

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

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

**Limpeza e preservação de interno de tubulações durante a montagem através de jateamento abrasivo e utilização de inibidor de corrosão**

Fredson O. de Moraes<sup>a</sup>, Magda R. S. Vieira<sup>b</sup>, Edval G. de Araújo<sup>c</sup>,  
Severino L. Urtiga Filho<sup>d</sup>

**Abstract**

The installation of piping systems commonly is on the critical path of the assembly of an industrial installation. The internal cleaning and preservation in process industry are highlighted steps pipes in the process of installing piping systems, As they allow to minimize or eliminate contaminants on the internal piping system. These impurities can to contaminate the fluid that will be transported, bringing problems in machines, and/or in industrial process. This study evaluated a new method of cleaning and preserving internal piping based on the use of abrasive blasting dry with polyurethane encapsulation, in preserving through the use of corrosion inhibitor of sodium nitrite, which was applied to the pipelines at Destillation Unit Abreu e Lima Refinery - Renest (Ipojuca - PE). The results showed technical feasibility in the use of the cleaning process by abrasive blast cleaning micro-encapsulated to internal, and was reached the standard Sa3 after cleaning process. The inhibitor used presented an unsatisfactory action, it was through Observed the identification of corrosion processes in internal pipe areas. It is the necessary process improvement for future applications.

**Keywords:** Cleaning, Industrial Pipes, Abrasive micro-encapsulated, Corrosion Inhibitors

<sup>a</sup> Pós-graduado, Engenheiro de Tubulações- UFPE

<sup>b</sup> Doutora, Professora/Pesquisadora do Departamento de Engenharia Mecânica – UFPE

<sup>c</sup> Doutor, Professor/Pesquisador do Departamento de Engenharia Mecânica – UFPE

<sup>d</sup> Doutor, Professor/Pesquisador do Departamento de Engenharia Mecânica – UFPE

---

## Resumo

---

A instalação de sistemas de tubulação comumente se constitui no caminho crítico da montagem de uma instalação industrial. A limpeza e a preservação interna de tubulações da indústria de processo são etapas de destaque neste processo de instalação, pois possibilitam minimizar ou eliminar os contaminantes presentes no interior da tubulação. Essas impurezas podem contaminar o fluido que será transportado, trazendo problemas em máquinas e/ou no processo industrial. Neste trabalho foi avaliado um novo método de limpeza e preservação interna de tubulação baseado no uso de jateamento abrasivo a seco com encapsulamento em poliuretano, associado à preservação através do uso de inibidor de corrosão à base de nitrito de sódio, que foi aplicado nas linhas de Tubulação da Unidade de Destilação da Refinaria Abreu e Lima - RENEST (Ipojuca – PE). Os resultados revelaram viabilidade técnica no uso do processo de limpeza por jateamento com abrasivo micro-encapsulado a seco para a área interna da tubulação, sendo atingindo um padrão Sa3 após processo de limpeza. O inibidor utilizado apresentou uma ação insatisfatória, que foi observada pela identificação de áreas internas da tubulação atingida por corrosão. Diante disso, identificou-se a necessidade de aprimorar o processo para futuras aplicações.

**Palavras-chave:** Limpeza, Tubulações Industriais, Abrasivo micro-encapsulado, Inibidores de Corrosão.

---

## Introdução

---

Diversos setores industriais fazem uso de redes de tubulações, as quais são essenciais para o funcionamento adequado da indústria. Em particular, no caso das indústrias de processo, as tubulações são ainda mais importantes, pois atuam como elementos físicos de ligação entre as diversas áreas processuais da empresa, conectando diferentes atividades da planta industrial (1).

No caso específico da indústria de petróleo, importância deve ser dada às tubulações de processo, que correspondem às tubulações que transportam fluidos básicos do processo industrial para armazenagem e distribuição. (2). Um exemplo típico são as tubulações de óleo das refinarias, terminais de instalações e armazenagem ou distribuição, que requerem estruturas de dutos muitas vezes extensas para cumprir com a função a que se destinam. O custo com tubulações num projeto industrial é bastante significativo. Estima-se que 20% do custo total de um projeto de uma indústria de processo, sejam destinados aos projetos da linha de tubulação (1,3). Mediante a grande importância das tubulações para o setor industrial tanto em termos de funcionalidade quanto em termos de custo, devem-se ser desenvolvidas alternativas processuais que permitam melhorias contínuas, desde a concepção do projeto da rede de tubulação até a sua manutenção após uso.

A limpeza da área interna de linhas é uma etapa mandatória na implementação de projetos de tubulações em industriais de processo. Esta atividade deve ser realizada com o objetivo de remover depósitos de corrosão e outros detritos antes da entrada em operação do sistema. (1). Os produtos de corrosão além de poder contaminar a linhas de transporte de fluido, podem danificar o material da tubulação provocando prejuízos econômicos e acidentes durante a operação as linhas (4-8). Convencionalmente esta atividade é executada ao fim da construção

---

das linhas, pelo motivo óbvio de se ter um “conduto” contínuo e dotado de conexões para introdução e circulação dos agentes de limpeza – água, vapor, compostos químicos, etc.

Este trabalho abordará um método alternativo ao convencionalmente utilizado que foi adotado na construção de uma unidade de processamento de petróleo – a Unidade de Destilação Atmosférica 1, na RENEST (Ipojuca – PE). O método consistiu na limpeza a seco, por jateamento abrasivo das tubulações utilizando abrasivo micro encapsulado, e na preservação da limpeza obtida através da aplicação de inibidor de corrosão, tudo isso sendo executado em paralelo com a montagem destas tubulações.

## **Metodologia**

---

### **Descrição do empreendimento e seus sistemas de tubulação**

Os sistemas de tubulação que foram avaliados neste estudo de caso são os que compõem a Unidade de Destilação Atmosférica 1 – UDA 1, da refinaria Abreu e Lima. Esta unidade foi construída e montada no período de junho de 2010 a dezembro de 2013 no município de Ipojuca – PE.

A unidade é a responsável pela primeira etapa do processo de refino. A carga de petróleo cru é admitida na unidade e, através de processos de aquecimento e fracionamento por diferença de densidade, são obtidos os produtos derivados do petróleo que são encaminhados para outras unidades para finalização dos processos.

Pela complexidade que é o processo de destilação, estas tubulações conduzem diversas correntes de fluidos, tais como: petróleo e seus derivados, aditivos químicos, resíduos contaminados, sistemas de utilidades (água, vapor, ar comprimido, nitrogênio), entre outras.

As tubulações da unidade foram implantadas e desenvolvidas em duas fases:

- i) Fabricação: Realizada na fábrica (pipe-shop), em área externa ao canteiro de obras por questões de disponibilidade de espaço. Foram fabricados os trechos de tubulação, chamados de “spools”, de forma a possibilitar o transporte e montagem no campo;
- ii) Montagem: A etapa de montagem foi realizada no canteiro de obra, de forma sequenciada, com a finalidade de interligar internamente os equipamentos e estes com as outras instalações da refinaria.

### **Processos de limpeza das tubulações**

Em geral, os fluidos transportados nesta unidade são compostos de petróleo, derivados e outros, com características de maior sujidade que os provenientes das tubulações que os conduzem. O grau de limpeza não é crítico para estes sistemas.

Porém, há sistemas operacionais que, em função de características do processo (sucção de máquinas, sistemas de transporte de óleo lubrificante, reatividade do fluido transportado), têm requisitos de maior limpeza, e não devem sofrer contaminação pela tubulação.

Métodos convencionais e largamente utilizados foram definidos no período de contratação do projeto. Contudo, estes métodos apresentam alguns inconvenientes tanto ao andamento da obra quanto ao meio ambiente e à saúde das pessoas envolvidas. As desvantagens desses métodos estão listadas na Tabela 01:

**Tabela 01 – Desvantagens dos métodos de limpeza convencionais**

MÉTODO	DESVANTAGENS
Lavagem com água	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande consumo de água limpa;</li> <li>• Grande quantidade de descarte de efluentes líquidos;</li> <li>• Início de operação possível somente após a conclusão total dos sistemas;</li> <li>• Incerteza quanto ao tempo de execução e finalização do processo;</li> </ul>
Limpeza química (decapagem)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geração de grande quantidade de resíduos químicos;</li> <li>• Impossibilidade de trabalhos em paralelo;</li> <li>• Início de operação possível somente após a conclusão total dos sistemas;</li> <li>• Incerteza quanto ao tempo de execução e finalização do processo;</li> </ul>
Sopragem com vapor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de caldeira e sistemas provisórios;</li> <li>• Geração de ruído excessivo;</li> <li>• Necessidade de isolamento das áreas, impossibilitando trabalhos paralelos;</li> <li>• Início de operação somente após conclusão dos sistemas, inclusive com o teste hidrostático;</li> <li>• Incerteza quanto ao tempo de execução e finalização do processo;</li> </ul>

Fonte: Fórum interno “comissionamento com sustentabilidade”, 2012

Durante a execução do projeto, foram identificadas dificuldades relacionadas aos métodos convencionais de limpeza de tubulações, que tinham potencial de interferir no andamento da obra. Estas dificuldades constituíram um cenário alertado pela montadora, que foi apresentado resumidamente de acordo com os itens listados abaixo:

- Cronograma Desafiador → Necessidade de recuperação de prazo;
- Grande Consumo de Água;
- Período de Forte Seca no Nordeste;
- Grande Geração de Efluentes Químicos.

Este cenário, aliado às condições de desvantagens apresentadas na Tabela 01, motivou a busca por alternativas ao método tradicional de limpeza de linhas.

Foi realizada uma pesquisa no mercado por soluções que atendessem a essa necessidade. Foi discutida então a alternativa de limpeza a seco, principalmente por ser aplicável a trechos de tubulação em fase de construção, não exigindo que estivessem concluídos. Esta alternativa basicamente consiste de duas etapas básicas:

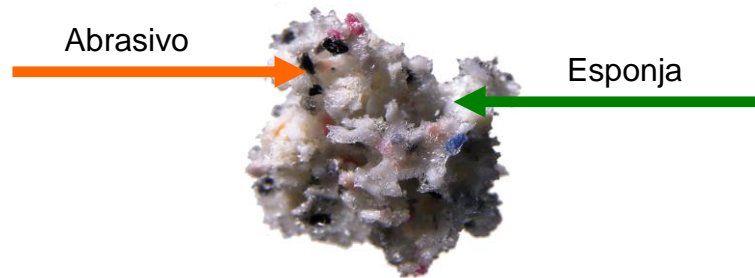
**Etapa 1** – Limpeza a seco da tubulação: Esta, a depender do requisito de limpeza ou de restrição de diâmetro da tubulação, pode ser executada por jateamento abrasivo, ou por passagem de PIG, que corresponde a um dispositivo mecânico utilizado para limpeza e inspeção interna de tubulações, que geralmente é impulsionada pelo fluido transportado no duto.

**Etapa 2** – Preservação da limpeza executada, através de aplicação de inibidor de corrosão.

## Descrição do procedimento alternativo adotado para limpeza do interno de tubulação

- **Jateamento Interno**

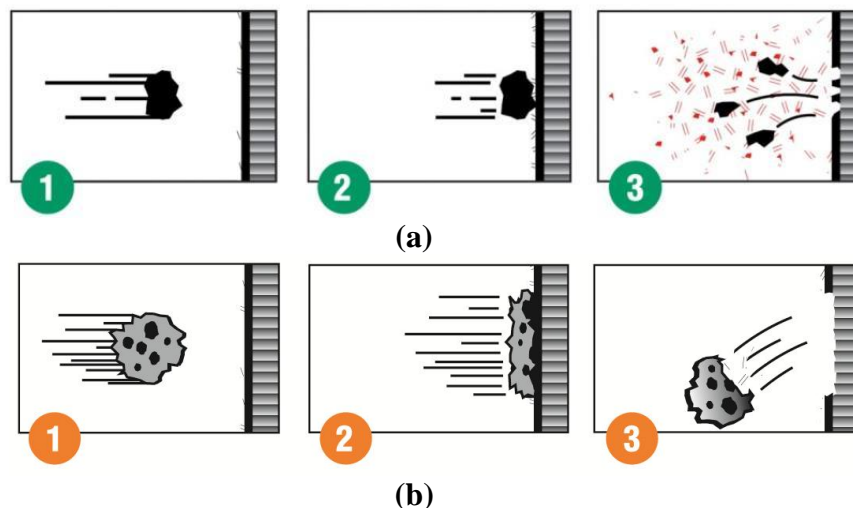
Visando reduzir a geração de poeiras excessivas durante o jateamento, foram utilizados abrasivos micro encapsulados em esponja de poliuretano, conforme Figura 01.



**Figura 01 – Aspecto do abrasivo micro-encapsulado**

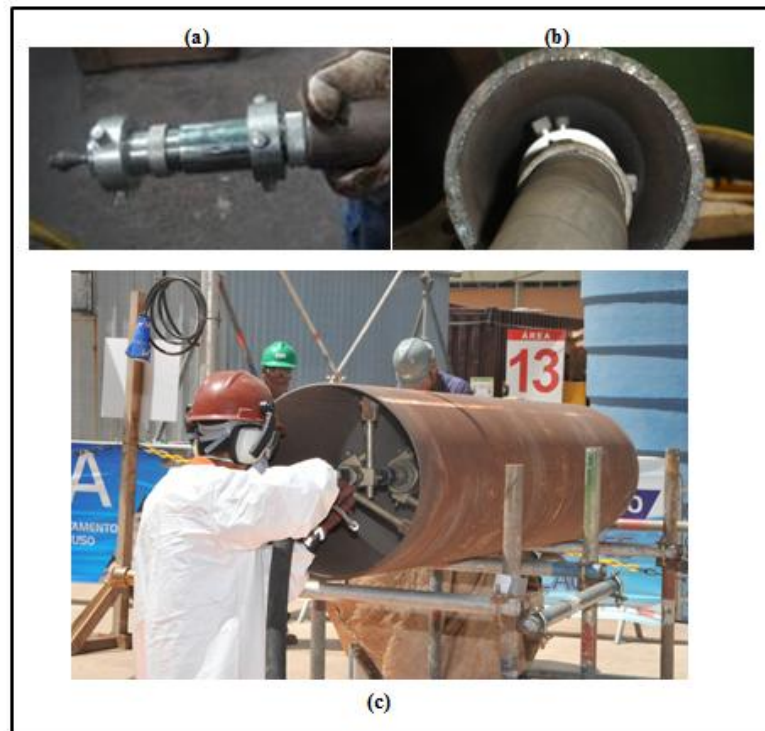
Fonte: Fórum interno “Comissionamento com sustentabilidade”, 2012

A Figura 02 apresenta uma comparação do jateamento com abrasivo convencional e com abrasivo micro encapsulado em esponja de poliuretano. Observa-se no esquemático a diferença quanto à geração de poeiras. Na Figura 03, é mostrado o processo de jateamento interno das tubulações que foi adotado nesse trabalho.



**Figura 02 - Comparação entre os abrasivos: (a) convencional e (b) micro-encapsulado.**

Fonte: Fórum interno “Comissionamento com sustentabilidade”, 2012

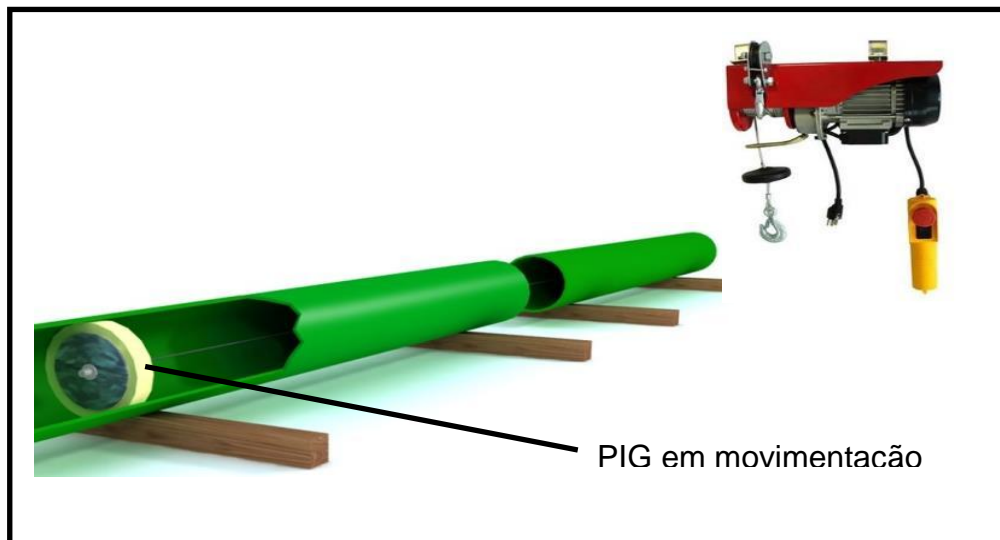


**Figura 03 – Jateamento interno de tubulações - (a) Bico de jateamento com dispositivo centralizador; (b) Execução do jateamento e (c) Execução de jateamento, utilizando dispositivo centralizador para diâmetros maiores.**

- **Limpeza por passagem de PIG**

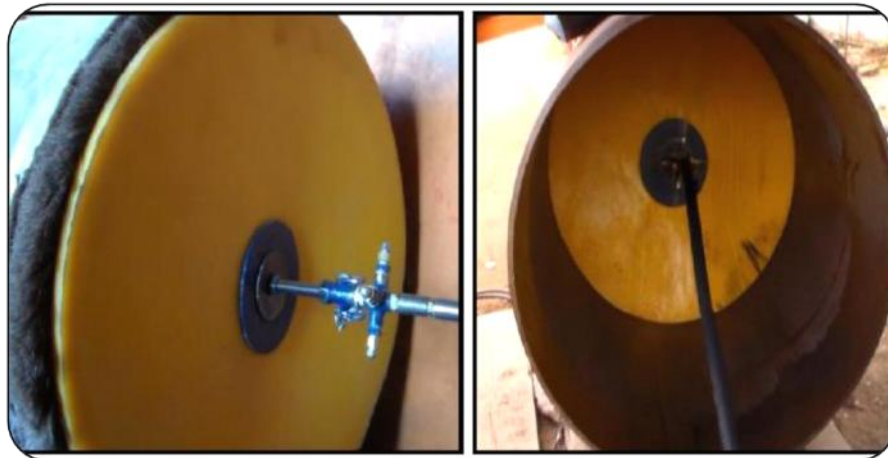
A passagem de “PIG” convencionalmente é executada em meio aquoso e pressurizado, e com auxílio de instalações nas tubulações denominadas lançadores e recebedores de “PIG”. Para adequar-se à limpeza a seco, o processo de lançamento de “PIG” foi modificado para um sistema puxado por guincho com cabos de aço.

Esse processo possibilitou dispensar a utilização de lançadores e recebedores de “PIG” e ainda proporcionou a inclusão de dispositivo de aspersão do inibidor de corrosão. O esquema de passagem de “PIG” utilizado é conforme apresentado na Figura 04.



**Figura 04 – Layout de Movimentação PIG**

Na Figura 05 pode ser observado o “PIG” sendo puxado, no sentido do interior para fora do tubo, e a conexão com aspersor do inibidor de corrosão.



**Figura 05 – Execução de limpeza com PIG**

### **Inibidor de corrosão**

Para preservação após processo de limpeza, optou-se pelo uso de inibidores de corrosão para proteger o material ao longo das etapas de montagem das linhas. Neste trabalho, foi utilizado um inibidor de marca comercial correspondente ao produto HPI-NMD-02. Esse produto, segundo ficha técnica, é composto por sais inorgânicos de nitrogênio, entre os quais, o nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ), que possui alto poder passivante, promovendo a oxidação do ferro superficial, formando uma película de magnetita que protege a superfície de futuros ataques corrosivos.

### **Testes com corpos de prova e com a tubulação após aplicação do inibidor de corrosão**

Foram enviadas amostras de placas de aço carbono para avaliação do desempenho dos agentes passivadores. Os corpos de prova foram previamente jateados, conforme o procedimento da montadora. Foram realizados testes com passivantes, submetendo as amostras a uma espuma, com características similares aos PIG's que seriam utilizados na área industrial, umedecidas com solução passivante HPI-NMD-2. As amostras ficaram armazenadas, protegidas apenas contra intempéries, em ambiente urbano, sendo monitoradas visualmente, ao longo de um período de 10 meses.

Também foi realizado monitoramento da tubulação tratada com o inibidor de corrosão, após período de 12 meses, por meio do uso de boroscopia, visando comparar esses resultados com os obtidos em laboratório.

## **Resultados e discussão**

### **Resultados esperados**

Como indicadores de acompanhamento do projeto, foram estabelecidos como resultados esperados:

- **Limpeza da superfície interna**

Grau de limpeza padrão Sa3: Este grau de limpeza supera a expectativa do cliente, frente à limpeza convencional por circulação de fluidos.

- **Redução do consumo de água no comissionamento das tubulações**

Foram calculados os volumes dos sistemas e considerados os ciclos de lavagens, processos de desengraxe, decapagens químicas, neutralizações e descartes necessários. Mediante essa análise do consumo de água no comissionamento de tubulações, foram estimadas como necessárias as quantidades descritas na Tabela 02.

**Tabela 02 – Expectativa de redução do consumo de água**

Descrição	Método Tradicional	Método Proposto
Volume de água consumido para a limpeza das linhas	4,5 milhões de litros	300 mil litros

Fonte: Fórum interno “comissionamento com sustentabilidade”, 2012

- **Redução do prazo do cronograma da obra:**

Uma das principais características deste novo método consiste em realizar as atividades de condicionamento em paralelo com a montagem. Como consequência, esperava-se a



antecipação desta etapa, com novo término previsto conjuntamente com a finalização da etapa de montagem. Na Figura 06 apresenta-se a expectativa de ganho de prazo:

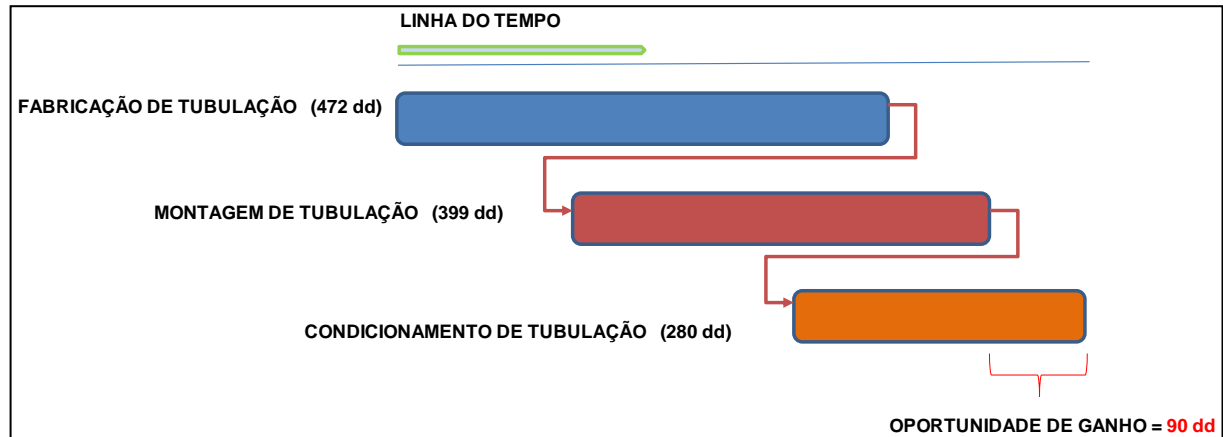


Figura 06 – Fases do processo de implementação das tubulações

Com o deslocamento da etapa de condicionamento em paralelo à montagem das tubulações, a expectativa de ganho real seria de 90 dias, previsto para o condicionamento da unidade.

- **Passivação da superfície**

Proteção à corrosão até a entrega da unidade para startup: Manutenção das condições de limpeza da tubulação, até a fase de início de operação da unidade.

A seguir são apresentados os resultados alcançados e um comparativo com as metas que foram previamente estabelecidas.

### Resultados alcançados

- **Limpeza da superfície interna:**

Os resultados obtidos em campo foram satisfatórios. A limpeza alcançou o padrão de limpeza estabelecido. A qualidade da limpeza foi devidamente atestada através de inspeções por boroscopia (com registro visual e identificado) e emissão de relatório de qualidade por profissional qualificado. Na Figura 07 observa-se o aspecto da superfície interna do tubo após jateamento e limpeza por PIG, alcançando-se uma superfície ao metal branco, correspondente ao padrão Sa3.

No método de jateamento com abrasivo micro-encapsulado foram listadas neste trabalho as seguintes vantagens:

- É reutilizável, limpo, seco e com baixa geração de poeira na área interna dos tubos e conexões;
- Apresenta módulo contendo os equipamentos de jato com mobilidade para acessibilidade a todos os sistemas de tubulação distribuídos no canteiro de obra;
- Faz uso de dispositivos acoplados ao bico que permitem limpeza do interno de tubos em grau de limpeza Sa3;
- A operação ocorre sem a necessidade de rotacionar o tubo ou a ferramenta;

- Utiliza pressão de ar comprimido padrão – ar comprimido (350 CFM a 100 psi para os maiores diâmetros);
- A ferramenta é colocada no final do tubo e trazida manualmente, através do tubo, a uma velocidade determinada conforme nível de limpeza e diâmetro;
- Adapta-se a tubos retos variando de 2 a 36 polegadas de diâmetro interno e comprimentos de até 90 metros (horizontais) e 60 metros (verticais);
- Adapta-se a tubulações contendo curvas, atingindo um alcance de até 50 m para diâmetros acima de 3”.



**Figura 07 – Aspecto da superfície após limpeza com abrasivo micro encapsulado.**

Fonte: Acervo de imagens da fiscalização de projeto

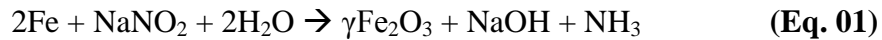
- **Ensaio preliminares do inibidor de corrosão em corpos de prova**

O inibidor HPI-NMD-02, à base de sais de nitrogênio, atua sobre a superfície do aço carbono como um inibidor anódico, formando uma fina camada de óxido de ferro estável, através da reação de oxidação dos íons  $Fe^{2+}$ , na superfície do metal.

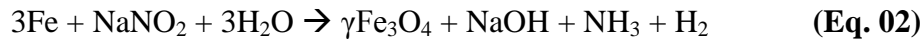
Esta camada passivante impede o contato da água, ar ou qualquer agente corrosivo, como cloretos e ácidos com o metal. Não requer uma atmosfera com presença de  $O_2$ , podendo a reação se processar apenas na presença da água utilizada para o preparo da solução dos ativos oxidante/agente de passivação (8).

A camada passivante é constituída por hematita ( $Fe_2O_3$ ) e magnetita ( $Fe_3O_4$ ), sendo que o passivante acelera a oxidação estável e resulta nas duas oxidações sequenciais, partindo do  $Fe^0$  para o  $Fe^{2+}$  e logo para o  $Fe^{3+}$ , com uma cinética de reação quase instantânea (8). Essa combinação dos íons de ferro é a forma mais estável que o ferro é encontrado na natureza, predominando sobre o produto final magnetita ( $FeO + Fe_2O_3$ ), que é de difícil reação. Estes óxidos possuem coloração cinzenta, sendo a magnetita um mineral magnético formado pelos óxidos de ferro II e III ( $FeO \cdot Fe_2O_3$ ), cuja fórmula química é  $Fe_3O_4$ . A magnetita apresenta na sua composição, aproximadamente, 69% de  $FeO$  e 31% de  $Fe_2O_3$  ou 72,4% de ferro e 26,7% de oxigênio. O óxido apresenta forma cristalina isométrica, geralmente na forma octaédrica e brilho metálico escuro (8).

A reação de formação da hematita, que atua como camada passivante transitória está ilustrada na equação 01:



A reação de formação da magnetita, que atua como camada passivante mais resistente é mostrada na equação 02.



O  $\text{NaNO}_2$  é um inibidor anódico, ou seja ele atua nas reações anódicas, retardando ou impedindo a reação do anodo. De forma geral esse tipo de inibidor, funciona reagindo, com o produto de corrosão inicialmente formado, dando origem a um filme aderente e extremamente insolúvel na superfície do metal, resultando na proteção contra a corrosão (4,9).

Os corpos de prova sobre os quais foi aplicado o inibidor de corrosão, não apresentaram a formação de corrosão vermelha por período de 10 meses, conforme ilustrado na Figura 08.



**Figura 08 – Corpo de prova – 10 meses preservado com inibidor**

Fonte: Parecer Técnico Uso Passivante HPI-NMD (8)

#### • **Passivação da superfície das tubulações**

Foram inspecionados os sistemas de tubulação após período de 12 meses e os resultados encontrados demonstraram falha na manutenção da limpeza executada.

A preservação da superfície (passivação) não se mostrou eficaz. Os resultados encontrados nas tubulações em campo não foram condizentes com aqueles realizados em laboratório, que simulavam condições similares.

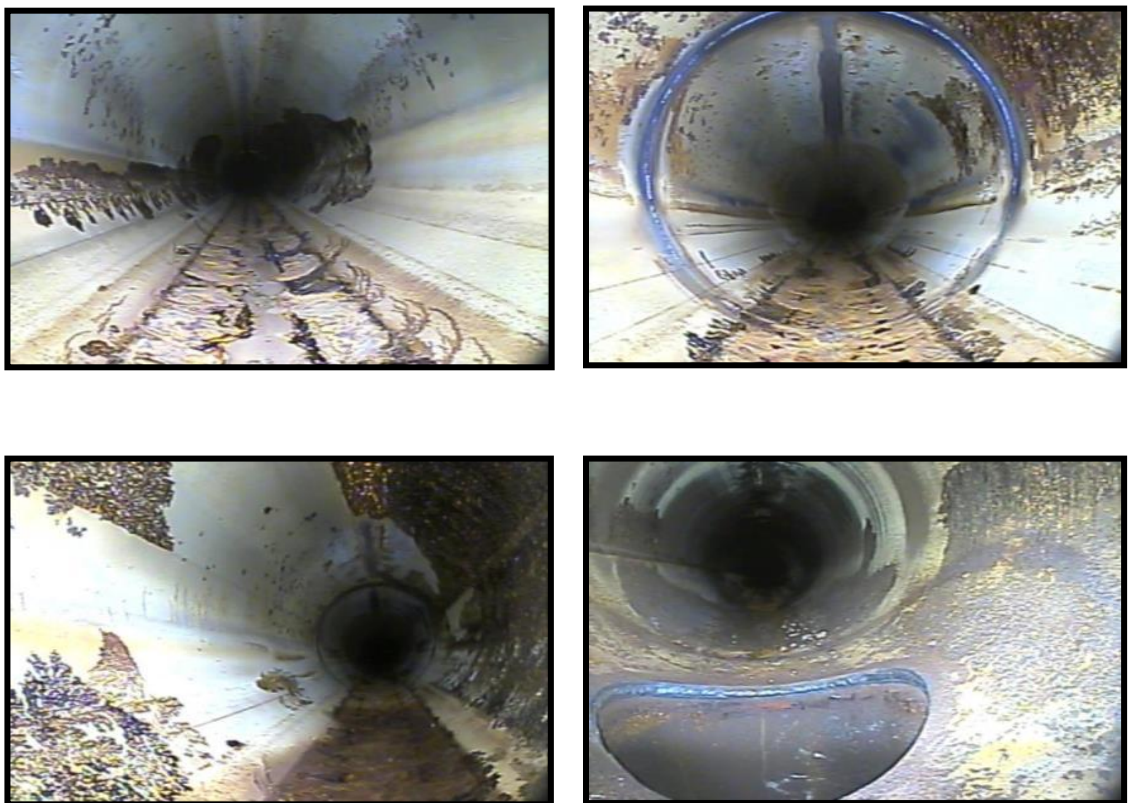
Possivelmente, esse comportamento divergente, pode estar associado a falhas processuais ocorridas ao longo da aplicação do inibidor em campo. Dois parâmetros importantes podem ter apresentado alterações na aplicação:

- Concentração do passivante aplicado conforme especificado;
- Uniformidade de camada de passivante sobre a superfície do metal;

A concentração é um parâmetro muito importante quando se faz uso de inibidores anódicos. Cada tipo de inibidor apresenta uma concentração crítica na solução acima da qual há inibição. Se a concentração apresentar valor mais baixo do que a sua concentração crítica, o produto insolúvel e protetor não se forma ao longo de toda a extensão da superfície a ser protegida, tendo-se então corrosão localizada nas áreas não protegidas (8).

Foi observado que o dispositivo de aplicação (onde foi acoplado o sistema de bicos de aplicação) não mantinha uma velocidade de avanço constante, o que pode ter contribuído para falhas na aplicação, resultando em falhas nos dois parâmetros anteriormente citados.

As imagens apresentadas nas Figuras 09 e 10 evidenciam os aspectos das superfícies das tubulações após de 12 meses.



**Figura 09 – Sequência de imagens (boroscopia) Linha de Vapor 18” AC**

As imagens da Figura 09 foram geradas através de inspeção por boroscopia, percorrendo um trecho de aproximadamente 100 metros da tubulação. Foram observadas áreas preservadas, mas também grandes áreas onde já está presente processo ativo de corrosão.

As imagens da Figura 10 foram obtidas através de inspeção fotográfica após desmontagem da linha de sucção do compressor. A preservação não foi eficaz, conforme é observado na Figura 10 (a), onde se observa oxidação de leve a média intensidade. Para o tipo de operação desta linha, este padrão de limpeza não é aceitável.

Foi definida uma nova limpeza, através do método convencional, por meio de limpeza química por decapagem. O resultado desta segunda limpeza é observado na Figura 10(b).



(a) (b)  
**Figura – 10: Foto Linha de Sucção Compressores 8” AC: (a) Após abertura para inspeção; (b) Após limpeza química (retrabalho).**

- **Redução do prazo do cronograma da obra**

Observou-se que de fato a execução das atividades em paralelo à montagem da tubulação propiciaria redução no cronograma da obra. Porém, diferente do previsto, os dispositivos de jateamento (carrinhos com roletes) não se mostraram eficazes no deslocamento no interior das tubulações, sendo observado diversas vezes o travamento do equipamento no interior das tubulações, em trechos de longo comprimento e nas mudanças de direção (curvas).

Estes problemas se acumularam causando baixíssima produtividade, levando a optar-se por uma mudança na estratégia, com a adoção de medida de corte de tubulações, reduzindo os trechos para facilitar o deslocamento dos dispositivos de jateamento.

Esta mudança teve como consequência a inclusão de trabalho adicional. As atividades de corte, resoldagem e controle de qualidade (ensaios não destrutivos) levaram a um aumento de prazo não previsto na atividade de montagem das tubulações, impactando na redução de prazo pretendida.

Houve outras atividades que influíram no aumento do prazo de montagem das tubulações, distintas do processo de limpeza de tubulações. Portanto, a medição da parcela que foi diretamente causada pelos retrabalhos, decorrentes da limpeza a seco, é de difícil medição.

A Tabela 03 apresenta o resumo dos resultados alcançados frente às ações que foram executadas.

**Tabela 03 – Resumo dos resultados obtidos com a implementação da nova proposta**

Ação Executada	Resultado Esperado	Status final do Resultado
Limpeza por jateamento e por PIG	Padrão de Superfície Sa3	Alcançado
Limpeza a seco	Consumo Zero de Água na Etapa de Comissionamento	Não Alcançado
Atividades em paralelo	Redução do tempo da obra	Alcançado Parcialmente
Uso de Inibidor de Corrosão	Garantia de proteção anticorrosiva até início da operação da unidade	Alcançado Parcialmente

## Conclusões

O uso do processo de limpeza da área interna de tubulações na etapa de comissionamento por meio de jateamento a seco com abrasivo micro-encapsulados mostrou-se uma alternativa viável, atingindo um padrão de limpeza Sa3.

Adequações no sistema de carrinhos com roletes são necessárias para realização do processo de jateamento, visando evitar acréscimo no tempo de execução causado por travamento do equipamento ao longo da tubulação.

O inibidor anódico, à base de  $\text{NaNO}_2$  testado neste trabalho mostrou um bom desempenho nos testes em corpos de prova em laboratório, contudo em campo, após 12 meses, detectou-se a presença de corrosão em trechos da tubulação. Esse resultado pode ser atribuído a falhas no dispositivo de aplicação, pois ao longo do processo, este não manteve uma velocidade de deposição constante e conseqüentemente acarretou diferença na concentração de inibidor depositada ao longo dos trechos da tubulação.

Por ser uma aplicação nova, houve imprevistos não identificados inicialmente que vieram a interferir nos resultados: limitação das ferramentas de limpeza (dispositivos de jateamento) e prazos longos desde a aplicação do inibidor até o condicionamento das linhas para operação.

Considerando os resultados, conforme resumo da Tabela 03, pode-se considerar que o atendimento parcial do que foi proposto caracteriza a necessidade de reavaliação da metodologia, visando atingir condições processuais que garantam limpeza eficiente e preservação das tubulações ao longo da obra, redução do consumo de água e do tempo de execução do projeto.

---

**Referências bibliográficas**

---

- (1) TELLES, Pedro Silva. **Tubulações industriais: materiais, projeto, montagem**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- (2) THOMAS, J. E (organizador). **Fundamentos de Engenharia de Petróleo** –Rio de Janeiro, RJ: Interciência: PETROBRAS, 2004.
- (3) TELLES, P. C. S. **Materiais para equipamentos de processo**. 6.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- (4) GENTIL, V. **Corrosão**. 6.ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2011.
- (5) GEMELLI, E. **Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2001. 183 p.
- (6) JAMBO, H. C. M.; FÓFANO, S. **Corrosão - Fundamentos, Monitoração e Controle**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2008. 342p.
- (7) PANOSSIAN, Z. **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. 1ed. São Paulo: IPT, 1993. 2.V, 636 P.
- (8) SOLVEN, **Parecer Técnico Uso Passivante HPI-NMD (DOCUMENTO INTERNO)**, Simões Filho, 2014.
- (9) MEDEIROS, M. H. F; MONTEIRO, E. B. **Utilização do nitrito de sódio como inibidor de corrosão em estruturas de concreto armado sujeitas a ação dos íons cloretos**. Revista Engenharia Civil, nº15, 2002, p.19-28.

**Normas Técnicas Consultadas**

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, API RP-686: **Recommended practice for machinery installation and installation design**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL, ABEMI: PEC-0401.00: **Fabricação e montagem de tubulação**, São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL, ABEMI: PEC-1201.00: **Geral de comissionamento**, São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL, ABEMI: PEC-1201.01: **Condicionamento – diretrizes para limpeza de tubulações**, São Paulo, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL, ABEMI: PEC-1201.07: **Diretrizes para inertização de sistemas**, São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL, ABEMI: PEC-1201.09: **Geral de preservação de itens**, São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15280-2: **Dutos terrestres parte 2: construção e montagem**. Rio de Janeiro, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 9223: **Corrosion of Metals and Alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification**, 1992.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 8501-1: **Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness**, 2007.

PETROBRAS, N-2634: **Operações de passagem de “pigs” em dutos**, Rio de Janeiro, 2011

PETROBRAS, N-464: **Construção, montagem e condicionamento de duto terrestre**, Rio de Janeiro, 2012.

PETROBRAS, N-115: **Fabricação e montagem de tubulações metálicas**, Rio de Janeiro, 2013.

PETROBRAS, N-9: **Tratamento de superfície de aço com jato abrasivo e hidrojateamento**, Rio de Janeiro, 2013.