

06

Guia de Inspeção

Inspeção de Sistemas de Tubulações



Rosana Lima – CRB-7/4083
Responsável pela elaboração da ficha catalográfica

I59 Inspeção de sistemas de tubulações / Luiz Antônio Moschini de Souza (organizador). – Rio de Janeiro: IBP, 2017. 68 p.; il. (Guia de Inspeção, n. 06).

O presente material é um e-book.
E-ISBN 978-85-9486-083-5

1. Tubulação 2. Tubulação Inspeção 3. Inspeção de Equipamentos I. Souza, Luiz Antônio Moschini de, org. II. Série III. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

17-0001

CDD: 658.568

Apresentação

Este Guia foi produzido pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP - com objetivo de apresentar subsídios básicos para implementação de Planos de Inspeção em Tubulações metálicas, aéreas ou enterradas, tomando-se como referência principalmente as recomendações contidas na Norma API 570.

Buscou-se incluir a experiência e as melhores práticas trazidas por renomados profissionais que atuam nesta área de conhecimento que foram organizadas, analisadas e formatadas para apresentação pelo Engenheiro Luiz Antônio Moschini de Souza.

Este guia se aplica a tubulações aéreas ou enterradas, localizadas em refinarias, petroquímicas, terminais para distribuição, plantas de processamento de gás e correlatas incluindo aquelas sob o escopo da Norma Regulamentadora (NR-13) do Ministério do Trabalho.

O público alvo deste guia são estudantes de graduação, pós-graduação, técnicos, engenheiros e pesquisadores que atuam ou pretendem atuar com Inspeção de Equipamentos.

Roberto Odilon Horta
Gerente de Certificação - IBP

Agradecimentos

O IBP agradece às pessoas que contribuíram para a elaboração deste guia, assim como às empresas que permitiram que suas melhores práticas fossem condensadas e apresentadas nesta obra.

Não podemos deixar de destacar o empenho e dedicação dos profissionais abaixo, pertencentes ao Grupo Regional de Inspeção de São Paulo e à Comissão de Inspeção de Equipamentos, que contribuíram para elaboração deste Guia com textos, experiências e boas práticas:

Fernando T. Gazini
Alex Rodrigues
Akira Sakamoto
Carlos R. Burger
Cláudio B. Fernandes
Flavio Barreto
José Luis Roberto Alves
J. R. Lucas
Lincoln T. Cordeiro
Luis Roberto Alves
Marcos A. Prado
Paulo G. R. Costa
Rodolfo Grigoletto
Silvio S. Rohde
Tommy Y. Yabuki
Walter R. Friggi
Aldo Cordeiro Dutra
Amilcar Andrade Sales
Antonio Luiz de Melo Vieira Leite
Arnoldo Lima Fagundes
Carlos Bruno Eckstein
Claudio Soligo Camerini
Deyson Marcelo Rothen
Guilherme Victor Peixoto Donato
Helder de Souza Werneck

Heleno Ribeiro Simões
Heloisa Cunha Furtado
João Roberto Silva Picanço
Joaquim Smiderle Corte
Jorge dos Santos Pereira Filho
Jose Eduardo de Almeida Maneschy
José Luiz de França Freire
Luis Antônio Moschini de Souza
Luis Carlos Greggianin
Marcelo Aparecido da Silva
Marco Aurélio Oliveira Lima
Mario Pezzi Filho
Pavel Rodrigues Bernardi
Pedro Feres Filho
Pedro Vizilde Souza da Silva
Ricardo Barbosa Caldeira
Ricardo de Oliveira Carneval
Ricardo Pereira Guimarães
Severino Albani Junior
Teófilo Antônio de Sousa
Tito Luiz da Silveira
Waldomiro Lima Pereira

Rio de Janeiro, fevereiro de 2017.

Luiz Antônio Moschini de Souza - Organizador

Os Guias de Inspeção de Equipamentos emitidos pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP - têm por objetivo orientar a realização de inspeções em equipamentos da indústria do petróleo, petroquímica e química, podendo ser utilizados por outros tipos de indústrias que possuam equipamentos similares.

Os Guias contêm informações práticas sobre tipos de equipamentos usuais, mecanismos de danos que podem afetá-los, técnicas de inspeção usuais, aspectos de segurança individual do inspetor e aspectos da responsabilidade sobre a inspeção.

Os Guias de Inspeção elaborados pelo IBP, sob supervisão e orientação de profissional especializado, sintetizam as melhores práticas e experiência acumulada por profissionais de notório saber na área de inspeção de equipamentos em operação que compõem a Comissão de Inspeção de Equipamentos e Grupos Regionais de Inspeção de Equipamentos e que voluntariamente decidiram colaborar com esta obra. Estas informações podem conter referências a padrões e normas de aplicação internacional cujas referências e autorias e direitos estão transcritas no capítulo Bibliografia Sugerida.

As informações contidas nos Guias são práticas recomendadas, e não constituem regulamentações, padrões ou códigos mandatórios, sendo a aceitação e aplicação de responsabilidade exclusiva dos profissionais envolvidos nas inspeções.

1	Objetivo e campo de aplicação	7
1.1	Objetivo	7
1.2	Campo de aplicação	7
2	Documentos de referência	9
3	Definições	11
3.1	Acessórios de tubulação	11
3.2	Barreira de proteção térmica pessoal	11
3.3	By-pass	11
3.4	Conexão	12
3.5	Amortecedores	12
3.6	Especificações de tubulações	12
3.7	Filtros	12
3.8	Lista de linhas	12
3.9	Isolamento térmico	13
3.10	Isométrico	13
3.11	Juntas de expansão	13
3.12	Juntas de vedação	13
3.13	Ligações flangeadas	13
3.14	Ligações rosqueadas	14
3.15	Ligações soldadas	14
3.16	“Lira” ou curva de dilatação	14
3.17	Linhas	14
3.18	Código de identificação das linhas	14
3.19	Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA)	14
3.20	Pontos de injeção de produto	15
3.21	Profissional habilitado	15
3.22	Purgadores de vapor (“steam traps”)	15
3.23	Reparo	15
3.24	Sistema de tubulações	15
3.25	Suportes de tubulação	15
3.26	Tubo para aquecimento externo “steam tracing”	16
3.27	Tubulação	17
3.28	Tubulação de pequeno Diâmetro	17
3.29	Plano de Inspeção	17

3.30	Válvulas	17
3.31	Zonas com estagnação de fluxo	18
4	Classificação das tubulações	19
5	Causas específicas de deterioração e avarias	20
6	Planejamento, programação e preparativos da inspeção	21
7	Procedimentos de inspeção	34
8	Reparos	58
8.1	Reparos e alterações	58
8.2	Especificação de reparos e alterações	58
8.3	Verificação de materiais para reparos e alterações	58
8.4	Reparos temporários	59
8.5	Reparos com solda	59
8.6	Controle da qualidade de reparos	59
8.7	Tipos de reparo	60
9	Documentação de inspeção	64
10	Bibliografia sugerida	67

1 Objetivo e campo de aplicação

1.1 Objetivo

Este guia contém um conjunto de práticas recomendadas para a inspeção de tubulações ou sistemas de tubulações e seus acessórios, que visam preservar sua integridade física durante a utilização operacional em indústrias de processo.

1.2 Campo de aplicação

Este guia pode ser aplicado nas inspeções de caráter preventivo ou corretivo de tubulações metálicas aparentes ou subterrâneas.

As tubulações ou sistemas de tubulações interligados a caldeiras ou vasos de pressão, que contenham fluidos inflamáveis, combustíveis, tóxicos, hidrogênio ou acetileno, devem ter programas e planos de inspeção que considerem as variáveis, condições e premissas descritas na Norma Regulamentadora NR-13.

Visto que um grande volume de incidentes e acidentes que ocorrem no meio industrial é causado por vazamentos decorrentes de algum mecanismo de deterioração nestes sistemas, a verificação de suas condições físicas e das causas de deterioração é muito importante.

Não faz parte deste guia, instruções para inspeção em dutos de transferência e transporte, tubulações de produção em poço de petróleo, emissários submarinos, válvulas de segurança e válvulas de controle de vazão e pressão, sistemas de controle de nível, medidores de fluxo, combinados e relacionados com instrumentação, ou sistemas de tubulação em montagem ou fabricação.

Este guia não deve ser utilizado em substituição aos requisitos originais de projeto e montagem dos sistemas, e também não deve ser utilizado

conflitadamente com a regulamentação governamental vigente, e sim, como complemento a estes quando necessário, baseando-se em "Práticas de Engenharia Geralmente Aceitas".

2 Documentos de referência

A seguir estão indicados os documentos cuja consulta pode ser necessária para a utilização deste Guia.

- a) Fluxograma de Engenharia que contenha a tubulação ou sistema;
- b) Desenhos de projeto de tubulação: Instalação, Isométricos e “Data Book quando a tubulação fizer parte de algum pacote de fornecimento de equipamento (compressores, turbinas, etc.)” e Desenhos de Juntas de Expansão;
- c) Especificação de materiais de Tubulação, Lista de Linhas, Lista de Suportes de Mola, Folhas de Dados – purgadores, filtros de linha, válvulas especiais e juntas de expansão;
- d) Norma regulamentadora NR-13 – Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações;
- e) Norma regulamentadora NR-20 – Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis;
- f) Norma regulamentadora NR-26 – Sinalização de segurança;
- g) Histórico de Inspeções das Tubulações;
- h) Códigos de Projeto de Tubulações ASME B31 (Code for Pressure Piping):
 - h.1) ASME B31.1 Power Piping;
 - h.2) ASME B31.3 Process Piping;
 - h.3) ASME B31.5 Refrigeration Piping and heat Transfer Components;
 - h.4) ASME B31.11 Slurry Transportation Piping Systems.

- i) API 570 (Piping Inspection Code – Inspection, Repair, Alteration, and Rerating Of In-Service Piping Systems);
- j) ANSI Z223.1 National Fuel Gas Code;
- k) API RP 571 – Recognition of Conditions Causing Deterioration of Failure (Damage Mechanism Affecting Fixed Equipment in the Refining Industries);
- l) API 574 – Inspection of Piping, Tubing, Valves, and Fittings (Inspection Practices for Piping System Component);
- m) API RP 1129 Assurance of Hazardous Liquid Pipeline System Integrity;
- n) Guia de Inspeção de Tubulação do API Guide for Inspection of Refinery Equipment, Chapter XI – Pipe, Valves, and Fittings;
- o) NACE Standard RP0198-98 The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Material;
- p) API 14E Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems.

3 Definições

3.1 Acessórios de tubulação

São componentes de tubulação utilizados para as diversas funções, como segue:

- ✓ Ligações entre tubos: flanges, uniões, luvas;
- ✓ Purga e drenagem: luvas e niples (soldados ou rosqueados);
- ✓ Mudança de direção (curvas e joelhos);
- ✓ Derivações: tês, cruzetas, peças "Y", selas, colares e anéis de reforço;
- ✓ Alterações nos diâmetros: reduções;
- ✓ Fechamento de extremidades de tubos: "caps", plugues, flanges cegos.

3.2 Barreira de proteção térmica pessoal

Dispositivo aplicado para "Proteção Pessoal", configurando-se em qualquer tipo de barreira projetada para evitar o contato de uma pessoa com a superfície aquecida.

3.3 By-pass

Trecho de tubulação construído para desviar eventualmente o fluxo em algum acessório, válvula, dispositivo de controle, instrumento, equipamento, ou mesmo um trecho de tubulação.

3.4 Conexão

Componente destinado à ligação da tubulação ou equipamento a outra tubulação, equipamento, instrumento, ou para permitir a entrada ou saída de fluidos, ou equalização de pressões.

3.5 Amortecedores

Dispositivos absorvedores de vibrações.

3.6 Especificações de tubulações

Documentos de projeto que definem as características de cada componente de tubulação (tubos, diâmetros, espessura, materiais, bitolas, flanges, conexões, válvulas, elementos de vedação e classes de pressão).

3.7 Filtros

Componentes com a função de reter partículas sólidas que estejam circulando juntamente com o fluido em escoamento. São normalmente utilizados como elementos de proteção de máquinas (bombas e turbinas). A remoção de sólidos em suspensão no fluido em circulação também reduz a ocorrência de erosão nas tubulações.

3.8 Lista de linhas

Documento de projeto de tubulações e que se constitui numa listagem das linhas que fazem parte de uma unidade ou sistema, indicando os respectivos pontos de início e término, condições de projeto (temperatura e pressão), pressão de ensaio hidrostático, especificação, requisitos de qualidade (radiografia/dureza), etc.

3.9 Isolamento térmico

Componentes utilizados para reduzir a troca de calor entre a tubulação (por consequência do fluido transportado) e o meio ambiente. É utilizado para minimizar as perdas de energia, para manter o fluido transportado na temperatura adequada ou preservar suas características físicas e químicas e, ainda, como barreira de proteção pessoal.

3.10 Isométrico

Desenho, em perspectiva isométrica, utilizado para representação de tubulações.

3.11 Juntas de expansão

Peças não rígidas que se intercalam nas tubulações com a finalidade de absorver total ou parcialmente as dilatações/contrações provenientes das variações de temperatura e também de impedir a propagação de vibrações.

3.12 Juntas de vedação

Componentes utilizados para promover a selagem entre flanges. As juntas de vedação são fabricadas de materiais compressíveis e podem ser não metálicas, metálicas ou semimetálicas. São dimensionadas para suportar os esforços de esmagamento e cisalhamento causados pelo aperto dos parafusos ou estojos e pela pressão interna, respectivamente.

3.13 Ligações flangeadas

Conexão entre tubos por meio de flanges, usando parafusos, tipo máquina ou estojos, e junta de vedação.

3.14 Ligações rosqueadas

Conexão entre tubos por meio de roscas.

3.15 Ligações soldadas

Forma de ligação entre componentes, mais utilizada em tubulações de instalações industriais. Existem dois tipos básicos de ligações soldadas: a de "topo" e a de "encaixe e solda".

3.16 "Lira" ou curva de dilatação

Configuração típica para a melhoria da flexibilidade e expansão térmica da tubulação.

3.17 Linhas

Parte integrante de um sistema de tubulações e que interligam geralmente dois equipamentos, um equipamento e uma tubulação ou duas tubulações diferentes.

3.18 Código de identificação das linhas

Codificação numérica ou alfanumérica definida pelo projetista para identificação das diferentes tubulações de uma instalação industrial.

3.19 Pressão máxima de trabalho admissível (PMTA)

Maior valor de pressão a que um tubulação pode ser submetido continuamente, de acordo com o código de projeto, à resistência dos materiais utilizados, às dimensões do equipamento e seus parâmetros operacionais.

3.20 Pontos de injeção de produto

Ponto de injeção de produto na linha da tubulação.

3.21 Profissional habilitado

Aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto de construção, acompanhamento de operação e manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de equipamentos, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no País.

3.22 Purgadores de vapor ("steam traps")

Dispositivos automáticos que separam e eliminam o condensado formado nas tubulações de vapor e nos aparelhos de aquecimento, sem deixar escapar o vapor.

3.23 Reparo

Intervenção executada num equipamento com o propósito de recolocá-lo em condições de uso.

3.24 Sistema de tubulações

Conjunto de tubulações para condução de fluidos, interligadas entre si e/ou a equipamentos estáticos ou dinâmicos, normalmente, sujeitas a condições similares de processo.

3.25 Suportes de tubulação

Suportes de tubulação (pipe-supports) são os dispositivos destinados a suportar os pesos e os demais esforços exercidos pelos tubos ou sobre os tubos, transmitindo esses esforços diretamente ao solo, a estruturas vizinhas, a equipamentos ou, ainda, a outros tubos próximos.

Existe uma grande variedade de tipos e modelos diferentes de suportes de tubulação.

3.25.1 Suportes destinados a limitar os movimentos dos tubos (restraints)

- ✓ Dispositivos de fixação total – Ancoragens “anchors”;
- ✓ Dispositivos que permitem apenas movimentos em uma direção – Guias “guides”;
- ✓ Dispositivos que impedem o movimento em um sentido – Batentes “stops”;
- ✓ Dispositivos que impedem os movimentos laterais – Contraventos “bracing”.

3.25.2 Suportes destinados a sustentar pesos

- ✓ Fixos;
- ✓ Semimóveis - “pipe-hangers”;
- ✓ Móveis - Suportes de mola “spring-hangers” e suportes de contrapeso.

3.26 Tubo para aquecimento externo “steam tracing”

Também denominado como “Traço de Vapor”, é um dispositivo de aquecimento formado por um ou mais tubos auxiliares, condutores de vapor de água, geralmente fabricados em cobre para a facilitação da transferência de calor, montados paralelamente ao tubo principal. São montados sob o isolamento térmico. É utilizado nas tubulações para compensar as perdas térmicas, e manter os líquidos de alta viscosidade em condições de fluir. É utilizado para evitar a condensação de determinadas substâncias ou manter a temperatura do fluido transportado.

3.27 Tubulação

Conjunto de tubos e de seus diversos acessórios destinados ao transporte de fluidos entre equipamentos de processo, transferência, estocagem e utilidades, dentro de unidades ou complexo industrial, em geral sob pressão interna.

3.28 Tubulação de pequeno diâmetro

Tubulações cujo diâmetro nominal sejam inferiores a 2 polegadas.

3.29 Plano de inspeção

Documento que descreve as atividades necessárias para avaliar as condições físicas de um equipamento, considerando o histórico, os mecanismos de danos previsíveis e os riscos envolvidos para as pessoas, instalações e meio ambiente. Deve incluir os exames e testes a serem realizados.

3.30 Válvulas

Componentes de uma tubulação que se destinam a atuar bloqueando ou controlando o fluxo do fluido transportado. Quanto à sua função, as válvulas podem ser classificadas em:

3.30.1 Válvulas de bloqueio

São aquelas que trabalham geralmente nas posições totalmente aberta ou totalmente fechada.

3.30.2 Válvulas de retenção

Válvulas que permitem fluxo somente em um sentido.

3.30.3 Válvulas auto operadas

Válvulas que podem ser operadas remotamente.

3.30.4 Válvulas combinadas

São as que, devido à sua forma construtiva, podem apresentar, durante o seu funcionamento, características relativas ora a um grupo, ora a outro.

3.30.5 Válvulas de controle

São as que apresentam capacidade inerente para modulação de características do fluxo, como vazão, pressão e temperatura, sem intervenção manual, tanto para montante, como para jusante.

3.31 Zonas com estagnação de fluxo

Regiões da tubulação que normalmente não apresentam fluxo:

- ✓ Drenos;
- ✓ Vents;
- ✓ Conexões não utilizadas normalmente;
- ✓ Trechos finais de tubulações.

4 Classificação das Tubulações

Quanto ao emprego, podemos classificar as tubulações nas seguintes classes principais:

- ✓ Sistemas de tubulações de processo;
- ✓ Sistemas de tubulações de utilidades;
- ✓ Sistemas de tubulações de instrumentação;
- ✓ Sistemas de tubulações de transmissão hidráulica;
- ✓ Sistemas de tubulações de drenagem;
- ✓ Sistemas de tubulações de transporte;
- ✓ Sistemas de tubulações de distribuição.

Quanto ao fluido conduzido, podemos exemplificar os seguintes casos:

- ✓ Tubulações para água;
- ✓ Tubulações para vapor de água;
- ✓ Tubulações para ar;
- ✓ Tubulações para gases;
- ✓ Tubulações para esgoto e drenagem;
- ✓ Tubulações para hidrocarbonetos;
- ✓ Tubulações para produtos químicos;
- ✓ Tubulações para fluidos diversos.

5 Causas específicas de deterioração e avarias

As tubulações estão sujeitas, basicamente, às mesmas causas de deterioração a que estão sujeitos os equipamentos que interligam. Portanto, para efeito deste guia recomenda-se consultar o API 570 (Piping Inspection Code – Inspection, Repair, Alteration and Rerating Of In-Service Piping Systems) e o Guia de inspeção do IBP - Causas de Deterioração e Avarias de Equipamentos.

6 Planejamento, programação e preparativos da inspeção

6.1 Planejamento

6.1.1 Elaboração do plano de inspeção

Elaborar plano de inspeção para a tubulação a ser inspecionada, com base nos mecanismos e tipos de danos esperados, parâmetros operacionais, materiais e detalhes construtivos, nos históricos de manutenção e de operação existentes e nos riscos envolvidos. O plano deve definir o tipo de inspeção a ser aplicado, os locais onde as inspeções serão aplicadas e a abrangência.

6.1.2 Planejamento de atividades

O planejamento da inspeção de tubulação deve levar em consideração as tarefas de inspeção propriamente ditas e as de apoio que devam ser aplicadas a cada caso. Para isso, é necessário conhecer o histórico da tubulação e as informações relevantes sobre os mecanismos de deterioração atuantes, as ocorrências operacionais que possam comprometer a condição física ou que impliquem em providências de manutenção e inspeção.

Separar o que se constitui na inspeção propriamente dita (técnica de inspeção e se será realizada em serviço ou não) do que se constitui em apoio (limpeza, acesso, segurança, etc.).

Além das informações acima, o trabalho de inspeção deve se basear nas características de cada tubulação ou sistema, isto é, os parâmetros operacionais (pressão e temperatura de operação), características do fluido (corrosividade, toxicidade e inflamabilidade) e os mecanismos de deterioração possíveis.

É recomendável a elaboração, cumprimento e controle de um Plano de Inspeção de Tubulação, devendo ter a sua ação centrada em quão críticos sejam os parâmetros: segurança, agressão ao meio ambiente, continuidade operacional e redução de carga, em caso de falha. Este Plano deve definir a natureza, extensão e periodicidade de inspeção.

Normalmente, as medidas prévias a serem tomadas para realização da inspeção são:

- ✓ Identificar regiões para remoção de isolamento térmico, em tubulações sujeitas à corrosão sob isolamento;
- ✓ Identificar e programar os apoios necessários à condução das inspeções, tais como: abertura de flanges ou remoção de acessórios para inspeção interna, montagem de acesso (andaimos, escadas, plataformas elevatórias), iluminação artificial, remoção de isolamento térmico, remoção de braçadeiras, limpeza (convencional ou química), energia elétrica e ar comprimido, etc.;
- ✓ Providenciar o ferramental necessário para inspeção e apoio;
- ✓ Contratação de serviços de manutenção ou END não convencional;
- ✓ Definir a necessidade de realização de ensaio de pressão para avaliação de partes ou linhas e, caso necessário, programar;
- ✓ Definir as técnicas de inspeção a serem aplicadas e os locais onde serão aplicadas;
- ✓ Definição dos reparos ou melhorias de projeto necessário e do projeto de alteração ou reparo aplicáveis;
- ✓ Avaliação Preliminar de Risco dos serviços:
 - ✓ Detalhamento do serviço em espaço confinado;
 - ✓ Requisitos de Segurança;

- ✓ Conhecer o Procedimento de Inspeção;
- ✓ Disponibilizar desenhos de tubulação, isométricos, fluxogramas;
- ✓ Interface com operações e, ou, outras atividades em curso;
- ✓ Identificar os acessórios existentes e conhecer suas folhas de dados (ex.: suporte de mola);
- ✓ Conhecer as características do micro clima na região a ser inspecionada;
- ✓ Identificar os mecanismos de danos a que a tubulação está sujeita.

6.1.3 Quantidades e especificação dos recursos

Consideram-se como "Recursos" para execução de inspeção de tubulação, a disponibilidade de equipamentos, instrumentos e pessoas, para o desenvolvimento das tarefas de inspeção de acordo com a especificação, procedimento, normas ou planos.

A especificação dos instrumentos e dos equipamentos deve estar de acordo com a técnica de inspeção a ser utilizada para a determinação de causas e falhas de tubulação ou sistemas.

Os instrumentos devem estar calibrados de acordo com padrões, nacional ou internacionalmente, reconhecidos. Quando não existirem estes padrões, a base utilizada para esta calibração deve ser documentada, com validade a ser definida em função da frequência de utilização e das condições de preservação.

Na inspeção de tubulações normalmente são utilizados os seguintes equipamentos, ferramentas e técnicas:

- a) Avaliação metalúrgica: microscópio de campo e de bancada e técnica de réplica metalográfica;

- b) Detecção de descontinuidades: ultrassom, partículas magnéticas, líquido penetrante, radiografia, PIG etc.;
- c) Detecção de descontinuidades em películas não magnéticas: medidor de película de tinta e equipamento para ensaio dielétrico "holliday detector";
- d) Ferramental básico para o inspetor: máquina fotográfica, lanterna e lâmpadas portáteis, raspadeira, espátula e estiletes, martelo de aço ou bronze de 300g tipo bola, marcador industrial e imã;
- e) Identificação de material: kit de ensaio por pontos e analisador de ligas portátil;
- f) Inspeção visual remota: boroscópio, fibroscópio, lentes, lupas ou espelhos;
- g) Medição de dureza: medidor de dureza portátil;
- h) Medição de temperatura: termômetros de contato e lápis de fusão termográfica;
- i) Inspeção dimensional: calibres de pontas, paquímetros, micrômetros, compassos, réguas, trenas, níveis e transferidores e medidor de profundidade em alvéolos.

6.2 Programação e controle da inspeção

O controle do estado físico das tubulações ocorre por meio das inspeções e avaliações executadas em intervalos pré-determinados, estabelecidos nos Programas de Inspeção.

Para o cumprimento do Planejamento e Programação de Inspeção, é necessária a existência de procedimentos atualizados para o seu controle e registro, sendo recomendável a utilização de "software" específico.

É necessário também que estejam disponíveis (em arquivo de papel ou eletrônico) os dados das linhas e informações de inspeção, tais como:

identificação, função, ligação (início e término da tubulação), classe de operação e inspeção, tipo de liberação, fluido, propriedades, datas de inspeção, isolamento térmico e recomendação:

- ✓ Todos os arquivos de informações devem ser rastreáveis e estar disponíveis para a consulta em qualquer momento;
- ✓ Recomendações complementares devem estar disponíveis;
- ✓ Históricos (relatórios de inspeção e de reparos ou alterações);
- ✓ Procedimento para inspeção de rotina;
- ✓ Procedimento para a gestão de informações;
- ✓ Modelos de documentos;
- ✓ Especificações de reparos e alterações;
- ✓ Programas de calibração de equipamentos e instrumentos para ensaios.

6.3 Classificação e intervalos de inspeção

6.3.1 Classificação das tubulações segundo o risco de falhas

É recomendável que todos os sistemas de tubulação sejam categorizados em diferentes classes, com objetivo de possibilitar a sua gestão de acordo com os riscos envolvidos.

A classificação proposta neste Guia é a da norma API 570 "Piping Inspection Code", que se baseia na consequência da falha para a classificação do sistema de tubulação. Ela propõe três classes, conforme segue, sendo que foi criada mais uma classe:

Classe 1

Serviços com elevado potencial de dano, de natureza de segurança ou ambiental,

que na ocorrência de vazamentos, devem resultar em atendimento imediato de emergência.

Exemplos de tubulações Classe 1:

- a) Serviços com produto inflamável que podem auto refrigerar e provocar fratura frágil;
- b) Serviços pressurizados que podem vaporizar rapidamente durante vazamento, criando vapores que podem formar misturas explosivas, tais como correntes de C₂, C₃ e C₄. Fluidos que vaporizam rapidamente são aqueles com ponto de ebulição abaixo de 10°C;
- c) Sulfeto de hidrogênio (maior que 3% em peso) em corrente gasosa;
- d) Cloreto de hidrogênio anidro;
- e) Ácido fluorídrico em qualquer concentração;
- f) Tubulação na adjacência a corpos d'água (rio, lago ou mar) ou a vias públicas.

Classe 2

Serviço com potencial médio de risco com relação a segurança, continuidade operacional e risco de contaminação ao meio ambiente. Contempla a grande maioria das tubulações de processo.

Exemplos típicos de tubulações Classe 2:

- a) Hidrocarbonetos que vaporizam lentamente ao vazarem;
- b) Hidrogênio, gás combustível ("Fuel Gas") e gás natural;
- c) Ácidos fortes e cáusticos.

Classe 3

Serviços com fluidos inflamáveis, mas que não vaporizam significativamente

no vazamento e não estão localizados em áreas de alta atividade ou presença humana. Serviços que são potencialmente prejudiciais aos tecidos humanos, mas estão localizados em áreas remotas.

Exemplos de serviço Classe 3 são listados abaixo:

- a) Hidrocarbonetos dentro das instalações de processo (on-site) que não vaporizam significativamente durante vazamento;
- b) Tubulações de produtos destilados que interligam entre tanque e carregamento;
- c) Ácidos e cáusticos fora da instalação de processo (off-site).

Nota:

A norma API 750 "Management of Process Hazards" e a NFPA 704 "Identification of the Fires Hazards of Materials" contém uma listagem com vários produtos comumente processados em indústrias químicas.

Classe 4

Serviços com fluidos de utilidades com pressão inferior a 20 Kgf/cm² e tubulações encamisadas, onde externamente circule vapor de aquecimento.

Exemplos de serviço Classe 4 são listados abaixo:

- a) Vapor;
- b) Água;
- c) Nitrogênio;
- d) Condensado;
- e) Tubulações encamisadas;
- f) Tubulações encamisadas.

6.3.2 Intervalo de inspeção

A definição dos intervalos máximos entre inspeções deve ser em função dos seguintes aspectos:

- ✓ Exigências normativas ou da legislação vigente;
- ✓ Corrosividade do fluido de serviço ou agressividade do meio ambiente;
- ✓ Taxas de corrosão ou mecanismos de dano;
- ✓ Resultados de monitoração de corrosão;
- ✓ Parâmetros e ocorrências operacionais;
- ✓ Características dos equipamentos (materiais, revestimentos internos ou externos, proteção catódica, esquema de pintura, proximidade do solo);
- ✓ Risco decorrente de falha;
- ✓ Importância para a produção;
- ✓ Resultado da inspeção e histórico;
- ✓ Mecanismos de dano atuantes;
- ✓ O critério do inspetor ou do engenheiro de inspeção.

Muitas normas estabelecem intervalos máximos para inspeções internas ou externas, sendo que é muito importante que os intervalos sejam reavaliados com base nos resultados de cada inspeção.

A API 570 utiliza o critério abaixo para estabelecer e manter o intervalo entre inspeções:

- a) Taxa de corrosão e cálculo da vida residual;
- b) Tipo de Classe conforme item 5.3.1;

c) Legislação;

d) Julgamento do inspetor, projetista ou especialista em corrosão e deterioração, com base nas condições operacionais, históricos de inspeção, ocorrências e resultados da inspeção corrente.

Devem ser estabelecidos os intervalos de inspeção para medição de espessura, inspeção externa e, onde aplicável, inspeção interna e suplementar.

Na tabela 1 são apresentados os intervalos máximos entre inspeções recomendados pelo API 570. A possibilidade de ocorrência de corrosão generalizada ou localizada, trincas e outros danos e deterioração deve ser levada em conta na determinação dos vários intervalos de inspeção. Os intervalos de inspeção devem ser revisados e ajustados quando necessário após cada inspeção ou alteração significativa nas condições operacionais.

Tabela 1 – Prazos para inspeção externa e medições de espessura previstos na Norma API 570.

Tipo de produto	Medição de espessura	Inspeção externa (frequência máxima)
Classe 1	5 anos	5 anos
Classe 2	10 anos	5 anos
Classe 3	10 anos	10 anos
Classe 4	A critério	A critério
Pontos de injeção	3 anos (a)	Pela classe
Interface solo-ar	(b)	Pela classe

(a) Os intervalos de inspeção para pontos de injeção potencialmente corrosivos, podem também ser estabelecidos por uma análise de IBR, de acordo com a API 581.

(b) A interface solo-ar de tubulações enterradas deve ser incluída no programa de inspeção de tubulações, mesmo que estejam protegidas com sistema de proteção catódica. Caso seja encontrada deterioração do revestimento na interface solo-ar, é importante verificar a ocorrência de corrosão na tubulação.

Uma vez encontrada corrosão na tubulação, deve-se estender a inspeção de modo a assegurar que a corrosão limita-se somente a interface solo-ar ou que esta ocorra também longe da região. Maiores detalhes, consultar a norma API 570 item 5.3.4.

(c) Como prática recomendada, a medição de espessura pode ser programada de maneira que não ultrapasse metade da vida residual determinada a partir da taxa de corrosão ou o prazo máximo estabelecido na Tabela 1, o que for menor.

O intervalo de Inspeção também pode ser estabelecido com base em análise de risco, considerando-se a probabilidade e consequência da falha, conforme sistemática definida no API 581 "Risk-Based Inspection: Base Resource Document".

Caso o usuário opte pela adoção de uma sistemática mais simplificada para o estabelecimento desses intervalos, esse Guia recomenda a adoção do procedimento da API 570. Os prazos máximos entre inspeções definidos nesse código podem ser ampliados através da avaliação do Engenheiro de Inspeção responsável, baseada em históricos de inspeção e operação e nos riscos para segurança e meio ambiente em razão de eventuais falhas.

É importante levar em consideração que tubulações que se enquadram nos critérios da Norma Regulamentadora NR-13 possuem critérios diferenciados, que podem, em alguns casos, limitar a aplicação dos critérios do API 570.

6.4 Preparativos de segurança

Antes de inspecionar uma tubulação ou um sistema de tubulações, devem ser observadas todas as medidas necessárias à segurança do pessoal envolvido.

Cada empresa deve estabelecer procedimentos para a emissão de uma autorização que especifique as condições para realização de um trabalho seguro.

Um estudo e levantamento das necessidades de recursos materiais de apoio à execução dos serviços, deverão ser previstos, compatíveis ao serviço a ser executado.

É responsabilidade do executante e de cada Setor de Segurança Industrial, a definição dos EPI's e dispositivos adequados de cada tarefa específica. A análise de risco da tarefa deve ser feita em conjunto: Operação, Segurança e Executante.

6.5 Qualificação de pessoal

É necessário que o profissional de inspeção responsável pela avaliação das tubulações industriais possua formação e experiência compatíveis para assegurar uma inspeção confiável.

De modo geral, é desejável que os profissionais de inspeção de tubulações apresentem noções sobre processos de soldagem, corrosão, revestimentos protetores, mecanismos de falha e de deterioração, técnicas de inspeção, identificação de materiais, projeto de tubulação, além da aptidão física e visual comprovada.

Entretanto, os requisitos mínimos necessários para a execução de inspeção em tubulações são a formação técnica comprovada em inspeção de equipamentos e uma experiência mínima.

6.6 Procedimento de inspeção

A inspeção de tubulação passa pela elaboração de um plano de inspeção cuja periodicidade de aplicação faz parte de seu conteúdo.

O resultado da aplicação deste plano de inspeção definirá o risco residual da tubulação, o qual será cada vez menor quanto maior for a "efetividade" do plano de inspeção.

A “efetividade” do plano de inspeção é função da probabilidade de detecção do método de ensaio escolhido para encontrar o tipo de dano atuante, e da amostragem definida de todos os pontos do equipamento expostos às condições que promovem a ocorrência do mecanismo de dano atuante.

Este conceito de “efetividade” do plano de inspeção é o fundamento sobre o qual se construiu a inspeção baseada em risco, a qual possibilita a redução do risco de falha em função da efetividade do plano aplicado.

Para orientar a elaboração de um plano de inspeção, a Tabela 2 relaciona as principais deteriorações que podem ocorrer nas tubulações industriais, com as técnicas que podem ser utilizadas na sua detecção. Além dos métodos indicados, podem ser aplicadas todas as técnicas cabíveis que auxiliem na avaliação das condições da tubulação, a critério do profissional de inspeção responsável pelo trabalho.

Tabela 2 – Principais deteriorações em tubulações industriais e técnicas utilizadas em sua detecção.

Inspeção de	Verificação de	Exame Visual	Técnicas de Inspeção Utilizadas														
			Ext.	Int.	IV	TM	ME	LP	PM	US	TP	EA	Rad	TG	IM	MET	Dim
Tubos, acessórios e juntas soldadas	Corrosão	X	X	X	X	X				X			X				X
	Vazamento	X		X							X	X		X			
	Desalinhamento	X		X													X
	Deformação	X		X													X
	Deficiência na Suportação	X		X													X
	Vibração	X		X													
	Erosão		X	X	X	X				X			X				
	Abrasão	X		X													
	Incrustação ou Deposição		X	X									X	X			
	Alteração metalúrgica																X
	Conformidade de material															X	
	Trincamento	X	X	X				X	X	X		X	X				
Avaria em peças internas												X					

Tabela 2 – Continuação

Inspeção de	Verificação de	Exame Visual	Técnicas de Inspeção Utilizadas														
			Ext.	Int.	IV	TM	ME	LP	PM	US	TP	EA	Rad	TG	IM	MET	Dim
Isolamento Térmico	Amassamento	X		X													
	Desprendimento	X		X													
	Encharcamento	X		X													
	Baixa eficiência	X		X									X				
	Esfarelamento	X											X				
Pintura	Descascamento, empolamento, fendilhamento, enrugamento, formação de bolhas	X		X													
	Desgaste	X		X		X											
	Empoamento	X		X													
Revestimentos metálicos e não metálicos	Fissuras	X	X	X													
	Porosidade	X	X	X													
	Degradação	X	X	X													
	Desprendimento	X	X	X													
	Desgaste	X	X	X		X							X				
	Trincas	X	X	X								X	X				
	Descontinuidade Interna											X					

Legenda:

Ext. = Externa

Int. = Interna

IV = Inspeção Visual

TM = Teste de Martelo

ME = Medição de Espessura

LP = Líquido Penetrante

PM = Partículas Magnéticas

US = Ultrassom

TP = Teste de Pressão

EA = Emissão Acústica

Rad. = Radiografia

TG = Termografia

IM = Identificação Positiva de Material

MET = Metalografia

DIM = Dimensional

7 Procedimentos de inspeção

7.1 Tipos de ensaios para inspeção de tubulações

7.1.1 Inspeção visual

Consiste na avaliação da integridade física da tubulação por meio da inspeção visual de seus componentes. Este é o método de inspeção mais básico e também um dos mais eficientes, desde que o inspetor tenha capacidade visual, treinamento e experiência adequados. Pode ser realizada diretamente ou auxiliada por ferramentas e instrumentos, como lanternas, lentes de aumento, espelhos fixos e articulados, binóculos e até microcâmeras com comando remoto.

Trechos de tubulação que não permitam o exame interno e nem o externo, recomenda-se que sejam submetidas a exames alternativos e/ou ensaios de pressão, a ser definido pelo Profissional Habilitado.

7.1.1.1 Tubulações enterradas (exceto dutos)

As inspeções serão realizadas por amostragem, por meio de escavações em regiões a serem definidas pelo Engenheiro de Inspeção. É recomendável a avaliação dos seguintes itens:

- ✓ Histórico de falhas;
- ✓ Acompanhamento do sistema de proteção catódica;
- ✓ Mapa de resistividade do solo;
- ✓ Mapa de contaminação do solo, quando existente.

É recomendável que as inspeções sejam direcionadas para os "headers" dos sistemas de tubulações enterradas, e que a escavação sempre contemple mais de uma linha, numa região de derivação.

Sempre que possível, recomenda-se que as avaliações devem constar de:

- ✓ Avaliação visual do revestimento e do metal após remoção do revestimento e do solo;
- ✓ Ensaio de revestimento externo com "Holliday Detector", realizado por meio de varredura de todo o perímetro da tubulação, num comprimento mínimo de 500 mm. Esse ensaio deve ser feito no revestimento antigo e no novo após sua recomposição;
- ✓ Medições de espessura seguindo a mesma premissa do ensaio dielétrico com "Holliday Detector".

Os resultados das inspeções obtidos nessas amostragens devem ser analisados em conjunto, e se conclusivos, extrapolados para os "sub-headers" e os ramais, incluindo os trechos enterrados das tubulações com trechos aéreos. Se não forem conclusivos, avaliar a possibilidade de extensão da amostragem realizada.

7.1.1.2 Inspeção visual interna

Em situações que permitam realizar a inspeção visual interna, como em linhas com grandes diâmetros e onde existam condições de acesso interno ou de uso de equipamentos de inspeção visual remota, recomenda-se que sejam observadas as condições dos seguintes itens:

- a) Revestimentos internos: verificar a existência de fissuras, porosidade, contaminação, desprendimento, exposição da superfície metálica;
- b) Superfície interna de tubulação metálica: verificar a existência de depósitos, erosão, corrosão (inclusive em superfície de acessórios como flanges, válvulas, curvas), incrustação, qualidade das juntas soldadas. Verificar também trechos de tubulação em que exista uma das seguintes situações: placas de orifício, válvulas especiais, pontos de

injeção de produtos químicos, locais de estagnação de produtos ("zonas mortas"), locais sujeitos à formação de nível líquido.

7.1.1.3 Inspeção visual externa

Na realização da inspeção externa, recomenda-se que sejam avaliados os seguintes itens:

- a) Dispositivos de aterramento: verificar a integridade do dispositivo de aterramento quanto a condições físicas do cabo terra, fixação, contato elétrico, resistência de contato e isolamento;
- b) Vibrações: verificar a ocorrência de vibrações excessivas na tubulação e nos equipamentos e/ou componentes ligados à mesma, observando se coloca em risco sua operacionalidade;
- c) Suportes: verificar a integridade dos conjuntos de suporte quanto a corrosão na estrutura que compõe o suporte, corrosão dos dispositivos de fixação, falta de fixação ou parte desta, e conformidade com o projeto;
- d) Flexibilidade: verificar possíveis deformações nos trechos retos da tubulação ou sistema que a compõe;
- e) Juntas de expansão: verificar a integridade das juntas de expansão quanto a ocorrência de deformações, trincas no fole, ajuste dos tirantes, vazamentos;
- f) Espaçamentos: verificar o atendimento do espaçamento mínimo entre tubulações conforme norma aplicável;
- g) Tubos, conexões e uniões: deve ser verificada a integridade dos tubos e acessórios, quanto à ocorrência de amassamentos, empenamentos, envergamentos, desalinhamentos, empolamentos pelo hidrogênio, trincas em pontos de tensão residual nos tubos e juntas soldadas, trincas nas conexões forjadas, esfoliações, escamação, vazamentos, corrosão do tipo alveolar ou "pitting", desgaste ou corrosão na região de contato com os pontos de apoio, corrosão nas faces de vedação dos flanges

e superfície dos tubos, qualidade das juntas soldadas, incidência de produto de outras tubulações;

- h) Suporte de mola: verificar se o mesmo está trabalhando com a carga conforme plaqueta e verificar o estado geral da mola e demais partes quanto à corrosão, deformação ou fratura;
- i) Steam tracing: a inspeção da tubulação inclui também a inspeção do "steam tracing", quando houver, sendo nesses casos direcionada principalmente para a verificação da existência de vazamentos. No caso da existência de vazamento o inspetor deve avaliar as consequências desse vazamento sobre a linha e sobre equipamentos e outras linhas adjacentes. Deve ser verificado, também, se o "steam tracing" encontra-se operando e, em caso negativo, avaliar a possibilidade de ocorrência de Corrosão Sob Isolamento, redirecionar a inspeção se necessário;
- j) Avaliar isolamento térmico: para o isolamento a frio, verificar a existência de condensação ou formação de gelo e/ou vegetação, indicativos de baixa eficiência. Para o isolamento à quente, verificar existência de danos que possam representar uma condição insegura (risco de queimadura, desmoronamento), que seja uma condição para instalação de Corrosão Sob Isolamento, que provoque perda de energia ou afete o processo;
- k) Avaliar o estado geral da pintura: verificar a existência de descascamento, presença de bolhas, fissuras ou manchas na pintura. Verificar adicionalmente se o dano atinge o primer, as camadas de acabamento ou a pintura integral. Caso necessário avaliar a aderência da pintura.

Em casos de tubulações isoladas, remover o invólucro nos pontos prováveis de ocorrência de corrosão, vazamentos, infiltrações e atrito com pontos de ancoragens e em outros pontos a critério do planejador da inspeção, principalmente nos casos enquadrados como corrosão sob isolamento.

Identificada a tubulação como sujeita a corrosão sob isolamento, deve-se definir os pontos ou regiões para retirada de isolamento térmico. Os pontos e regiões abaixo podem ser considerados potenciais para infiltrações e acúmulo de umidade podendo ser qualquer derivação ou acessório conectado a tubulação isolada, tais como:

- ✓ Pontos mortos do sistema (vents, drenos, botas e itens similares);
 - ✓ Suportes em geral;
 - ✓ Válvulas e quaisquer acessórios, que possam provocar não uniformidade na superfície isolada;
 - ✓ Penetração de tubulações de traço de vapor na superfície isolada;
 - ✓ Regiões com deformação, deterioração ou ausência da chapa de alumínio, inox ou massa asfáltica;
 - ✓ Junta longitudinal na geratriz superior da chapa de alumínio;
 - ✓ Pontos baixos de tubulações verticais;
 - ✓ Regiões com deformação ou manchas no isolamento, que podem indicar presença de óxidos decorrentes de corrosão;
 - ✓ Pontos baixos de tubulações horizontais, com suporte deficiente, podendo acarretar flexão nos pontos baixos e consequentes acúmulo de umidade;
 - ✓ Flanges, estojos, ou qualquer outro acessório em aço carbono ou baixa liga em tubulações construídas em material de alta liga.
- l) Verificar os dispositivos de segurança (válvulas de segurança ou alívio, discos de ruptura ou outros) quanto ao estado físico, identificação, integridade dos lacres de segurança e a existência de dispositivos contra bloqueio inadvertido quando exigidos;
- m) Verificar os dispositivos indicadores de pressão (manômetros e transmissores) quanto ao estado de conservação e se são adequados às pressões de operação.

Quando a inspeção das regiões suspeitas identificar corrosão sob isolamento significativo, recomenda-se que trechos adicionais sejam inspecionados e, se necessário, abrangendo a totalidade do sistema.

Recomenda-se que cada empresa elabore um procedimento com especificação das ações adequadas para o máximo aproveitamento deste método de inspeção.

7.1.2 Teste sensitivo (teste do martelo)

O teste sensitivo é um método no qual a tubulação é “golpeada” com um martelo apropriado (martelo de bola com peso de 250 gramas) de modo a produzir um som. O tipo de som é interpretado pelo inspetor de modo a diferenciar regiões com baixa espessura.

Podem-se detectar também depósitos internos.

Este método não deve ser utilizado em tubulações pressurizadas, recomendando-se, ainda, que este teste somente seja empregado em tubulações que estejam fora de operação.

Não executar o ensaio em áreas classificadas, nas quais não devem ser produzidas faíscas por choque mecânico, sem a análise prévia através de uma Avaliação de Risco, onde aplicável, e da Permissão para Trabalho.

Deve-se atentar para que este teste não seja aplicado em materiais que possam ser danificados com o “golpe” aplicado, como no caso de tubulações com componentes em ferro fundido, tubulações com revestimentos internos frágeis, como vidro ou concreto, ou em tubulações sujeitas à corrosão sob tensão, ou outra deterioração ou condição que cause fragilidade.

É um método que, além da praticidade e rapidez, pode ajudar no direcionamento da aplicação de outros ensaios como a medição de espessura por ultrassom. Entretanto deve ser conduzido com cuidado, pois se for aplicada uma força excessiva irá provocar deformações e amassamentos em tubulações em boas condições.

Cuidados adicionais devem ser tomados ao se realizar teste sensitivo em tubulações de pequeno diâmetro, principalmente as que possuem ligações rosqueadas, pois esforços excessivos podem introduzir trincas junto às soldas de filete ou filetes de roscas, sendo observadas durante a inspeção.

Nestas tubulações pode-se identificar baixa espessura por amassamento. Este método de inspeção pode ser utilizado também para a verificação de aperto de estojos em flanges.

Nota:

Este teste deve ser evitado para avaliar tubulações de ar para instrumentos, pois a queda de partículas de produto de corrosão ou sujeiras podem provocar falhas nos instrumentos.

7.1.3 Medição de espessura

A medição de espessura é realizada para determinar as condições internas e a espessura remanescente dos componentes da tubulação. Este método é mais adequado quando a perda de espessura tem caráter uniforme, entretanto, pode ser aplicado para outros casos. Pode ser realizada tanto em operação, como em paradas para manutenção ou inspeção.

A medição de espessura dos vários componentes ao longo de uma tubulação é um dos mais efetivos métodos de inspeção. Ela deve ser realizada na quantidade adequada para a avaliação de integridade, levando-se em conta quão crítica seja a tubulação e os custos envolvidos.

A medição de espessura deverá ser realizada pelo inspetor, segundo procedimento escrito, para garantir a confiabilidade e repetitividade das medições, bem como uma boa "rastreadabilidade" futura.

As seções subsequentes apresentam comentários sobre a localização e extensão das medições e técnicas.

7.1.3.1 Medições de espessura por ultrassom

É o método de investigação mais utilizado em tubulações com diâmetro nominal acima de 1" (contanto que haja o acoplamento adequado de cabeçote especial para pequenos diâmetros). Suas principais vantagens são:

- ✓ Precisão das medidas;

- ✓ Equipamentos portáteis de baixo peso;
- ✓ Baixo custo dos equipamentos;
- ✓ Facilidade de manuseio dos equipamentos;
- ✓ Para as tubulações ou sistemas de tubulações enquadrados na NR-13, os inspetores devem ser qualificados e certificados pelo SNQC.

7.1.3.2 Radiografia

a) Radiografia convencional:

É um método que permite a medição ou avaliação de espessuras em tubulações, principalmente para tubulação com diâmetro nominal inferior a 2". Pode ser utilizado em diâmetros maiores para identificar áreas com redução de espessura localizada, porém, os resultados podem ser afetados pela diminuição na qualidade da imagem.

Suas principais vantagens são:

- ✓ Não necessitar da remoção do isolamento térmico;
- ✓ Pode ser realizado em operação;
- ✓ A temperatura da tubulação não interfere nos resultados da medição, desde que o filme radiográfico seja devidamente protegido do calor;
- ✓ Permite medição de espessura e inspeção quanto à corrosão de tubulações de pequeno diâmetro como "vents", drenos, conexões de instrumentos;
- ✓ Permite a inspeção de niples, uniões rosqueadas, soldas de selagem (filete);
- ✓ Fornece um registro permanente da inspeção, através do filme radiográfico;

- ✓ Permite verificar a posição de internos de válvulas;
- ✓ Os equipamentos de radiografia são portáteis e facilmente manuseados;
- ✓ O processo de radiografia não produz fontes de ignição;
- ✓ Corrosão interna alveolar ou por “pittings” são facilmente identificados;
- ✓ Detecção de depósitos internos;
- ✓ A área de medição abrange a dimensão do filme e é relativamente grande.

b) Radiografia digital:

A radiografia digital basicamente utiliza os mesmos recursos para execução da radiografia convencional, porém com a diferença básica de que o filme radiográfico é substituído por uma placa de material sensível a radiação ionizante (placa de fósforo flexível). Esta placa de fósforo contém cristais cujos elétrons se posicionam em órbitas de alta energia após serem estimulados por uma radiação ionizante.

Tais elétrons, instáveis, podem reverter à situação de equilíbrio devido ao princípio da luminescência foto estimulada, que basicamente é a capacidade que possuem certos materiais de absorver energia e liberarem em forma de luz (fótons). A luz emitida é captada num fotomultiplicador e gera uma imagem digital que é exposta numa tela de computador.

A utilização da técnica traz grandes vantagens:

- ✓ Possibilidade de reutilização das placas de fósforo;
- ✓ Menor tempo de exposição (as telas de fósforo são sensibilizadas com até 20 vezes menos radiação do que os filmes Classe II);
- ✓ Eliminação das etapas demoradas de revelação e fixação dos filmes convencionais (dispensa-se câmara escura necessitando apenas de sala com penumbra de aproximadamente 10 lux);

- ✓ Não requer equipamento sofisticado para mostrar as imagens (permite gerar imagens em computadores pessoais);
- ✓ Também é importante frisar que permite utilizar fontes de raios gama de baixíssima atividade:
 - ✓ 18,5 GBq a 370 GBq (0,5 a 10 Ci) de Se-75;
 - ✓ 370 GBq (10 Ci) de Ir-192.
- ✓ Aumento da segurança intrínseca para trabalhadores radiográficos e indivíduos de público, devido aos pequenos raios de isolamento, racionaliza o trabalho além de facilitar o controle da área.

As figuras 1 e 2 apresentam exemplos de radiografia digital.

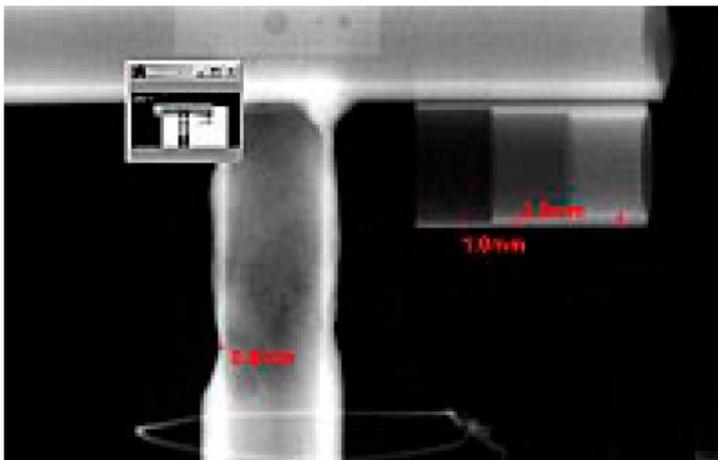


Figura 1 – Avaliação da espessura remanescente

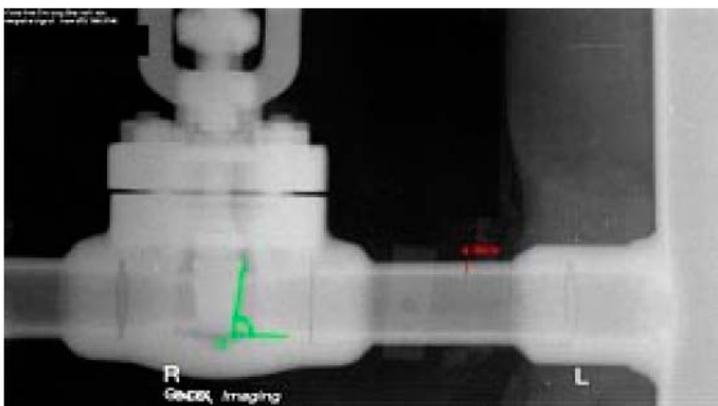


Figura 2 – Medição de ângulos para avaliação de abertura de elementos internos de válvulas

7.1.3.3 Calibres

Neste caso as medições de espessuras são diretas e esse método é mais utilizado em paradas, quando são removidos componentes como válvulas, carretéis desconectados e flanges.

Existem calibres de pinça, ou de transferência de medidas, que permitem o acesso a componentes de geometria complexa, como em fundidos e forjados. A precisão desse método é alta desde que executada por pessoal treinado e com equipamentos devidamente aferidos. Permite uma varredura ampla na área de acesso, permitindo identificar áreas localizadas com reduções de espessura.

A principal desvantagem é a aplicação limitada a locais próximos de acesso interno.

Micrômetros de profundidade também podem ser utilizados e são úteis na avaliação da profundidade de alvéolos e pites.

7.1.4 Líquido penetrante

É um método de ensaio não destrutivo que tem como objetivo a detecção de descontinuidades abertas na superfície ensaiada, tais como trincas ou poros. Pode ser aplicado em todas as superfícies sólidas, não porosas. O método consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido durante um determinado tempo. Após a remoção do excesso, faz-se extrair da descontinuidade este líquido, utilizando-se um revelador. O líquido extraído adquire a configuração da descontinuidade apresentando sua geometria por coloração contrastante com o revelador.

7.1.5 Partículas magnéticas

Este ensaio é utilizado em materiais ferromagnéticos para a localização de descontinuidades superficiais e sub-superficiais.

O processo consiste em submissão da peça a um campo magnético. Nesta região as descontinuidades existentes (falta da continuidade das propriedades

magnéticas do material), causa um campo de fuga do fluxo magnético.

Em paralelo há a aplicação de partículas ferromagnéticas (via seca ou úmida) que se aglomerarão nos campos de fuga, delimitando as discontinuidades.

7.1.6 Ultrassom

O ensaio é realizado por meio da aplicação de ondas mecânicas ou acústicas objetivando atravessar a espessura da superfície ensaiada. Esta emissão é feita por cabeçotes contendo transdutores especiais.

As discontinuidades são detectadas pelo tempo de resposta da reflexão da onda quando comparado ao tempo de reflexão de retorno para a espessura íntegra do material ensaiado.

Ultrassom é utilizado para detecção de defeitos, para pesquisa de trincas, fissurações internas nos materiais, como aquela provocada por fadiga e fluência.

O ultrassom mecanizado automatizado ou semi automatizado permite a varredura de grandes áreas, dando informações de reduções localizadas de espessuras alvéolos e 'pittings', além de permitir a identificação e localização de discontinuidades planares junto a soldas.

O ultrassom computadorizado permite que os dados de inspeção sejam armazenados e através de softwares específicos seja possível a visualização de imagens das regiões defeituosas, identificação dos defeitos e dimensionamento dos mesmos.

A figura 3 mostra a realização de teste com ultrassom computadorizado:



Figura 3 – Ensaio com ultrassom computadorizado

7.1.7 Testes de pressão

Normalmente são realizados quando por ocasião da fabricação da tubulação (prática recomendada), da execução de reparos ou alterações de componentes sujeitos a pressão. O objetivo dos testes de pressão é verificar a existência de vazamentos e a comprovação da resistência da tubulação, além de reduzir as tensões residuais.

Quando aplicados, os testes de pressão devem ser realizados conforme o código de construção original.

Os testes de pressão podem ser conduzidos somente para verificação da estanqueidade após manutenções gerais, para detectar vazamentos através de juntas em flanges, gaxetas de válvulas e ligações rosqueadas, realizados com pressões máximas de operação normal, e em muitas ocasiões, com o próprio fluido de operação, quando não inflamável ou tóxico ou o próprio vapor utilizado para purga ("steam-out") do sistema.

Nota:

Em alguns casos, é necessária a realização de testes de estanqueidade com o próprio fluido, em condições próximas à de operação (temperatura e pressão), mesmo este sendo inflamável. Por exemplo, quando o fluido é hidrogênio, é comum a identificação de pequenos vazamentos nas condições de operação, mesmo quando a pressurização com água ou nitrogênio foi estanque.

Nestes casos, recomenda-se primeiro a realização com outros fluidos não inflamáveis para eliminação de vazamentos significativos e outro ensaio, à pressão de trabalho com o próprio hidrogênio para verificação final.

Nota:

A norma API 570 permite a utilização de teste de pressão como alternativa ou suplemento à inspeção de tubulação enterrada. Para maiores detalhes, consultar esta referência.

7.1.8 Teste hidrostático

Os testes hidrostáticos devem ser realizados isolando-se o trecho de tubulação por meio de raquetes ou flanges cegos. Válvulas podem ser utilizadas

alternativamente, desde que as mesmas estejam adequadas à pressão do teste, entretanto, essa situação deve ser evitada para tubulações complexas e de longo comprimento.

As novas soldas e demais ligações (flanges, roscas, uniões) devem permanecer expostas durante a realização dos testes de pressão.

Citamos a norma ASME B 31.3 como referência para a condução de teste hidrostático.

Atenção especial deverá ser dada à temperatura do fluido de teste utilizado, em função do material da tubulação, devido ao risco da ocorrência de fratura frágil.

Cada empresa deve elaborar um procedimento adequado, contemplando todas as situações em que deve ser aplicado o teste hidrostático.

Em tubulações de aços inoxidáveis austeníticos deve-se tomar cuidado para a presença de cloretos que podem contribuir para a existência de corrosão sob tensão, ou por "pittings".

Nesse caso limita-se o teor de cloreto máximo na água de ensaio. Uma referência usual é o valor de 50 ppm.

Recomenda-se, que a critério do Profissional Habilitado todas as intervenções que exijam soldagem em elementos estruturais pressurizados ou que operem sob pressão, sejam seguidas de teste hidrostático, com características definidas pelo mesmo, levando em consideração as limitações:

- ✓ Resistência estrutural da fundação ou da sustentação da tubulação incompatível com o peso da água que seria utilizada no ensaio;
- ✓ Efeito prejudicial do fluido de ensaio a elementos internos da tubulação;
- ✓ Impossibilidade técnica de purga e secagem do sistema;
- ✓ Existência de revestimento interno;
- ✓ Influência prejudicial do ensaio sobre defeitos sub críticos.

7.1.9 Teste pneumático

Utilizado em tubulações que possam ter seu revestimento ou elementos internos prejudicados pelo ensaio hidrostático, ou ainda pela incompatibilidade do fluido transportado com o fluido de ensaio associado à impossibilidade técnica de purga e secagem do sistema.

Recomenda-se que o mesmo só seja executado após a elaboração de um roteiro adequado e cercado de cuidados especiais, por tratar-se atividade de risco elevado, devido à grande quantidade de energia armazenada no gás comprimido.

7.1.10 Emissão acústica

O objetivo é o de avaliar a condição de integridade, localizando e classificando áreas ativas quanto ao grau de comprometimento que eventuais descontinuidades impõem à integridade estrutural.

Áreas ativas classificadas como severas, recomenda-se que sejam examinadas e localizadas por técnicas de ensaios não destrutivos, como por exemplo, ultrassom e partículas m para caracterização da morfologia e dimensionamento dos defeitos presentes.

O ensaio é global, e pode ser realizado nas condições de serviço através de um incremento entre 5% a 10% na pressão de operação, ou durante provas de carga, como, por exemplo, testes hidrostáticos.

A maior contribuição da técnica é a de analisar o comportamento dinâmico das descontinuidades, recurso este único dentro do elenco dos ensaios não destrutivos. A metodologia de ensaio empregada é baseada nas recomendações do código ASME Sec. V, Artigo 12.

É uma técnica qualitativa de inspeção que apresenta a grande vantagem da rapidez e é muito útil na inspeção de tubulações enterradas, pois minimiza o número de escavações.

7.1.11 Termografia

A inspeção termográfica é baseada na captação da radiação infravermelha. A manifestação física desta radiação, emitida por um corpo radiante, se traduz em temperatura.

Esta radiação tem comprimento de onda que não permite ser visível ao olho humano, sendo sua única percepção o calor em trânsito, ou seja, quanto mais se elevar à temperatura de um corpo a partir do zero absoluto, maior será a radiação infravermelha radiada pelo corpo.

Câmeras especiais denominadas “câmeras termográficas” convertem a radiação infravermelha em imagem visível, podendo-se produzir diferenciais de temperatura nas regiões emissoras.

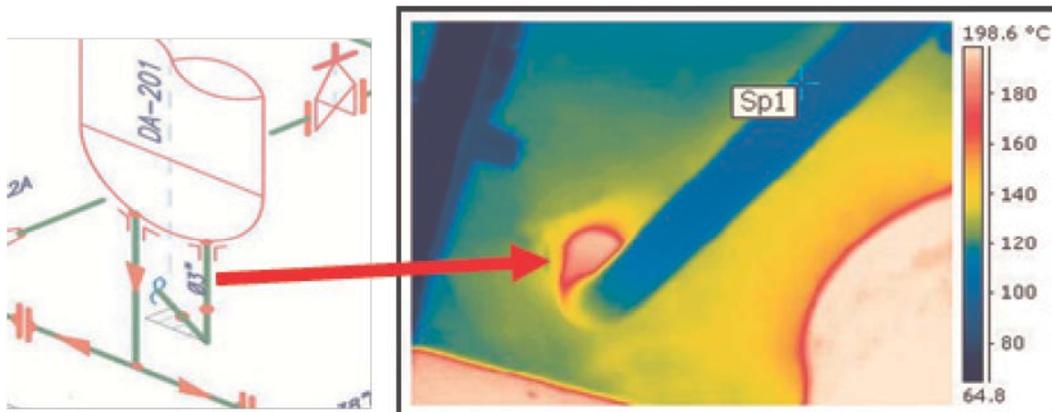


Figura 4 – Obstrução em linha próxima ao vaso

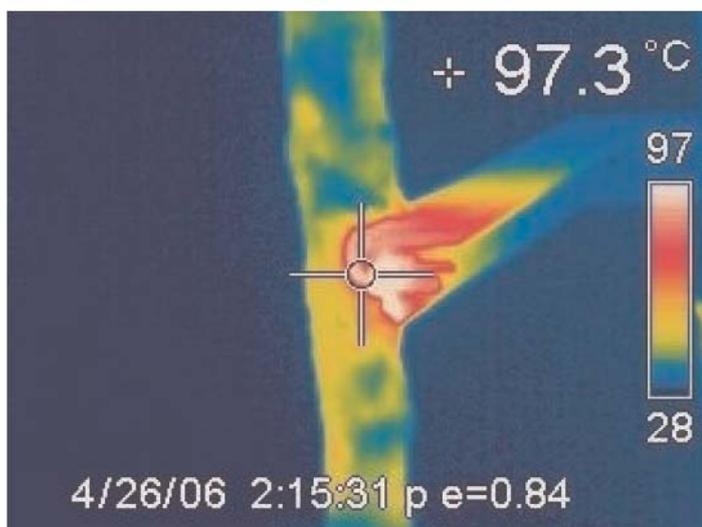


Figura 5 – Avaliação de desempenho de isolamento com ensaio termográfico

7.1.12 Réplica metalográfica

A técnica de réplica metalográfica, envolve a reprodução da microestrutura do material através de uma metodologia não destrutiva.

A técnica consiste na preparação da região a ser analisada através de lixamento e polimento até a obtenção de uma superfície polida e isenta de riscos. O lixamento é mecânico e o polimento poder-se-á ser mecânico ou eletrolítico (este último possibilita diminuir consideravelmente o tempo de preparação de superfície). Após esta preparação a superfície polida é atacada com reagentes químicos específicos para cada material e de acordo com o que se pretende visualizar.

Uma cópia da da microestrutura é feita usando pedaços de folha de acetato bem fina, que se dissolve na acetona, possibilitando a colagem do acetato à superfície e assim reproduzindo a microestrutura. Este pedaço de acetato contendo a microestrutura replicada da superfície polida e atacada pode ser metalizado em ouro para um melhor contraste quando da observação em microscopia ótica ou eletrônica de varredura.

A aplicação é voltada para análise de falha, detecção de fissuras, degradação estrutural, identificação de material, dentre outras.

7.1.13 PIG Instrumentado

PIG é o nome usual para equipamentos que são deslocados dentro das tubulações visando a realização de diversos tipos de serviços. A passagem de PIG Instrumentado que é um equipamento dotado de instrumentação eletrônica, lançado (impulsionado) no interior da tubulação com o auxílio de água, gases ou o próprio fluido de operação da linha, dependendo do caso, que tem como objetivo indicar com precisão a localização e tamanho de discontinuidades (perdas de massa), ou o tipo de defeito definido no objetivo da inspeção.

Àqueles dotados de instrumentação que permitem gravar e resgatar o resultado de seus trabalhos, chamamos de PIGs Instrumentados, conforme exemplo da figura 6.

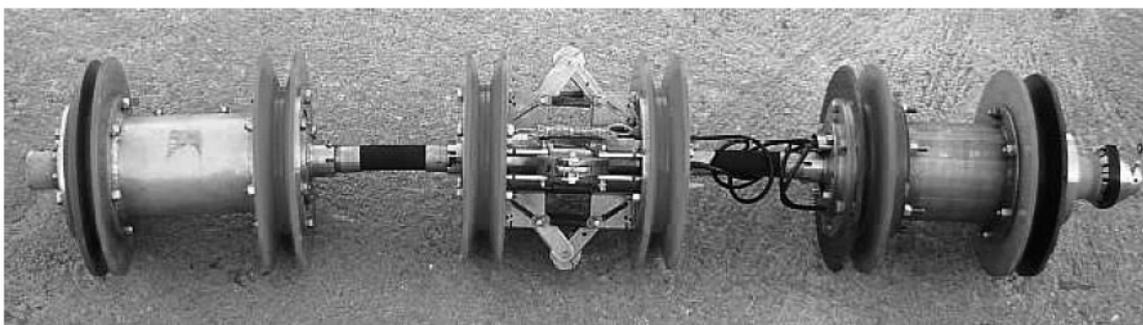


Figura 6 – Exemplo de PIG Instrumentado

Os PIGs Instrumentados podem ser utilizados para verificar as dimensões (PIGs Dimensionais), para analisar o percurso e localização (PIGs Inerciais) ou para avaliação da integridade de dutos e tubulações.

Os PIGs Instrumentados para análise de integridade, realizam uma varredura na parede da tubulação, registrando as variações de espessura ou presença de discontinuidades e sua localização. Utilizando principalmente os princípios de US (Ultrassom) e MFL (Magnetic Flux Leakage) consegue-se, com boa precisão, determinar a perda de espessura devido ao processo corrosivo. A figura 7 apresenta um exemplo de tubulação com corrosão externa.



Figura 7 – Exemplo de tubulação com corrosão externa

Como qualquer ensaio, o resultado da inspeção com PIGs Instrumentados são apresentados na forma de laudo em um relatório com tabelas, gráficos, imagens e cálculos que permitem ao operador a tomada de decisões quanto à manutenção da integridade da tubulação.

Normalmente associados a um software, permitem ao cliente alterar variáveis, elaborar filtros, gráficos e demais recursos de planilhas eletrônicas.

Quando associados à inspeção com PIG Instrumentado inercial, permitem através da utilização do georreferenciamento a locação dos resultados em mapas e ortofotos.

Benefícios da inspeção com PIG:

- ✓ Conhecer de forma integral os possíveis modos de falha da tubulação;
- ✓ Conhecer a gravidade das discontinuidades existentes;
- ✓ Conhecer o posicionamento das discontinuidades ao longo da tubulação;
- ✓ Permite montar planos de curto, médio e longo prazo de manutenção em função de análise de riscos que deve abranger a operação, meio ambiente e população;
- ✓ Permite monitorar os processos corrosivos através da combinação de duas ou mais inspeções realizadas em épocas diferentes;
- ✓ Associado a outras técnicas de inspeção de revestimento permite priorizar intervenções onde a falha do revestimento está associada com baixa eficiência do sistema de Proteção Catódica e um processo corrosivo já esteja instalado.

A Inspeção com utilização de PIG Instrumentados de tubulações enterradas pode não ser viável em função de características morfológicas das tubulações. Diâmetros, pequenos, curvas de raio curto, derivações e válvulas que restringem a passagem integral são exemplos destas limitações. Essa técnica tem maior aplicabilidade em Dutos.

7.1.14 Medição de campo por corrente alternada - ACFM

A capacidade de dimensionar trincas que afloram a superfície, sem a necessidade de limpeza na região da solda a ser inspecionada oferece benefícios potencialmente significativos sobre as técnicas existentes,

tais como a inspeção por partículas magnéticas, queda de potencial e correntes parasitas.

Além de permitir a estimativa da profundidade das trincas, o emprego de uma corrente de entrada unidirecional oferece outros benefícios práticos.

7.1.15 Inspeção ultrassônica linear por tempo de percurso da onda difratada – TOFD (time-of-flight diffraction)

A técnica TOFD (tempo de percurso difratado) baseia-se na interação das ondas ultrassônicas com as extremidades das discontinuidades. Desta interação resulta a emissão de ondas difratadas numa vasta gama de ângulos.

A detecção de ondas difratadas torna possível estabelecer a presença de discontinuidades. O tempo de percurso dos sinais registrados é uma medida da altura da discontinuidade, e conseqüentemente, permite o seu dimensionamento.

A dimensão da discontinuidade é sempre determinada a partir dos tempos de percurso das ondas difratadas. A amplitude do sinal não é utilizada para estimar a dimensão. Os ensaios devem ser realizados em conformidade com o Code Case 2235.4. A figura 8 apresenta o esquema da inspeção com a técnica de TOFD.

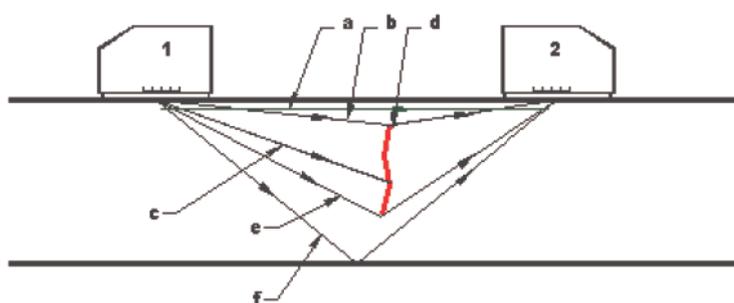


Figura 8 – Esquema da inspeção com TOFD

Legenda:

1 - Emissor
2 - Receptor

a - Onda Lateral
b - Extremidade Superior
c - Eixo do Feixe

d - Descontinuidade
e - Extremidade Inferior
f - Eco de Fundo

7.1.16 Endoscopia industrial

O ensaio com a utilização de Vídeo Endoscopia Industrial é uma técnica de inspeção visual remota, que possibilita avaliar regiões que tenham um difícil acesso e que não possam ser observadas diretamente pelo olho humano.

A aplicação industrial deste ensaio tem tido uma abrangência cada vez maior. Os altos custos de manutenção na desmontagem e montagem de equipamentos têm levado a utilização desta técnica.

A imagem é produzida em um monitor colorido e gravada. Esta gravação é editada e convertida para uma mídia digital.



Figura 9 – Equipamento de endoscopia industrial



Figura 10 – Equipamentos de endoscopia industrial

7.1.17 Ondas guiadas

A técnica de ultrassom conhecida como "Guided Waves" (GW) utiliza-se de frequências baixas, da ordem de dezenas de kHz. Isto implica em comprimentos de onda considerados grandes para uma inspeção por ultrassom, por volta dos 100 mm. Desta forma é possível, a partir de um só ponto, alcançar/inspecionar grandes comprimentos de tubulação.

Se considerarmos um anel ou colar completamente preenchido por sondas/cabeçotes ao redor da circunferência de uma tubulação, estamos garantindo que os 360° da tubulação são cobertos e inspecionados pelas ondas guiadas.

Estas sondas/cabeçotes emitem os sinais sonoros de acordo com um comando central. Os sinais recebidos são processados num software específico que fará uma representação esquemática qualitativa dos dados adquiridos.

As ondas guiadas percorrem a espessura do material utilizando as superfícies internas e externas como guias e, sempre que houver uma diferença de espessura numa seção reta do tubo, isto dará origem a uma reflexão do sinal emitido. Esta mudança de espessura pode ser para mais, por exemplo, um cordão de solda, ou para menos, por exemplo, uma corrosão. Ainda, qualquer tipo de componente em contato com a tubulação poderá dar origem a uma reflexão, por exemplo, os suportes.

O alcance de uma inspeção está diretamente ligado ao nível de atenuação que o sinal sonoro sofre ao se propagar pelo material da tubulação. Qualquer elemento (isolamento, solo, solda, suporte, etc.) que estiver em contato direto com a tubulação vai causar uma atenuação no sinal emitido. Desta forma, o alcance obtido numa inspeção de uma tubulação aérea sem isolamento será significativamente maior que aquele obtido na inspeção de uma tubulação enterrada e com um isolamento muito atenuante.

As ondas guiadas não passam através de ramificações (tês), flanges ou válvulas, mas são capazes de contornar curvas. Assim uma aquisição deverá ser terminada quando houver algum destes componentes, e reiniciada imediatamente a seguir ao mesmo.

O resultado de uma inspeção com ondas guiadas indica o somatório de perda de material/espessura numa seção reta de material. Logo, não é possível distinguir se a corrosão é interna ou externa, mas sim identificar a seção reta da tubulação onde houver perda significativa de material. O resultado indica qualitativamente o percentual aproximado de perda de material em área numa seção reta da tubulação, onde a sensibilidade mínima pode variar entre 5% e 9%, dependendo do comportamento acústico obtido no material em questão.

Os dados adquiridos são analisados pelo especialista e, nas áreas onde houver alguma indicação suspeita, especialista deve fazer uma avaliação quantitativa localizada em busca da menor espessura de material. No caso de uma tubulação enterrada esta avaliação complementar só é possível caso o percurso da tubulação proporcione condições de acesso à posição onde houver a indicação de defeito.

Para realização da inspeção, a temperatura da tubulação deve ser de até 70°C, para tubulações com diâmetro externo superior a 4". Tubulações com diâmetro nominal até 4" podem ser inspecionadas em temperaturas até 120°C.

Esta técnica apresenta ainda algumas limitações que devem ser ponderadas, e que influenciam o seu desempenho:

- a) A onda gerada é fortemente atenuada na sua progressão pela existência de isolamentos aderentes à tubulação. Esta atenuação embora expectável, não é facilmente quantificável sem ensaio prático na tubulação em causa;
- b) Devido ao comportamento da onda é também pouco aconselhável a sua utilização em trechos muito sinuosos com curvas próximas, acessórios, uniões flangeadas. A sua utilidade neste tipo de configurações é limitada pela baixa extensão do ensaio;
- c) Não permite a caracterização de defeitos (ex.: não distingue defeitos superficiais ou sub superficiais de defeitos internos, nem o tipo do defeito).

A técnica de “Guided Waves” não permite a quantificação e caracterização de defeitos, pelo que não deve ser considerada quando se pretende obter resultados quantitativos (exemplo: determinação da espessura residual).

7.2 Inspeção dimensional

Por meio da inspeção dimensional, é verificado o estado da espessura dos tubos e dos acessórios, que compreendem a tubulação inspecionada. Cada empresa deve adotar um procedimento para definir os parâmetros adequados para a inspeção e análise dos resultados.

Normalmente a avaliação dimensional se dá principalmente por medição de espessura, mas pode ser complementada pela definição de geometrias (deformação, ovalização, deterioração de superfície), o que fornece subsídios para uma adequada definição de vida residual.

7.3 Determinação da vida residual para componentes que apresentam perda de espessura

Deve ser adotado um Procedimento de Avaliação de Vida Residual, baseado e compatível com uma publicação, guia ou norma que trate da adequação ao uso de componentes que tiveram perda de espessura por corrosão ou erosão. Exemplos de procedimentos com reconhecimento e uso consolidado na indústria estão publicados na API 579-1/ASME FFS-1 e na BS 7910.

O Procedimento de Avaliação adotado deve explicitar a validade do seu campo de aplicação, definir o método de cálculo a ser seguido, possibilitar o estabelecimento de novos intervalos de inspeção, permitir, se necessário, a determinação de novos valores de PMTA considerando a perda de espessura existente, direcionar para as metodologias que levem à inibição futura da deterioração e propor técnicas de manutenção, recuperação, reforço ou reparo da região deteriorada.

8 Reparos

8.1 Reparos e alterações

Recomenda-se que todos os reparos e alterações nas tubulações ou sistemas de tubulações sejam realizados em conformidade com o código de projeto e construção e aprovados por Profissional Habilitado indicado pela empresa. A recomendação torna-se obrigatória para as tubulações enquadradas na NR-13.

8.2 Especificação de reparos e alterações

A especificação de reparos e alterações deve estabelecer: especificação dos materiais a utilizar, em conformidade com o código de projeto, procedimento de soldagem, procedimentos de tratamento térmico e definir os exames e ensaios para o controle de qualidade, devendo todas as etapas ter a aprovação de Profissional Habilitado.

Os reparos e alterações devem ser realizados por pessoal e procedimentos qualificados. A especificação de reparos e alterações, bem como os relatórios dos ensaios realizados deve ser registrada em documento específico e ser arquivada.

8.3 Verificação de materiais para reparos e alterações

Durante reparos, substituições e alterações de tubulações, principalmente aquelas construídas em aço liga, deve-se proceder à verificação da adequabilidade dos materiais utilizados. Materiais inadequados podem levar a falhas e acidentes de grandes proporções. Essa verificação deve ser total, para sistemas de tubulações críticos.

Recomenda-se que os materiais devem ter sua composição química verificada por meio de exame dos certificados de qualidade dos fornecedores, da

identificação adequada marcada nos mesmos, e por "Ensaio por Ponto" ou algum método mais sofisticado como os analisadores por difração de radiações eletromagnéticas (Identificador de Ligas), ou ainda, análise química destrutiva. Quando necessários exames dimensionais devem ser realizados.

8.4 Reparos temporários

Reparos temporários só devem ser executados com a aprovação do Profissional Habilitado. Devem ser concebidos e adequados de forma a garantir a integridade das pessoas, das instalações e do meio ambiente, além da continuidade operacional. Recomenda-se que sejam removidos, resgatando-se a condição de projeto original, após o tempo definido pelo PH para sua utilização.

Deve ser facultado ao Profissional Habilitado reavaliar um reparo temporário e estender o tempo para utilização.

8.5 Reparos com solda

Quando for necessário reparo com solda, uma quantidade suficiente de metal base deve ser removida para o acesso do metal de adição e a remoção de toda tensão residual causada pelo defeito/descontinuidade.

Os reparos com solda devem ser executados conforme procedimentos específicos, considerando os materiais de base e adição, processos de soldagem e variáveis dos processos a serem utilizados.

Na elaboração do procedimento de reparo por meio de soldagem para reposição de perda de material, seja por erosão, corrosão ou outro meio, deve ser avaliado se o aquecimento resultante da soldagem não provocará alguma mudança estrutural ou microestrutural nas regiões afetadas termicamente, ou introduzir novos tipos de dano.

8.6 Controle da qualidade de reparos

Recomenda-se que reparo soldado ou alteração seja seguido de inspeção visual e, em função da avaliação do Profissional Habilitado e de acordo com o código

aplicado, submetido a ensaio não destrutivo, o qual deve constar no documento específico de reparo ou alteração.

8.7 Tipos de reparo

8.7.1 Enclausuramento soldado

Reparo empregado para estanqueidade, como mostra a Figura 10. Consiste de um enclausuramento total da região onde ocorre o vazamento, usando-se chapas calandradas ou tubos.

Neste tipo de reparo são executadas todas as soldas, longitudinais e circunferenciais. Também devem ser levados em consideração todos os possíveis tipos de esforços impostos à tubulação e às soldas, por exemplo, pressurizações cíclicas, cargas provenientes de restrições causadas pelo reparo, variações de temperatura, troca térmica.

Este tipo de reparo pode ser aplicado para confinar vazamentos localizados em flanges e suas juntas, uniões engaxetadas, vazamentos oriundos de perda de espessura de tubulações.

Em casos onde o confinamento for executado em vazamentos provocados por trincas, uma análise cuidadosa deve ser executada para avaliação do sentido de propagação da trinca, evitando que ela ultrapasse a região confinada.

Exemplos são trincas longitudinais que tanto podem estar localizadas no metal base, zona afetada termicamente ou metal de adição, nestes dois últimos casos quando a tubulação possuir soldas longitudinais. A mesma análise deve ser executada quando da existência de trinca circunferencial.

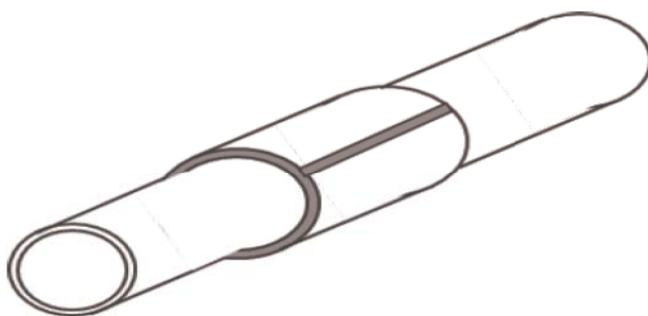


Figura 10 – Enclausuramento total da região do vazamento, com chapas calandradas ou tubos.

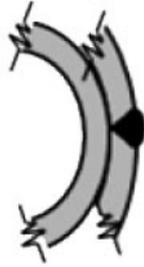


Figura 10a – Sem uso de Mata-Junta



Figura 10b – Com uso de Mata-Junta com Rebaixo para Encaixe

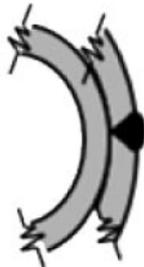


Figura 10c – Com uso de Mata-Junta sem Rebaixo para Encaixe



Figura 10d – Com uso de Mata-Junta Sobreposta

8.7.2 Enclausuramento aparafusado

Este tipo de reparo, como mostra a Figura 11, é geralmente aplicado onde as pressões de operação são baixas e os fluidos são de risco baixo e médio.

Da mesma forma como é aplicado o enclausuramento soldado, este tipo de reparo é usado para vazamentos localizados em flanges e suas juntas, uniões engaxetadas, vazamentos oriundos de perda de espessura de tubulações.

O enclausuramento aparafusado pode ser usado com ou sem material de enchimento. Se usado, o material de enchimento deve ser avaliado para que não ocorra nenhuma incompatibilidade com o sistema onde será aplicado. Na avaliação para execução deste tipo de reparo devem ser levadas em conta as tensões axiais existentes entre as partes abrangidas pela braçadeira devido ao esforço que será exercido e a espessura tanto na época da realização do reparo como uma possível diminuição da espessura com o passar do tempo.

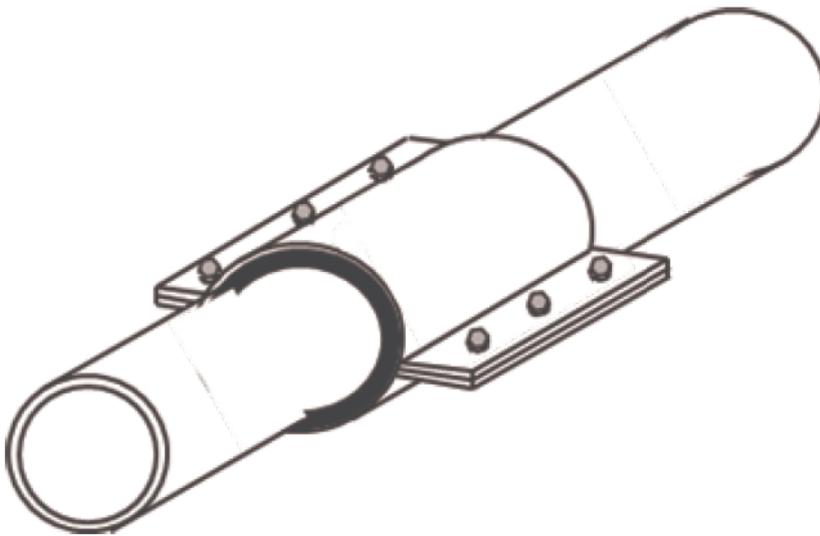


Figura 11 – Enclausuramento aparafusado

8.7.3 Reforço

Reparo empregado para reforçar áreas com perda de material em tubulações, devido ao desgaste interno ou externo, fazendo uso de chapas calandradas ou tubos. Neste tipo de reparo são executadas somente as soldas, longitudinais conforme mostra a Figura 11. Este tipo de reparo não é empregado para restringir vazamento ou conter pressão, tendo apenas como função à de reforço estrutural.



Figura 11a – Com uso de Mata-Junta sem Rebaixo para Encaixe



Figura 11b – Com uso de Mata-Junta Sobreposta



Figura 11c – Sem uso de Mata-Junta



Figura 11b – Com uso de Mata-Junta com Rebaixo para Encaixe

8.7.4 Reparo em tubos com acesso apenas por um lado

Este tipo de reparo é empregado, por exemplo, em tubo de pisos, de paredes e fornalhas de caldeiras, tubos que não apresentam acesso total no perímetro externo (ver Figuras 12a e 12b).

O reparo deve ser executado com o mesmo material do tubo, obedecendo a características de projeto. A vantagem deste processo é que é possível substituir pequenos trechos de tubos sem a necessidade de grandes intervenções em pequenas regiões. É recomendado que sempre que possível o passe de raiz seja executado pelo processo TIG obedecendo aos mesmos parâmetros usados para passes de raiz, e os passes subsequentes podendo ser usado um tipo diferente de processo de soldagem. As espessuras dos materiais que substituirão os danificados devem ser compatíveis com o projeto original.

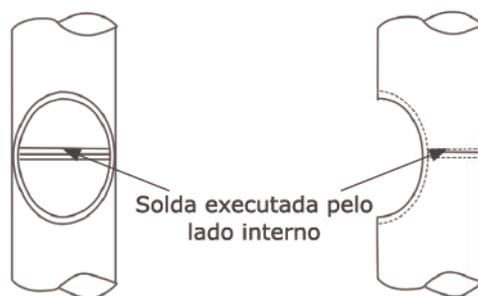


Figura 12a

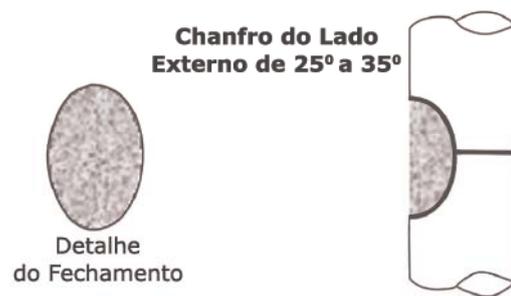


Figura 12b

8.7.5 Reparo por inserção

A Figura 13 mostra um modelo de reparo por inserção, conforme prevê a API 570.

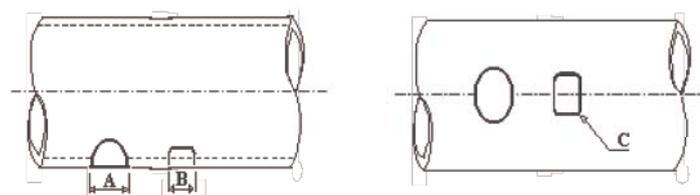


Figura 13 – Reparos conforme a API 570

9 Documentação de inspeção

Recomenda-se que toda tubulação ou sistema de tubulação tenha, no estabelecimento onde estiver instalada, a seguinte documentação devidamente atualizada:

- a) Especificações das tubulações ou sistemas, necessárias ao planejamento e execução das inspeções;
- b) Fluxograma de engenharia, com a identificação da linha e seus acessórios;
- c) Prontuário, contendo as seguintes informações:
 - ✓ Código de projeto e ano de edição;
 - ✓ Especificação dos materiais;
 - ✓ Procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção final e determinação da PMTA;
 - ✓ Conjunto de desenhos isométricos/instalações e demais dados necessários para o monitoramento da sua vida útil;
 - ✓ Características funcionais;
 - ✓ Dados dos dispositivos de segurança;
 - ✓ Ano de fabricação.
- d) Projetos de Alteração ou Reparo, em conformidade com o item 8;

e) Relatórios de Inspeção:

Uma das principais ferramentas para análise das condições físicas da tubulação detalhados permitem uma avaliação da evolução das deteriorações dos seus vários componentes, por exemplo: tubos, válvulas, acessórios, pintura, revestimentos.

Quando devidamente organizados, atualizados e com rastreabilidade adequada, tais relatórios formam um registro permanente de espessuras, taxas de corrosão, previsões de reparos e substituições, previsão de vida útil remanescente e alterações de projeto.

Recomenda-se que esses registros contenham os seguintes dados:

- ✓ Data do término da montagem e início de operação;
- ✓ Identificação da tubulação e sistema que ela pertence. Determinação dos limites em que a inspeção foi executada;
- ✓ Data de início e término da inspeção;
- ✓ As especificações dos materiais utilizados na construção;
- ✓ Informações de projeto (pressão de projeto, temperatura de projeto, fluidos, sobre-espessura de corrosão, pressão de ensaio hidrostático);
- ✓ Pressão de operação;
- ✓ Temperatura de operação;
- ✓ Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA);
- ✓ As medições de espessuras originais dos vários componentes da tubulação (medições iniciais, quando a linha foi posta em operação);
- ✓ A localização e valores de todas as medições de espessura realizadas ao longo da vida da tubulação;
- ✓ As taxas de corrosão e vida residual estimada dos vários pontos de medição;

- ✓ As espessuras mínimas calculadas dos diversos componentes;
- ✓ Previsão de reparos e substituições futuras, e outras recomendações;
- ✓ Os reparos e substituições realizadas ao longo da vida da tubulação;
- ✓ Descrição das condições físicas encontradas;
- ✓ Relato das principais deteriorações encontradas em cada inspeção e sua localização;
- ✓ Alterações nas condições de operação;
- ✓ Alterações nas condições de projeto;
- ✓ Parecer conclusivo quanto à integridade até a próxima inspeção;
- ✓ Nome, assinatura e identificação dos inspetores e responsáveis que participaram da inspeção.

Essas e outras informações de inspeção pertinentes devem ser organizadas de modo a fornecer um retrato cronológico da evolução das condições físicas das tubulações. Recomenda-se que cada empresa estabeleça um procedimento de registro de inspeções.

10 Bibliografia sugerida

Neste capítulo estão relacionadas algumas referências, bem como as publicações consultadas para a elaboração deste documento:

- a) Material Fornecido pelos Membros do Grupo Regional São Paulo e pela Comissão de Inspeção de Inspeção de Equipamentos para elaboração do Guia de Inspeção.
- b) ASME B16.5 – Pipe Flange and Flanged Fittings NPS ½ Through NPS 24, 1996;
- c) ASME B16.10 – Face-to-Face and End-to-End Dimensions of Valves;
- d) ASME B16.34 – Valves – Flanged, Threaded, and Welding End, 1996;
- e) ASME B16.47 – Large Diameter Steel Flanges NPS 26 Through NPS 60;
- f) ASME B31.1 – Power Piping, 1995 Edition;
- g) ASME B31.3 Process Piping;
- h) ASME B31.4 Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids 1995 Edition;
- i) ASME B36.10 – Welded and Seamless Wrought Steel Pipe;
- j) ASME B36.19 – Stainless Steel Pipe;
- k) ASTM Section 1 – Iron and Steel Products, Volume 01.01 Steel – Piping, Tubing, Fittings;
- l) Norma Petrobrás, N-115 – Montagem de Tubulações Metálicas, Rev. D - Dez/99;

- m) SILVA TELLES, Pedro C. Tubulações Industriais – Materiais, Projeto e Desenho, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, Rio de Janeiro, 1982;
- n) ANSI/API 570 Piping Inspection Code – Inspection, Repair, Alteration, and Rerating Of In-Service Piping Systems, second edition, october 1998, addendum 1, february 2000; addendum 2, december 2001; addendum 3, august 2003; addendum 4, june 2006;
- o) ANSI/API RP 571 – Recognition of Conditions Causing Deterioration of Failure, first edition, december 2003.

