecer o potencial corrosivo desses sistemas ou avaliar o grau de corrosão ou incrustação de um processo já em operação. Outra forma de medir o potencial de corrosão é a instalação de sondas corrosimétricas ou sondas para medição de diferença de potencial. O laboratório que será montado possuirá capacidade para realizar ensaios químicos da água, ensaios eletroquímicos e gravimétricos. O intuito do projeto é criar uma metodologia de monitoramento e controle de corrosão em campo de sistemas críticos industriais, através de sondas potenciométricas e

<sup>a</sup> DSc, Engenheiro Químico – TECLIM UFBA

<sup>b</sup> Estudante, Engenharia Química – TECLIM UFBA

<sup>c</sup> PhD – Engenheiro de Saneamento e Ambiental – TECLIM UFBA

árvores de corrosão. Neste contexto, o laboratório de corrosão será uma cooperação entre o meio acadêmico – científico e o setor produtivo para a redução das diversas perdas por corrosão nas indústrias químicas e petroquímicas.

**Palavras-chave:** Árvores de corrosão. Potencial de corrosão. Sondas potenciométricas. Integração Indústria e Universidade.

## Introdução

---

O gerenciamento do processo corrosivo faz parte das decisões administrativas para evitar perdas de produção e paradas da unidade por corrosão de equipamentos. Essas perdas resultam em altos gastos não planejados (1,2). Um estudo americano que trata de estratégias preventivas e custos de corrosão indica que o custo anual total (direto e indireto) da corrosão nos EUA é de US\$260 bilhões aproximadamente 3,1% do PIB do país. Se essas estimativas forem aplicadas ao caso brasileiro, chega-se a um valor de aproximadamente US\$ 15 bilhões. Adotadas as medidas preventivas contra a corrosão, poderiam ser economizados anualmente 1% do PIB ou 5 bilhões de dólares no caso brasileiro (3).

A indústria tem o desafio de alinhar a qualidade dos seus produtos as necessidades de uma gestão ambiental focada em produção mais limpa. Desta maneira, a redução no consumo de água e energia torna-se uma prioridade. Para a maioria das indústrias cerca de 60% da utilização da água clarificada abastece as torres de resfriamento (4). Como alternativa na diminuição do consumo de água, o efluente da fábrica pode ser reutilizado com *make-up* - água de alimentação - das torres de resfriamento. Contudo a aplicação dessa iniciativa exige um maior conhecimento sobre corrosão, pois a baixa qualidade da água pode comprometer a eficiência tanto da torre quanto os outros equipamentos do processo, além da perda do produto. O estudo da corrosão a nível industrial toma força nas últimas décadas, já que ajuda a aumentar a vida útil dos equipamentos e a efetuar a projeção das paradas de manutenção, produzindo uma diminuição de gastos não planejados.

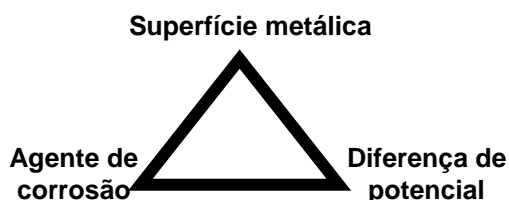
O conhecimento e a análise do histórico de corrosão em equipamentos permitem classificar o seu tipo (5), definir e priorizar as ações preventivas e corretivas (1,2). A análise estatística deste histórico possibilita definir o tempo de vida útil dos equipamentos e das linhas de processo (6) no modo de operar da indústria.

Esse projeto objetiva criar uma metodologia de monitoramento e controle da corrosão em campo de sistemas críticos através de sondas potenciométricas e árvores de corrosão. Estes estudos seriam confirmados em testes laboratoriais, identificando os principais parâmetros que podem afetar a corrosividade do fluido e propondo uma metodologia de controle e ações operacionais para manter a taxa de desgaste por corrosão a níveis seguros e aceitáveis para uma boa operação. Uma segunda etapa de pesquisa a ser aplicada *à posteriori* é avaliar o reuso de efluentes como *make-up* em torres de resfriamento.

## Metodologia

---

O Processo corrosivo se inicia com a presença de três componentes formando o triângulo de requisitos: agente de corrosão, superfície metálica e diferença de potencial. O tratamento químico ou físico da água de resfriamento tem como objetivo anular o componente agente de corrosão. Mas, nem sempre é possível. Não existe tratamento infalível e, portanto, é importante monitorar o potencial corrosivo de sistemas de resfriamento.



**Figuras 1 – Componentes para a ocorrência de um processo corrosivo**

A corrosão também pode ser provocada por atmosfera agressiva, neste caso não envolve o meio líquido de fluxo de processo ou de água de resfriamento. Para se conhecer as principais características de um processo corrosivo, é necessário verificar qual é o tipo de superfície metálica envolvida, quais são os possíveis defeitos que possam promover diferença de potencial através de aeração ou de forma eletroquímica e, finalmente, quais são os inibidores de corrosão utilizados no sistema de resfriamento (processo) ou como filme na superfície metálica (processo e atmosfera).

O conhecimento do potencial corrosivo de sistemas específicos pode ser simulado através de árvore de corrosão no laboratório de pesquisa. Não existem riscos maiores neste teste, pois, a avaliação é feita antes da escolha do tipo de tratamento de água ou até do material apropriado para o equipamento envolvido. Este teste ou pesquisa será feito durante uma das etapas de projeto.

Existem situações onde o processo se encontra em operação e o que se pretende é avaliar qual o grau possível de corrosão ou incrustação com o fluido que possui o agente corrosivo. Para tal, são instaladas árvores de corrosão em pontos críticos na planta industrial. Neste caso, o fluido é real, mas, a condição de velocidade tenta reproduzir o real. É muito importante a escolha exata do ponto (no processo) a ser instalada a árvore para medição de corrosão e incrustação.

As condições de processo indicam quais são os vetores que induzem a corrosão (tipo de fluido, temperatura, velocidade e outros) (5). No caso de dutos e outros equipamentos a corrosão pode ser acelerada com o aumento da velocidade, principalmente em caldeiras de geração de vapor (7). Dependendo do produto e da condição de processo, o processamento de gás natural pode ser crítico em termos de corrosão interna exigindo alterações de materiais e do *lay-out* para novos projetos. Já no caso de trocadores de calor em monel foi possível confirmar a influencia da temperatura e da concentração de cloretos na corrosão por pites (8).

A forma mais exata de se medir o potencial corrosivo de sistemas de processo na indústria envolve a instalação de sondas corrosimétricas ou sonda para medição de diferença de potencial (potenciostato de campo). Neste caso, o potencial corrosivo é avaliado em tempo

---

real, não precisa de análise gravimétrica (caso das árvores com cupom), a velocidade e a temperatura são as mesmas da condição de operação da planta.

Conclui-se então que é possível prever o comportamento de determinado material sob a ação de agentes corrosivos através de teste no laboratório (pesquisa), assim como é possível verificar ou inspecionar em tempo real (ou próximo) nas condições de processo (ou próximo) o comportamento do material de determinado equipamento crítico sob a ação de agente corrosivo.

Os dutos e equipamentos são classificados por nível de corrosividade identificado ou por potencial para o desenvolvimento de processos corrosivos. Para cada fluido transportado ou processado são apresentados os agentes corrosivos, a prevenção possível e as ações recomendadas (2).

A análise de corrosão em trocadores de calor exige análise química do lado de água. Numa Usina Termelétrica, um sistema de monitoramento foi implantado para conferir se as mudanças no tratamento da água tiveram a qualidade resultante esperada (9). A metodologia utilizada para monitorar e controlar a corrosão no campo envolve análise gravimétrica em cupons de perda de massa e sondas de resistividade elétrica para dutos de gás natural. O conhecimento do fluido e dos seus contaminantes depende de resultados das análises cromatográficas (10). Para análises mais específicas do tipo de corrosão e suas causas, pode ser feita a caracterização química de amostras do pó preto resultante da corrosão (microscopia eletrônica de varredura, difratometria, fluorescência de raio-X, absorção atômica) (10).

Segundo Alves e Garland (11), a partir de comportamento pré-estabelecido da intensidade de corrosão em oleodutos e gasodutos para cada tipo de material do duto, condições de espessura e condições de operação foi desenvolvido um modelo preditivo.

A integração entre a indústria e a universidade permite o diagnóstico e desenvolvimento de soluções de curto, médio e longo prazo que podem se transformar em tema de mestrado ou de doutorado. As indústrias participantes possuem algumas demandas que são comuns e outras que são específicas. Cada indústria tem peculiaridades em termos de corrosão que deve ser tratada de forma singular, mas, também possui problemas coincidentes com outros tipos de indústria, como o tratamento de água e os processos que possuem produtos ácidos e possibilidade de erosão.

Uma visita às indústrias para mapeamento de sistemas críticos é planejada antecipadamente a partir das seguintes necessidades ou demandas por soluções tecnológicas:

- 1) Avaliação do Tratamento de água para trocadores críticos no processo, buscando aumento de vida útil destes equipamentos através de uma maior segurança operacional;
- 2) Instalação de facilidades durante a parada de plantas industriais para a realização do monitoramento de processos corrosivos a ser efetuado na etapa seguinte;
- 3) Análise Piloto de Processos Corrosivos em Equipamentos, dutos e Sistemas críticos em unidades específicas. Realização de análise crítica quanto à resistência dos materiais às condições de processo no que diz respeito a fluidos ácidos e especificamente, ácido sulfúrico;

- 4) Análise Piloto de Processos Corrosivos nos mesmos equipamentos, dutos e sistemas quanto a procedimentos operacionais críticos e que podem iniciar ou potencializar os efeitos de processo corrosivo ácido;
- 5) Realização de Análise Crítica quanto aos procedimentos de manutenção e de inspeção nos sistemas, dutos e equipamentos críticos em que sofram corrosão ácida (área piloto);
- 6) Identificação através de enquete e entrevistas quanto ao nível de conhecimento da equipe técnica em relação a cuidados para evitar a corrosão em equipamentos, dutos e sistemas. Proposição de treinamento específico para atender o nível de informação requisitado no que se refere às áreas relacionadas aos sistemas, dutos e equipamentos críticos escolhidos para a análise.

Para a viabilização deste Projeto é necessário delimitar a área de estudo limitando as atividades de identificação e análise para estes sistemas específicos. Como não será realizado ensaio laboratorial na etapa de diagnóstico preliminar (citada na Figura 2), as considerações são feitas na forma analítica definindo as possibilidades de soluções técnicas a confirmar na etapa posterior onde se prevê a adequação da estrutura laboratorial e medição dos níveis de corrosão.

A Equipe Especialista terá quatro tipos de atividades a serem realizadas. A atividade de Diagnóstico Preliminar quanto a sistemas críticos que desenvolvem processos corrosivos; Diagnóstico quanto ao nível de conhecimento da equipe técnica em relação à corrosão de processos; Estruturação laboratorial para realizar Análises Gravimétricas fundamentando assim algumas hipóteses; Promoção de Seminários internos nas empresas parceiras e Seminário aberto para promover a discussão sobre corrosão e; finalmente, Preparação de Projeto cooperativo para a montagem do Centro de Referência em corrosão na Bahia.

O Diagnóstico Preliminar se inicia com o Mapeamento dos Processos corrosivos dentro de cada parceiro industrial. Algumas indústrias já possuem parte deste mapeamento realizado inclusive com registros fotográficos e relatórios, em outras será necessário reunir os dados que se encontram na área de manutenção e de engenharia. Serão feitas entrevistas técnicas na etapa de mapeamento. O Tratamento dos dados vai direcionar os trabalhos quanto ao nível de prioridade na análise para diagnóstico. A Análise de sistemas críticos fará a caracterização dos processos corrosivos e a apresentação de possíveis soluções técnicas ou gerenciais. Para algumas destas soluções será necessário realizar testes exploratórios em bancada. A intenção é aumentar a certeza quanto às recomendações.

O Diagnóstico de Conhecimento sobre corrosão de processos prevê a aplicação de enquete, a verificação no histórico do operador e engenheiro quanto ao nível de conhecimento e a definição de padrão ideal de conhecimento a ser atingido. A partir destes dados levantados será feita a proposição de programa de treinamento para suprir necessidades.

A Estruturação do Laboratório para a realização de Análises Gravimétricas é uma atividade simples que permitirá a confirmação de algumas hipóteses levantadas a partir da literatura e do conhecimento dos especialistas. A Análise Gravimétrica permite avaliar a perda de massa resultante de processos corrosivos em cupons instalados na árvore. A árvore de corrosão é um sistema constituído de uma bomba (capacidade de 1 m<sup>3</sup>/h) que resista a materiais ácidos, linhas de PVC, vaso revestido de teflon com capacidade de 100 litros, acessórios como

válvulas e flanges e, cupons para corrosão. A perda de massa será medida por balança analítica e a preparação da mistura corrosiva é feita a partir de proporções pré-definidas.

A promoção de Seminários para apresentar o Diagnóstico Preliminar dentro de cada empresa parceira com a discussão das hipóteses e das soluções propostas faz parte do programa deste projeto. Os Seminários Internos tem o objetivo de apresentar a viabilidade técnica e principalmente a viabilidade econômica quanto a investimentos para a preservação do patrimônio industrial. O Seminário Aberto tem a intenção de divulgar trabalhos para evitar processos corrosivos na forma de *CASES* sensibilizando as Empresas para a próxima e última etapa, preparação de Projeto Cooperativo de Estruturação do Centro de Referência em Corrosão de Processos no Estado da Bahia.

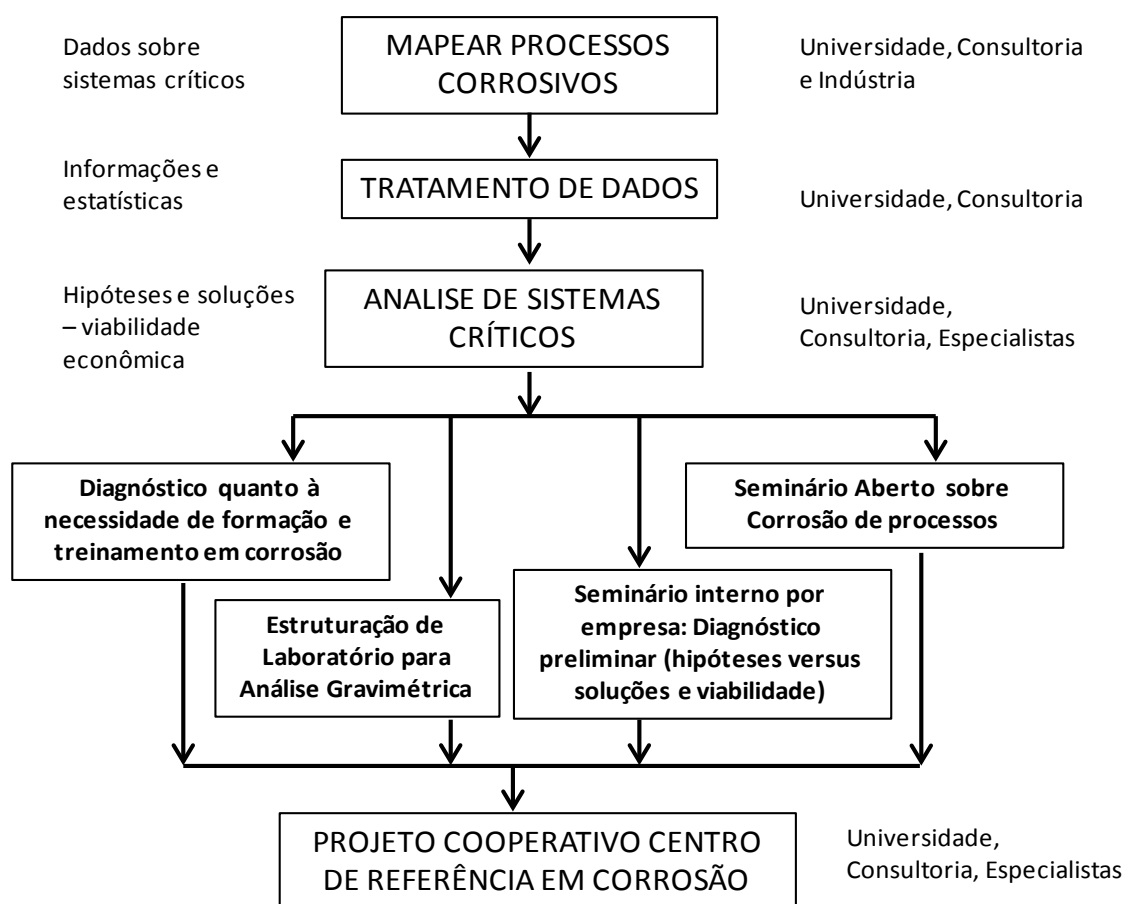


Figura 2 – Fluxograma de Diagnóstico Preliminar

O laboratório de corrosão que está sendo estruturado possui capacidade para realizar ensaios químicos da água, ensaios eletroquímicos e gravimétricos. Os ensaios eletroquímicos utilizam o potenciostato para análise quanto ao potencial de corrosão. Este ensaio pode ser feito no laboratório ou no campo utilizando o potenciostato portátil. Caso o potenciostato seja o do laboratório, os testes e análises são feitos para identificar situações próximas do real, mas, não exatamente do jeito que acontece no campo. Caso o potenciostato seja portátil, é possível avaliar o potencial de corrosão e incrustação de sistemas críticos no campo. Muitas vezes o que se procura identificar é a análise do comportamento dos materiais nos meios de processo quanto à possibilidade de corrosão.

É função do laboratório de corrosão o estudo utilizando árvores com cupons de prova no campo ou no próprio laboratório. A utilização das árvores no laboratório tem limitações quanto à efetividade dos resultados na aplicação de campo.

Normalmente, o teste de cupons no laboratório é feito para pesquisa em relação à resistência de materiais à corrosão. Ou simulação de situações futuras quanto a novos materiais de equipamentos ou mudanças no tratamento da água de resfriamento. Os cupons de teste após serem usados são analisados seguindo o princípio gravimétrico: inicialmente com a imersão em banho com ultrassom, em seguida é feito o preparo da superfície do cupom, as medições dimensionais e, finalmente é realizada a pesagem dos cupons.

Os ensaios da qualidade da água envolvem propriedades físico-químicos tais como: pH, condutividade, teor de sais inorgânicos, determinação da demanda química de oxigênio (DQO), dureza, turbidez, carbono orgânico total (COT), orgânicos específicos, temperatura e outros.

Este é um laboratório simples que utiliza pouco espaço. É necessária uma sala climatizada para a balança analítica. É necessária uma sala maior com bancadas e com espaço livre para a instalação de árvores de teste. As bancadas são projetadas para atender serviços de análise química da água, preparo do cupom e testes eletroquímicos com o potenciostato.

### **Resultados projetados e discussão**

---

Através do estudo sobre o monitoramento e controle da corrosão na indústria espera – se diminuir o tempo perdido e a quantidade de produto não produzida devido a paradas decorrentes de manutenção corretiva ou preventiva ocasionada pelos processos corrosivos; diminuir os riscos decorrentes de incidentes e acidentes provocados pelo processo corrosivo diminuindo assim o contato do homem e do meio ambiente com o produto químico; maior controle sobre os equipamentos e os sistemas críticos e; melhorar o tratamento de água e reduzir o consumo energia de elétrica nos sistemas de água de resfriamento, consequentemente baixando os custos e diminuindo a corrosão sem impactar o meio ambiente.

As indústrias parceiras neste projeto esperarão ter tais necessidades atendidas: identificação das causas e soluções para equipamentos e linhas que trabalham com fluidos ácidos; identificação de necessidades para formação e treinamento da equipe de produção e engenharia em corrosão de processo e; estudo de processos corrosivos em equipamentos e sistemas críticos.

Uma redução de custos de ao menos 0,25% sobre o valor de faturamento da Indústria é esperado refletindo numa redução da degradação e numa redução do lucro cessante. Uma proposta em andamento e já aceita por uma Indústria Petroquímica, uma Indústria de Insumos Químicos, e uma Indústria Metalúrgica indicam os seguintes ganhos potenciais com o trabalho de pesquisa sobre corrosão: Petroquímica (R\$ 5 Milhões), Químico (R\$ 1 Milhão), e

Metalurgia (R\$ 3 Milhões) anual de faturamento refletido em custo no projeto que custará abaixo de R\$ 5 Milhões em 3 anos. Isto significa que o projeto se sustenta em até 20 meses.

Outro ganho potencial é a integração Empresa e Universidade e o fomento a pesquisa na área de corrosão. Somente 1% dos trabalhos publicados em Congressos promovidos pela ABRACO, tem autoria baiana ou são realizados com casos de Empresas baianas. Não existem Universidades na Bahia que mantenham integração com a Indústria para resolver problemas de corrosão ou de manutenção de ativos (no caso para diminuir a degradação dos materiais).

A pesquisa proposta indica a formação de infra-estrutura para auditar a qualidade dos serviços de tratamento de água. Além do fomento a pesquisa direcionando mestrados e doutorados da UFBA para o estudo de materiais da indústria química.

### **Conclusões**

---

Conforme exposto, a problemática da corrosão nos processos industriais causa prejuízos financeiros, ambientais e a saúde do homem. De modo que essa questão necessita ser investigada e controlada. O projeto proposto busca criar uma metodologia de monitoramento e controle de corrosão. Sendo que primeiramente será preciso acompanhar os processos corrosivos nas indústrias integrantes. Em seguida, implantar um laboratório capaz de identificar e estimar um processo de corrosão ou incrustação já presente. Para isso serão utilizadas árvores de corrosão ou sondas potenciométricas para avaliar o potencial corrosivo do meio.

A preservação do patrimônio da Indústria Nacional transfere para terceirizadas (tratadoras de água) a análise técnica para definir soluções sobre corrosão. No Nordeste, com o ritmo de industrialização na indústria química e de petróleo tem poucos adeptos na investigação sobre os processos corrosivos em equipamentos de processos. Este trabalho mostra o planejamento de pesquisa a ser implantada na Região da Bahia para atender demandas imediatas da Indústria, e também, para aumentar a base de conhecimento local para investigação de soluções mais elaboradas.

A principal vantagem do projeto é realizar as atividades integrando a indústria e a universidade. Dessa maneira, as soluções propostas pelos operadores, engenheiros e estudantes terão aplicabilidade no cotidiano da produção. Espera-se, diminuir os lucros cessantes com a redução de paradas emergências; aumentar a competitividade da empresa através da atenuação do processo de corrosão e; alavancar o estudo deste assunto na Bahia, haja vista que será implantado um Centro de Referência em Corrosão de Processos no Estado.

Após a estruturação e consolidação das atividades citadas, será realizado um estudo sobre a viabilidade do reuso de efluentes industriais como a alimentação das torres de resfriamento. Dando continuidade ao estudo acerca deste tema.

### **Referências bibliográficas**

---

(1) Serra, E. T.; Fragata F. L. O Impacto e as Conseqüências da Corrosão para a Sociedade, 21º Congresso ABRACO, 2001



- 
- (2) Ferreira, P.A., Mota, C.V. O Gerenciamento da corrosão como ferramenta na tomada de decisões: projeto, operação, inspeção e manutenção, 19º Congresso ABRACO, 1999
  - (3) Palestra sobre a Nova ABRACO. Disponível em <<http://www.abraco.org.br/NAbracoP/slide0.htm#MARCA>> Acesso 16 de janeiro de 2012.
  - (4) Ávila S.F. Cooling Tower Mass Balance at Industry, Congresso Europeu de Engenharia Química CHISA, 2006
  - (5) Ohba M. e Lazarini, J.C. Estudo de Falhas por Corrosão em Equipamentos Metálicos de Indústria Química, 21º Congresso ABRACO, 2001.
  - (6) Pimenta, G.S. Padrão de gerenciamento da corrosão interna dos dutos da PETROBRÁS, 23o Congresso ABRACO – 2003.
  - (7) Barbosa A.S.N. A Ocorrência de Corrosão Induzida por Fluxo nas Paredes de Água de uma Caldeira, 21o Congresso ABRACO – 2001.
  - (8) Caruso Leão E. R. Avaliação da corrosão localizada causada pela água de refrigeração em feixes de trocadores de calor de monel 400. 21o Congresso ABRACO – 2003.
  - (9) Barbosa A.S.N. Implantação de um sistema de monitoramento da corrosão, lado água, numa usina termelétrica de pequeno porte. 20o Congresso ABRACO – 2000.
  - (10) Vieira, N. C. N. et all. Influência do valor do ph da água ácida na corrosão e absorção de hidrogênio atômico. 21o Congresso ABRACO – 2002.
  - (11) Alves, A. S., e Gartland P. Olav. Programa de inspeção e de prevenção anticorrosiva em dutos - a experiência DA PETROBRAS/E&P-BA.