

6 AÇÕES MITIGADORAS PARA FALHAS POR CORROSÃO

Após a realização da inspeção e a partir da aplicação de um critério de aceitação, as anomalias detectadas podem ser classificadas como um dano, com o qual o duto poderá conviver com segurança sem comprometer sua funcionalidade, ou como um defeito, que deverá receber algum tipo de tratamento – realização de ações mitigadoras que devem ser baseadas em normas e regulamentações, procedimentos da empresa e avaliação de risco.

A figura 6.1 mostra um procedimento que pode ser seguido para a realização das ações mitigadoras de falhas por corrosão em dutos.

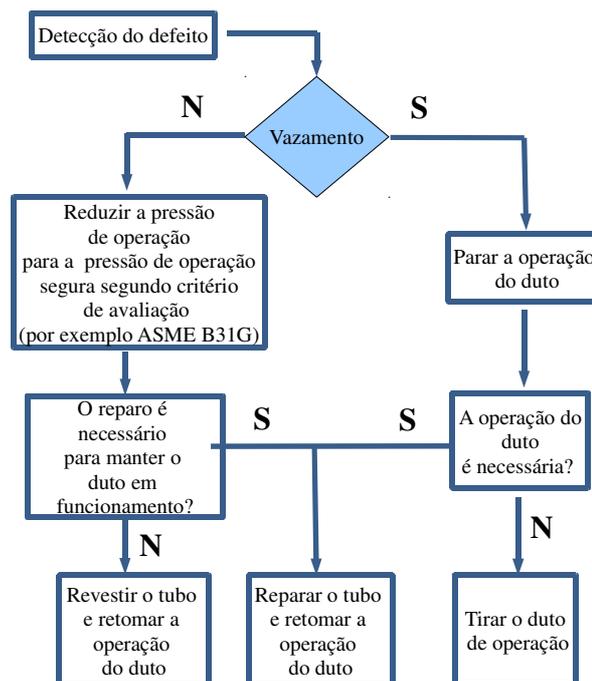


Figura 6.1 – Fluxograma para a realização de ações mitigadoras [5]

Além de efetuar reparos ou reduzir a pressão de operação para evitar a falha do duto, o operador ainda deve avaliar as técnicas de prevenção de corrosão, como: monitoramento e manutenção da proteção catódica, injeção de inibidores de corrosão, limpeza do duto, reabilitação do revestimento e alterações nas condições operacionais para evitar que futuras corrosões ocorram na mesma região.

As recomendações das normas API 1160 [2] e ASME B31.8S [10] para as corrosões detectadas em inspeção interna por pig e avaliação direta serão apresentadas a seguir.

Para o teste hidrostático, as respostas aos defeitos não serão apresentadas, pois este método de inspeção é destrutivo, requerendo assim que a resposta ao defeito seja imediata. Ou seja, qualquer defeito que falhe durante a realização do teste hidrostático deve ser prontamente reparado ou removido.

6.1. RECOMENDAÇÕES API 1160 [2]

O teste hidrostático e a inspeção interna (ILI), individualmente ou combinados, assim como o emprego de tecnologias equivalentes são os métodos de inspeção em dutos apresentados pela norma API 1160 [2]. Para o teste hidrostático as respostas às anomalias devem ser imediatas. Assim, neste item serão abordadas apenas as respostas às corrosões detectadas pela inspeção interna (ILI).

Para a inspeção interna por pig, alguns defeitos devem ser tratados de forma imediata, com um prazo de realização das mesmas de 5 dias – recomendação da norma API 1160 [2].

É válido informar que para as ações imediatas, as características dos defeitos baseiam-se apenas no relatório da inspeção por pig e não são considerados os resultados da inspeção *in-loco*. As características dos defeitos que devem ser tratados de forma imediata e as ações que devem ser tomadas imediatamente seguem abaixo.

- Perdas de metal superiores a 80%w.t.;
Ações: monitoramento, teste de vazamento, redução de pressão até que sejam efetuados inspeção in-loco e reparo, se necessário.
- Perdas de metal em que a pressão de ruptura calculada pelos métodos de avaliação como: ASME B31G (Original/Modificado) [47-48], RSTRENG [48], DNV-RP-101 [49] e Kastner [50] é menor que a máxima pressão de operação do duto (PMO)[1];

Ações: redução de pressão e redefinição de setpoint (valor de ajuste) para os equipamentos de alívio de pressão até que seja efetuada inspeção in-loco e reparo, se necessário.

- Anomalias significantes segundo o critério estabelecido pelo operador do duto;

Ações: não definidas pela norma.

Para as anomalias com as características a seguir, a norma API 1160 [2] recomenda que o operador execute ações mitigadoras no prazo de até 6 meses após o recebimento do relatório final de inspeção por pig.

- Perdas de metal em que a pressão de operação aceitável calculada pelos métodos de avaliação como: ASME B31G (Original/ Modificado) [47-48], RSTRENG [48], DNV-RP-101 [49], Kastner [50] é menor que a máxima pressão de operação do duto (PMO);
- Indicações de prováveis trincas que são confirmadas após a escavação;
- Corrosão seletiva da região da solda longitudinal ou em torno da costura;
- Perdas de metal prevista >50%w.t. e que estão localizadas em cruzamentos;
- Perdas de metal circunferencial generalizada prevista >50%w.t.;
- Anomalias em solda com perda de metal prevista >50%w.t.;

Com o valor estimado para a taxa de corrosão é possível, então, prever as perdas de metal. Assim, ao se obter a estimativa de taxa de corrosão mais acurada possível, evita-se gastos desnecessários com a manutenção do duto.

6.2. RECOMENDAÇÕES ASME B31.8S [10]

A norma americana ASME B31.8S [10], recomenda como métodos de inspeção em dutos: o teste hidrostático, a inspeção interna (ILI) e a avaliação direta, individualmente ou em combinação, além do emprego de tecnologias equivalentes.

Para a inspeção por pig, as ações mitigadoras são definidas segundo os resultados da avaliação de risco e a severidade das indicações detectadas, onde a severidade é determinada através dos cálculos da pressão de falha e estimativa de taxas de corrosão.

As respostas aos defeitos detectados na inspeção por pig são classificadas como imediata, programada e monitorada. Cada uma destas classificações será definida e detalhada a seguir.

- a) **Imediata** – Classificação dada às anomalias que estão na iminência de falha. Para estas anomalias, a norma recomenda que a inspeção *in-loco* ou redução da pressão de operação devem ser realizadas dentro de 5 dias.

Ações: Após inspeção in-loco, as anomalias, agrupadas na categoria imediata, que requeiram reparo ou remoção devem ser corrigidas prontamente por reparo, remoção ou redução de pressão de operação.

Caso a inspeção in-loco não seja efetuada neste período a pressão de operação deverá ser reduzida temporariamente até que seja realizado o exame da anomalia. A norma relaciona a redução de pressão com o tempo de resposta à anomalia e a razão entre a pressão de falha e a MAOP, como mostra a figura 6.2.

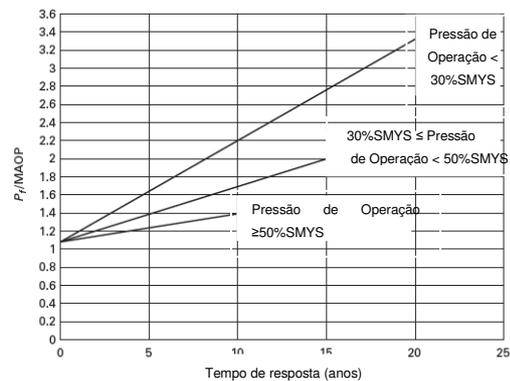


Figura 6.2 – Relação entre redução de pressão e o tempo de resposta à corrosão segundo ASME B31.8S [10]

A classificação *Imediata* é representada por:

- Perdas de metal interna e externa que podem resultar em vazamentos ou rupturas em espaço muito curto de tempo;
 - Perdas de metal interna e externa em que a pressão de falha calculada seja inferior a 1.1 MAOP [1,9]. ($P_f^{14} < 1.1 \text{ MAOP}$);
 - Perdas de metal interna e externa que afetam a costura longitudinal (se a costura foi executada com corrente contínua ou solda elétrica de baixa frequência);
 - Qualquer indicação de corrosão sob tensão;
- b) **Programada** – Classificação dada às anomalias significativas que não estejam na iminência de falha. Para estas anomalias, a norma recomenda que o operador execute ações mitigadoras no prazo de até 6 meses após o recebimento do relatório final de inspeção por pig.

Ações: Caso as anomalias agrupadas na categoria programada requeiram reparos ou remoção, as mesmas devem ser reparadas prontamente a menos que a pressão de operação seja reduzida.

¹⁴ A norma ASME B31.8S, define pressão de falha, como a pressão calculada através do critério de aceitação B31G ou similar quando o fator de projeto, F, é definido como unidade (1).

A classificação *Programada* é representada por defeitos com as características a seguir:

- Perdas de metal interna e externa que não atinjam tamanho crítico antes da resposta programada;
- Perdas de metal interna e externa em que a pressão de falha calculada seja superior a 1.1MAOP. ($P_f > 1.1 \text{ MAOP}$);

- c) **Monitorada** – Classificação dada às anomalias que não falharão antes da próxima inspeção.

Ações: As anomalias agrupadas na categoria monitorada não requerem exame ou avaliação até a próxima inspeção.

No método de avaliação direta, a determinação e priorização da severidade, a execução das ações de reparo e mitigação das falhas de corrosão já fazem parte do processo de inspeção. No entanto, para este método de avaliação de integridade a norma ASME B31.8S [10] apresenta recomendações de ações mitigadoras apenas para a corrosão sob tensão.

Tabela 6.1 – Ações Mitigadoras Recomendadas pela ASME B31.8S [10] às corrosões sob tensão [10]

Corrosão sob Tensão			Ação Mitigadora
Categoria	Severidade da Trinca Detectada	Vida Remanescente	
0	Trincas de qualquer comprimento com profundidade < 10%w.t. <i>OU</i> Trincas com 51 mm de comprimento máximo e profundidade < 30%w.t.	> 15 anos	Programar uma nova inspeção. Apenas a realização de uma única escavação é necessária.
1	$P_F > 110\% \text{ SMYS}$	> 10 anos	Realizar no mínimo 2 escavações adicionais. Se a maior falha é da categoria 1 – realizar a próxima inspeção em 3 anos.
2	$110\% \text{ SMYS} \geq P_F > 125\% \text{ MAOP}$	> 5 anos	Reduzir a pressão temporariamente até a realização completa de teste hidrostático, inspeção interna ou partículas magnéticas [59]. Estas inspeções devem ser realizadas até 2 anos.

Corrosão sob Tensão			Ação Mitigadora
Categoria	Severidade da Trinca Detectada	Vida Remanescente	
3	$125\% \text{ MAOP} \geq P_F > 110\% \text{ MAOP}$	> 2 anos	Redução de pressão imediata ou avaliação do trecho usando teste hidrostático, inspeção interna ou partículas magnéticas ou equivalentes.
4	$P_F \leq 110\% \text{ MAOP}$	< 2 anos	Redução de pressão imediata ou avaliação do trecho usando teste hidrostático, inspeção interna ou partículas magnéticas ou equivalentes.

Legenda:

P_F = Pressão de Falha Prevista

6.3. TIPOS DE REPAROS

Os tipos de reparos aceitáveis pelas normas de integridade API 1160 [2] e ASME B31.8S [10], e sua aplicabilidade são mostrados na tabela 6.2. Vale informar que Muhlbauer [11] não faz recomendações de reparo.

Tabela 6.2 – Aplicação Reparos segundo à forma de corrosão. [2,5,10,30]

Corrosão	Bacalhau ¹	Braçadeira bi-partida	Deposição de metal de solda ²	Dupla Calha		Esmerilhamento	Hop Tap ⁴	Material Compósito	Substituição de tubos
				Tipo A ³	Tipo B				
Externa	S	S	S	S ⁵	S	N	S ⁶	S ⁵	S
Interna	N	S	N	N	S	N	S ⁷	N	S
Sob tensão ⁹	N	S	N	S ⁸	S	S	N	N	S

Notas:

1 – Este reparo pode ser aplicado apenas em dutos cujos tubos apresentam SMYS [1,10] menor que 270 MPa (39160 psi).

2 – Não deve ser aplicado em tubos com espessuras menores que 3.2 mm.

3 – Este tipo de reparo não deve ser aplicado em defeitos com orientação circunferencial.

4 – Este reparo não deve ser aplicado em defeitos localizados em solda.

5 – Para API 1160 [2], este reparo é apenas aplicável para corrosão externa $\leq 80\%w.t.$

6 – Para API 1160 [2], este reparo não é aplicável para corrosão externa localizada em costura longitudinal e solda circunferencial. Além disso, seu uso é recomendado apenas para defeitos localizados no corpo do tubo e em curvas.

7 – Para API 1160 [2], este reparo é apenas aplicável para corrosão interna localizada no corpo do tubo e em curvas.

8 – Para esta forma de corrosão, este reparo é recomendado apenas para ASME B31.8S [10].

9 – Neste trabalho a corrosão sob tensão está englobada no grupo corrosão externa.

Além de seguir as recomendações da norma, para selecionar o tipo de reparo mais adequado que deve ser aplicado ao tubo deve-se considerar os fatores abaixo.

- Dados de projeto – diâmetro; espessura do tubo;
- Material do duto – grau do aço;
- Características operacionais – máxima pressão de operação; vazão; ciclagem; fluido; temperatura;
- Configuração do duto no local – localização das soldas circunferenciais e longitudinais; raio de curvatura; ovalização; existência de acessórios; localização do duto: *onshore* [58]/ *offshore* [58] e enterrado/aéreo; tipo de solo; acessibilidade ao local do defeito; proximidade de habitações ou áreas ecologicamente sensíveis;
- Natureza – corrosão interna; externa; corrosão sob tensão; verificar se o defeito afeta as soldas longitudinais ou circunferenciais;
- Dimensão do Defeito – profundidade; comprimento; largura;

6.4. INTERVALO DAS AVALIAÇÕES DE INTEGRIDADE

Para o gerenciamento de corrosão em dutos, além de se conhecer as inspeções que podem ser empregadas para avaliar integridade e realizar as ações mitigadoras, é importante também determinar a frequência com que as inspeções devem ser realizadas.

A tabela 6.3 mostra os critérios considerados por Muhlbauer [11] e pelas normas de integridade, API 1160 [2] e ASME B31.8S [10], para determinar o intervalo das inspeções dos principais métodos de avaliação da integridade do duto. Por meio desta tabela verifica-se tanto as normas de integridade como Muhlbauer utilizam a taxa de corrosão para determinar o intervalo das inspeção ILI, ainda é possível observar que para Muhlbauer [11] os intervalos de inspeção independem do método de avaliação de integridade .

Tabela 6.3- Critérios para determinar os intervalos de inspeção

Métodos	API 1160 [2]	ASME B31.8S [10]	Muhlbauer [11]
ILI	-A partir da taxa de corrosão estimada através das reais profundidades das anomalias que foram verificadas por meio de escavações, recomenda-se que o intervalo máximo da inspeção seja definido antes da metade da vida útil considerando o defeito mais profundo detectado que ainda não foi removido e nem reparado; -Avaliar os fatores que influenciam a ocorrência de corrosão. -No caso de corrosão sob tensão, o intervalo de inspeção deve ser definido a partir de modelos baseados em mecânica da fratura e resultados das escavações. Se após uma segunda inspeção não surgirem novas ocorrências de corrosão sob tensão, a próxima inspeção pode ser adiada ou cancelada.	-O intervalo de inspeção pode ser determinado a partir da taxa de corrosão e da relação entre a pressão de falha do defeito e a MAOP.	-O intervalo de inspeção pode ser determinado a partir do defeito mais profundo detectado; -O intervalo de inspeção pode ser determinado a partir da taxa de corrosão. -No caso de corrosão sob tensão, o intervalo de inspeção deve ser definido a partir de modelos baseados em mecanismos de fraturas e fadiga.
TH	-O intervalo de inspeção deve ser determinado através do tempo mínimo estimado para o defeito mais crítico e/ou que continuou no duto após a realização do teste hidrostático, provocar a falha por vazamento ou por ruptura do duto.	-O intervalo de inspeção pode ser determinado a partir da relação entre a pressão do teste hidrostático e a MAOP.	
AD	Não cita este método como avaliação de integridade.	-O intervalo de inspeção pode ser definido pela severidade das corrosões e resultado de inspeções anteriores.	Não cita este método como avaliação de integridade.
Outros	Não há recomendação	Não há recomendação	Não há recomendação

Legenda:ILI = inspeção interna por pig (*in-line inspection*)

TH= teste hidrostático

AD = avaliação direta

A definição dos intervalos de inspeção é fornecida explicitamente, apenas pela norma ASME B31.8S [10] que indica intervalos máximos de inspeção para corrosão interna e externa (sem considerar a corrosão sob tensão). No entanto, na prática, os intervalos de inspeção podem ser inferiores aos períodos recomendados pela norma ASME B31.8S [10] tendo em vista que dependem do

tipo de reparo executado no duto, das medidas de prevenção à corrosão adotadas pelo operador do duto e da intensidade do processo corrosivo atuante no duto.