

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais -
PPGEM

**APLICAÇÃO DA INSPEÇÃO NÃO INTRUSIVA EM EQUIPAMENTOS DO
SISTEMA DE DESSULFURIZAÇÃO DE GÁS NATURAL DA PLATAFORMA DE
PAMPO**

MARCUS VINICIUS CRUZ SAMPAIO

Engenheiro Metalúrgico

Dissertação para obtenção de título de

*Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Engenharia
de Inspeção de Equipamentos*

Porto Alegre -RS

2009

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais -
PPGEM

**APLICAÇÃO DA INSPEÇÃO NÃO INTRUSIVA EM EQUIPAMENTOS DO
SISTEMA DE DESSULFURIZAÇÃO DE GÁS NATURAL DA PLATAFORMA DE
PAMPO**

MARCUS VINICIUS CRUZ SAMPAIO

Engenheiro Metalúrgico

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Engenharia de Inspeção de Equipamentos.

Porto Alegre -RS

2009

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Engenharia de Inspeção de Equipamentos, e aprovada em sua forma final, pelo orientador e pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. D.Sc. Afonso Reguly

Co-orientador: D.Sc. Marcio Humberto Silva Siqueira

Banca Examinadora:

D.Sc. Sérgio Damasceno Soares, Petrobras

D.Sc. Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues, Petrobras

D.Sc. Marcelo Eurípedes Ferreira Napolião, Petrobras

Prof. D.Sc. Carlos Pérez Bergmann

Coordenador do PPGEM

Porto Alegre, Novembro de 2009

*Dedico esta dissertação aos meus pais,
irmãos, minha esposa e ao meu filho
Gabriel a quem é a razão para este
trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor D.Sc. Afonso Reguly pela orientação na execução deste trabalho.

Ao PPGEM e a UFRGS pela oportunidade da realização do estudo.

A Petrobras pelas oportunidades concedidas desde meu ingresso.

Aos engenheiros Marcio Humberto Silva Siqueira, Ricardo de Oliveira Carneval pelo apoio e orientação na execução deste trabalho.

Aos Técnicos Julio César Sarcinelli Vervloet e Paulo Faria pela tutoria durante o vivencial, apoio às atividades desenvolvidas neste trabalho e o incentivo.

A turma do CEINSP 2008, pelo companheirismo e pelo compartilhamento de conhecimentos.

Ao colega de turma Arthur Tomas de Rezende pela colaboração.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Inspeção de Equipamentos.....	16
2.2. Ensaios Não Destrutivos.....	18
2.2.1. Ensaio Visual.....	18
2.2.2. Ensaio por Líquido Penetrante.....	20
2.2.3. Ensaio de Partículas Magnéticas.....	23
2.2.4. Ensaio de Dispersão Magnética (<i>Magnetic Flux Leakage</i>).....	25
2.2.5. Ensaio de Correntes Parasitas (<i>Eddy Current</i>).....	26
2.2.6. Ensaio de Termografia.....	29
2.2.7. Ensaio por Emissão Acústica.....	30
2.2.8. Ensaio Radiográfico.....	32
2.2.9. Ultra-Som.....	34
2.2.9.1. Ensaio de Medição de Espessura por Ultra-Som.....	35
2.2.9.2. Mapeamento de Espessura por Ultra-Som.....	36
2.2.9.3. <i>Time of Flight Diffraction</i> (TOFD).....	37
2.2.9.4. <i>Phased Array</i>	39
2.2.9.5. <i>Creeping Head Inspection</i> (CHIME).....	41
2.2.9.6. <i>Long Range Ultrasonics</i> (LORUS).....	42
2.2.9.7. Ensaio por Ondas Guiadas (<i>Guided Wave</i>).....	43
2.2.9.8. Transmissão Acústica Eletromagnética (EMATs).....	44

2.2.10. Ensaio de Shearografia	44
2.2.11. Tomografia Compton (Backscatter Imaging).....	46
2.3. Inspeção Baseada em Risco (IBR)	47
2.3.1. Probabilidade de Falha	49
2.3.1.1. Determinação de Probabilidade da Falha	50
2.3.1.2. Frequência de Falha Genérica (gff).....	52
2.3.1.3. Fator de Dano	52
2.3.1.4. Fator do Sistema de Gestão (F_{MS})	53
2.3.1.5. Eficácia do Programa de Inspeção Passada.....	54
2.3.2. Conseqüência da Falha	56
2.3.2.1. Tipos de Conseqüência.....	57
2.3.2.2. Efeitos das Categorias de Conseqüência	59
2.3.3. Determinação, Avaliação e Gerenciamento do Risco	61
2.4. Inspeção Não Intrusiva	64
2.4.1. Avaliação da Integridade	68
2.4.1.1. Perfil do Equipamento	68
2.4.1.2. Inspeção Baseada em Risco (IBR)	69
2.4.1.3. Avaliação do Risco de Corrosão (ACR)	69
2.4.1.4. Avaliação da Integridade Estrutural	71
2.4.1.5. Experiência Operacional.....	72
2.4.2. Processo Decisório	72
2.4.2.1. Seleção de Regiões	73
2.4.2.2. Processo Decisório de Alto Nível.....	74
2.4.2.2.1 Capacidade de Prever os Tipos e Localizações dos Mecanismos de Deterioração.....	76
2.4.2.2.2 Eficiência das Inspeções Anteriores	77

2.4.2.2.3 Severidade da taxa de deterioração	78
2.4.3. Planejamento da Inspeção	78
2.4.3.1. Tipos de Estratégia de Inspeção	80
2.4.3.2. Definição do Tipo de Inspeção, dos Locais e da Degradação	81
2.4.3.3. Efetividade da Inspeção.....	85
2.4.3.4. Seleção do Método de Inspeção	86
2.4.3.5. Documentação e Revisão da Inspeção.....	88
2.4.4. Avaliação da Inspeção	89
2.4.5. Intervalo de Inspeção.....	90
3. Materiais e Métodos	94
3.1. Equipamentos	94
3.2. Cálculo do Risco.....	94
3.3. Aplicação da Guia INI.....	95
4. Resultados e Discussões	97
4.1. Matriz de Risco.....	97
4.2. Equipamentos	98
4.2.1. Vaso Separador de Segurança de Gás	98
4.2.2. Vaso Condensador de Topo de MEA	99
4.2.3. Vaso Refervedor de MEA	100
4.2.4. Torre de Contato de MEA	101
4.2.5. Torre Regeneradora de MEA	102
4.2.6. Resultado da aplicação do Guia da Inspeção não intrusiva.....	103
4.3. Comparativo entre as Efetividades de Inspeção do IBR e INI.....	104
5. Conclusões.....	105
6. Sugestões para Trabalhos futuros	106
7. REFERÊNCIAS	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Disposição do observador para a peça examinada. ⁵	19
Figura 2-2 – Boroscópio e Fibroscópio.	20
Figura 2-3 – (a) aplicação do líquido de penetrante e b) aplicação do revelador e formação da indicação. ⁶	21
Figura 2-4 – Princípio do ensaio de partícula magnética. ⁸	23
Figura 2-5 - Princípio do MFL. ⁴	25
Figura 2-6 – Tipos de inspeção com corrente parasita. ⁴	28
Figura 2-7 – Aplicação da Termografia.	29
Figura 2-8 – Características da emissão acústica.	30
Figura 2-9 – Técnica Geral de Ensaio Radiográfico na indústria.....	33
Figura 2-10 – Princípio Básico da Inspeção de Materiais por ultra-som. ¹⁶	35
Figura 2-11 – Características do Ensaio de Mapeamento de Espessura por Ultra-som (Corrosão). ²⁰	37
Figura 2-12 – Princípios da técnica TOFD na inspeção de solda, formação dos sinais. a – ondas laterais, difratadas (extremos trinca) e refletida, b – sinal elétrico na tela do aparelho de ultra-som.	38

Figura 2-13 - Defasagens de tempo dos sinais enviados (pulso) e recebidos (eco) pelos elementos individuais de um determinado arranjo.....	39
Figura 2-14 – Disposição dos cabeçotes e a varredura realizada. ²⁰	40
Figura 2-15 - Esquemático da geração das ondas de Creeping para ângulos críticos. Ondas de Creeping (C), Ondas de frente (H), Ondas de Cisalhamento (S) e Ondas de Compressão (P).	41
Figura 2-16 - Principio da Técnica de Lorus.	42
Figura 2-17 – Propagação das Ondas Guiadas.....	43
Figura 2-18 - Sistema de Sherografia Móvel.	45
Figura 2-19 – Desvio de inspeção típica e inspeção baseada em risco. ²⁵	48
Figura 2-20 – Sistema de inspeção baseado em risco. ²⁶	49
Figura 2-21 – Matriz de Risco do API 581.	63
Figura 2-22 – Vista geral do procedimento INI. ¹⁸	67
Figura 2-23 – Fluxograma para seleção da INI. ¹⁸	73
Figura 2-24- Fluxograma de Decisão de Alto Nível. ¹⁸	75
Figura 2-25- Fluxograma do Planejamento da Inspeção. ¹⁸	79
Figura 2-26 - Exemplo de Zonas do Vaso. ¹⁸	83
Figura 2-27- Seleção do Tipo de Inspeção. ¹⁸	84
Figura 2-28 - Fluxograma de Efetividade de Inspeção. ¹⁸	85
Figura 2-29– Avaliação dos Métodos/Performance da Não-Conformidades. ¹⁸	92
Figura 2-30– Avaliação de Não-Conformidades em Cobertura/Localização. ¹⁸	93

Figura 4-1-Matriz de risco para os componentes estudados.....97

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Comparação entre EA e outros END's. ¹³	32
Tabela 2-2 - Definição das Categorias de Conseqüências e Probabilidades de falha para a Matriz de Risco, por área afetada. ²⁵	63
Tabela 2-3- Definição das Categorias de Conseqüências e Probabilidades de falha para a Matriz de Risco, por custo financeiro. ²⁵	64
Tabela 2-4- Definição dos Tipos de Inspeção. ¹⁸	81
Tabela 4-1 – Relação de Equipamentos X INI.....	103
Tabela 4-2 – Efetividade de Inspeção INI. ¹⁸	104
Tabela 4-3 – Categoria da Eficácia de Inspeção do IBR. ²⁵	104

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados da aplicação da metodologia de inspeção não intrusiva (INI) em equipamentos do sistema de dessulfurização de gás numa plataforma petrolífera, com o auxílio da inspeção baseada em risco utilizando a norma API RP 581. A inspeção não intrusiva é aplicada tendo como fundamentos as guias de inspeção, como a DNV-RP-G103, que reúne informações de como executar e justificar o seu uso, a fim de garantir a segurança das instalações, eliminando a necessidade de uma parada do equipamento para a realização da inspeção. Contudo nem todos os equipamentos puderam ser inspecionados por esta metodologia, devido a limitações operacionais e/ou construtivas. O trabalho conclui que a inspeção não intrusiva pode ser aplicada à inspeção de equipamentos sem prejuízo ao mapa de risco do equipamento ou da unidade, e naqueles onde não é possível à utilização somente da metodologia, a mesma poderá ser aplicada em conjunto com a inspeção convencional fornecendo informações importantes sobre o estado do equipamento, melhorando assim a confiabilidade do planejamento da parada de manutenção e uma redução dos custos envolvidos.

Palavras-chaves: inspeção de equipamentos, inspeção baseada em risco, inspeção não intrusiva, ensaios não destrutivos.

ABSTRACT

This paper presents the results of applying the methodology of non-intrusive inspection (INI) in electrical system flue gas desulphurization an oil rig, with the help of risk-based inspection using the API RP 581. The non-intrusive inspection is implemented with the guides as the foundations of inspection, such as DNV-RP-G103, which gathers information on how to make and justify its use, to ensure the safety of installations, eliminating the need for a parade equipment to perform the inspection. However not all equipment could be inspected by this method, due to operational limitations and / or constructive. The paper concludes that the non-intrusive inspection can be applied to inspection of equipment subject to the risk map of the equipment or unit, and those where it is not possible to use only the methodology, it may be applied along with conventional inspection providing important information on the status of the equipment, thereby improving the reliability of planning maintenance shutdown and lower costs.

.

Key words: equipment inspection, non-invasive inspection, risk based inspection, non destructive inspection.

1. INTRODUÇÃO

A inspeção de equipamentos foi criada devido à ocorrência de vários vazamentos causados por corrosão e/ou deficiência de montagem e manutenção na década de 50, entretanto com o passar dos anos os equipamentos do parque industrial vem se deteriorando e os mecanismos de danos atuantes nestes passaram a ser foco da inspeção, esta mudança de conceitos, onde, o estudo da cinética dos processos de deterioração de modo a definir com antecedência o momento e a extensão para as intervenções de manutenção preventiva, passou a fazer parte da rotina, a fim de instituir programas de avaliação de integridade e estimativa de vida residual. Com o desenvolvimento das técnicas de ensaios não destrutivos (END's) e com o advento de normas, metodologia, práticas recomendadas e marcos regulatório, onde decorrem discussões sobre os rumos da inspeção de equipamentos. A inspeção não intrusiva é mais uma das metodologias, que através de guias como a DNV-RP-G103 reúne informações de como executar e justificar o uso, a fim de garantir a segurança das instalações, contudo sem precisar gastar mais para isso, pois não necessitariam parar um equipamento para realizar a inspeção.

A INI pode ser aplicada nos equipamentos, se beneficiando dos END's e do código API 581 (Inspeção Baseada em Risco), para afiançar a segurança dos equipamentos e manter o seu desempenho, contudo nem todos podem ser inspecionados por esta metodologia, devido a limitações operacionais ou construtivas que devem ser inspecionados internamente, porém assim mesmo traz grande ganho na obtenção de informações prévias a parada de manutenção do equipamento com ganhos na previsão das ações corretivas e/ou mitigadoras a serem executadas nessa ocasião. O objetivo deste trabalho é avaliar a aplicação da INI em uma planta de processo de gás de uma plataforma de petróleo, e confrontá-lo com o API 581, a fim de prover o melhor resultado a Inspeção de Equipamentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Inspeção de Equipamentos

A inspeção de equipamentos foi criada devido à ocorrência de vários vazamentos causados por corrosão e/ou deficiência de montagem e manutenção na década de 50, alguns destes seguido de incêndio.¹

Constatou-se, então, a necessidade de aperfeiçoar os mecanismos de prevenção utilizados. Foi assim criado na empresa um órgão especificamente responsável por executar um programa sistemático de inspeção em tubulações e equipamentos. Em muitas empresas este órgão foi denominado de “Inspeção de Equipamentos”. Tendo em vista as limitações de qualificação de mão-de-obra disponível, esse órgão logo absorveu a responsabilidade pelo controle de qualidade nas intervenções de manutenção e/ou montagem.¹

O envelhecimento por idade ou deterioração dos equipamentos tornou o escopo da atividade Inspeção mais complexa. A exposição contínua dos equipamentos a temperaturas elevadas e/ou meios agressivos que promoveram acumulação de danos e um limitante a vida útil dos equipamentos, que possuem como vida de referência de projeto de 100.000 horas (12 anos), enquanto que para equipamentos não sujeitos a temperaturas elevadas é de 20 anos. Um número considerável de equipamentos que hoje se encontram em operação está com esta vida teórica vencida. Entretanto a experiência de campo demonstra que mesmos aqueles equipamentos com danos acumulados, tendem a ter pequenas áreas comprometidas, sendo assim possível estender a vida útil através de análises específicas com o estrito atendimento aos requisitos técnicos e de segurança.

Essas circunstâncias fizeram os setores de Inspeção mudar seus conceitos e passar a não simplesmente identificar a presença de danos acumulados, mas também a estudar a cinética dos processos de deterioração atuantes num equipamento de modo a definir com antecedência o momento e a extensão para as intervenções de manutenção preventiva. A

Inspeção ainda passou a especificar medidas que anulem ou atenuem suas taxas de progressão, e a instituir programas de avaliação de integridade e estimativa de vida residual.

Em 1978 foi criada a NR-13², Norma Regulamentadora para Caldeiras e Vasos de Pressão do Ministério do Trabalho e Emprego, que estabelece os prazos máximos para inspeção dos equipamentos. Entretanto, essa norma permite que, a empresa que possua um sistema certificado de Serviço Próprio de Inspeção de Equipamento (SPIE), amplie os prazos máximos regulamentares para inspeções desses equipamentos.

O Sistema de SPIE é regido pelas portarias 78 e 79 do INMETRO, a qual estabelece o processo e os requisitos que devam ser cumpridos para ser certificado, e detalha o estabelecido no anexo II da NR-13.²

O Sistema de SPIE tem como função o gerenciamento das atividades de inspeção, incluindo, controle e registro das condições físicas dos equipamentos estáticos de uma unidade industrial, visando assegurar a Condição Segura de Operação.

Isto leva a inspeção de equipamentos a um novo patamar e também a conflitos com a lei, pois esta não acompanha o desenvolvimento que as técnicas de inspeção tiveram nos últimos anos. A união do conhecimento e tecnologia, aplicados em favor dos trabalhos de inspeção de equipamentos, está promovendo um futuro bastante promissor. Este futuro está traçado e sendo conduzido pelas demandas da própria indústria, que constantemente vem buscando otimização na seguinte direção:^{1,3}

- Redução de interferências operacionais;
- Aumento de campanhas;
- Redução de custos;
- Redução dos prazos de parada;
- Aumento da confiabilidade dos equipamentos.

Além do exposto acima são demandados maiores cuidados com meio ambiente e saúde, que afetam e redirecionam as práticas atuais de inspeção.

2.2. Ensaios Não Destrutivos

Os Ensaios Não Destrutivos (END's) são ensaios realizados em materiais, acabados e/ou semi-acabados, para verificar a existência ou não de descontinuidades, por meio de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, e sem interferir em seu uso posterior.^{3,4}

Constituem uma das principais ferramentas de controle da qualidade de materiais e produtos, contribuindo para reduzir os custos e aumentar a confiabilidade dos equipamentos.

São empregados na fabricação, montagem, inspeção e manutenção, sendo amplamente aplicados em soldas, fundidos, forjados, laminados, plásticos, concreto, entre outros, nos setores petróleo, petroquímico, nuclear, aeroespacial, siderúrgico, ferroviário, naval, eletromecânico e automotivo.

Os ensaios não destrutivos incluem os métodos capazes de informar sobre descontinuidades, das características físico-químicas, ou, ainda, da monitoração da degradação em serviço de componentes, equipamentos e estruturas.

Para se obterem resultados satisfatórios e válidos, os seguintes itens devem ser considerados como elementos fundamentais para os resultados destes ensaios:

- Pessoal treinado e qualificado;
- Procedimento qualificado para conduzir o ensaio;
- Equipamentos devidamente calibrados;
- Normas e critérios de aceitação perfeitamente definidos.

A seguir serão apresentadas algumas técnicas de ensaios não destrutivos com especial destaque para técnicas não intrusivas.

2.2.1. Ensaio Visual

A inspeção por meio do Ensaio Visual é o primeiro ensaio não destrutivo aplicado em qualquer tipo de peça ou componente, estando associado a outros ensaios. A técnica

proporciona um meio de detectar e analisar uma variedade de discontinuidades superficiais, como a corrosão, contaminação, acabamento superficial e trincas superficiais.

Dada a ampla variedade de defeitos superficiais que podem ser detectáveis por exame visual, à utilização da inspeção visual é a mais abrangente entre as diferentes técnicas não destrutivas, dependendo do produto e do tipo de discontinuidade que se queira identificar.

Não existe processo industrial em que a inspeção visual não esteja presente. Simplicidade de realização e baixo custo operacional são as características deste método, mas que mesmo assim requer uma técnica apurada, devendo seguir procedimentos básicos que devem ser conhecidos e corretamente aplicados.

A inspeção visual é classificada em: exames diretos, remotos e translúcidos.

O exame visual direto é realizado de forma usual, quando o acesso visual, ao material em exame é suficiente para que se possa ficar a uma distância não superior a 610 mm, de acordo com alguns códigos e normas, com relação a um ponto da superfície a ser examinada, dispondo de um ângulo não inferior a 30° , em relação à mesma superfície, conforme Figura 2-1. Podem ser usados espelhos para melhorar o ângulo visual, como também lentes de aumento.⁴

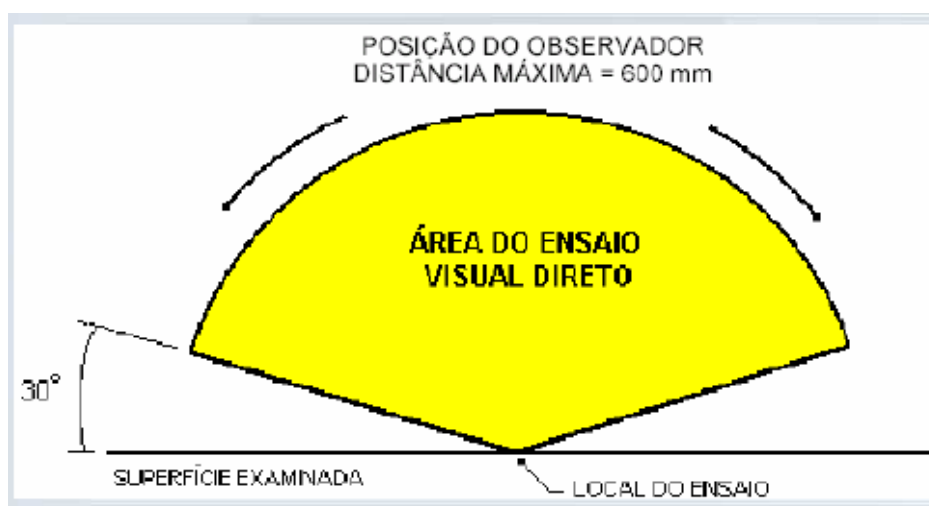


Figura 2-1 – Disposição do observador para a peça examinada.⁵

O exame visual remoto é aplicado quando os componentes a serem examinados se apresentam inacessíveis, ou seja, além dos limites previstos no exame visual direto. O exame utiliza-se de elementos auxiliares, tais como espelhos, boroscópios, câmeras, fibras ópticas, ou

outros instrumentos adequados conforme Figura 2-2 ⁴. Esses sistemas devem ter uma capacidade de resolução que seja equivalente, no mínimo, àquela obtida pelo exame direto.



Figura 2-2 – Boroscópio e Fibroscópio. ⁵

O exame visual translúcido utiliza o auxílio da iluminação artificial que pode ser incluído um iluminador que produza luz direcional.

2.2.2. Ensaio por Líquido Penetrante

O ensaio por Líquido Penetrante é um método não destrutivo que tem como característica revelar discontinuidades que são abertas à superfície de sólidos e essencialmente materiais não porosos. ⁵

A utilização deste método iniciou-se antes da primeira guerra mundial, principalmente pela indústria ferroviária na inspeção de eixos, porém tomou impulso quando em 1942, nos EUA, foi desenvolvido o método de penetrantes fluorescentes. Nesta época, o ensaio foi adotado pelas indústrias aeronáuticas, que trabalhando com ligas não ferrosas, necessitavam um método de detecção de defeitos superficiais diferentes do ensaio por partículas magnéticas (não aplicável a materiais não magnéticos). A partir da segunda guerra mundial, o método teve maior desenvolvimento devido ao aprimoramento de novos produtos utilizados no ensaio, até seu estágio atual.

Indicações de um amplo espectro de descontinuidades e tamanhos podem ser encontradas independentemente da configuração da peça, independentemente da orientação da falha, sendo por isto uma das principais ferramentas usadas no controle de qualidade. É amplamente utilizado para inspeção de forjados de metais ferrosos não ferrosos, peças de metalurgia do pó, cerâmica, plásticos, vidros e objetos. Na prática, o processo de inspeção por líquidos penetrantes é relativamente simples de utilizar e de controlar. O equipamento utilizado na inspeção pode variar de um simples arranjo de tanques contendo penetrantes e emulsificantes, a sistemas sofisticados controlados por computador e processamento automático. Estabelecer procedimentos e normas para a inspeção de peças ou produtos específicos é fundamental para aperfeiçoar os resultados finais.⁶

O ensaio baseia-se na capacidade que o líquido tem em penetrar em pequenas aberturas na superfície de uma peça, fluindo sobre a superfície de uma forma contínua e razoavelmente uniforme, e em seguida, migrar pelas cavidades que estão abertas para a superfície. Após o processo de remoção do excesso da superfície, a saída do líquido de dentro é estimulada pelo uso de um revelador. O resultado é o aparecimento de manchas coloridas na superfície. A Figura 2-3 mostra a seqüência do ensaio.

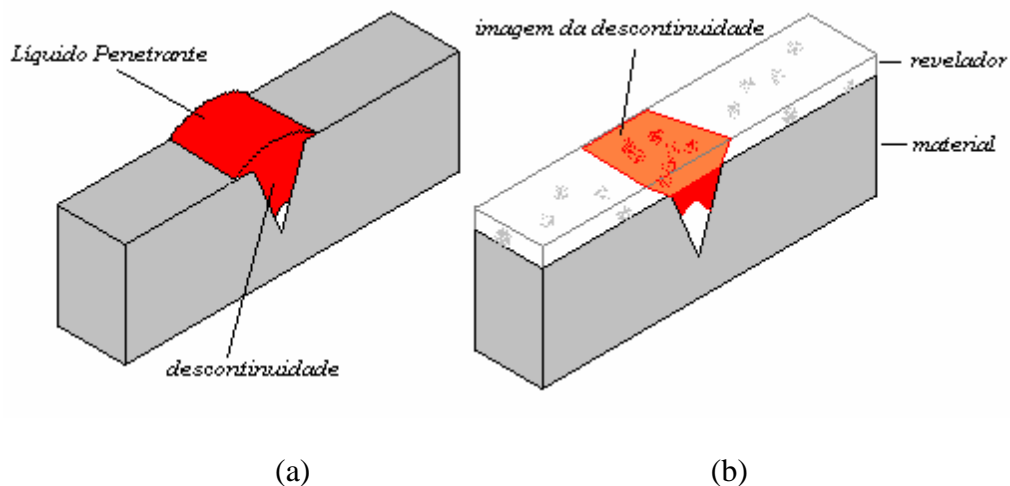


Figura 2-3 – (a) aplicação do líquido de penetrante e b) aplicação do revelador e formação da indicação.⁷

Os penetrantes são formulados a fim de produzir o nível de sensibilidade requerida, e para isto deve possuir um número importante de características, que são:

- Ser de fácil aplicação;
- Penetrar nas descontinuidades existentes na superfície do exame;
- Permanecer dentro das descontinuidades existentes durante remoção do excesso da superfície;
- Ser de fácil remoção;
- Manter suas características de viscosidade e fluidez durante o ensaio;
- Ter cor e brilho intenso, para produzir indicações de fácil visualização;
- Não deve reagir com o material em exame;
- Não deve ser prejudicial à saúde;
- Ser estável durante uso ou em estoque;
- Não ser inflamável. ^{4, 6, 7}

A principal vantagem do método é a sua simplicidade e a fácil interpretação dos resultados, requerendo pouco tempo de treinamento do inspetor.

Não há limitação para o tamanho e forma das peças a ensaiar, nem tipo de material; por outro lado, as peças devem ser susceptíveis à limpeza e sua superfície não pode ser muito rugosa e nem porosa. O método pode revelar descontinuidades (trincas) extremamente finas (da ordem de 1 μm de abertura).

A limitação para o método é o fato de só detectar descontinuidades abertas para a superfície, já que o penetrante tem que penetrar na descontinuidade para ser posteriormente revelado. Por esta razão, a descontinuidade não deve estar preenchida com material estranho.

A superfície do material não pode ser porosa ou absorvente já que não haveria possibilidade de remover totalmente o excesso de penetrante, causando mascaramento de resultados.

A aplicação do penetrante deve ser feita numa faixa de temperatura recomendada pelo fabricante dos produtos. Superfícies muito frias (abaixo de 10 °C) ou muito quentes (acima de 52 °C) não são recomendáveis ao ensaio. ⁵

Algumas aplicações das peças em inspeção fazem com que a limpeza seja efetuada da maneira mais completa possível após o ensaio, podendo tornar-se um impeditivo ao exame, especialmente quando esta limpeza for difícil de fazer.

2.2.3. Ensaio de Partículas Magnéticas

É um método de localização de discontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos, com larga aplicação industrial. A grande utilização se deve a sua facilidade de aplicação e grande sensibilidade na detecção de discontinuidades, dispensando uma melhor preparação da superfície a inspecionar.⁴

O princípio do ensaio se baseia no fato de que, quando o material ou peça sob teste é magnetizada, um campo magnético homogêneo cria linhas de fluxos magnéticos que são distorcidas quando encontram uma discontinuidade geralmente em uma direção transversal à direção do campo magnético, conforme mostrado na Figura 2-4.⁸

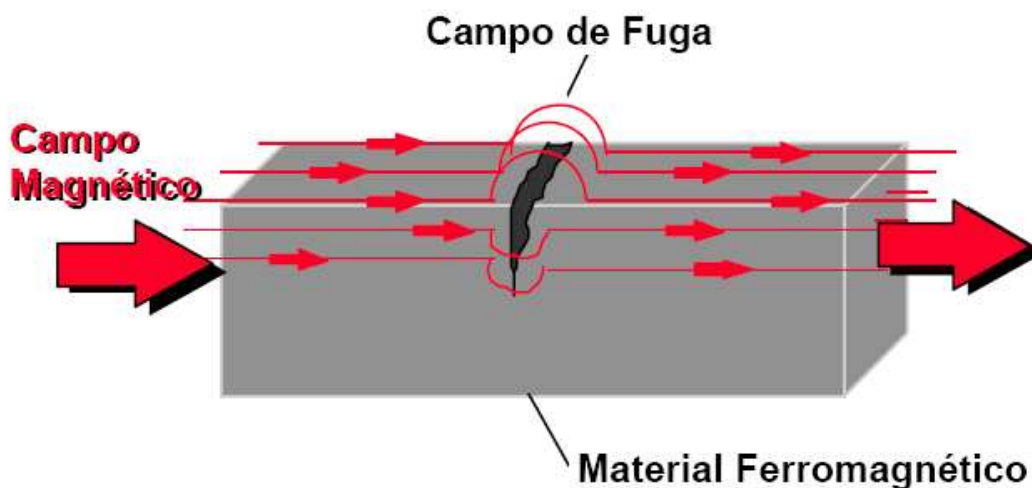


Figura 2-4 – Princípio do ensaio de partícula magnética.⁸

A presença da distorção acima citada, denominada campo de fuga e, mostra a presença da descontinuidade, é detectada através da utilização de partículas ferromagnéticas finamente divididas aplicadas sobre a superfície, com algumas das partículas sendo aglomeradas e mantidas pelo campo de fuga. Esta aglomeração das partículas magnéticas indicará o contorno

do campo de fuga, indicando a localização, tamanho, forma e medida da descontinuidade. Partículas magnéticas são aplicadas sobre a superfície na forma de pó, pastas ou suspensão em líquidos.⁸

O ângulo mínimo entre o campo magnético formado e a descontinuidade é de 30°. A ótima sensibilidade é atingida quando o campo magnético é perpendicular à orientação da imperfeição. Portanto, as descontinuidades devem estar entre 30 ° e 90 ° em relação ao campo magnético, a fim de serem detectadas. O campo magnético, portanto, costuma ser aplicado em duas direções perpendiculares uns aos outros.⁸

As principais vantagens da inspeção com partículas magnéticas são:

- Capacidade de detectar descontinuidades superficiais e subsuperficiais;
- Sua realização é relativamente simples e rápida;
- A preparação das peças para o ensaio é simples, não havendo necessidade das possíveis descontinuidades estarem necessariamente abertas à superfície, como no ensaio com líquidos penetrantes;
- O tamanho e a forma da peça inspecionada têm pouca ou nenhuma influência no resultado.^{8, 9, 10}

As principais limitações são:

- É aplicável apenas aos materiais ferromagnéticos, ou seja, principalmente aço estrutural ao carbono, de baixa e média liga, ferros fundidos e ligas a base de cobalto;
- A forma e a orientação das descontinuidades em relação ao campo magnético interferem fortemente no resultado do ensaio, sendo necessária, em muitos casos, a realização de mais de um ensaio na mesma peça;
- Muitas vezes é necessária a desmagnetização da peça após a inspeção.⁸

2.2.4. Ensaio de Dispersão Magnética (*Magnetic Flux Leakage*)

Neste ensaio, o componente é localmente magnetizado e, dependendo do nível de densidade dos fluxos de indução e magnético, devido à fuga que ocorre ao longo desta superfície, as descontinuidades serão detectadas pela tensão induzida em um detector de efeito Hall ou num elemento que é atravessado sobre a superfície da amostra, conforme Figura 2-5. O método não se limita a descontinuidades superficiais ou próximas a superfície, embora tornasse cada vez mais sensível a descontinuidades longe da superfície com o aumento dos níveis de magnetização. Além disso, a saída do detector pode ser amplificada, filtrada, digitalizada, etc, e armazenadas para produzir um sistema de inspeção automatizado. Sondas diferenciais ou multi-elementos podem ser utilizadas, e a velocidade de inspeção pode ser muito alta.⁵

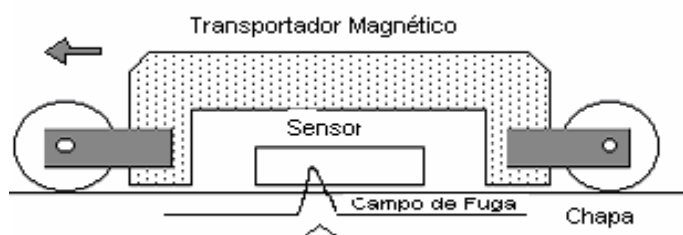


Figura 2-5 - Princípio da Dispersão Magnética.⁵

O método tem uma utilização crescente na indústria petroquímica, para a prestação de inspeções em tubos/tubulações de aço carbono. Estes sistemas utilizam ímãs permanentes ou eletro-ímã, com arame escovas para direcionar fluxo magnético do eletro-ímã na parede do tubo, conjugando uma saturação magnética com bobinas de indução ou Efeito Hall. Uma matriz de sensores é usada para detectar as fugas de fluxo atípico causado pela presença de corrosão ou descontinuidades (tanto próximo quanto longe da superfície).⁵

Para evitar sinais espúrios, a magnetização do circuito é projetada para a máxima densidade do fluxo na parede do tubo na tentativa de saturar magneticamente o material. Sensores de campo de fugas são montados entre os pólos do ímã num círculo em torno do eixo do dispositivo, a apresentar, tão próxima quanto possível, uma cobertura total da parede do tubo. Na maior parte destes instrumentos, os sensores indutivos são do tipo de bobina,

orientada para medir a componente axial do gradiente do campo de fuga. Os dados são gravados e após a inspeção, os sinais gravados são comparados com os padrões de calibração, em uma tentativa de interpretar as indicações em termos de tamanho e tipo de falha.

Muitos destes sistemas se baseiam no uso de um limiar ajustável ou amplitude padrão para proporcionar a detecção de corrosão em tempo real, enquanto alguns dos mais avançados sistemas, são capazes de fornecer mapas de corrosão das áreas inspecionadas semelhante à representação C-scan do ultra-som.

A espessura máxima de parede que pode ser inspecionado é de cerca de 10 a 15 milímetros, e há algumas informações fornecidas sobre a extensão da parede perda, mas é menos do que os métodos quantitativos, como ultra-som para mapeamento de corrosão.⁵

2.2.5. Ensaio de Correntes Parasitas (Eddy Current)

As Correntes Parasitas igualmente conhecidas como corrente de Foucault ou Eddy Current é uma técnica baseada na indução da corrente elétrica no material a inspecionar e da observação da interação entre correntes e o material. As correntes parasitas são geradas por meio de bobinas eletromagnéticas, localizadas na sonda ou bobina de inspeção, que tem impedância continuamente monitorada, devido à indução eletromagnética não necessitando de contato entre a sonda e a peça, demandando apenas que o material seja condutor elétrico.^{5, 11}

O ensaio de correntes parasitas é usado para identificar ou diferenciar entre uma ampla variedade de características físicas, estruturais, e metalúrgicas em materiais ferromagnéticos e não ferromagnético.

O ensaio por corrente parasita se propõe a:

- Medir ou identificar propriedades como condutividade elétrica, permeabilidade magnética, granulometria, condição de tratamento térmico, dureza, e dimensões físicas;
- Detectar trincas, vazios e inclusões;
- Classificar metais e detectar diferenças em sua composição, microestrutura, e outras propriedades;

- Medir a espessura de um revestimento condutor em um metal não condutor, ou a espessura de um revestimento metálico não magnético sobre um metal magnético.

O ensaio de Correntes Parasitas é extremamente versátil, o que é simultaneamente uma vantagem e uma desvantagem. A vantagem é que o método pode ser aplicado a muitos problemas desde que as exigências físicas do material sejam compatíveis com o método de inspeção. Em muitas aplicações, no entanto, a sensibilidade do método para as muitas propriedades e características inerentes dentro de um material pode ser uma desvantagem, devido que algumas podem inferir erros na interpretação do exame.¹¹

As vantagens principais se resumem em:

- Aplica-se tanto em metais ferromagnéticos como não ferromagnéticos;
- Em muitas aplicações não existe contato físico entre a sonda (ou bobina) e a superfície da peça ensaiada;
- Não há necessidade de materiais de consumo;
- Não exige uma preparação superficial rigorosa das peças a serem ensaiadas;
- O método possibilita elevado grau de automatização e em alguns casos elevadas velocidades de inspeção;
- Em algumas aplicações o ensaio pode-se adaptar a uma condição passa/ não passa.^{5, 11}

As desvantagens principais se resumem em:

- A profundidade de penetração do ensaio é limitada e depende da frequência de teste e das características elétricas e magnéticas do material ensaiado;
- Mais de uma variável afeta simultaneamente o ensaio;
- Em algumas aplicações, para detectar descontinuidades em materiais ferromagnéticos, é necessário saturar magneticamente o material e, a seguir, desmagnetizá-lo;
- Dependendo da aplicação, a sensibilidade para detectar descontinuidades superficiais pode ser inferior à que pode ser obtida com outros métodos superficiais, tais como Partículas Magnéticas e Líquidos Penetrantes.^{5, 11}

Neste ensaio as correntes parasitas são criadas pelo próprio campo eletromagnético, o que pode ser sentido tanto através dos efeitos do campo sobre a bobina primária ou como por meio de um sensor independente. Em materiais não ferromagnéticos, o campo eletromagnético secundário é derivado exclusivamente das correntes parasitas. No entanto, com materiais ferromagnéticos, efeitos magnéticos adicionais que ocorrem são geralmente de magnitude suficiente para ofuscar o campo de efeitos causados pela corrente parasita induzida. Embora indesejáveis estes efeitos magnéticos podem ser normalmente eliminados através da saturação em um campo magnético estático (corrente contínua). Quando o efeito da permeabilidade não é eliminado, o método de inspeção é mais corretamente classificado como eletromagnético ou magneto indutivo.^{4,5,11}

As bobinas utilizadas no ensaio de corrente parasita têm instalação especial para promover o acompanhamento do campo eletromagnético na vizinhança da peça que está a ser inspecionada. A peça a ser inspecionada é colocada dentro ou adjacente a uma bobina elétrica na qual uma corrente alternada está fluindo, como mostrado na Figura 2-6. Estas correntes de fluxo, as suas amplitudes e fase dependem: da corrente primária estabelecida pela excitação das correntes, das propriedades elétricas da peça e dos campos magnéticos criados pelas correntes fluindo na peça.⁵

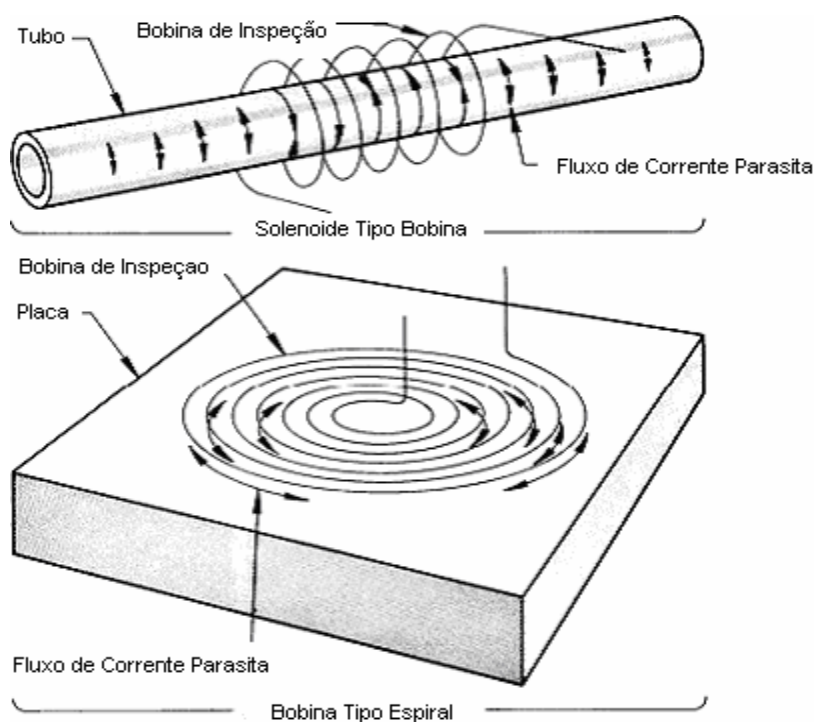


Figura 2-6 – Tipos de inspeção com corrente parasita.⁵

2.2.6. Ensaio de Termografia

O ensaio de termografia compreende todos os métodos de sensoriamento térmico em que são utilizados dispositivos para aferir as variações de temperatura de componentes, estruturas, sistemas ou processos físicos. Métodos térmicos podem ser úteis na detecção de falhas ou vazios subsuperficiais, desde que a profundidade da falha não seja grande em relação com o seu diâmetro, pois se torna menos eficaz na detecção de falhas subsuperficiais com o aumento da espessura. A inspeção termográfica é aplicável a formas complexas ou de conjuntos de materiais similares ou dissimilares. Além disso, devido à disponibilidade dos sistemas de sensores infravermelhos, a inspeção térmica pode também ser rápida, pois não tem contato com as superfícies de varredura dos componentes.⁵

O princípio básico da inspeção térmica envolve a medição ou mapeamento das temperaturas superficiais quando de fluxos de calor, para ou através de uma peça, conforme Figura 2-7. A existência de temperaturas diferenciais sobre uma superfície, ou mudanças na temperatura superficial com o tempo, é relacionada com os padrões de fluxo de calor e pode ser utilizada para detectar falhas ou para determinar a transferência de calor característica do objeto ensaiado.

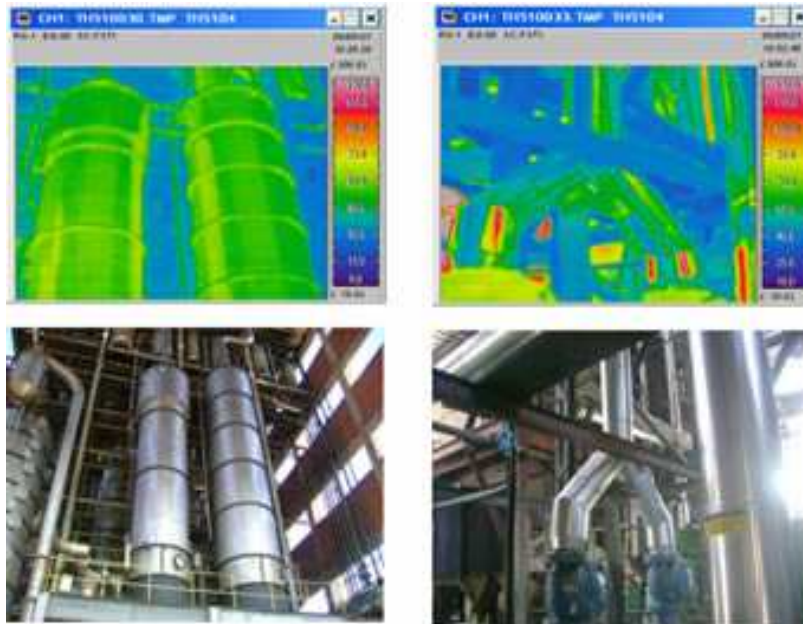


Figura 2-7 – Aplicação da Termografia.¹²

O pulso de calor difundido no material, a uma taxa na qual a frente de calor é dissipada subsequentemente depende da estrutura e do tipo de falha abaixo da superfície. A temperatura da superfície da estrutura é monitorada usando uma câmera infravermelha. Anomalias na distribuição da temperatura revelam a presença de falhas ou alterações locais na condutividade térmica devido. O método mais utilizado é usando um gravador de vídeo ou computador para armazenar a rápida mudança do padrão de temperatura da estrutura após a superfície ser aquecida. A quantificação do tamanho da descontinuidade é mais geralmente realizada através da aplicação de um segundo ensaio não destrutivo.⁵

2.2.7. Ensaio por Emissão Acústica

O princípio desta técnica de inspeção consiste na detecção de ondas transientes geradas pelo processo de degradação do material, quando uma descontinuidade é submetida à solitação térmica ou mecânica. O sinal emitido trafega pela estrutura e é capturado por transdutores posicionados na superfície do equipamento a ser ensaiado, com isto é capaz de detectar a propagação de descontinuidades internas ou que aflorem à superfície. A Figura 2-8 ilustra as características e o sistema de montagem. A localização das descontinuidades pode ser estimada mediante os tempos de chegada dos sinais aos sensores, entretanto a localização precisa, assim como o tamanho e a orientação da descontinuidade, pode ser obtida com outras técnicas não-destrutivas. Atualmente, o principal problema na utilização desta técnica é o forte ruído ambiental nas plantas de processo, embora a separação de ruído e sinal seja possível pela utilização de modernos equipamentos que utilizam técnicas de filtragem eletrônica.¹³

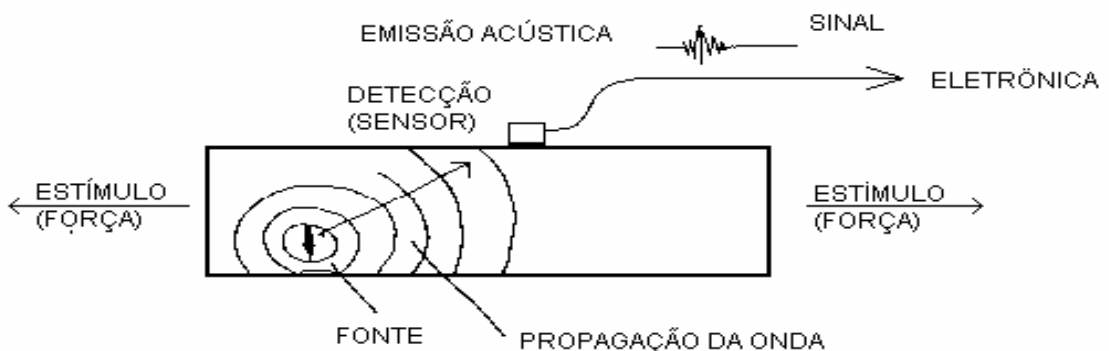


Figura 2-8 – Características da emissão acústica.¹³

A inspeção por emissão acústica (EA) é um método de inspeção global, e pode ser aplicada a uma grande variedade de estruturas, incluindo craqueadores catalíticos, esfera de armazenamento, sistemas de tubulações, tanques de armazenamento fabricados em plástico reforçado com fibra de vidro e vasos de pressão. Também pode ser aplicada a ampla faixa de materiais e espessuras, além de estruturas em operação, à temperatura ambiente ou elevada, sendo para o acesso a vários pontos da estrutura para instalar os transdutores. A preparação da superfície só é exigida na área de instalação do transdutor, incluindo a remoção do isolamento. Uma forma de ativar o mecanismo da emissão acústica é aplicar tensão à estrutura por sobre pressão ou por gradiente térmico. Em situações onde existam tensões de fadiga e ou mecanismos de danos presentes (ex: corrosão sob tensão) pode ser previsto o monitoramento contínuo da estrutura.

A emissão acústica detecta descontinuidades que liberem energia de deformação quando a estrutura é tensionada. Eventos tipicamente detectados durante a inspeção por emissão acústica incluem crescimento de trincas de fadiga, danos induzidos pela ação do hidrogênio, corrosão sob tensão, empolamentos, corrosão avançada e quebra de fibras em materiais plásticos reforçados com fibra de vidro. ¹⁴

A grande vantagem do método de inspeção por emissão acústica consiste no fato de ser uma inspeção relativamente rápida, de uma grande área, concentrada na presença de descontinuidades ativas estruturalmente, podendo indicar áreas isoladas que necessitem de inspeção complementar. A grande vantagem transforma-se, também, em grande desvantagem enquanto o paradigma da inspeção de equipamentos não for mudado, pois a inspeção por emissão acústica somente irá detectar descontinuidades ativas. Sendo assim, muitas das descontinuidades geradas no processo de fabricação podem não ser detectadas. Neste caso, as atenções são concentradas na análise de defeitos ativos, isto é, que se alteram com a solicitação mecânica. ¹⁴

Tabela 2-1- Comparação as principais características entre EA e os diversos END's. ¹⁴

Emissão Acústica	Maioria dos outros END's
Crescimento/movimento da descontinuidade	Presença da descontinuidade
Relacionado à tensão	Relacionado à forma
Mais sensível ao material	Menos sensível ao material
Menos sensível à geometria	Mais sensível à geometria
Cada carregamento é único	Inspeções são prontamente repetidas
Menos intrusivo	Mais intrusivo
Monitoramento global	Varredura local
Problemas principais: ruído e avaliação	Problemas principais: acesso, geometria e avaliação

2.2.8. Ensaio Radiográfico

A radiografia é uma técnica usada para inspeção não destrutiva baseada na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça que está sendo inspecionada, devido às diferenças na densidade e variações na espessura do material, ou mesmo de diferenças nas características de absorção causadas por variações na composição do material. Essa absorção diferenciada da radiação poderá ser detectada através de um filme, ou através de um tubo de imagem ou mesmo medida por detectores eletrônicos de radiação. Essa variação na quantidade de radiação absorvida, detectada através de um meio, irá nos indicar, entre outras coisas, a existência de uma falha interna ou defeito no material, conforme Figura 2-9. ¹⁵

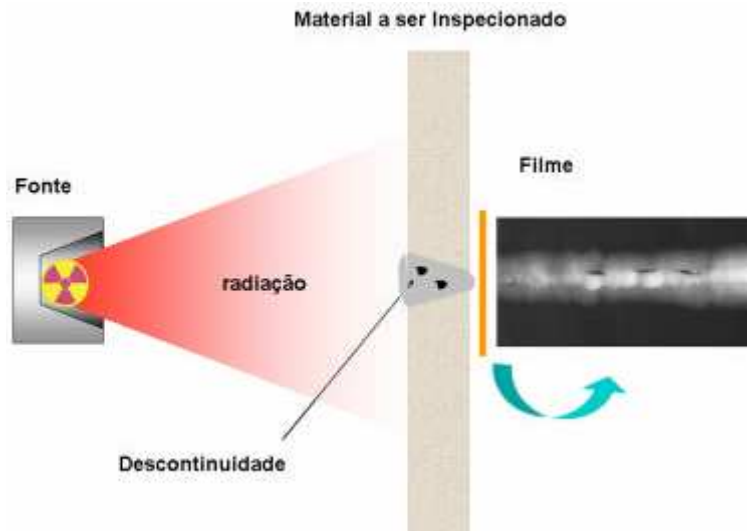


Figura 2-9 – Técnica Geral de Ensaio Radiográfico na indústria. ¹⁵

Dois tipos de radiação eletromagnética são utilizados na inspeção radiográfica os raios-X e raios- γ , que diferem de outros tipos de radiação eletromagnética (como a luz visível, microondas, por ondas de rádio), apenas no comprimento de onda, embora nem sempre haja uma nítida transição de um tipo de radiação eletromagnética para outra. Os raios X e raios- γ têm a capacidade de penetrar materiais opacos para revelar falhas internas, devido ao pequeno comprimento de onda (alta energia). ^{4,5}

Os raios-X e raios- γ diferem apenas na forma em que são produzidos. Os raios-X são consequência da interação entre um rápido movimento de fluxo de elétrons e átomos de um material sólido (alvo), enquanto raios- γ são emitidos durante o decaimento radioativo dos núcleos atômicos instáveis. ⁴

A radiografia industrial é então usada para detectar variação de uma região de um determinado material que apresenta uma diferença em espessura ou densidade comparada com uma região vizinha, em outras palavras, é capaz de detectar com boa sensibilidade defeitos volumétricos. Isto quer dizer que a capacidade do processo de detectar defeitos com pequenas espessuras em planos perpendiculares ao feixe, como trinca dependerá da técnica de ensaio realizado. Defeitos volumétricos como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções serão mais facilmente detectados desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça. ^{15,16}

As inspeções radiográficas são amplamente utilizadas em peças fundidas e soldadas, particularmente quando há uma necessidade crítica de assegurar a inexistência de falhas

internas. Por exemplo, a radiografia é muitas vezes indicada para o controle da espessura das paredes vazadas e soldadas de equipamentos a vapor como caldeiras e turbinas e outros sistemas de alta pressão, em peças forjadas e conjuntos mecânicos.

Em temperaturas superficiais superiores a 40 °C aumentam as dificuldades, pois o filme radiográfico não pode ser utilizado em contato com a superfície do componente, o filme, portanto, deve ser isolado de temperatura mais elevada.^{5, 16}

2.2.9. Ultra-Som

A inspeção ultra-sônica é um método não destrutivo em que um feixe de ondas sonoras de alta frequência é introduzido em materiais para a detecção de descontinuidades internas no material. As ondas sonoras viajam através do material com alguma perda de energia (atenuação) e são refletidas em interfaces. O feixe refletido é exibido e depois analisado para definir a presença e localização de descontinuidades.¹⁷

O grau de reflexão depende, em grande medida, do estado físico dos materiais que fazem a interface e, em menor grau da especificidade das propriedades físicas do material.

Trincas, laminações, rechupes, poros, falta de fusão e outras descontinuidades que atuam na interface metal-gás podem ser facilmente detectadas. Inclusões e outras descontinuidades podem também ser detectadas pela reflexão parcial ou por espalhamento do feixe sônico, ou até mesmo pela produção de outros efeitos detectáveis

A maioria dos aparelhos para o ensaio por ultra-som detecta descontinuidades através da monitoração das reflexões sônicas transmitidas ao material através de um cabeçote acoplado à peça. O aparelho dispõe de um visor que possibilita visualizar a intensidade da energia refletida e a localização das interfaces, onde temos um primeiro eco, que chamamos de eco de transmissão, este existe mesmo sem um transdutor estar conectado ao cabo coaxial. Quando conectamos o transdutor e o posicionamos na superfície em ensaio, o eco inicial ou também chamado de eco de entrada ficará no mesmo lugar do eco de transmissão, com uma pequena diferença quanto à largura deste eco. A escala dependerá da espessura e de quantos ecos de fundo deseja-se obter, como mostrado na Figura 2-10.¹⁷

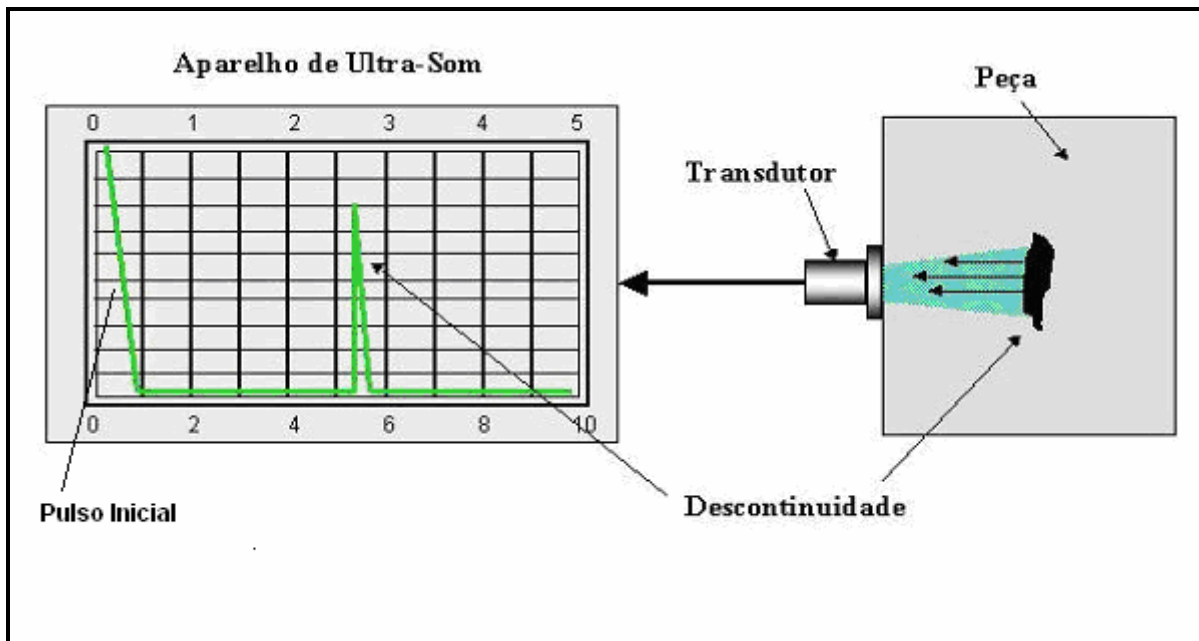


Figura 2-10 – Princípio Básico da Inspeção de Materiais por ultra-som. ¹⁷

Os cabeçotes possuem elementos piezelétricos que vibram e geram ondas mecânicas de frequência normalmente na gama 1 MHz a 25 MHz. A onda sonora propaga-se para a peça e as descontinuidades refletem as ondas de volta para o mesmo ou para outro cabeçote.

O ensaio por ultra-som pode ser utilizado para o monitoramento da corrosão através da medição de espessura da parede. Porém um deficiente acabamento superficial, pintura espessa ou inspeção em alta ou baixa temperatura pode causar problemas para o ultra-som.

2.2.9.1. Ensaio de Medição de Espessura por Ultra-Som

É a técnica de inspeção por meio do ultra-som, onde se deseja mensurar o valor da medida da espessura de parede de uma tubulação ou equipamento, com o objetivo de prevenir uma falha do sistema, além da estimativa da taxa de corrosão, e conseqüentemente da vida remanescente do componente.

A medição de espessuras é a utilização mais freqüente do ensaio por ultra-som. A importância deste ensaio deve-se ao fato de não necessitar do acesso à parede oposta para sua execução, o que permite o acompanhamento do desgaste de um equipamento sem necessidade de parada do mesmo. ¹⁷

2.2.9.2. Mapeamento de Espessura por Ultra-Som

No sistema de mapeamento de espessura por ultra-som, um transdutor está acoplado ao aparelho que, por conseguinte está ligado a um computador, de modo que o dado da espessura para cada posição de medição predeterminada possa ser gravado. A superfície é varrida e as leituras das espessuras são armazenadas no disco. Após a digitalização ser concluída, os dados são plotados em um mapa de espessura. Cada nível pode ser de uma espessura e cor específica, sendo que a corrosão ou erosão da parede são mais facilmente reconhecidas do que por uma inspeção manual. ^{5, 18}

A alta reprodutibilidade permite um rigoroso acompanhamento e cálculo das taxas de corrosão mais preciso. Pode ser aplicado em serviço, a temperaturas de até cerca de 250 °C utilizando sondas especiais. Perda de espessura e corrosão por pites deverão ser detectados. ⁵

Recentemente avanços significativos têm sido alcançados na tecnologia utilizada para o mapeamento da corrosão, o que aumentou muito a velocidade de varredura e reduziu os níveis de ruído, permitindo a detecção mais confiável de pequenas discontinuidades. ⁵ Estes sistemas são baseados em sistemas de varredura automático de alta velocidade, que são bem adaptadas às grandes áreas de varredura, desde que as mesmas estejam desobstruídas, como secções de navio, etc, conforme Figura 2-11.

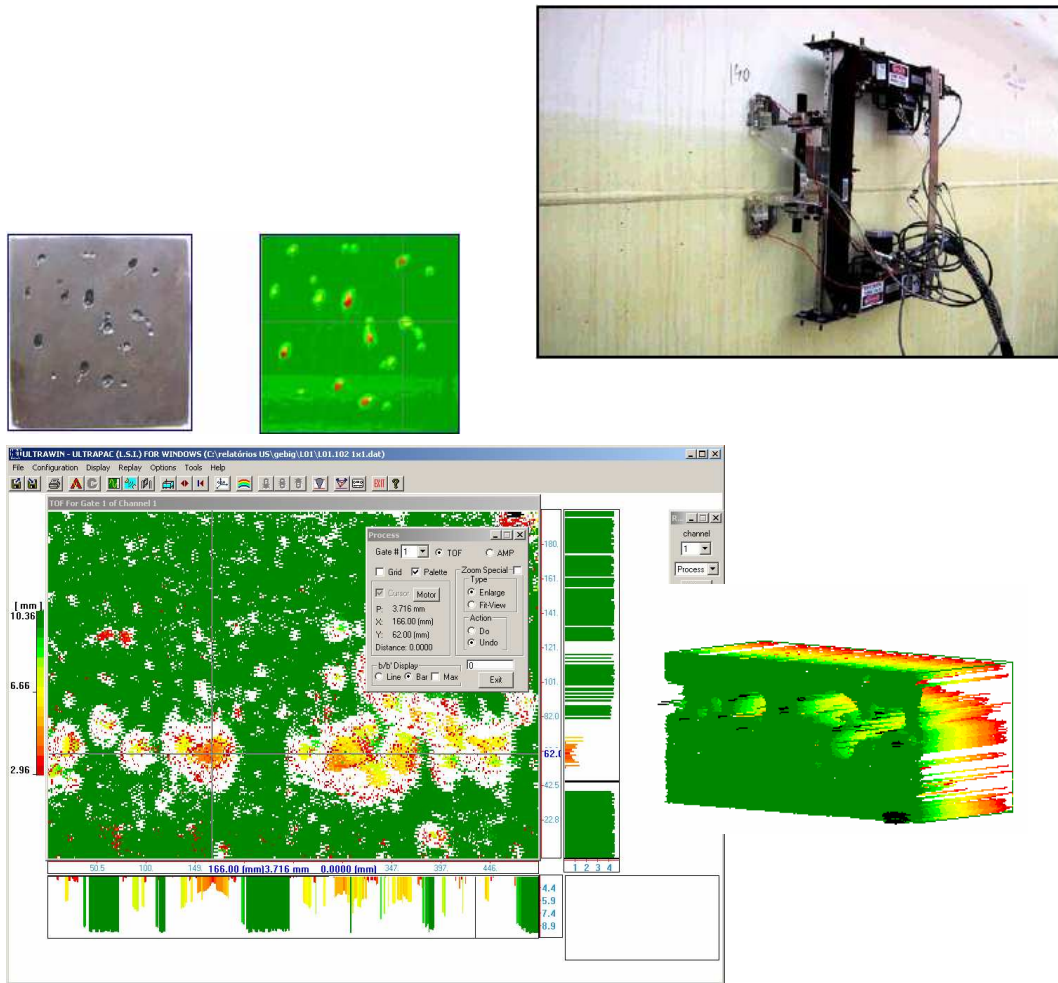


Figura 2-11 – Características do Ensaio de Mapeamento de Espessura por Ultra-som para Corrosão. ¹⁹,

2.2.9.3. Time of Flight Diffraction (TOFD)

TOFD do inglês (*Time of Flight Diffraction*) é um avançado método de inspeção ultrassônica que pode simultaneamente detectar e delimitar o tamanho das indicações. No TOFD o dimensionamento das discontinuidades é baseado na medição do sinal de chegada que é inerentemente mais preciso que os métodos baseados em amplitude, fornecendo impressões digitais reproduzíveis, o que o torna adequado para a condição de controle. Isto se deve a interação entre o feixe ultra-sônico e a extremidade da trinca compreender uma série de processos como reflexão, espalhamento, difração e conversão de modo. A difração na extremidade da trinca, que é o fenômeno utilizado neste método, pode ser definida, qualitativamente, como o fenômeno que ocorre quando dimensões significativas da

extremidade da trinca são menores que o comprimento da onda de som, nesse caso, a extremidade da trinca comporta-se como um emissor de uma frente de onda cilíndrica, como mostrado na Figura 2-12.^{5, 18}

O TOFD usa dois transdutores simétricos afastados da extremidade da trinca sendo um funcionando como transmissor e o outro como receptor, e assim facilitando a percepção que a profundidade da trinca é diretamente proporcional ao caminho percorrido pelo som, ou seja, o intervalo de tempo decorrido entre a saída do pulso sônico do cabeçote transmissor e sua chegada ao receptor.⁵

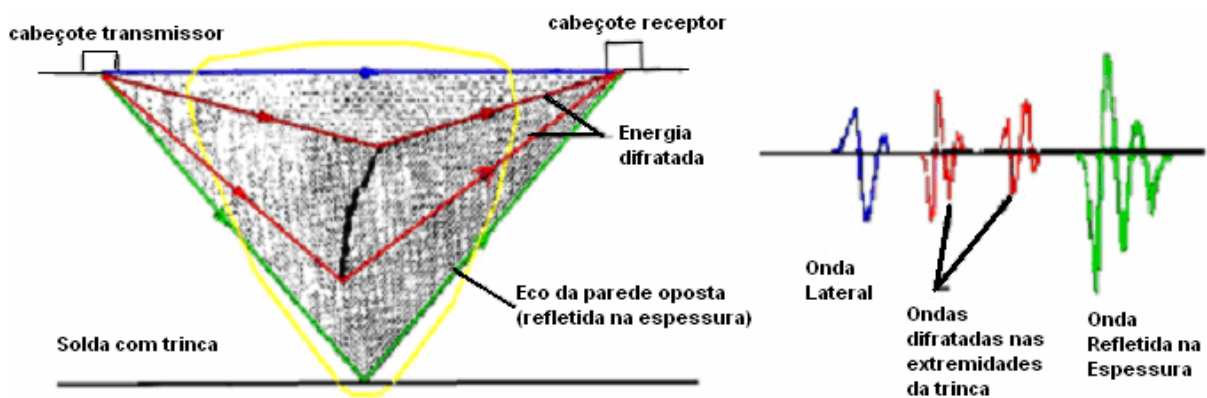


Figura 2-12 – Princípios da técnica TOFD na inspeção de solda, formação dos sinais. a – ondas laterais, difratadas (extremos trinca) e refletida, b – sinal elétrico na tela do aparelho de ultra-som.²⁰

Usando a onda transversal ou longitudinal como onda incidente, uma parte da energia será convertida na extremidade da trinca em onda difratada longitudinal, que alcançará o cabeçote receptor antes da onda transversal difratada, que no caso têm a informação de interesse. Desse modo poderá ocorrer alguma confusão de avaliação/interpretação se as duas ondas não forem completamente separadas no tempo.

Defeitos de fabricação e/ou em serviço podem ser monitorados, pois se exige apenas o acesso externo para o objeto a ser inspecionado.

O TOFD pode ser aplicado na estrutura até a temperatura de 200 °C por meio de transdutores especiais. Inspeção de solda de recipientes sob pressão de paredes espessas (até

300 milímetros de espessura) já foi realizada. Soldas de geometria complexa podem ser controladas com prévia simulação computacional para auxílio da inspeção. ¹⁸

O TOFD é frequentemente utilizado para inspeção de solda, incluindo o passe de raiz, erosão / corrosão, fissuras, falta de fusão, etc, e recentemente, tem sido usado como um método de digitalização rápida para a detecção e dimensionamento de pites, como uma alternativa ao mapeamento de corrosão convencional. ⁵

2.2.9.4. *Phased Array*

O ensaio ultra-sônico *Phased Array* (arranjo de fases) baseia-se no uso de um transdutor com elementos piezelétricos individuais que podem ser individualmente e independentemente acessados eletronicamente. Esses cabeçotes são conectados a unidades eletrônicas específicas para tal fim que permitem uma independência entre os sensores, e uma simultânea emissão e recepção de cada canal, sendo capazes de alterar tanto na emissão como na recepção os tempos de retardo (*time delays*) individuais dos elementos/canais, conforme mostrado Figura 2-13.

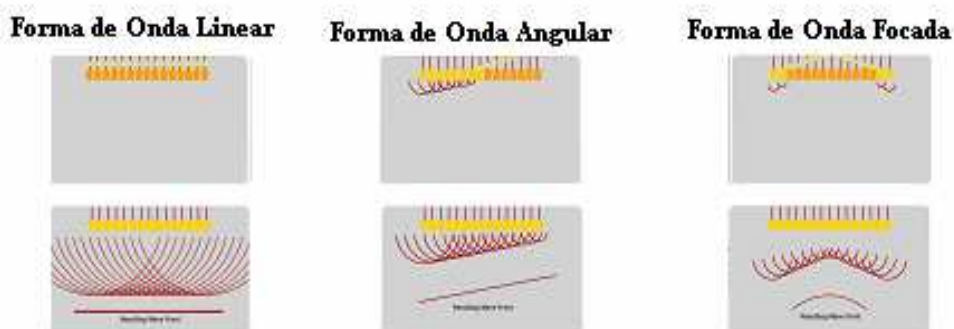


Figura 2-13 - Defasagens de tempo dos sinais enviados (pulso) e recebidos (eco) pelos elementos individuais de um determinado arranjo. ¹⁹

O grande número de elementos individuais arranjados na forma linear, anular, circular ou matricial, permite a varredura eletrônica desses elementos. Essa varredura eletrônica dos elementos individuais do cabeçote permite a focalização (várias posições/profundidades) e a

deflexão (diversos ângulos) do feixe gerado pelo cabeçote. A Figura 2-14 mostra a disposição dos cabeçotes no modo convencional e no *Phased Array*, onde o mesmo utiliza um cabeçote composto por um mosaico de transdutores, que através de um “software”, são ativados de maneiras diversas, de modo a produzir um feixe sônico com as características desejadas. Os resultados obtidos com esta técnica podem ser admiráveis, uma vez que é possível focalizar o feixe sônico ao longo do volume de solda sob inspeção em intervalos de 1 grau, conferindo à inspeção, além de maior precisão, grande confiabilidade.^{5, 18}

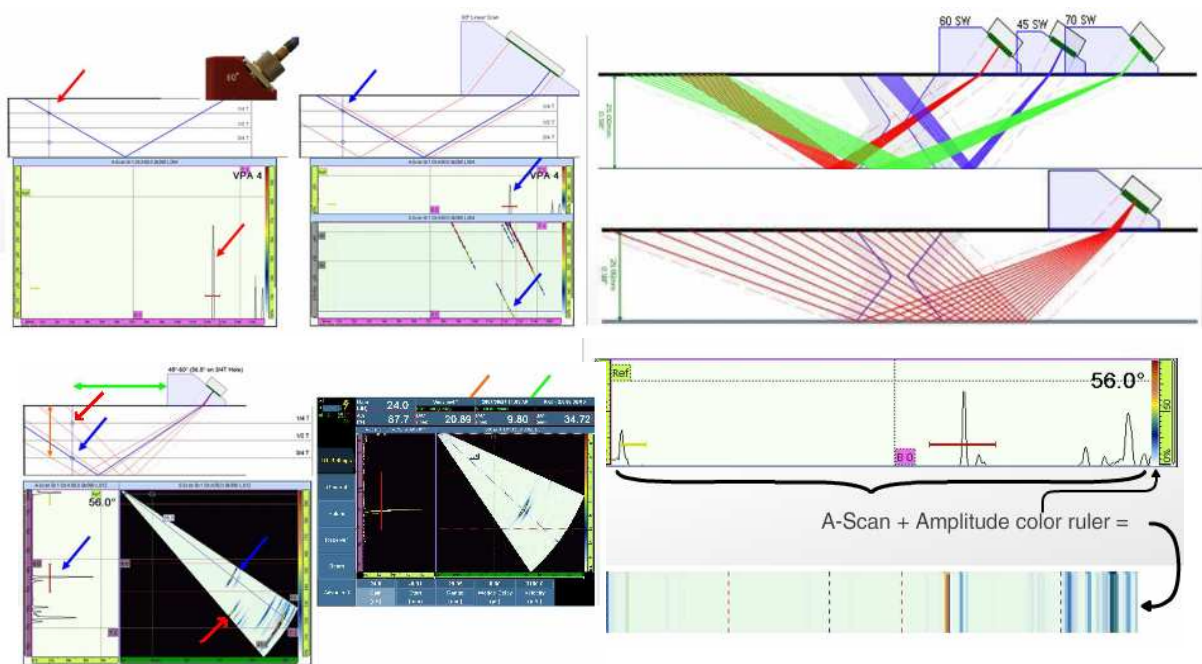


Figura 2-14 – Disposição dos cabeçotes e a varredura realizada.¹⁹

A varredura eletrônica consiste em movimentar espacialmente, por meio da ativação dos cristais presentes no cabeçote, o feixe sônico através da ativação de diferentes grupos de elementos (abertura) em diferentes momentos, geralmente empregado na inspeção em linha na fabricação de chapas, placas, barras ou tubos e pode ser também ser usada na inspeção de soldas.

O outro meio de inspeção é o da focalização eletrônica, que é baseada no emprego de retardos eletrônicos aplicados durante a emissão e a recepção ao longo de cada sinal do cabeçote. Esses retardos têm efeito similar a lentes de focalização acústica do feixe permitindo também a focalização em diferentes profundidades.⁵

A focalização eletrônica permite o uso de apenas um cabeçote ao invés de vários cabeçotes convencionais com um único elemento com diferentes distâncias focais.

A deflexão eletrônica emprega leis de retardo para obter a focalização eletrônica, as leis são calculadas para obter feixe emitido com um ângulo de incidência que pode ser modificado simplesmente modificando a lei de retardo. ⁵

2.2.9.5. *Creeping Head Inspection (CHIME)*

O método de inspeção CHIME consiste na transmissão de um sinal ultra-sônico entre duas sondas que são colocadas a certa distância (até um metro) varrendo a superfície. O cabeçote transmissor dispara um pulso de ultra-som que dá origem a ondas superficiais de *creeping* que se propagam ao longo da superfície, e devido ao ângulo crítico ondas de cisalhamento são geradas em todas as partes entre as superfícies, conforme Figura 2-15. Como resultado, todo o volume da espessura entre as sondas estará coberto. A cobertura é feita com pouca atenuação, que permite as sondas de transmissão e recepção ser bem separadas em relação aos métodos de inspeção tradicionais. ⁵

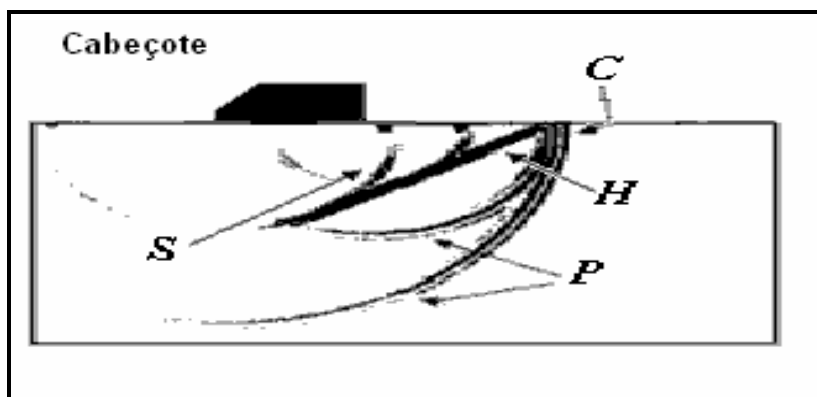


Figura 2-15 - Esquemático da geração das ondas de *Creeping* para ângulos críticos. Ondas de *Creeping* (C), Ondas de frente (H), Ondas de Cisalhamento (S) e Ondas de Compressão (P). ²¹

A varredura pode fornecer informações sobre a espessura da amostra (medindo o intervalo de tempo entre sucessivos picos) ou sobre qualquer falha que localmente provoque alterações da espessura. Falhas devido à corrosão ou fissuras reduzem a magnitude e podem interferir na chegada do sinal, prejudicando a localização entre o transmissor e o receptor. A

espessura de até 40 milímetros em uma frequência de padrão operacional de 2 MHz e distância entre as duas sondas de até um metro, foram estabelecidos.⁵

O método apresenta tolerância à superfície, em condições de serviço e a maioria dos revestimentos. É sensível à presença de corrosão nas superfícies internas e externas e fornece uma estimativa da extensão da área e da espessura nominal.

O CHIME é mais frequentemente aplicado aos pontos de componentes inacessíveis por métodos convencionais ultra-sônico, como a canalização e suportes de tubulação.

2.2.9.6. *Long Range Ultrasonics (LORUS)*

O princípio do método consiste numa alta sensibilidade do ângulo do feixe da sonda utilizada em multi-skip para transpor o componente que está sendo inspecionado, conforme mostrado na Figura 2-16. Quaisquer alterações da espessura do tubo na superfície interna ou externa podem resultar em reflexão de algumas ondas de ultra-som de volta para o transdutor. Faixas de mais de um metro pode ser alcançada. A amplitude da resposta fornece uma indicação da gravidade, embora não seja possível medir com exatidão a dimensão ou determinar se ela está na superfície interna ou externa. A superfície deve estar livre de impurezas e depósitos para fornecer ao transdutor acústico melhor acoplamento no ponto de ensaio. O método é usado para detectar corrosão em locais com acesso limitado, tais como: isolamento e (com certas restrições) grampos nos tubos, placas anulares em tanques de armazenamento ou de placas de reforço. A interpretação dos sinais de saída é de primordial importância para não confundir com os sinais que chegam dos transdutores de solda, suportes e outras características geométricas sobrepostas e sinais de corrosão ao longo da área inspecionada.⁵

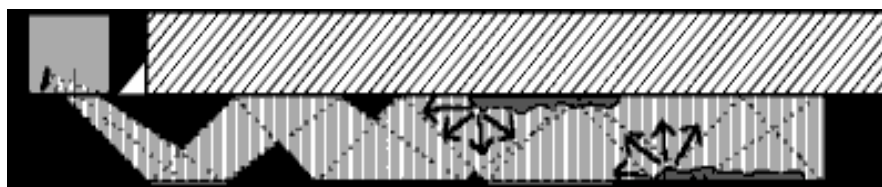


Figura 2-16 - Princípio da Técnica de Lorus.²²

Os resultados da inspeção são relatados em mapas coloridos de alta resolução (apresentado em vistas 3D: superior, lateral e no final as imagens) e as áreas corroídas são listadas pela posição angular e medida com uma precisão de posição ± 10 mm. O sistema LORUS pode ser aplicado aos componentes de espessura entre 6 a 25 mm. Revestimentos pintados bem aderentes são toleráveis na superfície de contato. Um processo corrosivo severo pode mascarar a detecção de corrosão em grandes distâncias entre a sonda na chapa. ⁵

2.2.9.7. Ensaio por Ondas Guiadas (*Guided Wave*)

São ondas que podem existir em chapas ou tubos onde a espessura é da mesma ordem de grandeza que da onda do ultra-som, que permite a propagação de uma série de diferentes modos de onda, cujas velocidades dependem da espessura da chapa e do comprimento de onda, conforme Figura 2-17.

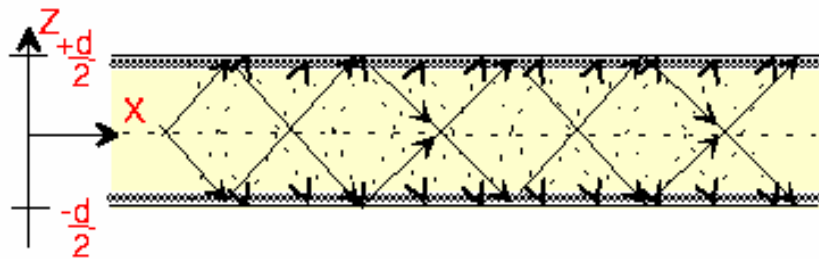


Figura 2-17 – Propagação das Ondas Guiadas. ⁵

Este método é geralmente aplicado usando um anel de sondas que são fixadas no exterior ao redor do tubo. O método é de pulso-eco e o transdutor *array* está configurado de modo que o teste pode ser realizado em uma direção ao longo da tubulação e, em seguida, na outra. Longos trechos de tubulação podem ser analisados em ambos os sentidos a partir de um único ponto de ensaio, embora alguns revestimentos possam atenuar severamente as ondas de Lamb, e, conseqüentemente, reduzir o alcance do método. Para detecção confiável, a perda de espessura deverá produzir uma redução de área na secção transversal da parede do tubo de cerca de 5 a 9%. A amplitude do eco recebido da descontinuidade fornece algumas informações sobre a extensão global da falha, mas não sobre o montante máximo da perda de espessura. ⁵

2.2.9.8. Transmissão Acústica Eletromagnética (EMATs)

O método de Transmissão Acústica Eletromagnética (EMATs) é uma técnica para a geração e recepção de ultra-som, que oferecem algumas vantagens em relação às sondas convencionais (piezelétrico), porém com menor sensibilidade que as sondas convencionais e são muito mais caros.⁵

Um EMAT consiste de um plano de bobina transportando uma frequência de rádio atual e um ímã que produz um campo magnético constante. A frequência de rádio atual induz correntes parasitas na superfície da amostra e da sua interação com o campo magnético resulta em forças de Lorentz ou forças magnéticas (predominantemente magnetostrictivos) que ocasionam vibrações na superfície de acordo com a frequência de rádio aplicada. As ondas ultra-sônicas que tenham sido gerados na superfície propagam de uma forma normal, que podem ser detectadas após a reflexão a partir de uma descontinuidade, por um transdutor ou por um processo recíproco. Dependendo da direção do campo magnético o EMAT pode gerar ondas transversais (radialmente, horizontalmente ou verticalmente polarizados), ondas longitudinais ou ondas superficiais de Rayleigh.⁵

O EMAT pode ser um método de não-contato, pois não existe qualquer necessidade de acoplante e pode ser usado em superfícies pintadas, embora qualquer *lift-off* (distância entre a peça e o probe) possa reduzir a sensibilidade. Pode operar em metais quentes, uma vez que são relativamente fáceis de manter abaixo de 100 ° C, com refrigeração por água, e podem ser usados até 700 °C se forem postos em contacto com a amostra momentaneamente e até 460 °C, em contato constante, e também pode ser usado em superfícies de baixa temperatura.⁵

A espessura de das peças a serem inspecionadas pode variar de 2 a 150 milímetros ou mais, e mesmo a temperaturas elevadas à precisão é de $\pm 0,5$ mm.

2.2.10. Ensaio de Shearografia

O ensaio por Shearografia é um método promissor de ensaio não destrutivo, onde tem como principio o uso do laser com base num sistema de interferometria que é usado para detectar áreas de concentração de tensões causadas por anomalias em materiais, podendo ser aplicado a uma variedade de materiais, incluindo aço, alumínio, polímeros e compósito, um esquemático do sistema é apresentado na Figura 2-18.⁵

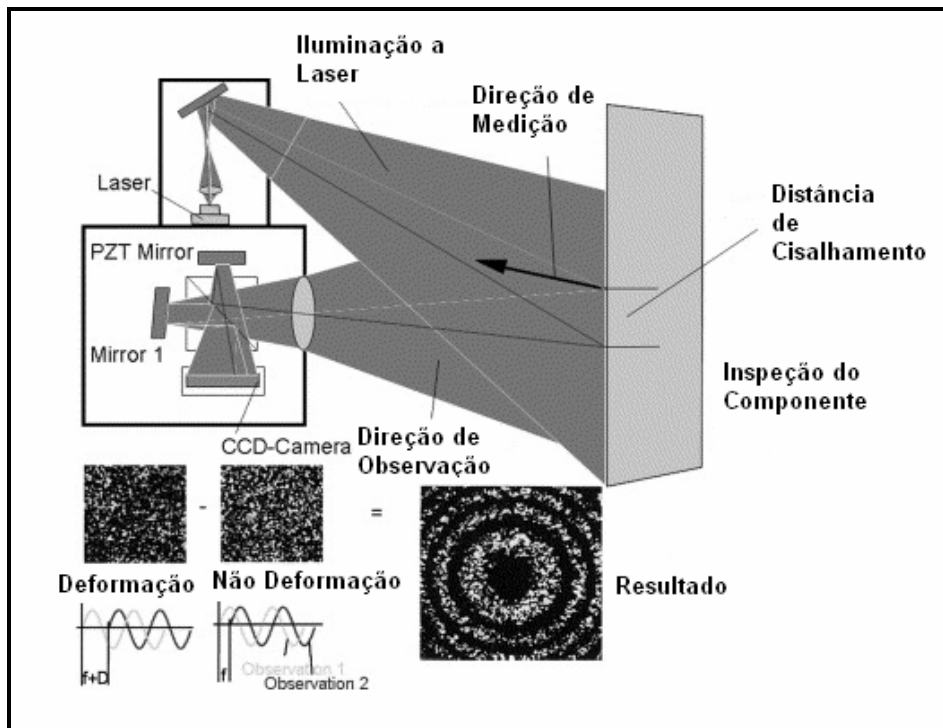


Figura 2-18 - Sistema de Shearografia Móvel. ²³

Este método de END destina-se a avaliar essencialmente estruturas de material compósito, constituídas por estruturas tipo "*honeycomb*" e revestimentos de natureza laminar aplicados sobre superfícies. Neste tipo de estrutura existe sempre uma parede interior e uma exterior que apertam entre si a estrutura "*honeycomb*". Todas estas estruturas são coladas entre si, sendo, portanto, possível o seu descolamento ou delaminação, ainda que apenas localizado. ⁵

O método consiste na detecção de zonas deformadas na vizinhança de áreas de forte concentração de tensões originadas pela presença de fissuras ou quando sujeitas a esforços induzidos (por vácuo, temperatura ou vibração). A deformação plana da área defeituosa é detectada através duma técnica de interferometria óptica baseada em laser, onde a luz refletida a partir da superfície da peça é recolhida por um sistema de lentes na filmadora CCD onde promove uma matriz no Interferômetro. O Interferômetro produz uma imagem dupla sobre o CCD, sendo a segunda imagem compensada pela primeira. O interferograma gravado por uma câmara CCD é, assim, indicativo do movimento na direção à câmara durante um intervalo de tempo na imagem distante no plano da superfície. Os dados são representados sob a forma de um modelo de franja produzido pela comparação de dois estados, antes e depois da carga ser aplicada. ⁵

Esta técnica é complementada com processos de tratamento de informação dando origem à interferometria holográfica, através da qual é possível obter-se uma imagem virtual da área a inspecionar onde são identificados os defeitos detectados.

A grande vantagem desta técnica resulta da ausência de contato entre o equipamento e a superfície a avaliar (o que permite uma maior taxa de inspeção e, portanto, maior produtividade) e proporciona uma indicação direta da extensão e criticidade dos defeitos encontrados, uma vez que os identifica através dos seus efeitos e de concentração de tensões resultante. A sensibilidade deste método permite medir deformações até uma dimensão de 10 μm .⁵

Shearografia é um método não destrutivo, remoto, de não-contato e muito rápido, podendo efetuar as medições em condições perigosas ou adversas, tais como temperatura elevada, plasma e radiações nucleares.²⁴

2.2.11. Tomografia Compton (*Backscatter Imaging*)

A Tomografia Compton de espalhamento é um método relativamente novo para fins de ensaios não destrutivos em sistemas industriais, fazendo uso de raios γ ou X espalhados no interior do componente em análise. A fonte emite um feixe colimado no material e um detector permite a medição do número de fótons que estão dispersos. O sinal detectado é composto em grande parte de fótons isolados dispersos do volume definido pela intersecção do feixe incidente e o ângulo de detecção do colimador. A quantidade de radiação dispersa produzida está diretamente relacionada com a densidade eletrônica do material. A grande vantagem oferecida pela imagem retroespalhada é que pode ser implementada a partir de um lado do objeto.⁵

A medição pode ser realizada na presença de revestimentos protetores porque a fonte e o detector são colocados no mesmo lado da peça de teste, podendo ser inspecionado em velocidade muito maior do que por radiografia convencional. A imagem retroespalhada por efeito Compton não é um método de contato e pode, portanto, ser aplicável a temperaturas elevadas. No espalhamento Compton uma imagem tridimensional é construída ponto a ponto, sendo que o tempo necessário para se construir a imagem depende do volume da peça de interesse. A taxa de digitalização varia inversamente com o quadrado do volume de inspeção.⁵

As principais desvantagens do espalhamento Compton de imagem é seu elevado custo de capital e velocidades muito lentas de scaneamento, que têm impedido a sua aplicação a todos, mais o valor elevado dos componentes.

2.3. Inspeção Baseada em Risco (IBR)

Refinarias e plantas petroquímicas consomem muitos recursos todo ano, com o propósito de melhorar a integridade mecânica dos seus equipamentos, entretanto o desafio reside onde focalizar os recursos limitados da indústria e mesmo assim não comprometer a segurança dos equipamentos. Isto fez com que as indústrias do setor petróleo/petroquímico se organizassem e propusesse um estudo sistemático da inspeção baseada em risco, que foi iniciado em maio de 1993 por um grupo patrocinado por 16 empresas, sendo assim desenvolvido um documento com recomendações práticas o API RP 580 com a primeira edição saindo 1997, editado pelo Instituto Americano de Petróleo (API).

O API RP 580 e o API 581 foram direcionados para a inspeção de equipamentos e tubulações de plantas petroquímicas usando o fator risco para priorizar e gerenciar um programa de inspeção. Sua metodologia consiste na estimativa da frequência de falha e na determinação da consequência da mesma, calculando assim o risco através do produto da “frequência de falha” pela “consequência da mesma falha”. A frequência, quando não conhecida com exatidão, é estimada através de frequências de falhas genéricas e aplicação de fatores modificadores; já a consequência considera a segurança, perdas econômicas e o impacto ambiental. A acurácia das previsões dos riscos pode ser melhorada se existir um banco de dados específicos para as frequências e consequências de falhas.

A IBR se propõe a fornecer uma ótima combinação do método ou técnica de inspeção e sua frequência. Através desta combinação são concentrados esforços para cobrir os itens de risco elevado, aplicar esforço apropriado nos equipamentos de baixo risco ou não reparar até que eles sofram um dano. O aumento do custo de inspeção em equipamentos de alto risco pode ser compensado pela redução da inspeção em equipamentos de baixo risco. O risco pode ser aplicado de forma qualitativa, quantitativa ou de forma combinada. A aplicação qualitativa requer menor quantidade de informações e a quantitativa fornece o risco por cada equipamento de uma unidade. O risco não pode ser reduzido a zero, pois fatores inesperados podem ocorrer, tais como erro humano, desastres naturais, eventos externos (colisões),

sabotagem, limitação dos métodos de inspeção, erro de projeto e desconhecimento de mecanismos de deterioração podem atuar. A Figura 2-19 mostra a diferença entre os riscos existentes referentes a programas de inspeção típicos e de inspeção baseada em risco, pode-se notar que em patamar mínimo, o risco continua a existir e que não pode ser reduzido mesmo que a otimização do programa de inspeção seja realizada. A Figura 2-20 mostra um sistema de inspeção baseado em risco. ²⁵

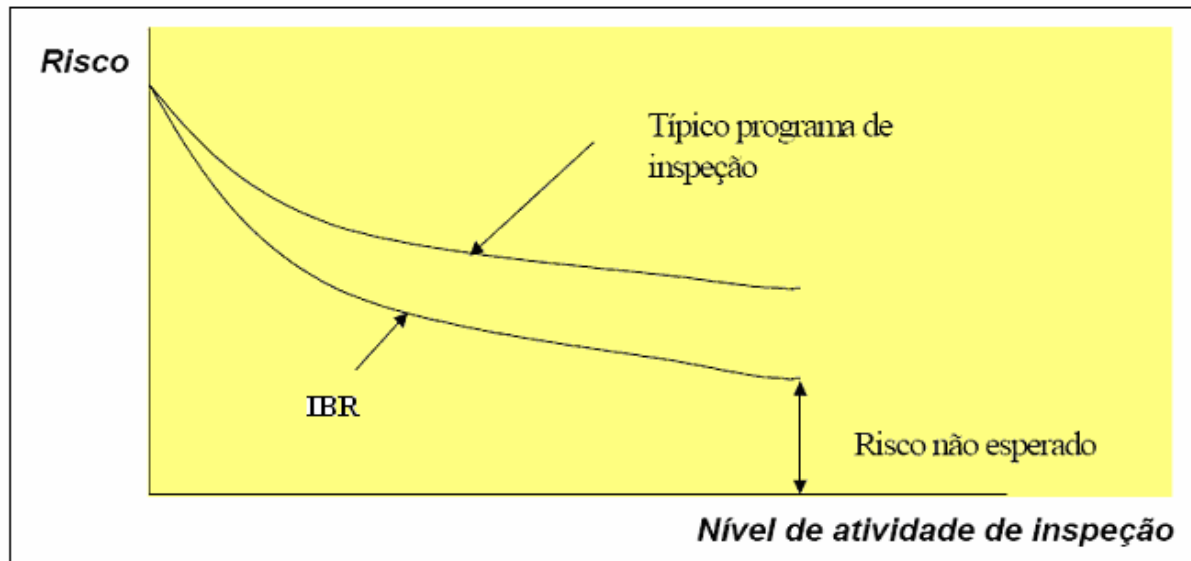


Figura 2-19 – Desvio de inspeção típica e inspeção baseada em risco. ²⁵

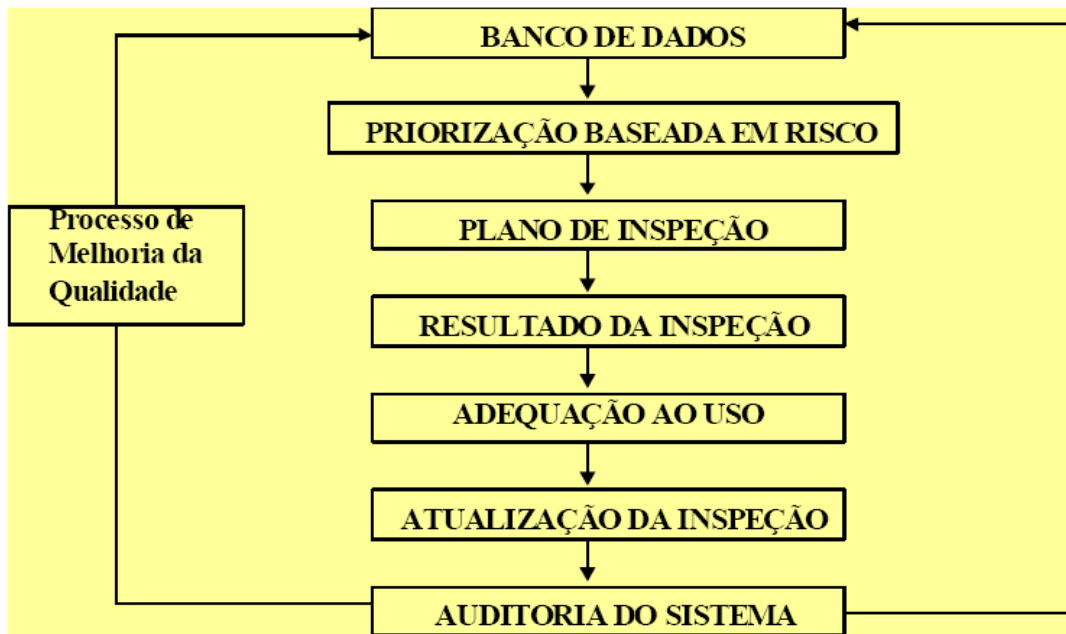


Figura 2-20 – Sistema de inspeção baseado em risco. ²⁵

2.3.1. Probabilidade de Falha

A probabilidade em uma análise de IBR é realizada a fim de estimar a probabilidade de uma perda de contenção ocorrer devido a um ou vários mecanismos de degradação. A probabilidade de uma consequência específica ocorrer é dada pelo produto da probabilidade de falha (POF) e da probabilidade do cenário em consideração supondo que a falha ocorreu. A análise da probabilidade de falha deve deliberar sobre todos os mecanismos de deterioração para o qual o equipamento esteja suscetível. ²⁶

Um método qualitativo envolve a identificação das unidades, sistemas ou equipamentos, os materiais de construção e os processos corrosivos dos componentes. Com base no histórico de funcionamento, inspeção, planos de manutenção e materiais possíveis de deterioração, a probabilidade de falha pode ser avaliada separadamente para cada unidade, sistema, agrupamento de equipamentos ou equipamento individuais. A Engenharia é à base de julgamento para esta avaliação. A probabilidade de falha pode então ser categorizada e atribuída a cada unidade de sistema, agrupamento ou equipamento. Dependendo da metodologia empregada, as categorias podem ser descritas com palavras (tais como alta, média ou baixa), ou com números (como 0,1 a 0,01 vezes por ano). ²⁵

Existem várias abordagens para a análise quantitativa de probabilidade. Um exemplo é o de ter uma abordagem probabilística de dados específicos de falha ou da experiência de um profissional que são utilizados para calcular a probabilidade de fracasso. Estes dados podem ser de falha obtida a partir de um item de equipamento específico, ou sobre itens de equipamento similar. Esta probabilidade pode ser expressa como uma distribuição, em vez de um único valor determinístico.²⁵

Outra abordagem é utilizada quando existem dados de falha imprecisos ou insuficientes sobre o item de interesse. A metodologia deve ser aplicada para avaliar a aplicabilidade destes dados gerais. Conforme o caso, estes dados de falha devem ser ajustados para o equipamento e ser analisado pelo aumento ou diminuição das frequências de falha baseadas em informações específicas dos equipamentos. Nesta forma, os dados são empregados para gerar uma frequência de falha ajustada a qual é aplicada aos equipamentos para uma aplicação específica. Tais modificações para valores gerais podem ser feitas para cada equipamento e ter em conta a eventual deterioração que pode ocorrer em serviço e do tipo e eficácia da inspeção e / ou acompanhamento realizado.^{27, 28}

2.3.1.1. Determinação de Probabilidade da Falha

Independentemente de uma análise qualitativa ou quantitativa, a probabilidade de falha é determinada por dois aspectos principais, o primeiro são os mecanismos de deterioração e suas taxas resultantes do material de construção e do funcionamento dos equipamentos, e o segundo a eficácia que a inspeção programada tem em identificar e controlar os mecanismos de degradação e que os equipamentos podem ser reparados ou substituídos antes da falha, conforme a equação 1.²⁵

$$P_f(t) = gff \times D_f(t) \times F_{MS} \quad (\text{Equação 1})$$

$P_f(t)$ = Probabilidade de Falha;

gff = Frequência de Falhas Genéricas;

$D_f(t)$ = Fator de Dano;

F_{MS} = Fator do Sistema de Gestão.

Analisar o efeito da deterioração em serviço e da inspeção sobre a probabilidade de falha envolve os seguintes passos:

- Identificar os mecanismos de deterioração durante o período de tempo a ser considerado (considerando as condições normais de operação);
- Determinar a sensibilidade e a taxa de deterioração.

Quantificar a eficácia das últimas inspeções e manutenções é uma proposta para os futuros programas de inspeção e manutenção. Normalmente, é necessário avaliar a probabilidade de falha considerando diversas estratégias de inspeção e manutenção, incluindo, eventualmente, uma “não inspeção ou manutenção”.²⁶

Combinações de condições de processo e de materiais de construção dos equipamentos devem ser avaliadas para identificar mecanismos ativos de deterioração. Um método de determinação destes mecanismos é a da susceptibilidade do grupo de componentes que têm o mesmo material de construção e que estão expostos aos mesmos ambientes (interno e externo). Para muitos mecanismos de deterioração, a progressão da taxa de deterioração é geralmente entendida e pode ser estimada no processo de instalação dos equipamentos, que em muitas vezes é designada como de alta, média ou baixa, baseadas nas condições ambientais e do material de construção. Fabricação e reparos são variáveis históricas importantes e a capacidade de indicar a taxa de deterioração precisa é afetada pela complexidade do equipamento, tipo de mecanismo deterioração, processo e variações metalúrgicas, inacessibilidade de inspeção, as limitações dos métodos de ensaio e inspeção, e da perícia do inspetor.^{25, 25}

A Probabilidade de falha é utilizada para avaliar o tipo de modo (por exemplo, pequeno furo, rachadura, ruptura catastrófica) e as probabilidades de que cada modo de falha irá ocorrer, o provável mecanismo de dano e as avarias resultantes.

O modo de falha afeta principalmente a magnitude das conseqüências, por esta e outras razões, a análise da probabilidade e conseqüência devem ser trabalhados interativamente.

2.3.1.2. Freqüência de Falha Genérica (gff)

A freqüência de falha genérica para diferentes tipos de componentes foi fixada a partir de um valor representativo de dados de falha da indústria petroquímica e de refino, e para estimá-la, é necessário analisar um conjunto maior de dados dos mesmos elementos para encontrar essas falhas, e que uma estimativa razoável de uma probabilidade de falha possa ser feita. A freqüência de falha genérica de um tipo de componente é estimada utilizando registros de todas as plantas dentro de uma empresa ou a partir de várias plantas dentro de uma indústria, a partir de fontes de literatura, e bases de dados comerciais de confiabilidade. Portanto, estes valores representam normalmente um valor genérico da indústria em geral, e não refletem a verdadeira freqüência de falha para um componente específico e de um mecanismo de dano específico, conforme mostrado no anexo A. ²⁵

A freqüência de falha genérica é destinada à previsão de danos decorrentes da exposição ao ambiente operacional, e estão previstos vários tamanhos de defeitos para vários tipos de equipamentos (isto é, processo de vasos, tambores, torres, tubulações, sistemas de armazenamento, etc.). Diferentes tamanhos de defeitos são associados a uma freqüência de falha no modelo de avaliação de cenários. ^{25, 25}

A adequação dos fatores genéricos sobre a freqüência de falha reflete as diferenças entre os mecanismos de danos e a confiabilidade dos processos de gestão dentro de uma planta. O fator de dano baseia-se na freqüência de falha genérica ajustada pelos mecanismos de danos ao qual o componente está sujeito, e considera a susceptibilidade ao mecanismo de dano e/ou a taxa em que o dano se acumula, e também aos dados históricos de inspeção, bem como a eficácia das inspeções passadas e futuras. ²⁵

2.3.1.3. Fator de Dano

Fator de dano é destinado ao apoio da metodologia da IBR fornecendo uma ferramenta para determinar o local da inspeção e as prioridades para otimizar os esforços da inspeção. O fator de dano é determinado com base nos mecanismos de danos aplicáveis (corrosão generalizada e localizada, fissuração, fluência, etc.) aos materiais de construção e ao processo durante o serviço. As condições físicas dos componentes, o grau de inspeção e as técnicas utilizadas para quantificar os danos, modificam a freqüência de falhas genérica da indústria e

as torna específica para o componente em avaliação^{25, 25}. O fator de dano não fornece uma avaliação definitiva em relação à API 579-1/ASME FFS-1 *Fitness-for-Service* do componente²⁹. A função básica do fator dano é avaliar estatisticamente o montante dos danos que podem estar presentes em função do tempo de serviço e da eficácia da atividade de inspeção.

Atualmente estimativas de fator de dano são realizadas para os seguintes mecanismos de danos.²⁵

- Perda de espessura – D_f^{thin}
- *Linning* em componentes - D_f^{elin}
- Danos externos - D_f^{extd}
- Trincas por corrosão sob tensão - D_f^{scc}
- Ataque de hidrogênio a alta temperatura - D_f^{htha}
- Fadiga mecânica - D_f^{mfat}
- Fratura frágil - D_f^{brit}

2.3.1.4. Fator do Sistema de Gestão (F_{MS})

A eficácia de um processo de sistema de gestão da segurança industrial da companhia pode ter um efeito pronunciado sobre integridade mecânica. O procedimento do API 581 inclui uma ferramenta de avaliação para ponderar sobre as partes do sistema de gestão da instalação que mais diretamente impactam a probabilidade de falha de um componente. Esta avaliação consiste de uma série de entrevistas com os gestores das plantas de operação, fiscalização, manutenção, engenharia, treinamento e segurança pessoal. A importância de um sistema de gestão eficaz de avaliação tem sido reconhecida em impedir lançamentos de materiais perigosos e de manter a integridade dos equipamentos.²⁶

O procedimento usa o fator de sistemas de gestão para ajustar a frequências de falha genérica para as diferenças no processo de gestão da segurança dos sistemas. Este fator é obtido a partir dos resultados de uma avaliação de uma instalação ou de uma operação da unidade que afetam a planta. As diferentes práticas dentro de uma instalação podem criar diferenças entre os sistemas de gestão de fatores entre as unidades. No entanto, no âmbito de

qualquer estudo, o fator de sistemas de gestão deve ser o mesmo e aplicado uniformemente a todos os componentes e, como um resultado, não alterar a ordem de classificação de risco base dos componentes, porém, têm um efeito pronunciado sobre o nível global de risco calculado para cada item em estudo. Isto se torna importante quando o nível de risco total das unidades é comparado, ou os valores de risco semelhantes para os componentes são comparados entre diferentes unidades.²⁶

A escala recomendada para a conversão dos sistemas de gestão numa pontuação é uma avaliação do fator sistema de gestão baseado no pressuposto de que a pontuação "média" da planta seria 50% (500 de um possível resultado de 1000) sobre a avaliação dos sistemas de gestão, e que um valor de 100% equivale a uma pontuação total, que demonstraria uma redução de risco da unidade. Com base nesta classificação, as equações 2 e 3 pode ser utilizada para calcular o fator do sistema de gestão.²⁵

$$P_{score} = \frac{Score}{1000} \times 100 \quad (\text{unidade em \%}) \quad (\text{Equação 2})$$

$$F_{MS} = 10^{(-002 \cdot p_{score} + 1)} \quad (\text{Equação 3})$$

Score = pontuação média do check list do sistema de gestão para conversão.

2.3.1.5. Eficácia do Programa de Inspeção Passada

Os programas de inspeção (a combinação de métodos END, frequência e cobertura / localização das inspeções) variam na sua eficácia para localização e dimensionamento da deterioração, e, portanto, em determinar as taxas de degradação. Após os prováveis mecanismos de deterioração serem identificados, os programas de inspeção deve ser avaliado para determinar a eficácia do mesmo na busca e identificação dos mecanismos. Limitações na eficácia do programa de inspeção são sugeridas como:^{25, 25, 27}

- Uma falta de cobertura de uma área sujeita a deterioração;
- Limitações inerentes de alguns métodos de inspeção para detectar e quantificar certos tipos de deterioração;
- Seleção dos métodos e ferramentas inadequadas inspeção;

- Aplicação de métodos e ferramentas por pessoas inadequadas;
- Procedimentos inadequados de inspeção.

Embora não encontrando a deterioração durante uma inspeção, a falha ainda poderia ocorrer como resultado de uma alteração nas condições de processo, isto é, taxas de deterioração altas em curtos períodos de tempo. Se as condições de operação, foram alteradas as taxas de deterioração baseadas em dados de inspeção anteriores podem não ser mais válidas. A determinação da eficácia da inspeção deve considerar os seguintes aspectos: ²⁵

- Tipo de equipamento;
- Mecanismos ativos de deterioração;
- Taxa de degradação ou susceptibilidade;
- Métodos de ensaios não destrutivos, cobertura e frequência;
- Acessibilidade a áreas passíveis de deterioração.

A eficácia das futuras inspeções pode ser otimizada pela utilização de métodos de ensaios não destrutivos mais adequados para os mecanismos de deterioração ativos, ajustando a cobertura e a frequência da inspeção. Entretanto se várias inspeções de uma menor eficácia forem realizadas durante o período de tempo designado, elas podem ser aproximadas para uma maior eficácia equivalente inspeção de acordo com as seguintes relações: ²⁵

- 2 Normalmente Eficaz (B) = 1 Inspeção altamente Eficaz (A), ou $2B = 1A$
- 2 Bastante Eficaz (C) = 1 Inspeção Normalmente Eficaz (B), ou $2C = 1B$
- 2 Pouco Eficaz (D) = 1 Inspeção Bastante Eficaz (C), ou $2D = 1C$

Note-se que estas regras de equivalência de inspeção não serão aplicadas as Inspeções tipo (E).

- A – Eficácia Alta - Métodos de inspeção irão identificar corretamente o verdadeiro estado dos danos com confiabilidade de 80-100%.
- B – Eficácia Usual - Métodos de inspeção irão identificar corretamente o verdadeiro estado dos danos com confiabilidade de 60-80%.
- C – Eficácia Média - Métodos de inspeção irão identificar corretamente o verdadeiro estado dos danos com confiabilidade de 40-60%.

- D – Métodos de inspeção irão identificar corretamente o verdadeiro estado dos danos com confiabilidade de 20-40%.
- E – Método de inspeção irá fornecer nenhuma ou quase nenhuma informação, sendo considerados ineficazes para detectar os mecanismos danos específicos com uma confiabilidade de menos de 20%.

2.3.2. Conseqüência da Falha

A análise da conseqüência é executada a fim de proporcionar uma discriminação entre a importância dos itens do equipamento e da sua eventual falha. Em geral, o IBR é gerido pelos engenheiros de inspeção e inspetores da planta, que são os responsáveis pela gestão da probabilidade de falha, entretanto não se tem muito a fazer com relação à capacidade de modificar a conseqüência de uma falha, porém com a gestão da segurança pessoal e do processo podem-se reduzir as conseqüências.^{25,26}

A análise da conseqüência ajuda no estabelecimento de uma classificação de risco, que deve ser simplificada, confiável e ter reprodutibilidade, contudo esta tem vários níveis de discriminação que depende da aplicação desejada.

Um método qualitativo envolve a identificação das unidades, sistemas ou equipamentos, bem como os riscos que se apresentam como um resultado das condições de operação e processo de fluidos, com base nos conhecimentos e experiências adquiridas, e assim ser estimadas, e determinadas às categorias das conseqüências (como "A" a "E" ou "alta", "média" ou baixa"). Este método simplificado só pode ser usado para um número limitado de fluidos representativos e contém tabelas e gráficos que podem ser facilmente consultados para calcular as conseqüências das descargas sem a necessidade de um modelamento usando um software ou técnicas especializadas. Uma série de modelagens de conseqüências foi realizada utilizando fluidos de referência e os resultados foram incorporados em tabelas.²⁶

Um método quantitativo usando um modelo de lógica alusivo de combinações de eventos para representar os efeitos da falha sobre as pessoas, bens, os negócios e para o ambiente, e geralmente contém um padrão de cenários ou resultados de falhas que servem de base para o cálculo da conseqüência da falha com base em:^{24,25}

- Tipo de fluido do processo.
- Propriedades do fluido de processo (peso molecular, destilando ponto, auto-ignição, temperatura de ignição, densidade, etc.).
- Variáveis operacionais, tais como temperatura e pressão.
- Massa disponível para a liberação no caso perdas de contenção.
- Tamanho das avarias.

2.3.2.1. Tipos de Conseqüência

Diferentes tipos de conseqüências podem ser mais bem descritos por diferentes medidas, considerando a natureza dos perigos presentes e da escolha adequada de unidades de medida, no entanto, as conseqüências daí resultantes devem ser comparáveis, tanto quanto possível, para posterior priorização de risco. As conseqüências podem ser de: ^{25, 25}

- Segurança;
- Custo;
- Área Afetada;
- Dano Ambiental;
- Volume de fluido que vazou.

As conseqüências da Segurança são muitas vezes expressa como um valor numérico ou associados com a gravidade dos potenciais de danos que podem resultar de um indesejável evento.

O custo é comumente usado como um indicador das conseqüências potenciais. É possível, atribuir custos para praticamente qualquer tipo de conseqüência. Conseqüências típicas que podem ser expressos em "custo" incluem: ^{25, 25}

- Perda de produção e produto devido à taxa de redução ou de inatividade.
- Implantação de planos de emergência e equipamentos pessoais.
- Degradação da qualidade do produto.
- Substituição ou reparo dos equipamentos danificados.

- Danos materiais externamente.
- Derramamento de produtos no local ou externamente.
- Lucros cessantes.
- Ferimentos ou mortes.
- Multas.

Para contabilizar o custo geralmente se exige informação detalhada para a plena avaliação. Informações como valor do produto, dos equipamentos, custos de manutenção, recursos humanos, e os danos ambientais. No entanto, o custo tem a vantagem de permitir uma relação direta de comparação de vários tipos de perdas em uma base comum.

A área afetada também é utilizada para descrever as conseqüências e representa a quantidade de superfície que experimenta um efeito (dose tóxica, radiação térmica, explosão, sobre pressão, etc) superior a um valor limite pré-definido. Com base nos limiares escolhidos dentro da área que será afetada pelas conseqüências do perigo. A fim de se classificar conseqüências de acordo com a área afetada, é normalmente assumido que o equipamento ou pessoas em risco são uniformemente distribuídos em toda a unidade. Uma abordagem mais rigorosa seria atribuir uma densidade populacional ou com valores de densidade de equipamentos para diferentes áreas da unidade.^{24, 25}

Os danos ambientais entre os tipos de conseqüência são os menos utilizados entre todos que são atualmente empregados na Inspeção Baseada em Risco. A unidade comum de medida para os danos ambientais não está disponível com a tecnologia atual, tornando difíceis de avaliar as conseqüências ambientais. Típicos parâmetros que fornecem uma medida indireta do grau de dano ambiental são:

- Hectares de terras afetadas por ano;
- Quilômetros de costa afetada por ano;
- Custo dos recursos consumidos (indenizações, limpeza, etc.).

O retrato de um dano ambiental quase invariavelmente leva à utilização de custo, em termos de dólares por ano, para a perda e/ou recuperação dos recursos ambientais.

A determinação da magnitude do efeito do volume de fluido liberado na maioria das avaliações de conseqüência se mostra como um elemento chave. O volume liberado é

tipicamente derivado de uma combinação do volume de líquido disponível para a liberação, das avarias, fugas e do tempo de detecção e isolamento. A perda de líquido para o ambiente externo é o efeito da perda de contenção, podendo ser geralmente considerada nas seguintes categorias: ²⁵

- Segurança e saúde.
- Impacto ambiental.
- Perdas de produção.
- Custos de manutenção e reconstrução.

Em alguns casos, o volume liberado será o mesmo que o volume disponível para liberação. Normalmente, existem salvaguardas e procedimentos em vigor de modo que a quebra de contenção pode ser isolada e que o volume liberado será menor que o volume disponível para liberação.

2.3.2.2. Efeitos das Categorias de Conseqüência

A falha pela liberação de fluidos pode causar danos à segurança, saúde, meio ambiente, instalação e negócios, e assim, considerar a natureza dos perigos e assegurar que os elementos necessários são considerados para o equipamento, sistema ou unidade a ser avaliado. Independentemente de saber, (por qual método foi realizada a análise quantitativa ou qualitativa), os principais fatores a considerar na avaliação das conseqüências da falha são listados nas seguintes seções. ²⁵

- Eventos Inflamáveis (de incêndio e explosão);
- Vazamentos de Produtos Tóxicos;
- Fluidos Perigosos;
- Ambientais;
- Produção.

Um evento inflamável ocorre devido a um vazamento e uma subsequente ignição. A ignição pode ser através de uma fonte de ignição ou auto-ignição. Os eventos inflamáveis

podem causar danos de duas maneiras: radiação térmica ou sobre pressão. Os efeitos da sobre pressão podem causar danos a uma maior distância do ponto inicial.

Os vazamentos tóxicos são abordados quando afetam as pessoas (local e público), no qual diferentemente dos eventos inflamáveis, não requerem um episódio para causar lesões aos seres humanos e podem causar efeitos em distâncias maiores. Isto é tratado no IBR, o risco imediato, em vez de riscos de exposição a níveis toleráveis.

Fluidos perigosos também causam preocupações, pois estes podem causar queimaduras químicas ou térmicas, se uma pessoa entrar em contato com eles, como por exemplo, vapor, água quente, ácidos cáusticos. Geralmente, a consequência deste tipo de liberação é significativamente inferior aos inflamáveis ou tóxicos, porque a área afetada é muito menor e sua magnitude também. Principais parâmetros nesta avaliação são os seguintes: ²⁵

- Volume de fluido liberado;
- Densidade de pessoas por área;
- Tipo de fluido e a natureza dos prejuízos resultantes;
- Sistemas de segurança;
- Os danos ambientais se o vazamento não for contido;
- Danos aos equipamentos.

As consequências ambientais são uma componente importante a qualquer consideração do risco global de uma unidade de transformação, sendo melhor compreendida pelos custos, pois vazamentos podem resultar na contaminação do solo, águas subterrâneas e / ou abertas. Gases são igualmente importantes, mas difíceis de avaliar uma vez que a consequência normalmente refere-se a um nível local e as restrições regulamentares não excedem essas limitações. O componente custo dependerá da regulamentação e das leis aplicáveis pelas jurisdições locais e federais. ²⁵

Consequências na produção geralmente ocorrem com qualquer perda de contenção do fluido processo ou de utilidade (água, vapor, gás combustível, ácido, cáustico etc.) e podem ser complementares ou independentes das inflamáveis, tóxicas, perigosas ou ambientais. As principais consequências para a produção pelo IBR são as financeiras. As consequências financeiras que poderiam incluir o valor do fluido de processo perdido e conseqüentemente dos negócios. O custo do fluido perdido pode ser facilmente calculado pela multiplicação do

volume liberado pelo valor. O cálculo da interrupção dos negócios é mais complexo. A seleção de um determinado método depende do âmbito e do nível do estudo e da disponibilidade dos dados da interrupção comercial.

Um método simples para estimar a interrupção comercial provocada pela consequência é a utilização da equação 4:²⁵

$$\text{Interrupção do Negócio da Unidade} = \text{Valor Diário} \times \text{Downtime (Dias)} \quad (\text{Equação 4})$$

A unidade valor diário pode ser sobre uma receita ou lucros. O Índice *Dow* é uma estimativa de inatividade e representaria o tempo necessário para voltar para produção. Métodos mais rigorosos de estimativa de consequências de interrupção comercial podem levar em consideração fatores tais como:

- Capacidade para compensar equipamento danificado (por exemplo, peças equipamentos, reclassificação, etc.);
- Potencial de dano a equipamentos próximos (arrastamento de danos);
- Perda potencial de produção para outras unidades.

2.3.3. Determinação, Avaliação e Gerenciamento do Risco

Uma vez que as probabilidades que os modos de falha tenham sido determinados para os mecanismos de deterioração aplicáveis, a probabilidade de cada consequência deve ser determinada. É importante compreender essa ligação entre a probabilidade de falha e os possíveis incidentes resultantes, em outras palavras, a falha por vazamento pode ser apenas o primeiro evento de uma série que levam a uma determinada consequência.^{24, 25}

A probabilidade de uma determinada consequência está ligada à severidade da mesma, e pode variar consideravelmente em partes do mesmo equipamento. Probabilidades de incidentes geralmente diminuem com a gravidade do incidente. Por exemplo, a probabilidade de um evento resultante acabar em um acidente fatal será geralmente menor do que a probabilidade do evento resultar em primeiros socorros ou tratamento médicos. É importante entender essa relação.

Cada tipo de mecanismo de deterioração tem os seus próprios modos de falhas. Para um mecanismo específico de deterioração, o modo de falha esperado deve ser levado em conta quando se considera a probabilidade de incidentes num equipamento o levar a falhar. A probabilidade da consequência é um produto específico da probabilidade de cada evento que segue pelas especificidades da consequência, como determinado pela equação 5.²⁵

Probabilidade de Fogo = (Probabilidade de Falha) x (Probabilidade de Ignição) (Equação 5)

O risco total é calculado através da soma dos riscos individuais para cada consequência específica. Muitas vezes um par probabilidade/consequência será dominante e o risco total pode ser aproximado pelo risco do cenário dominante

Se a probabilidade e as consequências não são expressas em valores numéricos de risco e sim determinada por uma matriz de risco. Os pares Probabilidade e consequência para diferentes cenários podem ser traçados para determinar risco de cada cenário, conforme a equação 6.^{25,26}

$$R(t) = P_f(t).C(t) \quad \text{(Equação 6)}$$

$$R(t) = \text{Risco}$$

$$P_f(t) = \text{Probabilidade da Falha}$$

$$C(t) = \text{Consequência da Falha}$$

Apresentar os resultados em uma matriz de risco é uma maneira eficaz de mostrar a distribuição dos riscos para diferentes componentes de uma unidade de processo sem valores numéricos. A matriz de risco utilizada no API RP 581 RBI é mostrada na Figura 2-21, sendo expressa em termos de probabilidade (D_F) e consequência de área (CA) ou financeira (FC) e seus valores numéricos associados são mostrados nas Tabelas 2-3 e 2-4, respectivamente. As categorias de risco (ou seja, Alto, Médio Alto, Médio e Baixo) são atribuídas às casas sobre o risco matriz.²⁵

Na API RBI as categorias de risco são assimétricas, para indicar que a consequência tem maior ponderação do que a probabilidade.

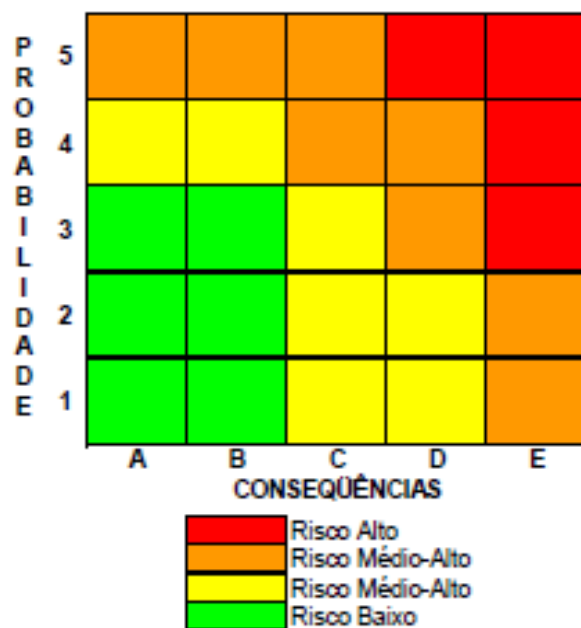


Figura 2-21 – Matriz de Risco do API 581.³⁰

Tabela 2-2 - Definição das Categorias de Conseqüências e Probabilidades de falha para a Matriz de Risco, por área afetada.²⁵

Probabilidade		Conseqüência	
Categoria	Faixa	Categoria	Faixa(m ²)
1	$D_{F-TOTAL} \leq 2$	A	$CA \leq 9,29$
2	$2 < D_{F-TOTAL} \leq 20$	B	$9,29 < CA \leq 92,9$
3	$20 < D_{F-TOTAL} \leq 100$	C	$92,9 < CA \leq 279$
4	$100 < D_{F-TOTAL} \leq 1000$	D	$279 < CA \leq 929$
5	$D_{F-TOTAL} > 1000$	E	$CA > 929$

Tabela 2-3- Definição das Categorias de Conseqüências e Probabilidades de falha para a Matriz de Risco, por custo financeiro. ²⁵

Probabilidade		Conseqüência	
Categoria	Faixa	Categoria	Faixa(\$)
1	$D_{F-TOTAL} \leq 2$	A	$FC \leq 10.000$
2	$2 < D_{F-TOTAL} \leq 20$	B	$10.000 < FC \leq 100.000$
3	$20 < D_{F-TOTAL} \leq 100$	C	$100.000 < FC \leq 1.000.000$
4	$100 < D_{F-TOTAL} \leq 1000$	D	$1.000.000 < FC \leq 10.000.000$
5	$D_{F-TOTAL} > 1000$	E	$FC > 10.000.000$

2.4. Inspeção Não Intrusiva

Equipamentos ou sistemas pressurizados, como, por exemplo, Vasos de Pressão e Tubulações, devem ser inspecionados periodicamente visando garantir uma operação segura e confiável. Isso, comumente, inclui inspecioná-los para detectar uma possível deterioração interna, sendo tais inspeções repetidamente exercidas através de ensaio visual interno (IVI). Além do IVI aplicam-se outros procedimentos de detecção de defeitos superficiais tais como por líquidos penetrantes (LP) e por partículas magnéticas (PM), no entanto, o custo pertinente à perda de produção (lucro cessante) devido a uma parada do equipamento é alto, sem contar os procedimentos para o isolamento e aqueles necessários para adentrar ao equipamento. Este custo pode ser maior do que o próprio custo da inspeção, contudo ainda existem as solicitações mecânicas oriundas da preparação do equipamento para a inspeção interna e sua partida que podem comprometer seu desempenho futuro. Deve-se ainda considerar todos os riscos intrínsecos a permanência de seres humanos dentro dos equipamentos. ³¹

Logo podemos citar os benefícios significativos caso as inspeções sejam realizadas externamente, ou seja, sem entrar no equipamento (Inspeção Não-intrusiva) como: ³¹

- Evitar a entrada de pessoas em locais perigosos;
- Possibilitar o planejamento da parada de manutenção;

- Reduzir o tempo de parada através da realização de vários ensaios anteriormente a retirada do equipamento de operação;
- Restringir as atividades na parada aos trabalhos mecânicos;
- Permitir a remoção das exigências para acesso aos equipamentos;
- Reduzir o número de intervenções no equipamento;
- Permitir que a inspeção atue quando o problema potencial for identificado sem interferir com operação normal do equipamento.

Deve-se ponderar, contudo, o balanço entre os benefícios que podem ser gerados pela inspeção não-intrusiva e a perspectiva de se alcançar às informações necessárias para assegurar a confiabilidade da operação.

Entretanto, a inspeção não-intrusiva (INI) tem um escopo limitado pelas considerações relativas à inspeção de equipamentos nas unidades fabris, como a simples verificação do custo da inspeção e das opções de ensaios existentes e a não especificação de requisitos legais, somente contemplando os aspectos técnicos.

A aceitação e os benefícios de uma inspeção não-intrusiva em um equipamento em particular dependerão de múltiplos fatores, incluindo: ¹⁸

- A geometria;
- Os materiais;
- Os mecanismos e os modos de deterioração presentes;
- A localização e o tamanho das descontinuidades;
- O processo (operação);
- Histórico da inspeção;
- A confiabilidade da inspeção;
- Custos envolvidos.

O desenvolvimento e inserção de novas tecnologias nos equipamentos utilizados para a inspeção não-intrusiva têm feito aumentar a área de aplicação, entretanto, mesmo sendo a opção mais aspirada em virtude das proposições acima, as técnicas não-intrusivas são muito

recentes quando confrontadas, por exemplo, com a Inspeção Visual Interna (IVI). Por tudo isso, engenheiros e técnicos responsáveis pelo planejamento da inspeção necessitam ainda se familiarizar com as técnicas para que possam ter confiança em suas aplicações. Para os desígnios desta prática, é considerado que a IVI compreenda o uso de métodos de ensaios superficiais, tais como os Líquidos Penetrantes (LP) e as Partículas Magnéticas (PM), quando pertinentes. Além do desconhecimento, a ampla variedade de métodos e equipamentos disponíveis, cada um com suas competências específicas e limitações, podem tornar complexa a tarefa de planejamento da inspeção não alcançando por vezes os resultados cobichados e conseqüentemente não justificando sua utilização.³¹

O importante é reconhecer que o emprego da inspeção não-intrusiva demanda uma transformação na estratégia de gerenciamento e execução da inspeção. E os métodos não-intrusivos tendem a ser mais elaborados quando confrontados com a inspeção visual interna, portanto, o controle deve ser mais rígido e os procedimentos (isto é, equipamentos, configurações e critérios) monitorados em todos os estágios para assegurar que os objetivos sejam alcançados.

Isso tem sido reconhecido pela indústria que com a edição de uma série de guias de uso para auxiliar os engenheiros e técnicos a estruturarem um programa de inspeção não intrusiva, a fim de orientar, justificar e planejar a INI visando à obtenção dos melhores resultados, pois estas guias possibilitam estabelecer diretrizes para a determinação de quando a mesma é apropriada, e as informações e documentos necessários, a definição dos requisitos para o método selecionado, a seleção dos métodos que atendam aos requisitos de inspeção e como devem ser avaliados os resultados. Uma seqüência da metodologia é indicada na Figura 2-22.³¹



Figura 2-22 – Vista geral do procedimento INI. ³¹

2.4.1. Avaliação da Integridade

A inspeção não-intrusiva demanda maiores cuidados em relação às partes do equipamento a serem inspecionadas, as descontinuidades e aos mecanismos de deterioração a serem detectados e aos métodos de inspeção a serem utilizados do que no caso da inspeção visual interna. Entretanto, muitos dos detalhes do planejamento permanecerão os mesmos para a INI e a IVI. Conseqüentemente muitos dos planejamentos tradicionais, e mais recentemente da inspeção baseada em risco (IBR), continuarão aplicáveis.

2.4.1.1. Perfil do Equipamento

A primeira etapa no processo de planejamento da inspeção não-intrusiva é realizar uma revisão dos aspectos de projeto, das condições de operação, e dos mecanismos de deterioração possíveis que possam afetar o equipamento em serviço. Este estudo deve ser compilado num documento denominado “perfil do equipamento”, que deve fazer parte da documentação objeto de auditoria e do próprio serviço de inspeção. As informações que devem existir no “perfil do equipamento” são as seguintes: ³¹

- Identificação e projeto
- Tipo de vaso e função
- Detalhes de operação e serviço
- Desenhos detalhados
- Modificações e reparos
- Resultados de inspeções anteriores
- Experiência geral
- Informações complementares
- Acessibilidade

- Requisitos de segurança
- Possíveis mecanismos de falhas e deterioração

2.4.1.2. Inspeção Baseada em Risco (IBR)

O estágio atual considera cada vez mais o risco de falha apresentado por qualquer equipamento ao estabelecer os intervalos de inspeção. O processo de inspeção baseada em risco (IBR) considera a probabilidade de falha do equipamento e a consequência desta falha para a determinação de uma matriz de risco. A frequência e a extensão da inspeção são então determinadas com base na matriz de risco. Uma análise IBR eficaz depende, sobretudo, de um bom conhecimento dos mecanismos de deterioração e taxas de crescimento, histórico de inspeção, condições operacionais, etc, isto é, muito do conhecimento que subsidia a IBR é o mesmo requerido para justificar e planejar a inspeção não-intrusiva (INI).

2.4.1.3. Avaliação do Risco de Corrosão (ACR)

Métodos diferentes de inspeção não-intrusiva apresentam diferentes capacidades de detecção e dimensionamento de descontinuidades, e conseqüentemente, o gestor da inspeção necessita de um conhecimento mais detalhado dos tipos e locais preferenciais das descontinuidades que podem aparecer num determinado item do equipamento do que uma inspeção visual interna. Assim, uma das fontes de informações chave para a avaliação da INI é a avaliação do risco de corrosão (ARC) do inglês “Corrosion Risk Assessment” (CRA). Na prática, os sistemas de gerenciamento de integridade mais rigorosos já incorporam considerações do tipo de falha e probabilidade de deterioração esperada para cada vaso, uma vez que isso também é um requisito para a maioria das avaliações de IBR.³¹

A avaliação do risco de corrosão é uma revisão formal dos mecanismos de deterioração, nos quais um item em particular de uma planta possa estar suscetível, junto com a determinação antecipada dos níveis de deterioração. Tipicamente a avaliação do risco de corrosão considerará descontinuidades e deterioração tais como:³¹

- Corrosão uniforme.

- Corrosão localizada.
- Corrosão por pites.
- Erosão.
- Corrosão uniforme ou localizada em soldas.
- Perda ou dano ao *clad* ou *lining*.
- Trincas sob *clad* ou *lining*.
- Trincas em soldas ou próximas.
- Trincas próximas a bocais ou outras aberturas.
- Trincas em soldas internas de montagem ou de acessórios internos, etc.
- Corrosão sob tensão em metal de base.
- Fragilização por hidrogênio (empolamento, trinca em degraus).
- Falhas em selos, juntas do flange, faces do flange.
- Falhas em internos (normalmente não detectáveis pela INI).

Em adição, é importante considerar que diferentes e não usuais morfologias de falhas podem ocorrer (ex: corrosão microbológica) uma vez que esses aspectos podem influenciar a seleção e a capacidade dos métodos de inspeção não-intrusiva.

As avaliações do risco de corrosão podem ser realizadas nos mais diferentes níveis de acordo com a organização, sendo muito importante esclarecer qual nível que esta sendo usado devido ao planejamento da INI. Os tipos de ARC a seguir foram definidos para descrever a natureza e a extensão da ARC realizada. Esses tipos de ARC são usados no processo decisório da INI.³¹

- ARC Tipo 1 – é uma avaliação básica, onde os resultados existentes de inspeções anteriores e os mecanismos de deterioração esperados são baseados na experiência prévia com outros equipamentos similares. Esse tipo de avaliação é o mínimo possível de acordo com as exigências do planejamento da inspeção pela IBR. Ela seria realizada e analisada por pessoal competente de grupos de disciplina incluindo, por

exemplo, inspetores de equipamentos, engenheiros e técnicos de metalurgia e de materiais, e de processamento.

- ARC Tipo 2 - considerar os resultados de inspeções anteriores e previsões teóricas, baseadas nas informações do processo e dos materiais, oferecendo considerações documentadas sobre as condições operacionais do equipamento, histórico de modificações ou reparos, o monitoramento da corrosão e os mecanismos de danos e sua evolução e localização.
- ARC Tipo 3 - É uma avaliação ampla que inclui um estudo teórico aprofundado, baseado nas informações do processo e dos materiais, onde os aspectos considerados são: os mecanismos de deterioração e sua evolução e localização, além da probabilidade de identificação incorreta ou omissão de mecanismos de deterioração.
- ARC Tipo 4 - atende as exigências da avaliação do tipo 3, no que diz respeito ao estudo teórico, porém também inclui considerações sobre os resultados da inspeção de um vaso de pelo menos uma inspeção em serviço, e algumas interpretações/correlações da deterioração “prevista” e condições encontradas pela inspeção também devem ser levadas em consideração.

2.4.1.4. Avaliação da Integridade Estrutural

É importante possuir um conhecimento da aptidão do equipamento de resistir a danos estruturais causados pela deterioração. De forma mais simplificada, conhecimento das condições operacionais e da corrosão permissível incorporadas ainda no estágio do desenho. Em algumas circunstâncias, no entanto, um maior conhecimento de avaliação de adequação de serviço será necessário (por exemplo, usando um API 579 ²⁹), que oferecerá informações sobre, por exemplo, dimensões críticas de trincas. Todas essas informações fornecem, ao gestor de inspeção, evidências do quanto resistente é um equipamento ao mecanismo de deterioração, o que, na verdade influenciará na eficiência da inspeção requerida para oferecer garantias de que falhas não ocorrerão durante a campanha do equipamento.

2.4.1.5. Experiência Operacional

Quando o usuário possui vasta experiência sobre o equipamento ou outro semelhante com a mesma função ou serviço similar, a experiência operacional fornece uma colaboração muito útil às avaliações teóricas descritas anteriormente. Históricos de inspeções contendo tipos e dimensões de qualquer descontinuidade encontrada em serviço (ou até mesmo sua ausência) oferecem uma indicação muito clara sobre quais requisitos de inspeção serão necessários. É claro que isso só é verdadeiro se a inspeção realizada for apropriada para o mecanismo de deterioração previsto.

2.4.2. Processo Decisório

O estudo da integridade do equipamento e das informações adquiridas da última inspeção faz-se necessário à definição se o equipamento pode ser inspecionado de maneira não-intrusiva ou se é necessário alternativas, como as inspeções intrusivas. Esse processo decisório é o segundo estágio do procedimento de planejamento da INI como mostrado na Figura 2-23. Através da aplicação de um fluxograma, é determinada a utilização ou não da INI para um dado equipamento.

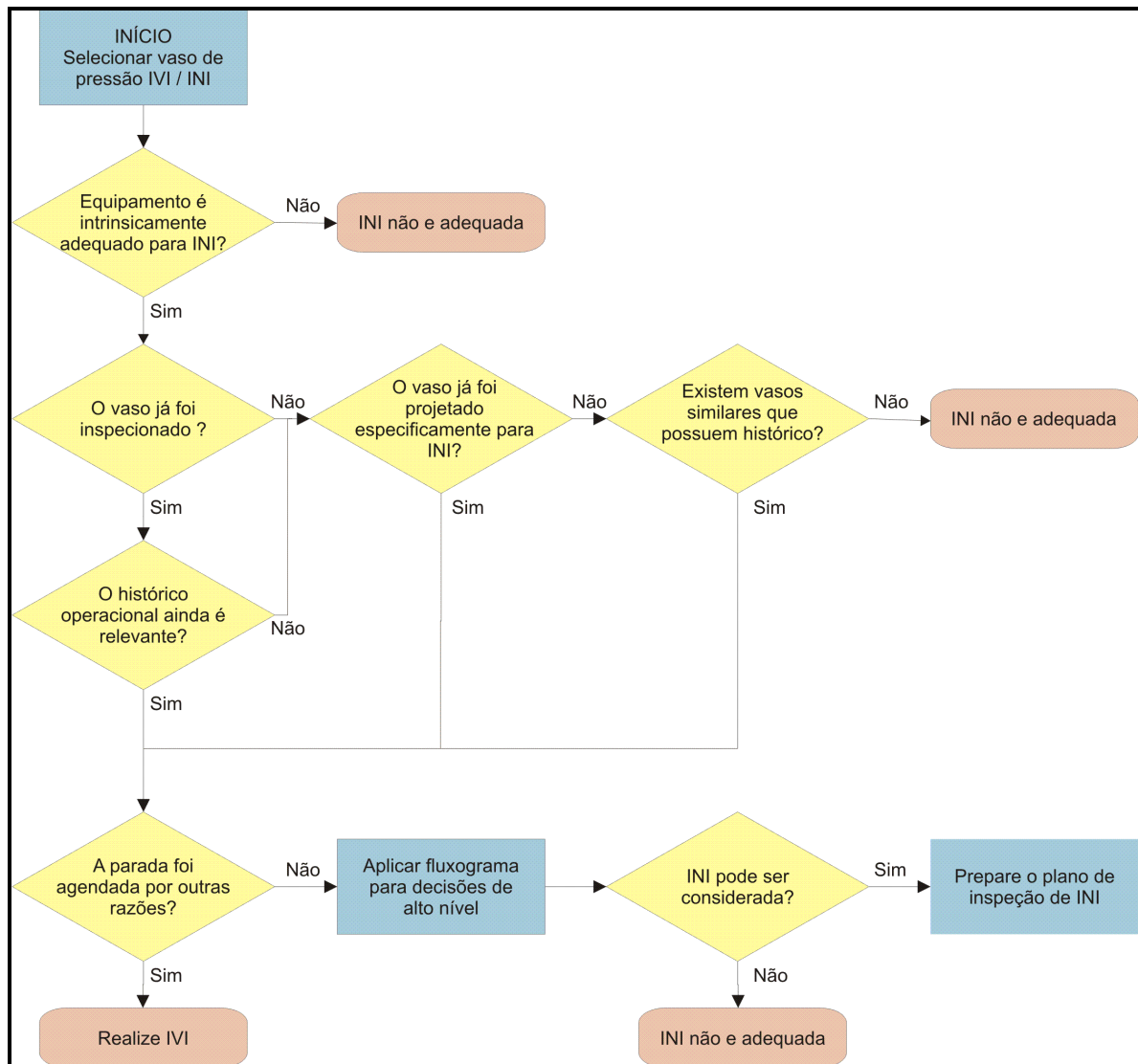


Figura 2-23 – Fluxograma para seleção da INI. ³¹

O processo pode ser dividido em dois principais estágios chamados de seleção e o processo decisório de alto nível.

2.4.2.1. Seleção de Regiões

O escopo desse estágio é identificar com precisão os equipamentos que não possam ser inspecionados por INI ou que carecem das informações necessárias para seu desenvolvimento. O processo seleção é baseado na resposta do usuário para cada uma das perguntas a seguir:

- O vaso é intrinsecamente adequado para INI?
- O vaso já foi inspecionado antes? O seu histórico é relevante?
- O vaso foi projetado especificamente para INI?
- Existem vasos similares com histórico de serviço?
- A parada foi agendada por outras razões?

2.4.2.2. Processo Decisório de Alto Nível

Este processo consiste na existência de informação suficiente para se planejar a inspeção não-intrusiva e qual a eficiência requerida. Isto demanda considerações sobre a confiabilidade das previsões sobre os tipos de mecanismos de danos em potencial e suas localizações; a eficiência das inspeções anteriores e a severidade e a taxa de deterioração conhecida ou esperada. Isso é adquirido através do processo decisório de alto nível, que busca determinar se a INI é, em princípio, apropriada, fundamentado intimamente no emprego do “processo decisório” mostrado na Figura 2-24. Esse fluxograma conduz o usuário a decidir se é ou não adequado em princípio à utilização da INI, baseado nas categorias selecionadas para cada um dos três fatores: ³¹

- Confiança na capacidade de prever os tipos e localizações dos mecanismos de deterioração;
- Eficiência das inspeções anteriores;
- Severidade da taxa de deterioração.

Respondidas as questões acima, em conjunto com o fluxograma, a adequação do equipamento para a inspeção não intrusivas pode ser lida a partir da figura.

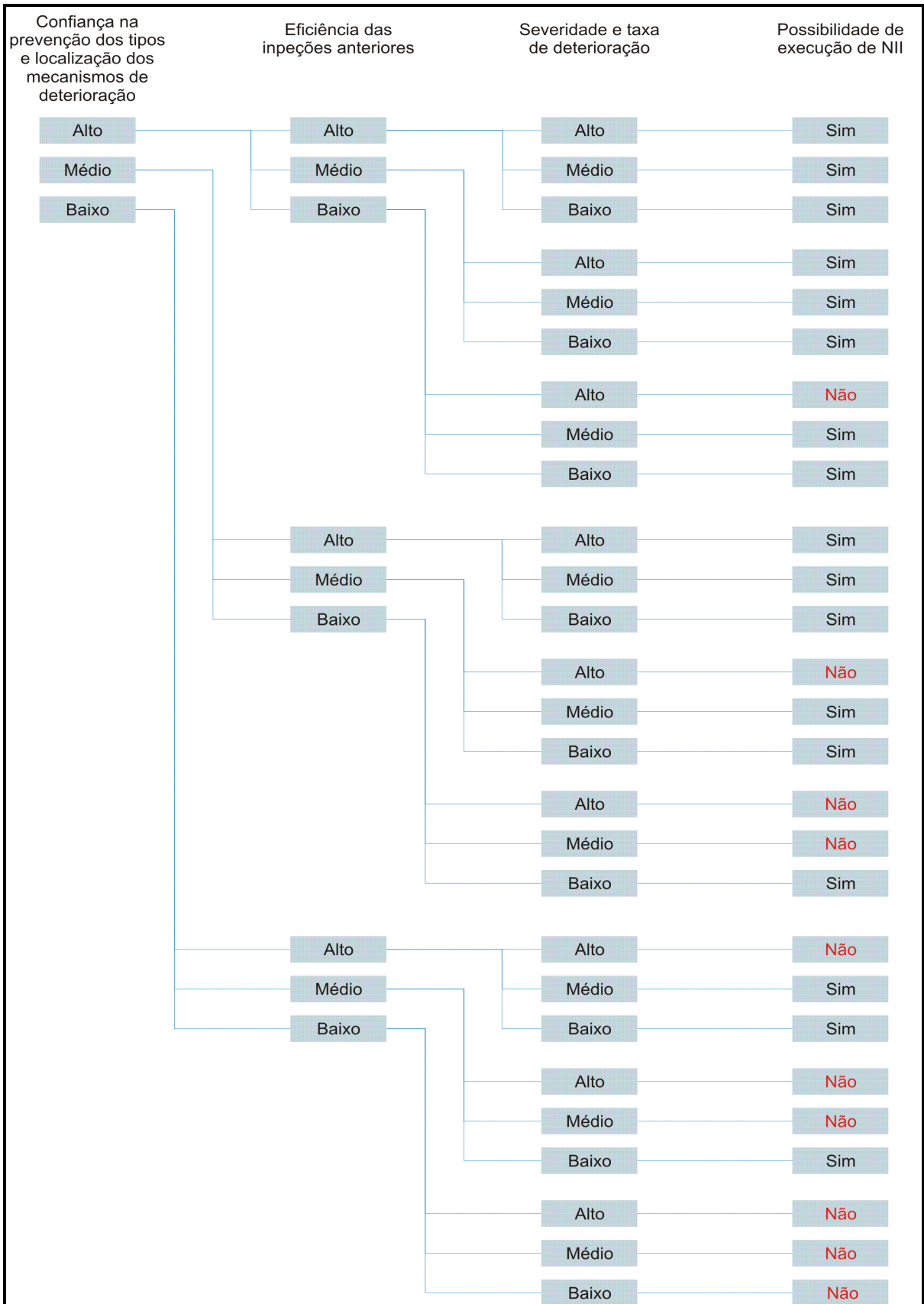


Figura 2-24 - Fluxograma de Decisão de Alto Nível.³¹

2.4.2.2.1 Capacidade de Prever os Tipos e Localizações dos Mecanismos de Deterioração

A decisão sobre a INI ser adequada está essencialmente baseada no entendimento de todos os mecanismos de deterioração presentes, e, por conseguinte a especificação dos métodos de ensaios capazes de identificar as discontinuidades associadas a esses mecanismos. A capacidade de prever os mecanismos de danos relacionados ao equipamento em tese e aonde irão preferencialmente incidir esta sujeito a múltiplos fatores. Evidências oriundas de duas fontes podem ser levadas em consideração, como descrito abaixo:

- Teórico: A natureza dos sistemas de gestão de integridade utilizados.
- Prático: Informações disponíveis de equipamentos iguais ou similares, de mesma função ou similares (como definido anteriormente).

O uso de informações práticas na predição dos tipos de mecanismos e suas localizações nos conduz a análise dos resultados das inspeções anteriores, desde o planejamento até a inspeção atual e que uma apreciação de ACR tipo 1, seja no mínimo realizada. A credibilidade está ligada à quantidade de informações disponíveis, isto é, número de equipamentos e inspeções prévias. O plano de gestão da integridade tem que assegurar que os fatores acima serão avaliados por uma equipe competente com formação em certas áreas de conhecimento incluindo, por exemplo, inspeção, materiais e metalurgia, processamento e engenharia. As categorias de confiabilidade são definidas como a seguir, considerando os fatores acima: ¹⁸

- Alta - avaliação completa dos mecanismos de deterioração em potencial oferece uma segurança de que todos estes mecanismos e locais preferenciais tenham sido previstos, devendo estar de acordo com os requisitos da ARC tipo 4. Considera a larga experiência do usuário e a disponibilidade de dados de pelo menos oito inspeções no total e não menos que duas inspeções para o vaso com mais tempo de operação utilizado na avaliação e que pelo menos uma delas tenha sido uma inspeção visual (interna ou externa, dependendo da natureza da deterioração).
- Média - avaliação completa dos mecanismos de deterioração em potencial é utilizada provavelmente na previsão da maioria dos mecanismos relevantes e os locais preferenciais de ocorrência, porém, não pode desprezar a possibilidade de outros

mecanismos de deterioração, devendo estar de acordo com os requisitos da ARC tipo 2.

- Baixa - quando não for possível a inclusão nas categorias Alta e Média citadas acima.

2.4.2.2.2 Eficiência das Inspeções Anteriores

É uma avaliação adicional da confiança na habilidade de se antever todos os tipos de falhas relevantes sendo também utilizada na definição da eficiência demandada pelos métodos de ensaios empregados na inspeção atual, como um meio de assegurar que a probabilidade de uma falha está sendo gerenciada. O intuito é confrontar a eficiência da última inspeção realizada à inspeção visual interna convencional, isto é, consiste de uma avaliação visual do material e, quando aplicável, ensaio por Partícula Magnética ou Líquido Penetrante.

Aplicam-se as seguintes definições de categoria: ³¹

- Alta - a inspeção realizada apresenta uma probabilidade na detecção de descontinuidades superior a inspeção visual interna.
- Média - a inspeção realizada possui uma probabilidade na detecção de descontinuidades similar a apresentada pela inspeção visual interna.
- Baixa - a inspeção realizada possui uma probabilidade na detecção de descontinuidades inferior a apresentada pela inspeção visual interna.

A deliberação de qual categoria optar é devido à probabilidade de detecção dos métodos não destrutivos empregados no que diz respeito aos tipos de descontinuidades, que é dado pela eficiência atribuída a cada método para cada tipo de descontinuidade, e da cobertura da inspeção e sua relação com a localização de descontinuidades.

A ciência do usuário sobre quais tipos de falhas devem ser consideradas e onde essas falhas podem ocorrer é importante na eficiência do processo. Caso contrário, se o usuário não possui conhecimento ou experiência que permita prever falhas em potencial logo uma inspeção de grande cobertura, porém usando apenas um método (que seja capaz de detectar apenas um tipo de descontinuidade) pode resultar numa baixa eficiência.

2.4.2.2.3 Severidade da taxa de deterioração

No planejamento, o usuário considerará a zona mais afetada do vaso e as seguintes definições de categorias se aplicam:

- Alta - os mecanismos de deterioração e suas taxas são tais, que falhas do vaso ou rejeições baseadas nos resultados da inspeção possam ser razoavelmente esperados pelo resto da vida da planta.
- Média - os mecanismos de deterioração e suas taxas são tais que podem ser observáveis durante o tempo de vida da planta, porém não se constituem em uma ameaça à integridade do vaso durante esse período.
- Baixa - não há nenhum mecanismo de deterioração esperado ou a deterioração é superficial.

2.4.3. Planejamento da Inspeção

O planejamento da inspeção tem como principal escopo constituir uma estratégia economicamente sustentável que forneça um grau de confiabilidade aceitável para uma operação com segurança do equipamento até a próxima inspeção. A tarefa é complexa, pois requer a análise de alguns fatores, como o detalhamento dos aspectos técnicos referentes aos impactos das condições de operação do equipamento sob a presença da degradação na dotação financeira planejada para o mesmo, e os requisitos de legislação ambiental e de segurança, sem contar o aspecto técnico.

O planejamento da INI para o equipamento define (conforme indicado na Figura 2-255):³¹

- Se a inspeção pretende confirmar a inexistência de degradação, ou se é para definir a dimensão ou extensão de um mecanismo de dano ativo conhecido;
- Quais partes que devem ser inspecionadas, que métodos de inspeção devem ser utilizados;
- Qual extensão deve ser inspecionada e;

- Quais as qualificações dos profissionais envolvidos na inspeção, operação, manutenção e SMS.

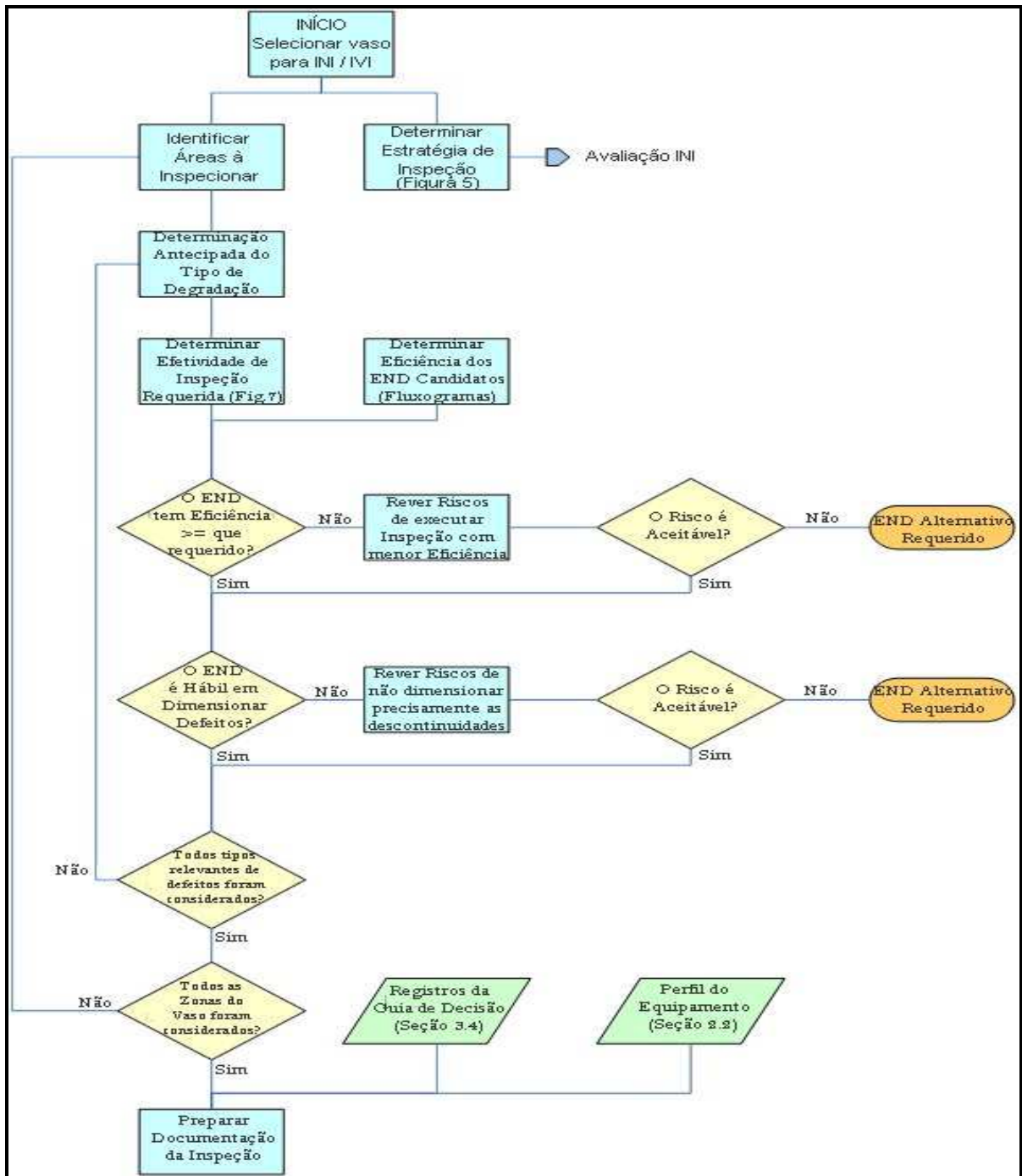


Figura 2-255- Fluxograma do Planejamento da Inspeção. ³¹

Ainda existem muitas considerações suplementares no planejamento da inspeção onde uma atenção especial deve ser dada aos seguintes pontos:

- Se a inspeção será realizada com o equipamento em ou fora de operação.
- Temperatura existente durante a operação.
- Se a inspeção é o caminho crítico da parada?
- Se a inspeção está sendo realizada por uma condição especial (parada de emergência)?
- Requisitos necessários para comparar resultados com inspeções anteriores.
- Limitações de tempo e de custo.

O planejamento da inspeção é conduzido por um grupo de indivíduos com especialidades em diferentes áreas (por exemplo, produção, processo, metalurgia, manutenção, inspeção), com o objetivo de garantir que a inspeção seja a mais efetiva independentemente dos aspectos negativos impostos algumas vezes por interesses conflitantes das partes envolvidas.

2.4.3.1. Tipos de Estratégia de Inspeção

O desígnio de uma inspeção é prover com um grau elevado de segurança, de que qualquer deterioração com o potencial de comprometer a integridade do equipamento seja detectada antes da próxima inspeção, contudo para obter esse objetivo os detalhes específicos do equipamento devem ser considerados, assim como os mecanismos de danos previstos ou não, o seu potencial de depreciar a integridade e o grau de confiança nos métodos de inspeção utilizados.³¹

Considerando os pontos que podem ser afetados pelos objetivos da inspeção quando ocorrer alguma mudança do plano de inspeção especificado, tendo em mente que esses não podem ser definidos em detalhes no plano de inspeção (que define apenas o escopo do trabalho para o grupo de inspeção).

As diferenças nessas condições constituem um embasamento bastante favorável para categorizar o tipo de inspeção de forma a facilitar o gerenciamento das possíveis não-conformidades. Finalmente, três tipos de inspeção foram definidos, como apresentado na Tabela 2-4. Existe uma clara diferença na ênfase de cada tipo de inspeção sendo útil no

estabelecimento do planejamento da inspeção, bem como posteriormente no tratamento das não-conformidades.

Tabela 2-4- Definição dos Tipos de Inspeção. ³¹

Tipo	Definição
A	Não é esperada a ocorrência do Mecanismo de degradação. Inspeção requerida para confirmar a não existência do mecanismo de degradação.
B	Esperado a ocorrência do Mecanismo de degradação com progressão baixa ou média. Localização do dano pode ser prevista. Não se espera que o mecanismo de dano impacte (antecipando parada não programada) na integridade do vaso (tipicamente pelo menos dois períodos de parada total). Inspeção requerida para confirmar as definições de risco de corrosão previstas.
C	Esperado a ocorrência da Degradação com progressão média ou alta. Localização da degradação não pode ser antecipada. Pode impactar mediamente na integridade do vaso (período de duas paradas). Inspeção requerida para confirmar inexistência de descontinuidades com tamanho crítico.

2.4.3.2. Definição do Tipo de Inspeção, dos Locais e da Degradação

Considerando a probabilidade, extensão e taxa de degradação é esperado um determinado mecanismo de dano (baseado na análise do risco de corrosão), e este servirá como suporte para identificar o tipo de inspeção apropriada.

Os métodos de inspeção não-intrusiva apresentam diferentes capacidades e limitações para diferentes geometrias e materiais e podem ser fortemente influenciados por aspectos tais como degradação e tipos de falha. Em adição, é geralmente impraticável executar inspeção não-intrusiva em toda a superfície do equipamento. A aproximação sugerida então para a

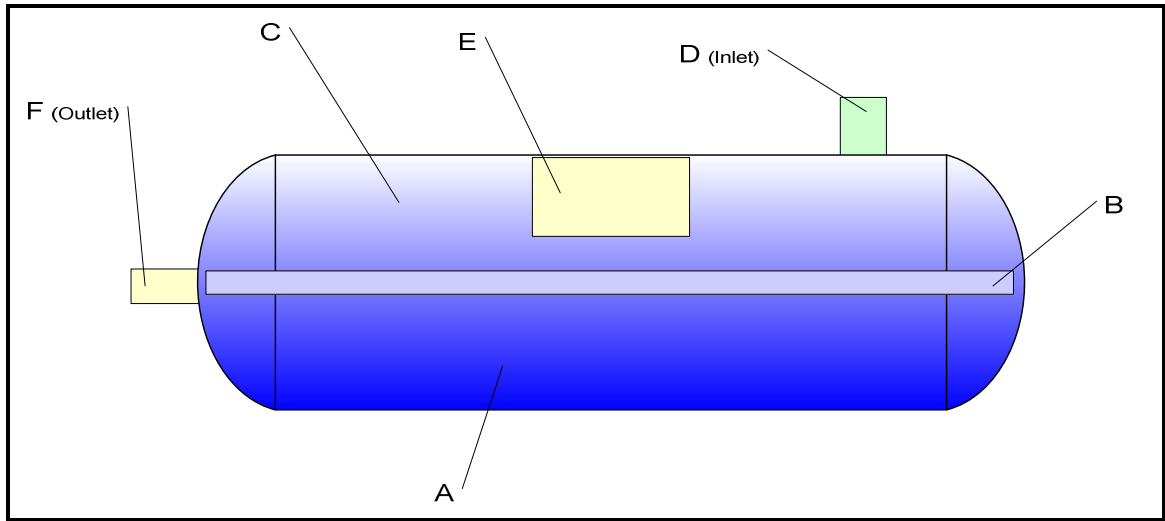
seleção do método é então no conceito de locais (“zonas”) representando diferentes combinações de probabilidade de degradação, resistência à degradação e facilidade de inspeção. Fatores tais como geometria, material, probabilidade de degradação, tipos de degradação e resultados de inspeções anteriores devem todos ser considerados quando são identificadas essas diferentes zonas.³¹

No caso da inspeção por amostragem de uma área, pode ser possível usar o resultado para fazer previsões acerca da condição de regiões não inspecionadas da mesma, mas o resultado pode fornecer pouca ou nenhuma informação acerca da condição das demais zonas. Exemplos de características que devam ser consideradas quando da divisão do vaso em zonas incluem:¹⁸

- Soldas longitudinais.
- Soldas circunferenciais.
- Soldas de acessórios.
- Soldas de bocais.
- Metal de base com pequena probabilidade de corrosão/erosão.
- Metal de base com média probabilidade de corrosão/erosão.
- Metal de base com a maior probabilidade de corrosão/erosão (naquele vaso específico).
- Regiões corroídas conhecidas na chapa.
- Suportes internos com impacto na integridade.

O princípio inerente é que cada zona individual deva ser “homogênea” de forma que qualquer parte selecionada da zona é representativa das partes restantes em termos de probabilidade de mecanismos de degradação, tipo provável de degradação, resistência a degradação e tipo(s) de método(s) de inspeção que podem ser aplicados, conforme Figura 2-266. Os tipos de degradação devem ser determinados de acordo com a morfologia da falha associada, pois esse aspecto é o que mais influencia na escolha do método de inspeção apropriado, sendo que a maioria dos casos de falhas pode ser categorizada como redução generalizada ou localizada de espessura, ou trinca localizada ou generalizada, embora

considerações devam ser sempre dadas devido aos diferentes mecanismos de dano que resultam em descontinuidades com diferentes detectabilidade pelos END's.



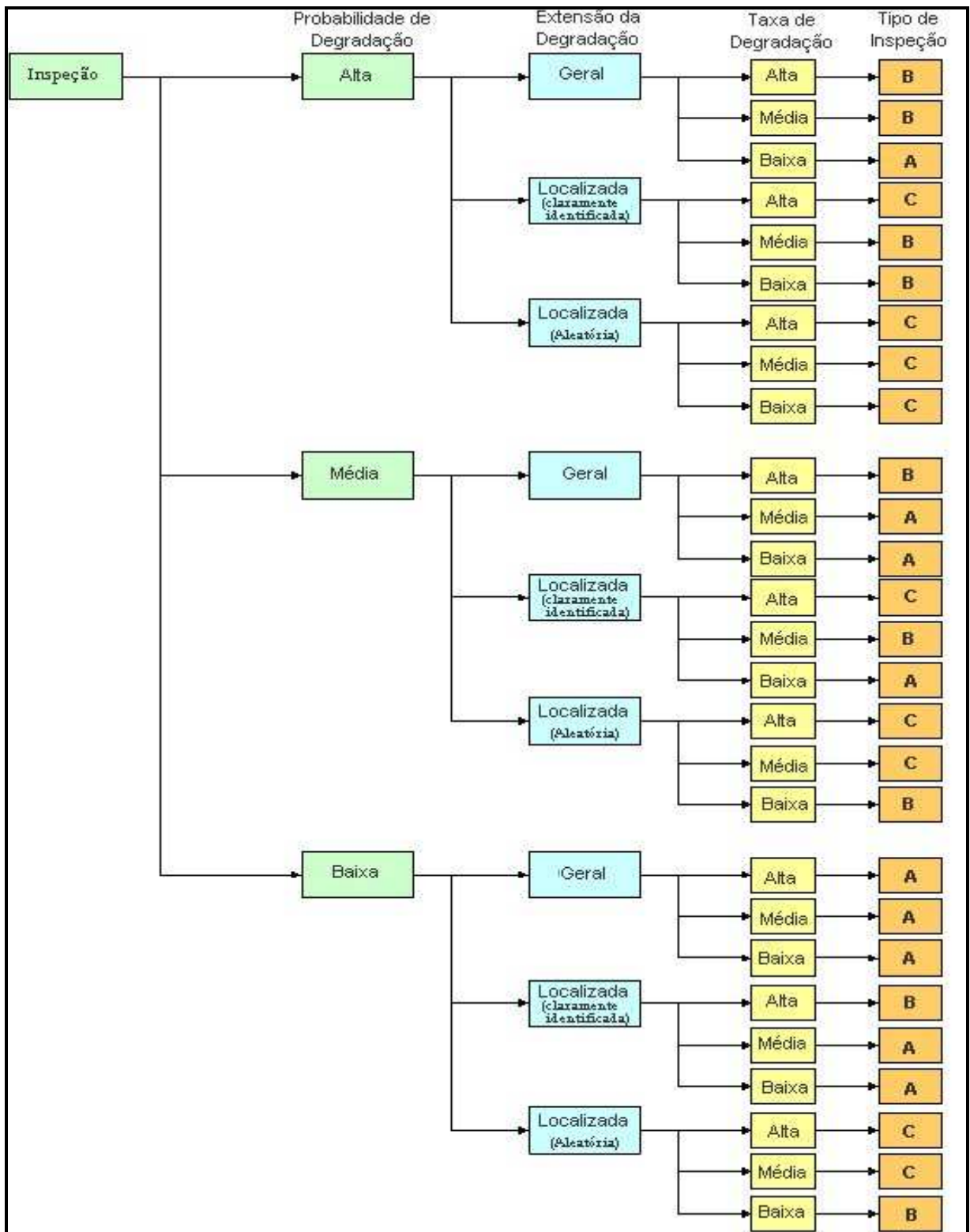
Zona	Identificador
Fase líquida	A
Interface	B
Fase Vapor	C
Inlet = Entrada (líquido)	D
Corrosão previamente reportada	E
Outlet = Saída (fases misturadas)	F

Figura 2-266 - Exemplo de Zonas do Vaso.³¹

De forma a simplificar o processo de definição de zonas de inspeção diferenciadas, é recomendado que os três principais aspectos “projeto”, “condição operacional” e “histórico de inspeção” sejam considerados separadamente.

O tipo de inspeção resultante pode ser então escolhido no fluxograma, (vide Figura 2-277). Como em todos os aspectos do processo de avaliação, o resultado assim obtido

deveria ser comparado com o bom senso da engenharia, e se necessário exhaustivamente re-estudado, um registro do processo decisório deve ser mantido.



Nota: Os tipos de inspeção são os definidos na Tabela 2-3.

Figura 2-277- Seleção do Tipo de Inspeção. ³¹

2.4.3.3. Efetividade da Inspeção

A efetividade apropriada para um local em particular dependerá da probabilidade de ocorrer o dano, dos resultados de inspeções anteriormente realizadas, da resistência ao dano, e a consequência de uma falha do equipamento, estes aspectos recomendam a execução de uma inspeção rigorosa (cobertura total com método de inspeção bem sensível, ou seja, alta probabilidade de detecção de falhas) onde a probabilidade de degradação é alta, a resistência ao dano é baixa e a consequência da falha é alta. Entretanto um método de inspeção de menor custo e rápido, para apenas indicar regiões críticas (*screening*) ou uma inspeção por amostragem pode ser aceitável para outras zonas do equipamento onde a consequência de falha é baixa. Algumas zonas podem não necessitar de inspeção. Um processo decisório sob a forma de fluxograma é apresentado na Figura 2-288. ³¹

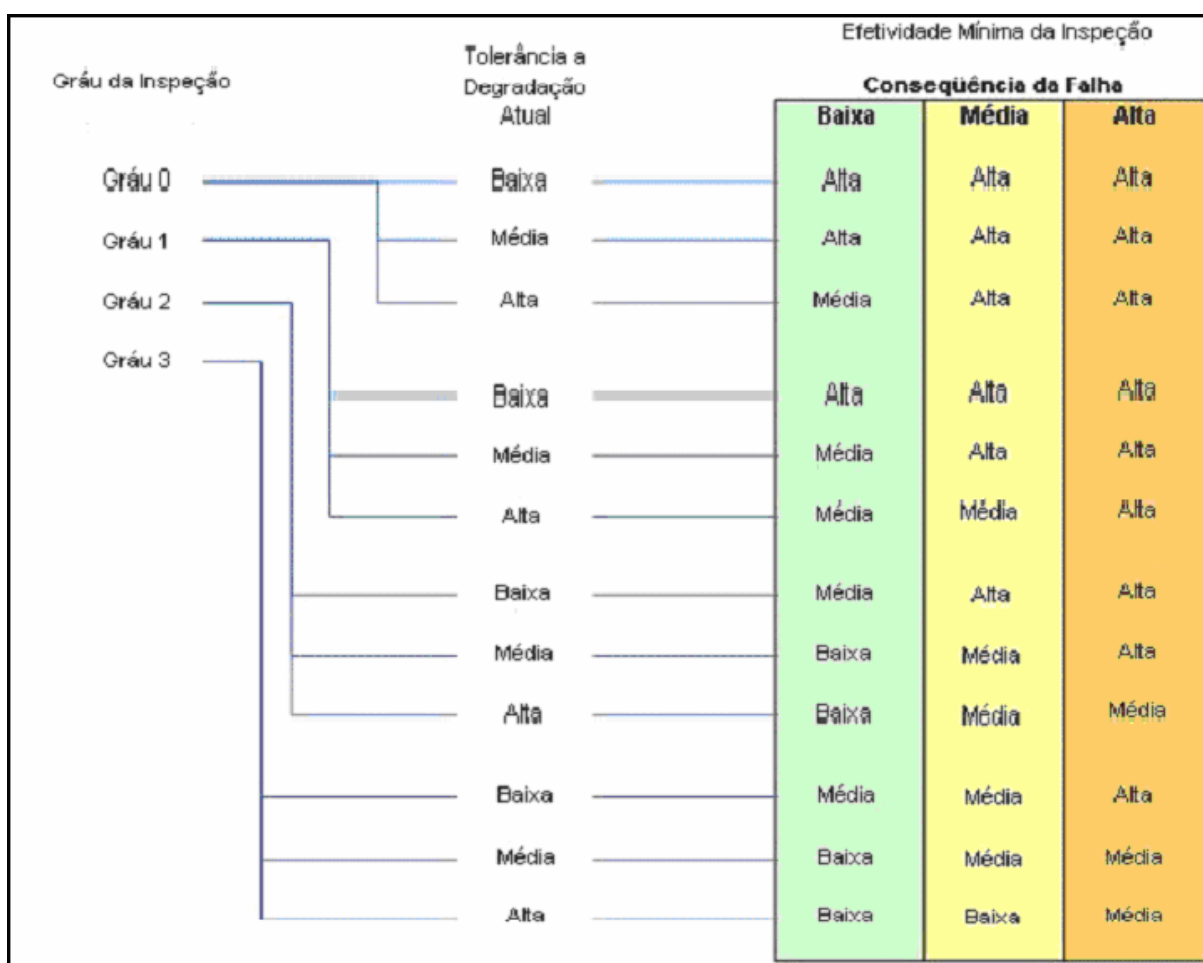


Figura 2-288 - Fluxograma de Efetividade de Inspeção. ³¹

O sistema de gradação da inspeção baseia-se nos princípios ditados pelo Instituto de Energia Europeu, onde os equipamentos são graduados entre 0 e 3. Este é baseado nas inspeções previamente realizadas e na taxa e previsibilidade da deterioração do guia do Instituto de Energia para inspeção de vasos de pressão e tubulações.

A efetividade é determinada como um conceito qualitativo da probabilidade de detecção das falhas, levando em conta o alcance do método de inspeção. Assumindo uma distribuição uniforme de falhas, Efetividade da inspeção = função (POD, Cobertura) três classes de efetividade são empregadas (alta, média e baixa), sendo definidas pela comparação com a efetividade da inspeção visual tomada como referência. Alta efetividade significa uma efetividade maior do que a inspeção visual, enquanto uma média seria similar a da inspeção visual e baixa a uma efetividade menor do que a visual.³¹

Uma alta confiabilidade no método de inspeção justifica uma cobertura localizada, porém uma confiabilidade média implica em cobertura localizada acrescida de cobertura exploratória e uma baixa confiabilidade requer uma cobertura global. A cobertura da inspeção requerida apresenta uma influência em quais áreas devem ser inspecionadas, que por sua vez, influencia no método de inspeção a ser selecionado.

2.4.3.4. Seleção do Método de Inspeção

Distintos métodos de END têm diferentes capacidades, pontos fortes e limitações. O escopo da seleção no planejamento da inspeção é dar garantias de que os métodos empregados sejam apropriados para a ocasião correta (localização da descontinuidade, tipo de degradação, e a extensão prevista para o dano) de maneira a garantir a integridade do equipamento entre inspeções consecutivas.

A natureza da degradação esperada para cada zona costuma variar, assim como a efetividade requerida para a inspeção, portanto, deve-se considerar a aplicação de um método específico para a zona considerada, e assim sendo garantir que a integridade de cada zona selecionada esteja de acordo com certo nível mínimo, imprescindível para garantia da integridade irrestrita do equipamento considerado.³¹

Para facilitar a seleção do método apropriado para aplicação foi desenvolvido um número de fluxogramas de seleção para os ensaios mais utilizados na inspeção não-intrusiva, como apresentado no anexo B, porém há casos nos quais o responsável pela inspeção tem

conhecimento/experiência para recomendar um método que esteja disponível e que atenda aos requisitos da inspeção.

É possível que para a combinação dos fatores considerados, vários métodos apresentem efetividade maior que a mínima requerida. Enquanto sob circunstâncias ideais o melhor método possa ser selecionado para cada zona, em alguns casos a decisão de quais os métodos aceitáveis para usar será auxiliada por considerações não técnicas, tais como: custos e praticidade. Adicionalmente, é importante ponderar sobre a compatibilidade entre as inspeções futuras e as realizadas anteriormente, de forma que o acompanhamento de qualquer mecanismo de dano seja apropriado, e se existe a necessidade de se considerar as continuidades entre inspeções. O uso de diferentes métodos de inspeção pode tornar complexa a comparação dos resultados (particularmente quando modificando de inspeção invasiva para não-invasiva), contudo os impactos destas mudanças podem ser minimizados com os cuidados ao explicitar o critério de registro e o formato de apresentação dos resultados.³¹

Se não existe nenhum método que alcance o requisito mínimo é recomendável que seja levantado o risco de não inspecionar, ou analisar as implicações de utilizar um método de inspeção com efetividade reduzida para o mecanismo de dano encontrado. Identificado o método que atenda o critério de eficiência, considera-se o método escolhido de acordo com sua capacidade de dimensionar quaisquer descontinuidades localizadas durante a inspeção, pois, estes cuidados podem não comprometer a disposição de realizar ou não a inspeção não-intrusiva, mas permitem a identificação prévia do procedimento a ser adotado caso se deparem com descontinuidades.

O processo de seleção do método é realizado para cada tipo de degradação em cada zona sob consideração, repetindo-se nas subseqüentes zonas até que o plano de inspeção seja estabelecido no equipamento completo, sendo que a efetividade do método de inspeção empregado anteriormente tem uma influência direta nos requisitos da inspeção que está sendo planejada e pode determinar se a inspeção não intrusiva é recomendada para o caso sob consideração. Conseqüentemente, no planejamento para a atual inspeção o responsável deve considerar as implicações potenciais de a provável efetividade ser alcançada nos requisitos para inspeções futuras.

Quando se trabalha com o estabelecimento dos riscos e das probabilidades de falha de uma forma mais quantitativa no processo de planejamento da inspeção deve-se considerar o impacto desta na mitigação desses riscos, pois o requisito é evidenciar que a exposição ao risco continua a ser abaixo de um valor de referência estabelecido, tipicamente quantificado

em unidades de probabilidade. Portanto nesses eventos é necessário considerar a probabilidade estatística de que a inspeção executada encontrará qualquer degradação presente, e que a degradação mais significativa foi detectada e dimensionada. A inspeção pode apenas reduzir a probabilidade da falha, não a consequência, pois onde a consequência da falha é alta, a inspeção terá a missão de manter a probabilidade de falha em baixos níveis. Considerando a probabilidade de falha prevista (sem inspeção) ser alta, então deve haver uma alta confiabilidade na capacidade e efetividade do método de inspeção para detectar (e corretamente classificar) falhas ou degradações prejudiciais a integridade do equipamento.³¹

2.4.3.5. Documentação e Revisão da Inspeção

Todas as informações geradas pelos processos decisórios da INI devem fazer parte da documentação da inspeção, que é um pacote completo de cada equipamento (na forma de papel ou mídia magnética) contendo todos os dados para a realização da inspeção, estas pastas foram preparadas pelo organismo que gerencia a atuação da inspeção em conjunto com o operador da planta previamente a execução da inspeção.

As observações e os relatórios gerados durante a inspeção devem ser anexados a pasta do equipamento a fim de fazer parte do histórico, e assim poder subsidiar os profissionais sobre a integridade do equipamento e com isto garantir a segurança operacional das instalações e das pessoas que trabalham nela.

O plano de inspeção forma a base para a maioria das atividades subseqüentes então é importante que seja revisado antes de sua implementação. No mínimo esse processo de revisão deve considerar o seguinte:

- Se todas as discontinuidades são identificadas no processo de ARC;
- Os locais com potenciais de degradação foram considerados nos planos de inspeção;
- O plano de inspeção é consistente com os tipos de inspeção e com os resultados da(s) inspeção(ções) anterior(res);
- Os planos de inspeção incluem detalhes sobre o método, cobertura, procedimentos, equipamentos e resolução;

- Existe algum contratempo em termos de acesso, remoção de isolamento, presença de restrições (por exemplo, bandeja de condutores elétricos, etc.);
- Requisitos de relatórios.

O processo de revisão da inspeção deve particularmente indicar qualquer zona onde a efetividade da inspeção foi decrescida para permitir a realização da inspeção por métodos não-intrusivos, com o devido impacto deste sobre o risco de acidentes na planta e os intervalos de inspeção subsequentes. Registros detalhados do processo de revisão devem ser armazenados e incorporados na documentação completa do planeamento.³¹

2.4.4. Avaliação da Inspeção

Quando uma Inspeção Não-Intrusiva (INI) for executada, o plano de inspeção será desenvolvido através de objetivos especificamente determinados, atendendo o definido pelos critérios de IBR (Inspeção Baseada no Risco), CRA (Avaliação do Risco da Corrosão) ou Taxa de Risco. Onde estes objetivos tiverem divergência com o plano, estes devem ser negociados de um modo consistente. Na conclusão da inspeção e entrega do relatório de inspeção deve ser realizada uma minuciosa revisão no relatório. Este deve incluir considerações no plano de inspeção para os seguintes itens de cada trabalho:

- Método;
- Procedimento;
- Qualidade/Confiabilidade dos dados;
- Localização;
- Cobertura (extensão).

Isto implica a avaliação dos métodos de ensaios não destrutivos quanto a sua sensibilidade específica para determinados tipos de defeitos, para considerarmos se um método de inspeção alternativo é aceitável para uma determinada inspeção, é importante considerar a natureza da degradação esperada, se alguma for esperada, e a sensibilidade do

novo método para detecção e caracterização comparada com o método originalmente especificado. O procedimento usado para execução da inspeção normalmente irá afetar diversos parâmetros de desempenho da inspeção, incluindo o POD, contudo o sucesso dependerá do tipo de inspeção (A, B, C) especificado no plano de inspeção, pois o POD necessário irá ser modificado em função da sensibilidade.³¹

A identificação confiável dos defeitos depende da interpretação e da qualidade dos dados de inspeção. É difícil definir os limites do que constitui qualidade de dados aceitável, e isto por si só é normalmente determinado pelo método de END. Todavia, existe um número de fatores não definidos diretamente no procedimento (por exemplo: qualidade da superfície, ruídos e etc.) que podem afetar a qualidade dos dados, e quando uma não conformidade for encontrada uma inspeção visual deve ser realizada, ou o tempo entre inspeções reduzido.

2.4.5. Intervalo de Inspeção

Os processos de orientação das decisões nas guias de inspeção não intrusiva não costumam exigir uma avaliação muito abrangente em relação à CRA e a integridade, pois adota uma abordagem pragmática, coerente com o nível de conhecimento/informação que irá ser associado com equipamentos sob pressão e, conseqüentemente, os requisitos são geralmente especificados de forma conservadora. Existem duas abordagens que podem ser utilizadas para demonstrar que as inspeções efetuadas podem ser consideradas aceitáveis, a comparação com a inspeção visual interna (IVI) e uma de avaliação estatística da probabilidade de falha, porém é imperativo que seja mantido um registro de todos os fatores considerados durante a avaliação da inspeção independente da abordagem. Em particular, todas as decisões relativas à aceitação ou rejeição das eventuais não-conformidades identificadas e, subseqüentemente, o ajuste do intervalo de inspeção deve ser adequadamente registrado, a fim de permitir a revisão e controle, conforme necessário.

Embora a primeira abordagem seja amplamente utilizada e constituir a base para a orientação da decisão pode ser difícil de integrar em um processo detalhado de segurança uma vez que o desempenho do IVI não está bem definido. A segunda oferece uma abordagem pragmática para a apreciação na próxima inspeção com base no intervalo e na relativa eficácia da inspeção, em comparação com IVI.³¹

$$\text{Intervalo}_{INI} = R_{F \text{ Quality}} \times R_{F \text{ Coverage}} \times \text{Intervalo}_{IVI} \quad (\text{Equação 7})$$

$R_{F \text{ Quality}}$ = capacidade da inspeção

$R_{F \text{ Coverage}}$ = cobertura efetiva

Intervalo_{IVI} = Intervalo da Inspeção Visual Interna

Onde não há não-conformidade, o fator adequado é 1,0, portanto, concluído com êxito uma inspeção teria uma nova inspeção intervalo igual ao de uma inspeção IVI. A função $R_{F \text{ Quality}}$ é função da capacidade da inspeção realizada em identificar e quantificar adequadamente eventuais falhas presentes no item inspecionado como descrito na Figura 2-29. Ele combina um método de avaliação da inspeção, bem como os parâmetros e os procedimentos utilizados, e uma avaliação da qualidade dos dados obtidos a partir da inspeção. A avaliação é, pela sua natureza subjetiva e devem ser efetuadas por pessoal com experiência no uso e interpretação dos métodos de inspeção especificados e utilizados. A segunda função, $R_{F \text{ Coverage}}$ é função da cobertura efetiva alcançada em comparação com o especificado no início. Determinação da cobertura fator está descrita na Figura 2-0. Aqui a questão é garantir que o material tenha sido inspecionado suficientemente para permitir conclusões. Seguindo a lógica, os dois fatores podem ser avaliados e o intervalo de inspeção revisado determinado como uma proporção do intervalo normal da inspeção com base em considerações combinando o IRB e a IVI. É importante que qualquer intervalo de inspeção determinado com base na Figura 2-29 e Figura 2-290 deverão ser revistos por pessoal competente para assegurar que todos os fatos relevantes foram devidamente considerados na fixação do intervalo. Os resultados do processo de revisão e de quaisquer alterações ao intervalo inspeção devem ser registrados.³¹

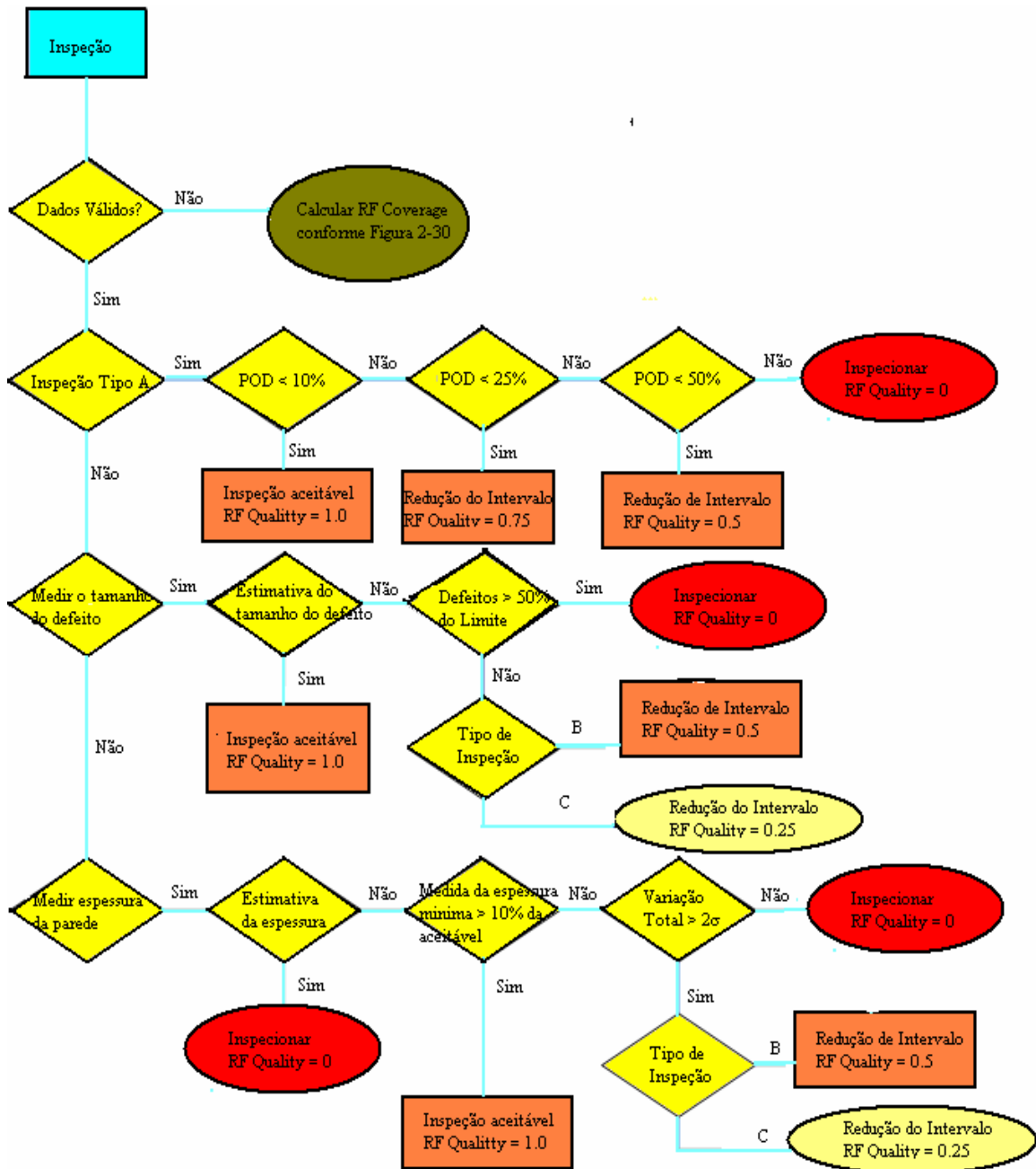


Figura 2-29– Avaliação dos Métodos/Performance da Não-Conformidades.³¹

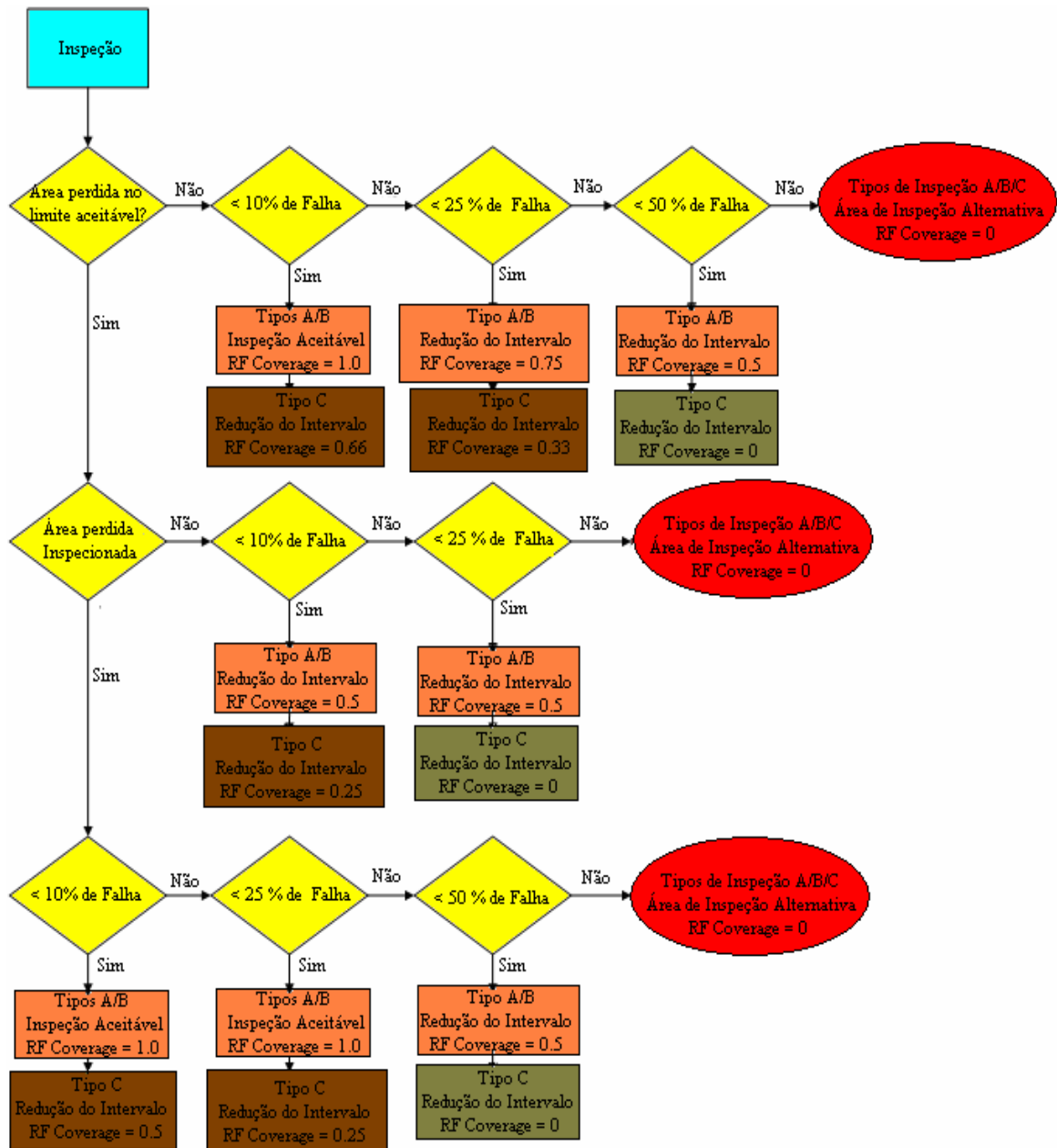


Figura 2-30– Avaliação de Não-Conformidades em Cobertura/Localização. ³¹

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Equipamentos

Os equipamentos propostos neste trabalho fazem parte do sistema de dessulfurização de gás natural, onde se realiza a absorção de H₂O, H₂S e CO₂ do gás natural, para evitar a formação de hidrato e o aumento da taxa de corrosão nos gasodutos. Este sistema compreende a exportação ou importação de gás em alta pressão e o processo de absorção ocorre em uma torre absorvedora constituída por um número finito de estágios, um vaso de expansão (flash) e uma coluna regeneradora.

A mistura é entra em uma torre de absorção onde os solventes Monoetanolamina (MEA) Dietanolamina (DEA) são utilizado para a extração do H₂S da corrente gasosa. A solução de MEA rica em H₂S é encaminhada para um vaso decantador que terá a finalidade de separar o hidrocarboneto da solução de MEA/DEA. Esta mistura é encaminhada para uma torre regeneradora que separará o H₂S da solução de MEA/DEA. A MEA/DEA regenerada é reciclada para a absorvedora e o H₂S é encaminhado para queima no flare.

Os equipamentos escolhidos são uma torre de contato de MEA, uma torre regeneradora de MEA, um vaso separador e dois permutadores, e suas características construtivas e funcionais são descritas no anexo C e D.

3.2. Cálculo do Risco

Pelo API 581 o cálculo do Risco pode ser determinado como uma função do tempo ($R(t)$), da combinação da probabilidade de falha ($P_f(t)$), e pela consequência ($C(t)$) da respectiva falha.

$$R(t) = P_f(t).C(t)$$

Este par falha/consequência é traçado para determinar risco de cada cenário em diferentes cenários, sendo expressos em uma matriz de risco característica.

Como explicado, o API 581 calcula a probabilidade de falha ($P_f(t)$), como o produto de três fatores, sendo uma frequência de falha genérica (gff) referente a características do equipamento, o gerenciamento do risco da unidade industrial onde o equipamento está instalado, F_{MS} , e o fator de dano (D_f) determinado pelos mecanismos de deterioração atuantes no equipamento. Como primeira aproximação desta frequência é sugerido se utilizar uma frequência de falha genérica, que foi calculada a partir de dados públicos para diversos equipamentos, e disponibilizada no API 581. Sendo assim, a probabilidade de falha, é calculada por:

$$P_f(t) = gff \times D_f(t) \times F_{MS}$$

As conseqüências são determinadas a partir do cálculo do volume vazamento do fluido contido no equipamento, avaliando-se os danos: materiais (equipamentos); às pessoas (morte ou lesão por explosão, incêndio, ou intoxicação); financeiros (perda de produção); e ao meio ambiente (poluição). As conseqüências são determinadas pelas condições operacionais e características físicas do fluido durante o seu vazamento, observando-se qual o alcance dos danos citados acima. Como se podem observar, as conseqüências serão sempre as mesmas enquanto as condições operacionais do equipamento se mantiverem inalteradas, o que permite concluir que o risco do equipamento só mudará se somente se a sua probabilidade de falha ao longo do tempo sofrer variações, e por isto consideraremos a conseqüência como uma constante.

3.3. Aplicação da Guia INI

A determinação se o equipamento pode ser inspecionado por INI ou não, é uma das primeiras avaliações a serem feitas, conforme as respostas dadas às perguntas abaixo.

- O vaso é intrinsecamente adequado para INI?
- O vaso já foi inspecionado antes? O seu histórico é relevante?
- O vaso foi projetado especificamente para INI?

- Existem vasos similares com histórico de serviço?
- A parada foi agendada por outras razões?

A inspeção não intrusiva (INI) consiste de dois estágios principais, a seleção de regiões e o processo decisório de alto nível. Porém antes deve haver um levantamento de informações sobre as últimas inspeções e um estudo de integridade de equipamento, que oferecerá subsídios para a avaliação do INI.

O planejamento deverá definir as estratégias e formas de avaliação dos métodos empregados a fim de fornecer uma confiabilidade ao processo de inspeção e de operação do equipamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Matriz de Risco

A Figura 4.1 apresenta a matriz de risco para os componentes estudados, calculado conforme o item 2.3.3.

5					
4					
3					
2					Torre de Contato de MEA Torre Regenadora de MEA
1	Vaso Separador de Segurança de Gás		Vaso Condensador de Topo de MEA Vaso Refervedor de MEA		
	A	B	C	D	E

Risco Baixo
Risco Médio
Risco Médio-Alto
Risco Alto

Figura 4-1-Matriz de risco para os componentes estudados.

4.2. Equipamentos

4.2.1. Vaso Separador de Segurança de Gás

O vaso opera a 25 anos, onde foi realizada inspeção inicial no momento de sua instalação. O intervalo entre inspeções é de 6 anos, conforme NR-13² e vem sendo mantido até a inspeção atual. O vaso é construído em aço carbono na parte superior e aço inoxidável na parte inferior. Os mecanismos de deterioração esperados são a corrosão interna por pites, trincamento sob tensão em presença de sulfetos na região de aço inoxidável e por perda de espessura na região de aço carbono. Externamente ao vaso a corrosão atmosférica no aço carbono e corrosão sob tensão e pites na região de aço inoxidável por cloretos devido ao ambiente marinho. As inspeções anteriores compreenderam a inspeção visual do interior do vaso, com avaliação de toda a superfície acessível, sendo relatada corrosão sob tensão e por pites no aço inoxidável e corrosão alveolar leve no aço carbono, conforme descritos nos relatórios de inspeção.

Aplicação do processo de seleção, Figura 2-.

- O vaso é intrinsecamente adequado para INI? Sim.
- O vaso já foi inspecionado antes? O seu histórico é relevante? Sim.
- O vaso foi projetado especificamente para INI? Não.
- A parada foi agendada por outras razões? Não.

Aplicando o fluxograma de processo decisão de alto nível (Figura 2-28), a confiabilidade na prevenção de tipos e locais preferenciais dos mecanismos de deterioração, foi considerada alta nesta avaliação. A eficiência das inspeções anteriores é considerada como média devido à utilização da Inspeção Visual Interna (IVI). As inspeções internas anteriores não revelaram deterioração significativa, entretanto a presença de corrosão por pites e alveolar internamente demonstra uma severidade e taxa de deterioração a ser aplicada de nível médio, contudo conclui-se que a INI é recomendável.

O planejamento da inspeção, apresentado no item 2.4.3, deve ser utilizado de acordo com Figura 2-25 enquanto que a Figura 2-27 indica uma inspeção do tipo C, devido à probabilidade alta de degradação (corrosão sob tensão e corrosão alveolar), visto que a mesma

foi identificada em inspeções anteriores, com localização aleatória e taxa de degradação média, chegando a uma consequência de falha baixa e efetividade mínima da inspeção média, devendo ser utilizada uma técnica não destrutiva que nos forneça uma probabilidade de detecção $> 70\%$, em relação aos danos relatados, conforme Tabela 2-4. Os ensaios a serem executados para garantir a segurança são:

- Líquido penetrante na região do casco de aço inoxidável, para a verificação da corrosão sob tensão por cloretos;
- Mapeamento de corrosão por ultra-som manual em determinadas áreas de aço carbono.

4.2.2. Vaso Condensador de Topo de MEA

O equipamento é um permutador que opera a 19 anos, onde foi realizada inspeção inicial no momento de sua instalação. O intervalo entre inspeções é de 10 anos, conforme NR-13² e vem sendo mantido até a inspeção atual. O permutador foi construído em aço inoxidável no casco e aço carbono no tampo do carretel, no carretel e no tampo direito. Os mecanismos de deterioração esperados são a corrosão por perda de espessura na região de aço carbono e corrosão por pites e sob tensão por cloretos na região de aço inoxidável, e na região externa corrosão sob isolamento na região de aço carbono e corrosão sob tensão sob isolamento por cloreto na região de aço inoxidável devido ao ambiente marinho. As inspeções anteriores compreenderam a inspeção visual do interior do vaso, com avaliação de toda a superfície acessível, sendo relatada corrosão alveolar interna com perda de espessura nos cabeçotes de entrada e saída de aço carbono e externamente corrosão sob tensão sob isolamento no casco de aço de inoxidável, segundo os relatórios de inspeção.

Aplicação do processo de seleção conforme Figura 2-.

- O vaso é intrinsecamente adequado para INI? Sim.
- O vaso já foi inspecionado antes? O seu histórico é relevante? Sim.
- O vaso foi projetado especificamente para INI? Não.
- A parada foi agendada por outras razões? Não.

Aplicando o fluxograma de processo decisão de alto nível (Figura 2-28). Para esta avaliação a confiabilidade na prevenção de tipos e locais preferenciais dos mecanismos de deterioração foi considerada alta devido a revisões validadas pelas inspeções anteriores.

A eficiência das inspeções anteriores é considerada média devido à utilização da Inspeção Visual Interna (IVI). As inspeções internas anteriores revelaram deterioração significativa, indicada pela presença de corrosão sob tensão no casco na região das soldas no aço inoxidável, o que evidencia uma severidade e taxa de deterioração a ser aplicada de nível alta, mesmo assim conclui-se que a INI é recomendável.

O planejamento da inspeção, apresentado no item 2.4.3, deve ser utilizado de acordo com a Figura 2-25 e enquanto que a Figura 2-27 indica uma inspeção do tipo C, devido à probabilidade alta de degradação, visto que a mesma foi identificada em inspeções anteriores, com localização aleatória e taxa de degradação média, chegando a uma consequência de falha baixa e efetividade mínima da inspeção média, devendo ser utilizada uma técnica não destrutiva que forneça uma probabilidade de detecção $> 70\%$, em relação aos danos relatados, segundo Tabela 2-4. Os ensaios a serem executados para garantir a segurança são:

- Líquido penetrante na região do casco de aço inoxidável, para a verificação da corrosão sob tensão por cloretos;
- Medição de espessura por ultra-som manual em determinadas áreas de aço carbono.

Apesar de o equipamento possuir um feixe interno, neste não é esperado ter corrosão e isto tem se verificado nas inspeções.

4.2.3. Vaso Refervedor de MEA

O equipamento é um permutador que opera há 23 anos, onde foi realizada a primeira inspeção em 1986. O intervalo entre inspeções é de 10 anos, conforme NR-13² e que vem sendo mantido até a inspeção atual, contudo o equipamento vem sendo aberto em intervalos menores devido à deterioração do feixe. O permutador é construído em aço carbono casco e tampo direito. Os mecanismos de deterioração esperados são a corrosão por perda de espessura interna e externamente. As inspeções anteriores incluíram a inspeção visual do interior do vaso, com avaliação de toda a superfície acessível, sendo relatada corrosão alveolar internamente no casco e margens da solda e corrosão galvânica nas conexões na

região externa, e aberturas constantes devido a furos nos tubos do feixe devido a erosão, conforme relatórios de inspeção.

Aplicação do processo de seleção conforme Figura 2-.

- O vaso é intrinsecamente adequado para INI? Não, devido à alta temperatura do casco que trabalha a uma mínima de 115 °C.

Neste caso a INI não se torna aplicável devido a impedimentos operacionais do equipamento. Contudo podemos utilizar as técnicas não intrusivas para otimizar o planejamento das paradas de manutenção.

4.2.4. Torre de Contato de MEA

O vaso é uma torre vertical que opera há 25 anos, sendo a primeira inspeção realizada em 1987. O intervalo entre inspeções é de 6 anos, conforme NR-13² e que não vem sendo mantido até a inspeção atual, pois devido ao desbandejamento dos internos e verificação da aplicação do revestimento interno, o intervalo foi diminuído para 3 anos. A torre é construída toda em aço carbono e possui 20 bandejas, para promover o contato do gás com a MEA. Os mecanismos de deterioração esperados são a corrosão por amina, trincamento sob tensão em presença de sulfetos, e corrosão atmosférica e sob o isolamento na região externa da torre. As inspeções anteriores envolveram a inspeção visual do interior da torre, com avaliação de toda a superfície acessível, sendo relatada corrosão alveolar uniforme e generalizada com perda de espessura no casco, bandejas e suportes, corrosão sob depósito e trincas no metal base, zona termicamente afetada e nas soldas do cordão C5 na região interna e corrosão alveolar nas conexões e sob isolamento na região externa. O equipamento foi inspecionado externamente na região da solda C5 por ultra-som, partículas magnéticas e por emissão acústica na sua totalidade, conforme descritos nos relatórios de inspeção.

Aplicação do processo de seleção conforme Figura 2-.

- O vaso é intrinsecamente adequado para INI? Sim.
- O vaso já foi inspecionado antes? O seu histórico é relevante? Sim.
- O vaso foi projetado especificamente para INI? Não.
- A parada foi agendada por outras razões? Sim.

Aplicando o fluxograma de seleção de alto nível para o processo de seleção (Figura 2-28) é averiguado uma confiabilidade na prevenção dos tipos e locais preferenciais dos mecanismos de deterioração média. A eficiência das inspeções anteriores foi considerada como média devido à utilização da Inspeção Visual Interna (IVI). As inspeções internas anteriores revelaram deterioração significativa, indicada pela presença de corrosão alveolar e trincamento sob tensão em presença de sulfetos o que demonstra uma severidade e taxa de deterioração a ser aplicada de nível médio. Com isso conclui-se que a INI é recomendável.

O planejamento da inspeção, apresentado no item 2.4.3, deve ser utilizado de acordo com a Figura 2-25 enquanto que a Figura 2-27 indica uma inspeção do tipo B, devido à probabilidade alta de degradação, visto que a mesma foi identificada em inspeções anteriores, com localização identificada e taxa de degradação média, chegando a uma consequência de falha média e efetividade mínima da inspeção média, devendo ser utilizada uma técnica não destrutiva que nos forneça uma probabilidade de detecção > 70%, em relação aos danos relatados, segundo Tabela 2-4. Os ensaios a serem executados para garantir a segurança são:

- *Phased Array* e *TOFD* nas soldas circunferenciais, desde que removidos o isolamento;
- Emissão acústica para avaliar globalmente o vaso;
- Termografia para avaliar os desbandejamentos e falhas no revestimento;
- Inspeção visual do revestimento.

4.2.5. Torre Regeneradora de MEA

O vaso é uma torre vertical que opera há 25 anos, sendo a primeira inspeção realizada em 1986. O intervalo entre inspeções é de 8 anos, conforme NR-13² e que vem sendo mantido até a inspeção atual. A torre é construída toda em aço carbono e possui 20 bandejas, para promover a regeneração do MEA. Os mecanismos de deterioração a serem considerados são a corrosão por amina, devido à presença de H₂S, perda de espessura na região interna, e corrosão sob isolamento na região externa da torre. As inspeções anteriores abrangiam a inspeção visual do interior da torre, com avaliação de toda a superfície acessível, sendo relatada corrosão alveolar uniforme com perda de espessura, corrosão por pites dispersa em

todo o casco, nas bandejas e em seus apoios na região interna e corrosão alveolar e sob isolamento na região externa.

Aplicação do processo de seleção conforme a Figura 2-.

- O vaso é intrinsecamente adequado para INI? Não, devido à alta temperatura do casco que trabalha a uma mínima de 116 °C.

Neste caso a INI não se torna aplicável devido a impedimentos operacionais do equipamento, podendo ser utilizada como procedimento de melhoria para o planejamento de uma parada de manutenção.

4.2.6. Resultado da aplicação do Guia da Inspeção não intrusiva

O resultado da aplicação da INI e os métodos de ensaios não destrutivos a serem realizados nos equipamentos são mostrados na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Relação de Equipamentos X INI

Equipamento	Mecanismos de Degradação	INI é aplicável?	Ensaio Não Destrutivo
V-00301	Pites, trincamento sob tensão na presença de sulfetos, corrosão atmosférica e CST	Sim	LP e Mapeamento de Corrosão por US
P-00111	Redução de espessura, pites, CST, corrosão sob isolamento	Sim	Mapeamento de Corrosão por US, LP e ME
P-00112	Redução de espessura	Não	-
T-00111	Corrosão Amina, trincamento sob tensão em presença de sulfetos, corrosão atmosférica e sobre o isolamento	Sim	<i>Phased Array, Tofd, EA, IV e Termografia</i>
T-00112	Corrosão Amina, corrosão sobre isolamento e redução de espessura	Não	-

4.3. Comparativo entre as Efetividades de Inspeção do IBR e INI

Fazendo um comparativo entre a efetividade da inspeção média de POD (Probabilidade de Detecção) do INI traduz-se numa eficiência de usual a alta no IBR. Isto nos mostra que utilizando o método INI na avaliação dos equipamentos o fator de probabilidade de danos do IBR não muda com a variação do POD da INI.

A efetividade de inspeção requerida para o INI e para o IBR é dada conforme Tabelas 4-2 e 4-3.

Tabela 4-2 – Efetividade de Inspeção INI. ³¹

Efetividade	Descrição
Baixa	Verificações pontuais
Média	Inspeção 100% na área planejada empregando eficiência >70% de POD, ou amostragem com POD > 90%.
Alta	Inspeção 100% na área planejada empregando POD com eficiência > 90%.

Tabela 4-3 – Categoria da Eficácia do IBR. ²⁵

Categoria de Eficácia Qualitativa da Inspeção	Descrição
Eficácia Alta	Métodos de inspeção irão identificar corretamente o verdadeiro estado dos danos com confiabilidade de 80-100%.
Eficácia Usual	Métodos de inspeção irão identificar corretamente o verdadeiro estado dos danos com confiabilidade de 60-80%.
Eficácia Média	Métodos de inspeção irão identificar corretamente o verdadeiro estado dos danos com confiabilidade de 40-60%.
Eficácia Baixa	Métodos de inspeção irão identificar corretamente o verdadeiro estado dos danos com confiabilidade de 20-40%.
Ineficiente	Método de inspeção irá fornecer nenhuma ou quase nenhuma informação, sendo considerados ineficazes para detectar os mecanismos danos específicos com uma confiabilidade de menos de 20%.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudada a aplicação da Inspeção Não Intrusiva em sistema de processo de uma plataforma de petróleo, sendo apresentados os fluxogramas decisórios, a efetividade dos ensaios não destrutivos e aplicação do INI.

O trabalho mostra a interação do INI com o IBR, no que se diz respeito à efetividade da inspeção quanto ao método de ensaio aplicado, mostrando que a efetividade do INI é compreendida dentro do IBR nos níveis de POD necessários aos danos.

Mesmo em equipamentos onde a INI não seja aplicável, pode ser utilizada como complemento a inspeção convencional, além de prover maior confiabilidade ao planejamento da manutenção, e maior controle sobre o risco de equipamento, devido à previsibilidade sobre os danos presentes no equipamento.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar os ensaios indicados pela metodologia de inspeção não intrusiva, e confrontar os resultados obtidos com o da inspeção visual interna, para verificar a adequação das duas metodologias.

7. REFERÊNCIAS

- ¹ Carvalho, Nestor Ferreira de, Apostila de Inspeção de Vasos de Pressão, Petrobras, Curso de Formação de Engenheiros de Equipamentos Inspeção, 2008.
- ² Ministério do Trabalho, Norma Regulamentadora 13, NR-13, 1995.
- ³ Filho, Pedro Feres; Pereira; Jorge dos Santos, Tendências Atuais da Inspeção de Equipamentos Estáticos, São Paulo, 2005.
- ⁴ ASME Boiler and Pressure Vessel, Nondestructive Examination Section V, Editora The American Society of Mechanical Engineers, 2005.
- ⁵ ASM Metal Handbook, Nondestructive Evaluation and Quality Volume 17, 9ª Edição, Editora ASM International, 1989.
- ⁶ Petrobras, Ensaio Não-Destrutivo - Líquido Penetrante, Revisão E, Rio de Janeiro 2003. (Petrobras N-1594).
- ⁷ Silva, Luiz Eduardo, Líquido Penetrante 2ª Edição, Editora Abende, São Paulo, 2005.
- ⁸ Santos, Milton dos, Apostila de Partículas Magnéticas, Petrobras, Curso de Formação de Engenheiros de Equipamentos Inspeção, 2008.
- ⁹ Andreucci, Ricardo, Partícula Magnética, Editora Abende, São Paulo, 2006.
- ¹⁰ Petrobras, Ensaio Não-Destrutivo – Partícula Magnética, Revisão E, Rio de Janeiro 2003. (Petrobras N-1598).
- ¹¹ Carneval, Ricardo de Oliveira; Henrique, Paulo César F., Ensaio não por Correntes Parasitas, Editora SEDES/DITED/SEIND, 1990.
- ¹² Tecnit, <http://www.tecnit.com.br/>, Acesso em 22 de junho 2009.
- ¹³ Nondestructive Testing Handbook, Second Edition, volume 5, Acoustic Emission Testing, section 3, part 3, Microscopic Origins of Acoustic Emission, American Society for Nondestructive Testing, 1987.
- ¹⁴ Soares, Sérgio Damasceno, Apostila do Curso de Emissão Acústica, Rio de Janeiro, 2006.
- ¹⁵ Andreucci, Ricardo, Radiografia Industrial, Editora Abende, São Paulo, 2006.

- ¹⁶ Petrobras, Ensaio Não-Destrutivo - Radiografia, Revisão E, Rio de Janeiro, 2004. (Petrobras N-1596).
- ¹⁷ Andreucci, Ricardo, Ensaio por Ultra-Som, Editora Abende, São Paulo, 2006.
- ¹⁸ Petrobras, Ensaio Não-Destrutivo - Ultra-Som, Revisão F, Rio de Janeiro, 2004. (Petrobras N-1594).
- ¹⁹ Olympus, <http://www.olympus-ims.com>, Acesso em 10 de maio de 2009.
- ²⁰ Carneval, R. O. e et al, Uso das Técnicas de END: Ultra-som (TOFD e Phased Array), Radiografia, Partículas Magnéticas e ACFM na Avaliação de Juntas Soldadas com Trincas de Fadiga, IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires, 2007.
- ²¹ Ravenscroft, F. e et al, CHIME- A New Ultrasonic Method for Rapid Screening of Pipe, Plate and Inaccessible Geometries, In: European Conference on Non-destructive Testing , 7, 1998, Abingdon, The e-Journal of Nondestructive Testing, Editora NDT, 1998, v. 13, n. 10.
- ²² Dijkstra, F.H., NDT: Necessary Evil or Benefit, In: European Conference on Non-destructive Testing, 7, 1998, Abingdon, The e-Journal of Nondestructive Testing, Editora NDT, 1998, v. 3, n. 12.
- ²³ Mustafa ,V., Chahbaz, A., Hay ,D. R., Brassard,M., Dubois, S., Imaging of Disbond in Adhesive Joints with Lamb Waves, NDT & International, vol.2, n.3, março de 1997.
- ²⁴ Ruzek, R.; Lohonka, R.; Jironc, J, .Ultrasonic C-Scan and shearography NDI techniques evaluation of impact defects identification, NDT & International, v. 39, n.2, 132-142, março 2006.
- ²⁵ American Petroleum Institute, API 581, Risk-Based Inspection Technology, Editora API Publishing Services, 2008.
- ²⁶ American Petroleum Institute, API RP 580, Risk-Based Inspection, Editora API Publishing Services, 2002.
- ²⁷ Çakanyildirim, Metin; Yue, Wei T; Young U. Ryu, The management of intrusion detection: Configuration, inspection, and investment, European Journal of Operational Research Volume 195, páginas 186–204 (2009).
- ²⁸ ASME PCC-3–2007, Inspection Planning Using Risk-Based Methods, Editora American Society of Mechanical Engineers, 2007.
- ²⁹ American Petroleum Institute, API 579 Fitness-For-Service, Editora API Publishing Services, 2000.

³⁰ Fonseca, Bruno Montenegro da; Casamasso, Mauro Cesar; Wageck, Ruben, Sistema de Gerenciamento de Inspeção – Um Exemplo da Interação do Gerenciamento do IBR com seu Serviço Próprio de Inspeção De Equipamentos – Spie, 7^a COTEQ, Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos 2003.

³¹ Recommended Practice DNV-RP-G103, October 2007, Det Norske Veritas.

ANEXOS

ANEXO A

Tipo de Equipamento	Tipo de Componente	gff como uma Função do tamanho do furo				gff _{total} (falhas/ano)
		Pequeno	Médio	Grande	Ruptura	
Compressor	COMPR	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000000	0,0000300
Compressor	COMPC	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Trocador de Calor	HEXSS	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Trocador de Calor	HEXTS	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Trocador de Calor	HEXTUBE	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Tubulação	PIPE-1	0,0000280	0,0000000	0,0000000	0,0000026	0,0000300
Tubulação	PIPE-2	0,0000280	0,0000000	0,0000000	0,0000026	0,0000300
Tubulação	PIPE-4	0,0000080	0,0000200	0,0000000	0,0000026	0,0000300
Tubulação	PIPE-6	0,0000080	0,0000200	0,0000000	0,0000026	0,0000300
Tubulação	PIPE-8	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Tubulação	PIPE-10	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Tubulação	PIPE-12	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Tubulação	PIPE-16	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Tubulação	PIEGT16	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Bomba	PUMP2S	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Bomba	PUMPR	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Bomba	PUMP1S	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000300
Tanque 650	TANKBOTTOM	0,0007200	0,0000000	0,0000000	0,0000020	0,0007200
Tanque 650	COURSE-1	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Tanque 650	COURSE-2	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Tanque 650	COURSE-3	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Tanque 650	COURSE-4	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Tanque 650	COURSE-5	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Tanque 650	COURSE-6	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Tanque 650	COURSE-7	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Tanque 650	COURSE-8	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Tanque 650	COURSE-9	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Tanque 650	COURSE-10	0,0000700	0,0000250	0,0000050	0,0000001	0,0001
Vaso/FinFan	KODRUM	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000306
Vaso/FinFan	COLBTM	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000306
Vaso/FinFan	FINFAN	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000306
Vaso/FinFan	FILTER	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000306
Vaso/FinFan	DRUM	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000306
Vaso/FinFan	REACTOR	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000306
Vaso/FinFan	COLTOP	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000306
Vaso/FinFan	COLMID	0,0000080	0,0000200	0,0000020	0,0000006	0,0000306

Número do Furo	Tamanho do Furo	Faixa de Diâmetro do Furo	Diâmetro do Furo, d_n (mm)
1	Pequeno	0 – 6.4	$d = 6.4$
2	Médio	> 6.4 – 51	$d = 25$
3	Grande	> 51 – 152	$d = 102$
4	Ruptura	> 152 inches	$d = \min(D, 406)$

ANEXO B

Tipo de Descontinuidade	Método de Inspeção	Eficiência da Inspeção (Baixa, Média, Alta)	
		Detecção	Dimensionamento através da parede
Perda de Espessura Generalizada			
	US Pulso-eco Ondas Compressivas	A	A
	Mapeamento de Espessura por US (C-Scan)	A	A
	US de Transmissão Acústica Eletromagnética (EMAT)	M	M
	Correntes Parasitas	A	M
	Radiografia	M	B
	Radiografia Computadorizada (tangencial aos tubos)	M	M
	Magnetic Flux Leakage (dispersão magnética)	B	-
	Correntes Parasitas de Baixa Frequência Saturada (SLOFEC)	B	-
Perda de Espessura Localizada (Pitting)			
	US Pulso-eco Ondas Compressivas	A	M
	Mapeamento de Espessura por US (C-Scan)	A	A
	US TOFD	A	A
	Radiografia	A	B
	Radiografia computadorizada (parede dupla com análise computadorizada dos níveis de cinza da imagem)	A	M
	Magnetic Flux Leakage (dispersão magnética)	M	B
	US CHIME	A	B
	US Long Range (ondas de Lamb)	M	-
	Correntes Parasitas de Baixa Frequência Saturada (SLOFEC)	A	B
Blisters and Trincas Horizontais, Delaminação.			
	US Pulso-eco Ondas Compressivas	A	A
	Mapeamento de Espessura por US (C-Scan)	A	A
	US TOFD	A	A
	Emissão Acústica	B	-
Trincas Superficiais			
	ACFM (inspeção somente na superfície do ensaio)	M	M
	Líquido Penetrante (inspeção somente na superfície do ensaio)	A	-
	Partículas Magnéticas (inspeção somente na superfície do ensaio)	A	-
	US Pulso-eco ondas cisalhantes (ambos os lados da espessura)	A	M
	US TOFD (ambos os lados da espessura)	A	A
	Emissão Acústica (ambos os lados da espessura)	M	-
Trincas Internas			
	US Pulse-eco ondas cisalhantes	A	M
	US TOFD	A	A
	Radiografia	M	-
	Radiografia Computadorizada	M	-
	Emissão Acústica	M	-
Descontinuidades Volumétricas (vazios)			
	US Pulso-eco ondas compressivas	M	-
	US Pulse-eco ondas cisalhantes	A	B
	US TOFD	A	A
	Radiografia	A	B
	Radiografia Computadorizada	A	M
Anomalias			
	Termografia	M	B
Erosão na Raiz da Solda			
	US TOFD	A	A
	US Pulso Eco Ondas Cisalhantes	M	M
	US Pulso Eco Ondas Compressivas (remoção do reforço de solda)	A	M
	US Mapeamento (C-Scan) (remoção do reforço de solda)	A	A
	Radiografia (Método de dupla parede)	M	B
	Radiografia Computadorizada (tangencial aos tubos)	A	M

Método de Inspeção	Espessura [mm]	Material	Temperatura	Superfície	Sensibilidade / menor descontinuidade de detectável	Acurácia / Repetibilidade	Produtividade	POD	Localizações de defeitos	Tipos de defeitos	Aplicação em vasos	Acesso	Limitações / Comentários Testes requisitos
1. US Pulso-eco onda transversal	6-300	Capacidade reduzida para soldas de aços inoxidáveis austeníticos e duplex	Acima de 250°C usar cabeçotes especiais	Revestimento uniforme até 1.5mm Rugosidade máx. 6.3µm livre de impurezas	1 mm-5mm dependendo da geometria	Erro médio de ±3 mm para inspeção de solda	20m de solda/dia	Altos valores de POD publicados	Superficial	Trincas superficiais e internas, e volume	Capacidade para inspeção de soldas depende da geometria e procedimento	Cabeçote pequeno	Revestimento bem aderido pode ser permitido. Características do vaso, como suportes, selas e chapas de reforço, causa áreas não inspecionáveis.
2. UT Pulso-eco onda longitudinal	2-300	Capacidade reduzida para soldas de aços inoxidáveis austeníticos e duplex	Acima de 250°C usar cabeçotes especiais Altas temperaturas possibilidade de inspeções Spot	Revestimento uniforme até 1.5mm Rugosidade máx. 6.3µm livre de impurezas	0.5mm típico, dependendo da espessura	Medidor de espessura digital ±0.1mm ideal, ±0.5mm típico	1.000 pontos/dia Baixo	Altos valores de POD publicados	Superficial/ Interna	Perda de espessura generalizada e localizada, volume e empolamento,		Cabeçote pequeno	Revestimento bem aderido pode ser permitido. Características do vaso, como suportes, selas e chapas de reforço, causa áreas não inspecionáveis.
3. US Mapeamento de espessura C-Scan	2-300	Igual ao US pulso-eco	até 125 °C (longer contact)	Igual ao US pulso-eco	0.5 mm típico, dependendo da espessura	± 0.1 mm ideal ± 0.5mm típico	2-3 m2, 8-12 m2 paintbrush, Até 16 m2 para mecanizada	Altos valores de POD publicados	Superficial	Perda de espessura localizada e empolamento	Superficial	Cabeçote e encoder	Áreas de 250 x 500 mm por scan. Mapa colorido WT. Manipulação dos dados pós-inspeção quando usado Pscan.
4. US TOFD	8-300	Restritos a materiais de granulação fina	Iguais ao US pulso-eco	Iguais ao US pulso-eco	3 mm dependendo da geometria	±0.5mm ideal, ± 2 mm típico	40 m de solda/dia	Altos valores de POD publicados	Superficial/ Interna	Trincas superficiais e internas, e volume	Soldas de canto e geometrias complexas	Cabeçote ou cinta orientadora	Inspeção rápida de soldas. Interpretação de dados pós-inspeção. Zona morta entre 2 – 4 mm abaixo da superfície.
5. US CHIME	Até 40	Igual ao US pulso-eco	Aplicações até 60 °C	Igual ao US pulso-eco	Min c. 10% de WT. Dimensão lateral > 15 mm	10 mm da posição	Velocidade de Scan. 1m/min	Médios valores de POD publicados	Não discrimina Superficial/ Interna	Perda de espessura generalizada e localizada e trincas	Reforço de chapas, selas, suportes	Manipulador e cabeçote	Sinal não quantitativo, o grau do dano pode ser avaliado.

Método de Inspeção	Espessura [mm]	Material	Temperatura	Superfície	Sensibilidade / menor descontinuidade de detectável	Acurácia / Repetibilidade	Produtividade	POD	Localizações de defeitos	Tipos de defeitos	Aplicação em vasos	Acesso	Limitações / Comentários Testes requisitos
6. US Guide Wave (ondas de Lamb)	Tubos de 2 a 48 polegadas	Aço carbono e duplex somente tubos	-25 to 125 °C . Equipamentos especiais até 160 °C	Similar ao US pulso-eco.	Min. 5 – 9% da parede do tubo em área circunferencial		Tipicamente 1 km /dia	Médios valores de POD publicados	Não discrimina Superficial/ Interna	Perda de espessura localizada e trincas	Tubos tipicamente retos (poucas curvas)	Sondas forma circular em torno da tubulação. Necessário 0,5 m de superfície do tubo sem revestimento	Funciona melhor em trechos retos de tubulação. Sonda anel deve ser de pelo menos 1 m da solda. Alguns revestimentos limitam o método.
7. US EMAT	10 -150	Igual ao US pulso-eco	-200°C to 460°C	Superfície rugosa aceitável, porém diminui a sensibilidade	Igual ao Pulso-eco em circunstâncias ideais, porém tipicamente não muito	Igual ao US pulso-eco	Igual ao US pulso-eco	Baixos valores de POD publicados	Superficial	Igual ao US pulso-eco	Igual ao US pulso-eco	Probe pequeno	Sensibilidade menor que o US convencional. UT probes. Principal aplicação é medição de espessura de componentes magnéticos revestidos. Possibilidade de não-contato
8. ACFM	N/A.	Todos	até 150 °C usando probes especiais	Permitido revestimento com restrições	Profundidade da trinca > 1 mm e comprimento >10 mm ideal. Profundidade >3 mm e comprimento >20 mm típico	± 3 mm	Médio	Altos valores de POD publicados	Somente interna	Trincas subsuperficiais e abaixo do revestimento	Soldas, superfície face limitada	Probe pequeno	Sonda de superfície com multi-elementos, existe a possibilidade de medir a profundidade da trinca. Materiais ferro-magnético e impurezas podem influenciar a inspeção. Necessária a calibração.
9. Correntes Parasitas	6- 60 (Max 150 mm através do isolamento)	Aço baixo carbono restrito a materiais ferro-magnético	-100°C to 500°C Temperatura de contato Max 70 °C	Não contato através de isolamento	5% WT (medida relativa)	Acurácia 5% WT Repetibilidade 2% WT	1.000 pontos/dia	Médios valores de POD publicados	Quando isolado, Não discrimina Superficial/ interna	Perda de espessura generalizada e volume	Spot superficiais	Cabeçote 100 - 250 mm	Detecta corrosão generalizada ou erosão em área que exceda (500mm ²), não detecta pite, influencia da massa da área vizinha.
10. Saturated Low Frequency Eddy Current (SLOFEC)	Até 30 - 35	todos capacidade reduzida mas não pior que corrente parasita	Até 60 °C	Não-contato, Max 8 mm de revestimento	15% WT		10 – 50 m ² /dia	Médios valores de POD publicados	Não discrimina Superficial/ interna	Perda de espessura localizada e volume	Superficial	Dispositivo pesado devido aos ímãs	Scaneamento rápido e área grande. Abaixo de 1,4 mm ³ de perda de espessura volume pode ser detectado em condições favoráveis.
11. Líquido Penetrante	N/A.	todos, não-porosos	10°C a 50°C	Livre de impurezas.	Nada visível	-	20m/dia	Altos valores de POD publicados	Somente interna	Trincas superficiais	Qualquer geometria	N/A.	Necessária limpeza da superfície. Menos confiável que o MPI para material ferro-magnético.

Método de Inspeção	Espessura [mm]	Material	Temperatura	Superfície	Sensibilidade / menor descontinuidade de detectável	Acurácia / Repetibilidade	Produtividade	POD	Localizações de defeitos	Tipos de defeitos	Aplicação em vasos	Acesso	Limitações / Comentários Testes requisitos
12. Partícula Magnética	N/A.	Ferro-magnético	Até 100 °C	Livre de impurezas.	Nada visível	-	40m/dia	Altos valores de POD publicados	Somente interna	Trincas superficiais	Depende do Yoke	Tamanho do yoke 300 mm	Podem ser utilizadas tintas de contraste. Teste com tintas de alta temperatura
13. Magnetic Flux Leakage	4 -10	Ferro-magnético	até 60 °C	Max 3 mm de revestimento, superfície isenta de impurezas	min. 30% WT ou 20mm ³	-	10 -50 m2 /dia	Altos valores de POD publicados	Não discrimina Superficial/ interna	Perda de espessura localizada	Superficial	Tamanho médio 300 x 300 mm	Scaneamento rápido de grande área. Parede e tubos scan, não chapas.
14. Termografia	Superfície	N/A.	Método de não-contato, -20 to 1000°C	Depende da emissividade da superfície	Variação da temperatura de 0.2°C at 1 m; 10 °C at 100m.	-	Depende da aplicação	Altos valores de POD publicados	Interna, classificação para defeitos internos	Anomalias	Superficial	N/A.	Rastreio de anomalias. Depende de emissividade da superfície da peça e da distância. Filtros acima 500 °C.
15. Radiografia	Ir 192 até.100 mm de espessura Acima usar Co60.	Todos	Max 40°C	N/A.	2%WT		Lenta e depende do acesso e das normas de segurança para radiação.	Altos valores de POD publicados	Superficial/ Interna	Perda de espessura generalizada e localizada e descontinuidade internas e volumétricas	Crítico WT localização, soldas e bocais	Acesso pelos dois lados	Técnica de Dupla Parede limitada a vasos de diâmetro inferior a 1,5 m. Técnica tangencial com fluxo é possível. Restrições à segurança.
16. Radiografia computadorizada	Similar a Radiografia	todos		N/A.	2% WT		Mais rápido que a radiografia. Depende do acesso e regulação de segurança a radiação.	Médios valores de POD publicados	Superficial/ Interna	Perda de espessura generalizada e localizada	Igual a radiografia	Acesso pelos dois lados	Em fluxo. Restrições à segurança
17. Emissão acústica		Todos os materiais	Max 60°C	Locais para os cabeçotes	Detecta apenas descontinuidades ativas	Informação da posição	Vaso inteiro	Médios valores de POD publicados	Superficial/ Interna	Trincas se propagando, iniciação de trincas por corrosão	Vaso inteiro	Cabeçotes pequenos	Extremamente sensível para influências ambientais

ANEXO C

PERFIL DO EQUIPAMENTO

Identificação do equipamento:				
Código:				
TAG:	VASO SEPARADOR DE SEGURANÇA DE GÁS			
CNE:				
Local:				
Norma de Projeto:	ASME VIII - Div. 1 Ano1980			
Ano de Fabricação:	1982			
Fabricante	SUR SAUER SOCIEDADE CONSTR. TERMOTÉCNICA E IND. LTDA			
Modelo/ N° de Série	1389			
Material do Casco	ASTM A 516 Gr 60/ ASTM A 240 -316			
Material do Tampo Superior ou Direito	ASTM A 516 Gr 60			
Material do Tampo Inferior ou Direito	ASTM A 240 -316			
Tampo Superior ou Direito	Torisférico			
Tampo Inferior ou Esquerdo	Torisférico			
Alívio de tensões	Parcial			
RX do Casco e Tampo	Total			
Classe de Fluido	A			
Categoria	II			
Fluido de Trabalho	Gás Natural			
Posição do Vaso	Vertical			
Isolamento Térmico	Não			
Classe de Pressão das Conexões	150/300			
Acesso Interno	Sim			
Limitante da PMTA (Projeto)	Casco			
Espessura Nominal do Casco	15,88		[mm]	
Espessura Nominal do Tampo Sup. ou Dir.	23,2		[mm]	
Espessura Nominal do Tampo Inf. ou Esq.	18		[mm]	
Espessura Mínima do Casco	13,86		[mm]	
Espessura Mínima do Tampo Sup. ou Dir	15,77		[mm]	
Espessura Mínima do Tampo Inf. ou Esq.	14,71		[mm]	
Sobre Espessura para Corrosão	3		[mm]	
Capacidade do Vaso			m ³	
Diâmetro Interno do Vaso			[mm]	
Comprimento entre Tangentes			[mm]	
Função:				
Vaso de Pressão				
Detalhes de Operação e Serviço				
Pressão de Projeto	1471,02	[Kpa]	15,00023	[Kgf/cm ²]
Pressão de Teste Hidrostático	2207,09	[Kpa]	22,50605	[Kgf/cm ²]
PMTA - Novo e Frio	1811,86	[Kpa]	18,47583	[Kgf/cm ²]
PMTA - Corroído e Quente	1471,02	[Kpa]	15,00023	[Kgf/cm ²]
Pressão Máxima de Operação	882,61	[Kpa]	9,000117	[Kgf/cm ²]
Pressão de abertura da PSV	1471,02	[Kpa]	15,00023	[Kgf/cm ²]
Temperatura de Projeto	90	[Celsius]	194	[Fahrenheit]
Temperatura Mínima de Operação	32	[Celsius]	89,6	[Fahrenheit]
Temperatura Máxima de Operação		[Celsius]	32	[Fahrenheit]

PERFIL DO EQUIPAMENTO

Identificação do equipamento:				
Código:				
TAG:	CONDENSADOR DE TOPO DE MEA			
CNE:				
Local:				
Norma de Projeto:	ASME VIII - Div. 1 Ano1986			
Ano de Fabricação:	1988			
Fabricante	CBC Industrias Pesadas			
Modelo/ N° de Série	BEM / N°Série 1/21.0127177			
Material do Casco	ASTM A-240-TP 304			
Material do Tampo Superior ou Direito	ASTM A 516 Gr 60			
Material do Tampo do Carretel	ASTM A 516 Gr 60			
Material do Carretel	ASTM A 516 Gr 61			
Material dos Tubos	SA 249 304			
Alívio de tensões				
RX do Casco e Tampo				
Classe de Fluido	A			
Categoria	III			
Fluido de Trabalho do Casco	Monoetanolamina			
Fluido de Trabalho do Tubos	Agua Industrial			
Posição do Vaso	Horizontal			
Isolamento Térmico	Sim			
Classe de Pressão das Conexões				
Acesso Interno	Não			
Limitante da PMTA (Projeto)	Tampo			
Espessura Nominal do Casco	6,3			[mm]
Espessura Nominal do Tampo Superior	12,5			[mm]
Espessura Nominal do Tampo Inferior	12,5			[mm]
Espessura Nominal do Carretel	9,5			[mm]
Espessura Mínima do Casco				[mm]
Espessura Mínima do Tampo Sup. ou Dir				[mm]
Espessura Mínima do Tampo Inf. ou Esq.				[mm]
Sobre Espessura para Corrosão				[mm]
Capacidade do Vaso				m3
Diâmetro Interno do Vaso				[mm]
Comprimento entre Tangentes				[mm]
Função:				
Vaso de Pressão/ Permutador de Calor				
Detalhes de Operação e Serviço				
Pressão de Projeto Casco	343,2328	[Kpa]	3,5	[Kgf/cm ²]
Pressão de Projeto Tubos	784,53	[Kpa]	8	[Kgf/cm ²]
Pressão de Teste Hidrostático Casco	514,8491	[Kpa]	5,25	[Kgf/cm ²]
Pressão de Teste Hidrostático Tubos	1176,8	[Kpa]	12	[Kgf/cm ²]
Pressão de abertura da PSV	343,23	[Kpa]	3,5	[Kgf/cm ²]
PMTA - Corroído e Quente Casco	343,2328	[Kpa]	3,5	[Kgf/cm ²]
PMTA - Corroído e Quente Tubos	784,53	[Kpa]	8	[Kgf/cm ²]
Temperatura de Projeto Casco	150	[Celsius]	302	[Fahrenheit]
Temperatura de Projeto Tubos	80	[Celsius]	176	[Fahrenheit]
Temperatura Mínima de Operação Casco	49	[Celsius]	120,2	[Fahrenheit]
Temperatura Máxima de Operação Casco	92	[Celsius]	198	[Fahrenheit]
Temperatura Mínima de Operação Tubos	55	[Celsius]	131	[Fahrenheit]
Temperatura Máxima de Operação Tubos	325	[Celsius]	617	[Fahrenheit]

PERFIL DO EQUIPAMENTO				
Identificação do equipamento:				
Código:				
TAG:	REFERVEDOR DE MEA			
CNE:				
Local:				
Norma de Projeto:	ASME VIII - Div. 1 Ano1980			
	/TEMA R			
Ano de Fabricação:	1983			
Fabricante	CBC Industrias Pesadas			
Modelo/ N° de Série	BKU N° Série 26520			
Material do Casco	ASTM A 516 Gr 60			
Material do Tampo Superior ou Direito	ASTM A 516 Gr 60			
Material do Tampo do Carretel				
Material do Carretel				
Material dos Tubos				
Tampo Superior ou Direito				
Tampo Inferior ou Esquerdo	Torisférico			
Alívio de tensões	Sim			
RX do Casco e Tampo				
Classe de Fluido	A			
Categoria	III			
Fluido de Trabalho do Casco	Monoetanolamina			
Fluido de Trabalho do Tubos	Água Industrial			
Posição do Vaso	Horizontal			
Isolamento Térmico	Sim			
Classe de Pressão das Conexões				
Acesso Interno	Sim			
Limitante da PMTA (Projeto)				
Espessura Nominal do Casco			[mm]	
Espessura Nominal do Tampo Superior			[mm]	
Espessura Nominal do Tampo Inferior			[mm]	
Espessura Nominal do Carretel			[mm]	
Diâmetro/ Bitola do Tubo	2/4" 16 BWG			
Espessura Mínima do Casco	6,06		[mm]	
Espessura Mínima do Tampo Sup. ou Dir	3,65		[mm]	
Espessura Mínima do Tampo Inf. ou Esq.	6,53		[mm]	
Sobre Espessura para Corrosão	3		[mm]	
Capacidade do Vaso			m3	
Diâmetro Interno do Vaso			[mm]	
Comprimento entre Tangentes			[mm]	
Função:				
Vaso de Pressão/ Permutador de Calor				
Detalhes de Operação e Serviço				
Pressão de Projeto Casco	343,2328	[Kpa]	3,5	[Kgf/cm ²]
Pressão de Projeto Tubos	1627,904	[Kpa]	16,6	[Kgf/cm ²]
Pressão de Teste Hidrostático Casco	514,8491	[Kpa]	5,25	[Kgf/cm ²]
Pressão de Teste Hidrostático Tubos	2441,856	[Kpa]	24,9	[Kgf/cm ²]
Pressão de abertura da PSV	1627,904	[Kpa]	16,6	[Kgf/cm ²]
PMTA - Corroído e Quente Casco	343,2328	[Kpa]	3,5	[Kgf/cm ²]
PMTA - Corroído e Quente Tubos	1627,904	[Kpa]	16,6	[Kgf/cm ²]
Temperatura Mínima de Projeto Casco	150	[Celsius]	302	[Fahrenheit]
Temperatura Máxima de Projeto Tubos	210	[Celsius]	410	[Fahrenheit]
Temperatura Mínima de Operação Casco (Entrada/Saída)	115	[Celsius]	239	[Fahrenheit]
Temperatura Mínima de Operação Tubos (Entrada)	127	[Celsius]	261	[Fahrenheit]
Temperatura Mínima de Operação Tubos (Saída)	180	[Celsius]	356	[Fahrenheit]

PERFIL DO EQUIPAMENTO

Identificação do equipamento:

Código:			
TAG:	TORRE DE CONTATO DE MEA		
CNE:			
Local:			
Norma de Projeto:	ASME VIII - Div. 1 Ano1980		
Ano de Fabricação:	1983		
Fabricante	JARAGUA IND MEC		
Modelo/ N° de Série	N° Série 12366		
Material do Casco	ASTM A 516 Gr 60		
Material do Tampo Superior ou Direito	ASTM A 516 Gr 60		
Material do Tampo Inferior ou Direito	ASTM A 516 Gr 60		
Tampo Superior ou Direito	Torisférico		
Tampo Inferior ou Esquerdo	Torisférico		
Alívio de tensões	Total		
RX do Casco e Tampo	Total		
Classe de Fluido	A		
Categoria	I		
Fluido de Trabalho	Monoetanolamina (MEA)		
Posição do Vaso	Vertical		
Isolamento Térmico	Sim		
Classe de Pressão das Conexões	300		
Acesso Interno	Sim		
Limitante da PMTA (Projeto)	Tampo		
Espessura Nominal do Casco	31,5		[mm]
Espessura Nominal do Tampo Sup. ou Dir.	37,5		[mm]
Espessura Nominal do Tampo Inf. ou Esq.	37,5		[mm]
Espessura Mínima do Casco	25,64		[mm]
Espessura Mínima do Tampo Sup. ou Dir	29,51		[mm]
Espessura Mínima do Tampo Inf. ou Esq.	30,01		[mm]
Sobre Espessura para Corrosão	3		[mm]
Capacidade do Vaso	145,05		m3
Diâmetro Interno do Vaso	3187		[mm]
Comprimento entre Tangentes	21032		[mm]

Função:

Vaso de Pressão/ Torre de Processo

Detalhes de Operação e Serviço

Pressão de Projeto	1466,09	[Kpa]	14,94996	[Kgf/cm ²]
Pressão de Teste Hidrostático	1465,62	[Kpa]	14,94516	[Kgf/cm ²]
PMTA - Novo e Frio	1631,28	[Kpa]	16,63443	[Kgf/cm ²]
PMTA - Corroído e Quente	1465,62	[Kpa]	14,94516	[Kgf/cm ²]
Pressão Máxima de Operação	882,6	[Kpa]	9,000015	[Kgf/cm ²]
Pressão de abertura da PSV	1627,904	[Kpa]	16,6	[Kgf/cm ²]
Temperatura de Projeto	100	[Celsius]	212	[Fahrenheit]
Temperatura Mínima de Operação	30	[Celsius]	86	[Fahrenheit]
Temperatura Máxima de Operação	70	[Celsius]	158	[Fahrenheit]

PERFIL DO EQUIPAMENTO

Identificação do equipamento:

Código:	
TAG:	TORRE REGENERADORA DE MEA
CNE:	
Local:	

Norma de Projeto:	ASME VIII - Div. 1 Ano1980	
Ano de Fabricação:	1983	
Fabricante	JARAGUA IND MEC	
Modelo/ N° de Série	N° Série 12367	
Material do Casco	ASTM A 516 Gr 60	
Material do Tampo Superior ou Direito	ASTM A 516 Gr 60	
Material do Tampo Inferior ou Direito	ASTM A 516 Gr 60	
Tampo Superior ou Direito	Toriférico	
Tampo Inferior ou Esquerdo	Toriférico	
Alívio de tensões	Total	
RX do Casco e Tampo	Total	
Classe de Fluido	A	
Categoria	II	
Fluido de Trabalho	Monoetanolamina	
Posição do Vaso	Vertical	
Isolamento Térmico	Sim	
Classe de Pressão das Conexões	300	
Acesso Interno	Sim	
Limitante da PMTA (Projeto)	Tampo	
Espessura Nominal do Casco	9,5	[mm]
Espessura Nominal do Tampo Sup. ou Dir.	9,5	[mm]
Espessura Nominal do Tampo Inf. ou Esq.	9,5	[mm]
Espessura Mínima do Casco	7,15	[mm]
Espessura Mínima do Tampo Sup. ou Dir	7,8	[mm]
Espessura Mínima do Tampo Inf. ou Esq.	8,04	[mm]
Sobre Espessura para Corrosão	3	[mm]
Capacidade do Vaso	79,94	m3
Diâmetro Interno do Vaso	2421	[mm]
Comprimento entre Tangentes	16070	[mm]

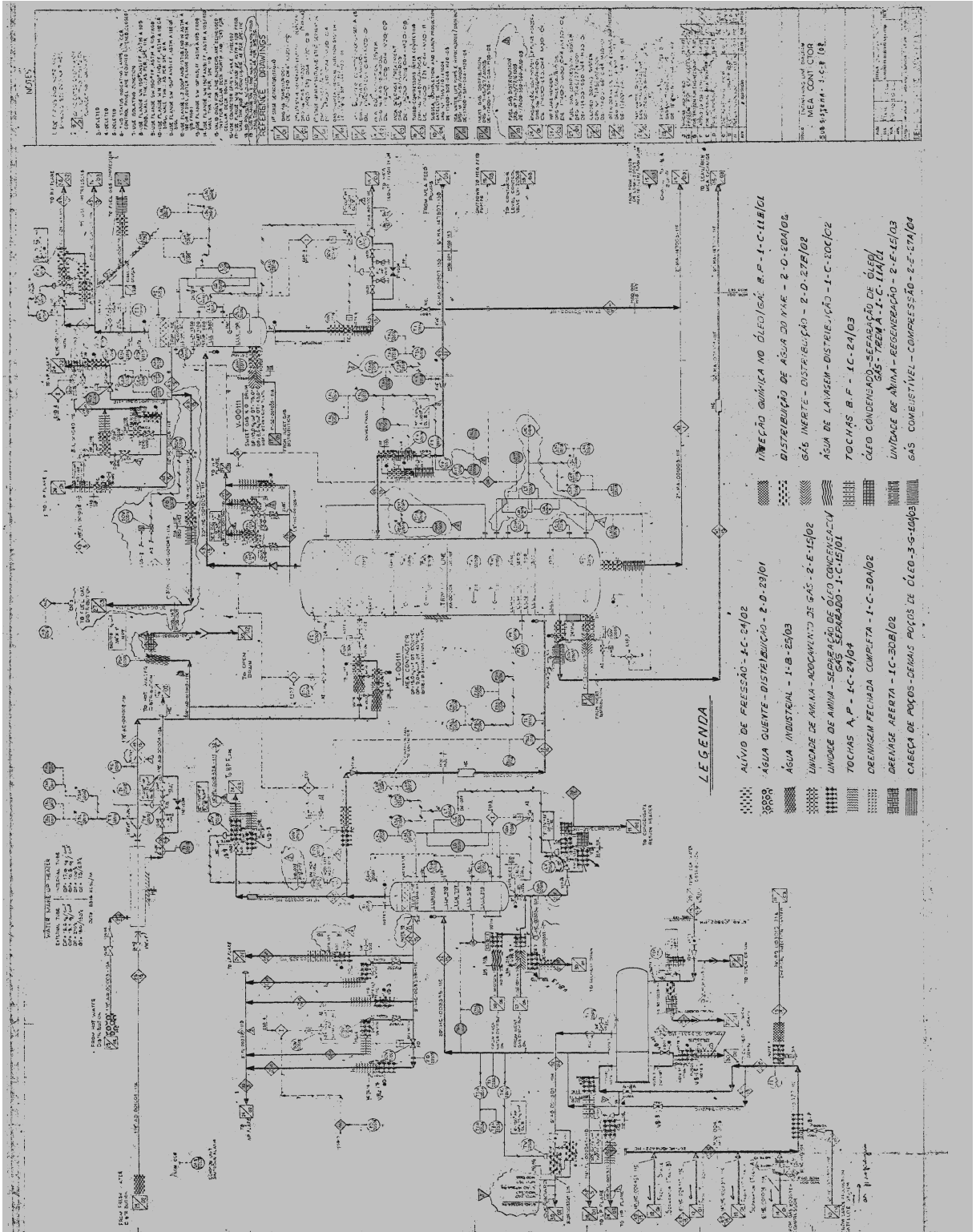
Função:

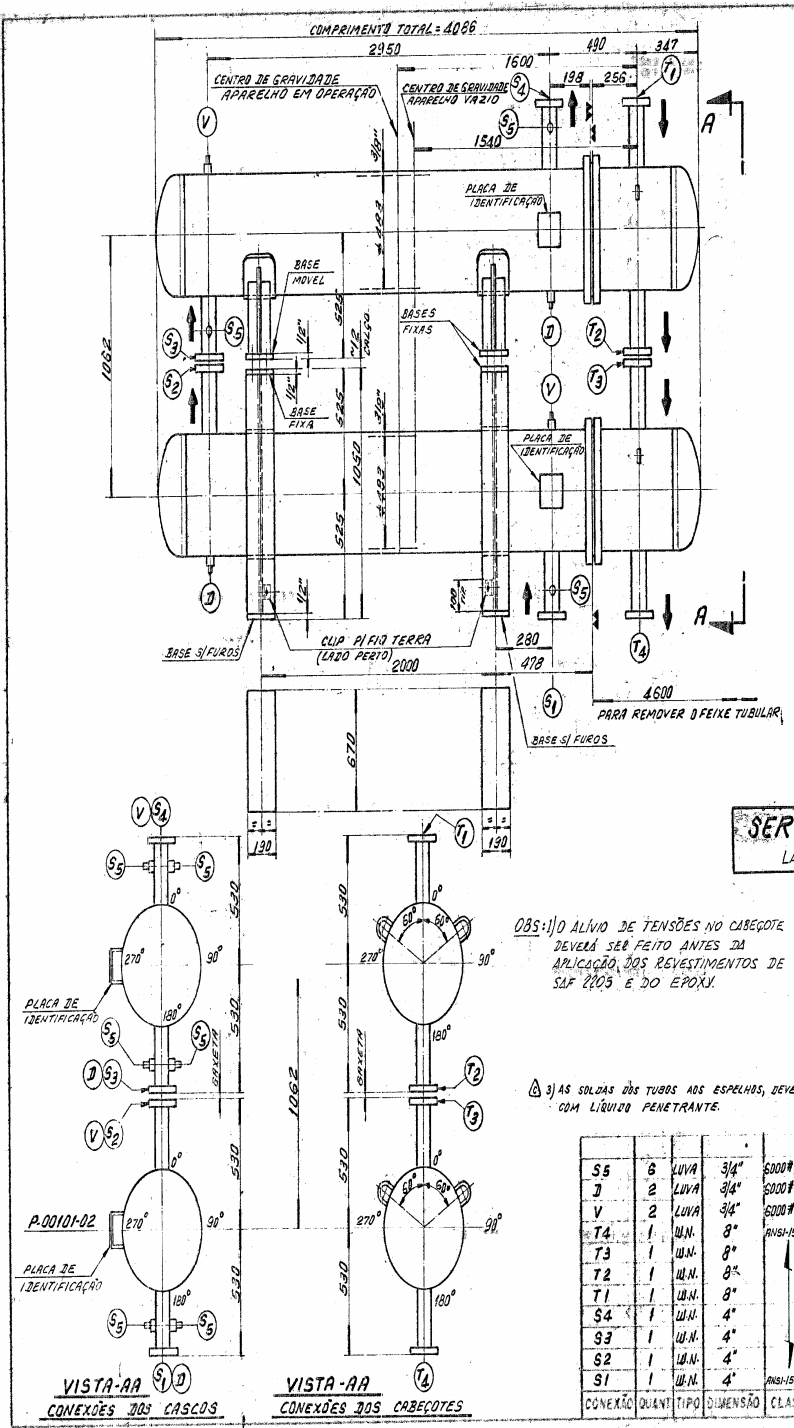
Vaso de Pressão/ Torre de Processo

Detalhes de Operação e Serviço

Pressão de Projeto	343,23	[Kpa]	3,499972	[Kgf/cm ²]
Pressão de Teste Hidrostático	514,85	[Kpa]	5,250009	[Kgf/cm ²]
PMTA - Novo e Frio	662	[Kpa]	6,750521	[Kgf/cm ²]
PMTA - Corroído e Quente Tubos	343,23	[Kpa]	3,499972	[Kgf/cm ²]
Pressão Máxima de Operação	107,87	[Kpa]	1,099968	[Kgf/cm ²]
Pressão de abertura da PSV	1627,904	[Kpa]	16,6	[Kgf/cm ²]
Temperatura de Projeto	150	[Celsius]	302	[Fahrenheit]
Temperatura Mínima de Operação	116	[Celsius]	240,8	[Fahrenheit]
Temperatura Máxima de Operação		[Celsius]	32	[Fahrenheit]

ANEXO D





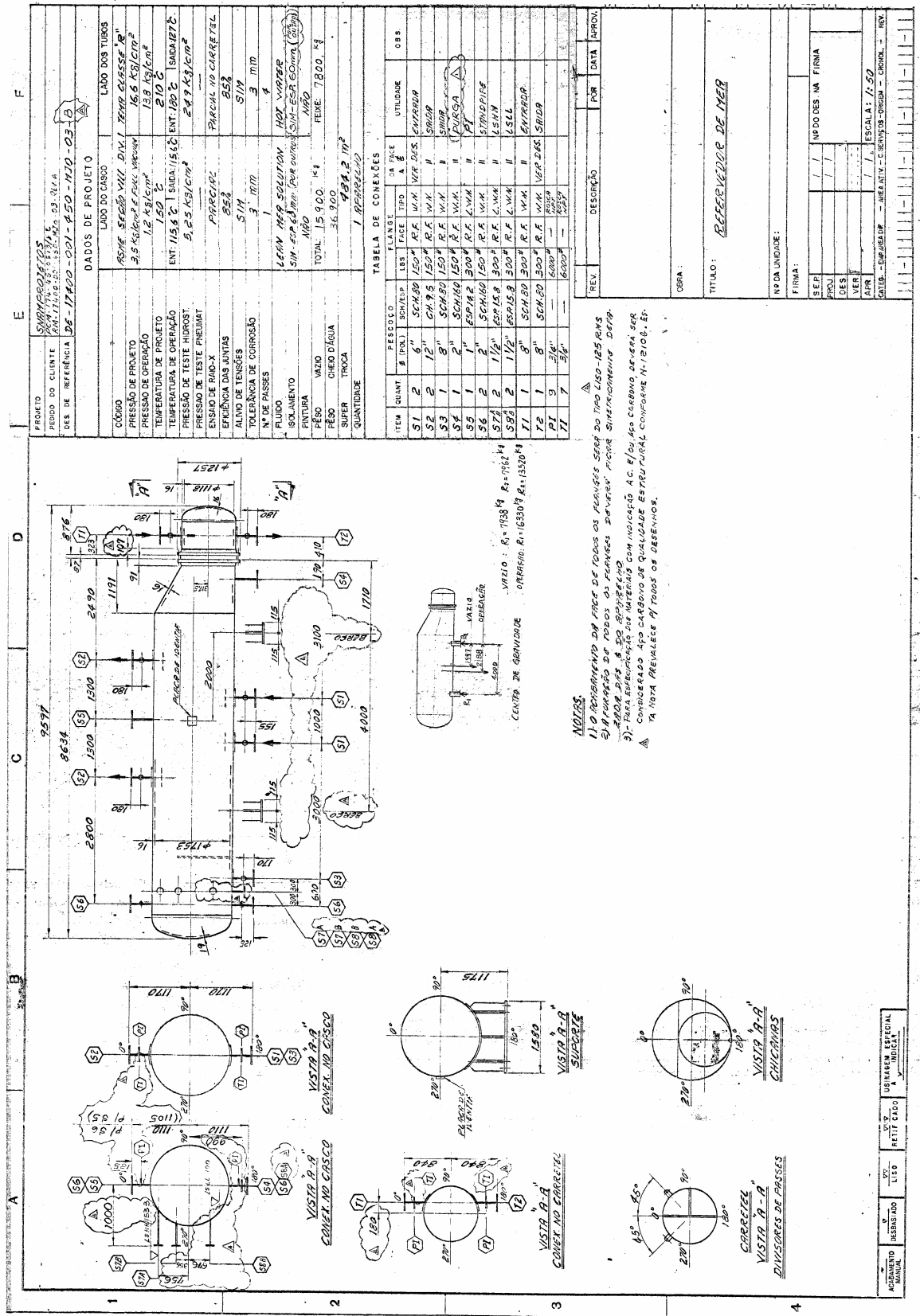
DADOS DE PROJETO		CASCO	TUBOS
PRESSÃO DE PROJETO (kg/cm ²)		8	10
PRESSÃO DE TESTE (kg/cm ²)		12	15
TEMPERATURA DE PROJETO (°C)		80	150
NÚMERO DE PASSOS		1	2
MARGEM DE CORROÇÃO (mm)		3	—
FLUIDO		COOLING WATER	DRY STAGE GAS
DIMENSÃO (mm)		φ 483 x 3048	
TIPO		BEU	
SUPERFÍCIE / CASCO (m ²)		35,7	
QUANTIDADE DE CASCOS		2	
PESOS ESTIMADOS		730	1830
POR APARELHO		2410, EMPACOTADO	
CÓDIGO		ASME SEC. VIII DIV. 1 - ED. 1980, TEMA "R" e *	
TOLERÂNCIA "TEVA"			
ALÍVIO DE TENSÕES		CASCO - NÃO	CABEÇOTE & TUBOS - SIM
RAIO "R"		PARCIAL EFIC. 0,85	
PINTURA		NÃO	
ACABAMENTO INT. & EXT.		LIVRE DE SUJEIROS, RESPARGOS DE SOLDA E ESCORIAS	

* TESTAR AS SOLDAS DOS TUBOS AO ESPELHO COM DE 2,5% (COM) APÓS O TESTE HIDROSTÁTICO.
 * OS TUBOS DEVERÃO SUFIR ALÍVIO DE TENSÕES APÓS CONFORMAÇÃO DOS CURVADOS.
 * ESPECIFICAÇÕES
 SNAW PROTETOS - Nº R 503 REV. A & RA-E-23150 REV. B
 PETROBRAS - N-253d, N-254a, N-466d, N-1210a, N-2666
 C18 - 7145/107 & 7145/5103 REV. A
 NACE - MR-01-75 EDIÇÃO 1980
 DNV - TMB-100, N1, 107E 103
 DUREZA MÁXIMA PERMITIDA CONF. NACE
 DO CARBONO = 22 HRC.
 FERRÍTICO DUSTENÍTICO = 28 HRC.

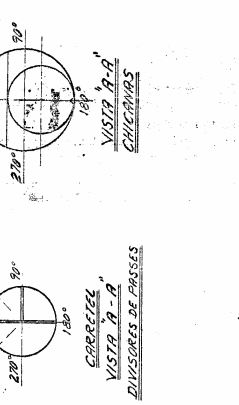
ITEM	DESCRIÇÃO	DATA	ASSINATURA
1	ELABORAÇÃO DE PROJETO	14/01/83	
2	REVISÃO DE PROJETO	14/01/83	
3	APROVADO	14/01/83	
4	EMISSÃO	14/01/83	

TIPO		CONJUNTO GERAL	
GAS BOOSTER INLET COOLER			
VISTA			
FABRICAÇÃO			
MATERIAL			
DESCRIÇÃO			
VERIFICAÇÃO			
APROVADO		ESCALA 1/50 ESCALA	
NOTAS		SERVIÇO - PROJETO - FABRICAÇÃO - INT.	

CONEXÃO	QUANT.	TIPO	DIMENSÃO	CLASSE	SERVIÇO
S5	8	LUBA	3/4"	8000# NPT	INSTRUMENTAÇÃO
J	2	LUBA	3/4"	8000# NPT	DRENO
V	2	LUBA	3/4"	8000# NPT	RESPIRO
T4	1	U.N.	8"	ANSI-ISO-80#	SAÍDA
T3	1	U.N.	8"		ENTRADA
T2	1	U.N.	8"		SAÍDA
T1	1	U.N.	8"		ENTRADA
S4	1	U.N.	4"		SAÍDA
S3	1	U.N.	4"		ENTRADA
S2	1	U.N.	4"		SAÍDA
S1	1	U.N.	4"		ENTRADA



NOTAS:
 1) O ACOMODAMENTO DA FACA DE TODOS OS PASSOS SER DO TIPO CASO-125 RAVS
 2) A LIGADURA DE TODOS OS PASSOS DE VERIFICAÇÃO DEBEM SER SUPERINTENDENTE DA
 FABRICAÇÃO DA BOLA DO APARELHO
 3) PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAL COM INDICAÇÃO A.C. E/OU ADO CASANO DE VERA SER
 CONSIDERADO APO CARBONO DE QUALIDADE ESTRUTURAL CONFORME N.1210.8.85
 4) A NOTA PREVALECE A TODOS OS DESENHOS.



REVISÃO

REV.	DESCRIÇÃO	POR	DATA	APROV.

OBRA: REPEREADOR DE MER

TÍTULO: REPEREADOR DE MER

Nº DA UNIDADE:

FIRMA:

INDO DES'NA FIRMA

SEP:

PROJ:

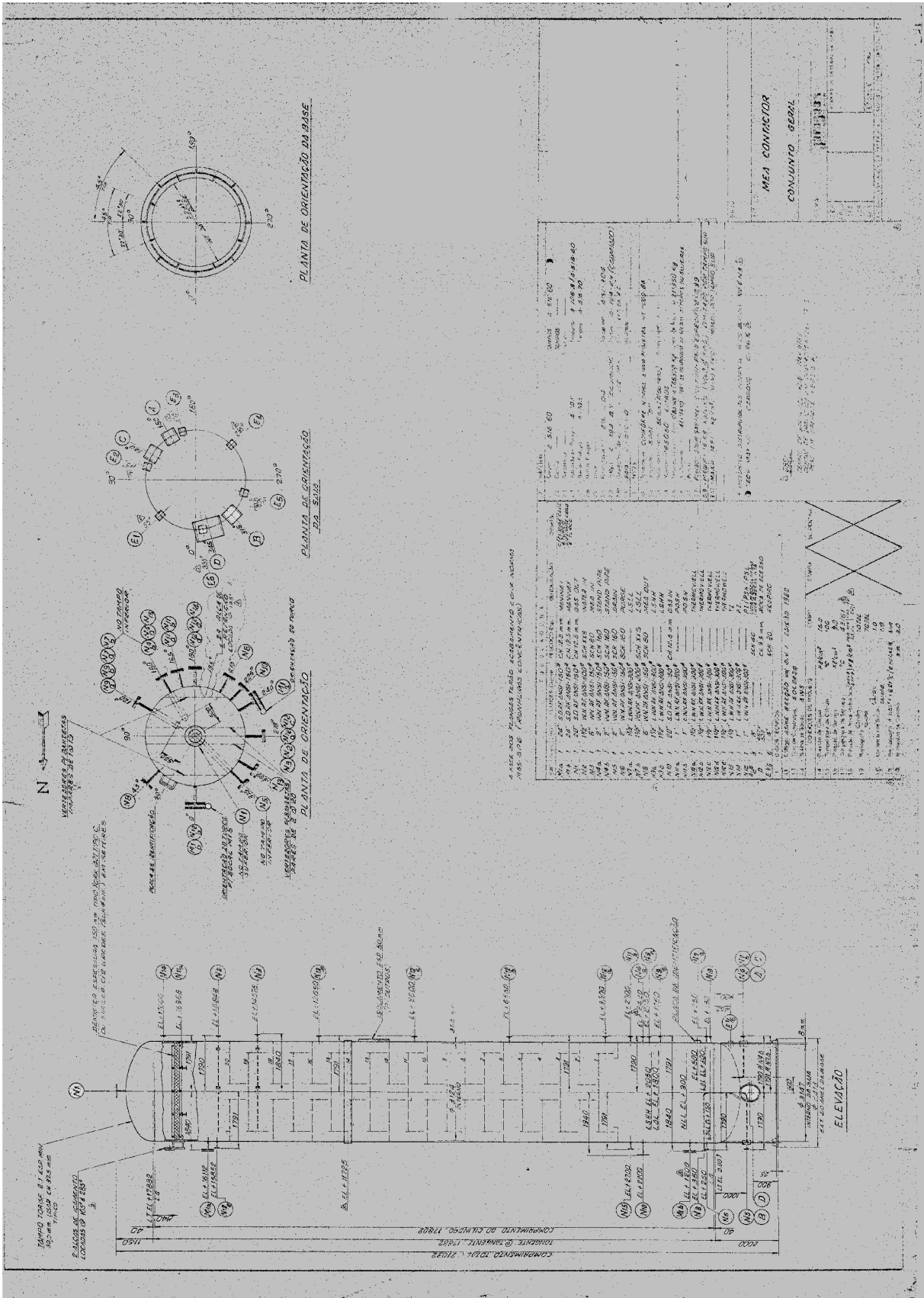
DES:

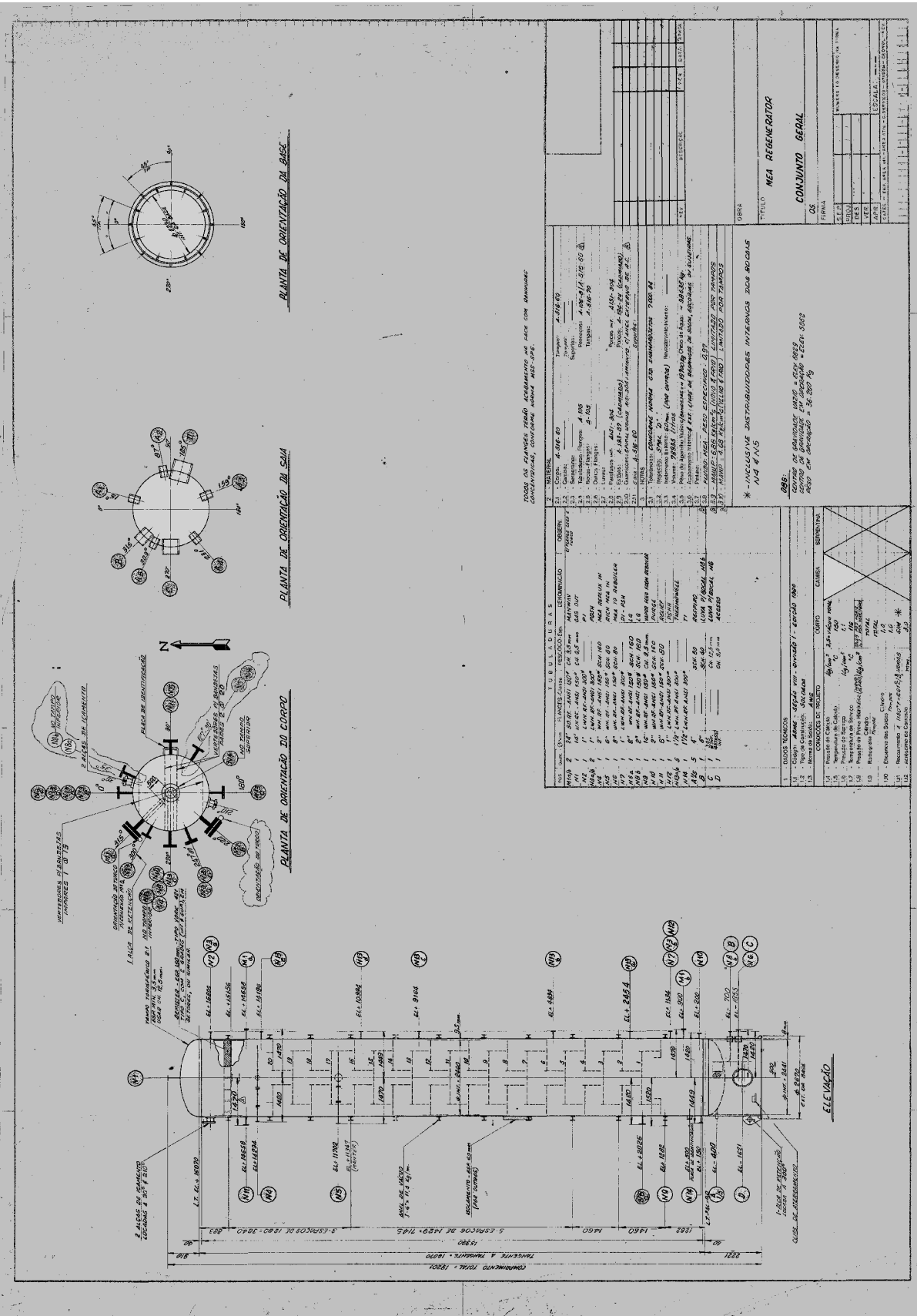
VER:

APP:

ESCALA: 1:50

CHIEF - EMP. BRAS. LIP - ARQUIT. - C. SERV. DES. - ORDEM - CIRCUIT. - REV.





FORNO DE FERRUGEM: FERRUGEM ACABAMENTO NA FACE COM DIMENSÃO CONCENTRADA, CONTENDO ÁGUA A 100°C.

2 - NOTAS:

1. Identificação
2. Cálculo
3. Dimensionamento
4. Materiais
5. Execução
6. Detalhes
7. Outros
8. Observações
9. Comentários
10. Outros
11. Outros
12. Outros
13. Outros
14. Outros
15. Outros
16. Outros
17. Outros
18. Outros
19. Outros
20. Outros
21. Outros
22. Outros
23. Outros
24. Outros
25. Outros
26. Outros
27. Outros
28. Outros
29. Outros
30. Outros
31. Outros
32. Outros
33. Outros
34. Outros
35. Outros
36. Outros
37. Outros
38. Outros
39. Outros
40. Outros
41. Outros
42. Outros
43. Outros
44. Outros
45. Outros
46. Outros
47. Outros
48. Outros
49. Outros
50. Outros
51. Outros
52. Outros
53. Outros
54. Outros
55. Outros
56. Outros
57. Outros
58. Outros
59. Outros
60. Outros
61. Outros
62. Outros
63. Outros
64. Outros
65. Outros
66. Outros
67. Outros
68. Outros
69. Outros
70. Outros
71. Outros
72. Outros
73. Outros
74. Outros
75. Outros
76. Outros
77. Outros
78. Outros
79. Outros
80. Outros
81. Outros
82. Outros
83. Outros
84. Outros
85. Outros
86. Outros
87. Outros
88. Outros
89. Outros
90. Outros
91. Outros
92. Outros
93. Outros
94. Outros
95. Outros
96. Outros
97. Outros
98. Outros
99. Outros
100. Outros

3 - LEGENDA:

1.1. Cálculo

1.2. Materiais

1.3. Execução

1.4. Detalhes

1.5. Outros

1.6. Outros

1.7. Outros

1.8. Outros

1.9. Outros

1.10. Outros

1.11. Outros

1.12. Outros

1.13. Outros

1.14. Outros

1.15. Outros

1.16. Outros

1.17. Outros

1.18. Outros

1.19. Outros

1.20. Outros

1.21. Outros

1.22. Outros

1.23. Outros

1.24. Outros

1.25. Outros

1.26. Outros

1.27. Outros

1.28. Outros

1.29. Outros

1.30. Outros

1.31. Outros

1.32. Outros

1.33. Outros

1.34. Outros

1.35. Outros

1.36. Outros

1.37. Outros

1.38. Outros

1.39. Outros

1.40. Outros

1.41. Outros

1.42. Outros

1.43. Outros

1.44. Outros

1.45. Outros

1.46. Outros

1.47. Outros

1.48. Outros

1.49. Outros

1.50. Outros

1.51. Outros

1.52. Outros

1.53. Outros

1.54. Outros

1.55. Outros

1.56. Outros

1.57. Outros

1.58. Outros

1.59. Outros

1.60. Outros

1.61. Outros

1.62. Outros

1.63. Outros

1.64. Outros

1.65. Outros

1.66. Outros

1.67. Outros

1.68. Outros

1.69. Outros

1.70. Outros

1.71. Outros

1.72. Outros

1.73. Outros

1.74. Outros

1.75. Outros

1.76. Outros

1.77. Outros

1.78. Outros

1.79. Outros

1.80. Outros

1.81. Outros

1.82. Outros

1.83. Outros

1.84. Outros

1.85. Outros

1.86. Outros

1.87. Outros

1.88. Outros

1.89. Outros

1.90. Outros

1.91. Outros

1.92. Outros

1.93. Outros

1.94. Outros

1.95. Outros

1.96. Outros

1.97. Outros

1.98. Outros

1.99. Outros

1.100. Outros

1 - DADOS TÉCNICOS:

1.1. Escala: 1/50

1.2. Data: 10/10/2010

1.3. Autor: [Nome]

1.4. Projeto: [Projeto]

1.5. Cliente: [Cliente]

1.6. Endereço: [Endereço]

1.7. Município: [Município]

1.8. Estado: [Estado]

1.9. País: [País]

1.10. Outros: [Outros]

1.11. Outros: [Outros]

1.12. Outros: [Outros]

1.13. Outros: [Outros]

1.14. Outros: [Outros]

1.15. Outros: [Outros]

1.16. Outros: [Outros]

1.17. Outros: [Outros]

1.18. Outros: [Outros]

1.19. Outros: [Outros]

1.20. Outros: [Outros]

1.21. Outros: [Outros]

1.22. Outros: [Outros]

1.23. Outros: [Outros]

1.24. Outros: [Outros]

1.25. Outros: [Outros]

1.26. Outros: [Outros]

1.27. Outros: [Outros]

1.28. Outros: [Outros]

1.29. Outros: [Outros]

1.30. Outros: [Outros]

1.31. Outros: [Outros]

1.32. Outros: [Outros]

1.33. Outros: [Outros]

1.34. Outros: [Outros]

1.35. Outros: [Outros]

1.36. Outros: [Outros]

1.37. Outros: [Outros]

1.38. Outros: [Outros]

1.39. Outros: [Outros]

1.40. Outros: [Outros]

1.41. Outros: [Outros]

1.42. Outros: [Outros]

1.43. Outros: [Outros]

1.44. Outros: [Outros]

1.45. Outros: [Outros]

1.46. Outros: [Outros]

1.47. Outros: [Outros]

1.48. Outros: [Outros]

1.49. Outros: [Outros]

1.50. Outros: [Outros]

1.51. Outros: [Outros]

1.52. Outros: [Outros]

1.53. Outros: [Outros]

1.54. Outros: [Outros]

1.55. Outros: [Outros]

1.56. Outros: [Outros]

1.57. Outros: [Outros]

1.58. Outros: [Outros]

1.59. Outros: [Outros]

1.60. Outros: [Outros]

1.61. Outros: [Outros]

1.62. Outros: [Outros]

1.63. Outros: [Outros]

1.64. Outros: [Outros]

1.65. Outros: [Outros]

1.66. Outros: [Outros]

1.67. Outros: [Outros]

1.68. Outros: [Outros]

1.69. Outros: [Outros]

1.70. Outros: [Outros]

1.71. Outros: [Outros]

1.72. Outros: [Outros]

1.73. Outros: [Outros]

1.74. Outros: [Outros]

1.75. Outros: [Outros]

1.76. Outros: [Outros]

1.77. Outros: [Outros]

1.78. Outros: [Outros]

1.79. Outros: [Outros]

1.80. Outros: [Outros]

1.81. Outros: [Outros]

1.82. Outros: [Outros]

1.83. Outros: [Outros]

1.84. Outros: [Outros]

1.85. Outros: [Outros]

1.86. Outros: [Outros]

1.87. Outros: [Outros]

1.88. Outros: [Outros]

1.89. Outros: [Outros]

1.90. Outros: [Outros]

1.91. Outros: [Outros]

1.92. Outros: [Outros]

1.93. Outros: [Outros]

1.94. Outros: [Outros]

1.95. Outros: [Outros]

1.96. Outros: [Outros]

1.97. Outros: [Outros]

1.98. Outros: [Outros]

1.99. Outros: [Outros]

1.100. Outros: [Outros]

2 - DADOS GERAIS:

2.1. Nome: [Nome]

2.2. Endereço: [Endereço]

2.3. Município: [Município]

2.4. Estado: [Estado]

2.5. País: [País]

2.6. Outros: [Outros]

2.7. Outros: [Outros]

2.8. Outros: [Outros]

2.9. Outros: [Outros]

2.10. Outros: [Outros]

2.11. Outros: [Outros]

2.12. Outros: [Outros]

2.13. Outros: [Outros]

2.14. Outros: [Outros]

2.15. Outros: [Outros]

2.16. Outros: [Outros]

2.17. Outros: [Outros]

2.18. Outros: [Outros]

2.19. Outros: [Outros]

2.20. Outros: [Outros]

2.21. Outros: [Outros]

2.22. Outros: [Outros]

2.23. Outros: [Outros]

2.24. Outros: [Outros]

2.25. Outros: [Outros]

2.26. Outros: [Outros]

2.27. Outros: [Outros]

2.28. Outros: [Outros]

2.29. Outros: [Outros]

2.30. Outros: [Outros]

2.31. Outros: [Outros]

2.32. Outros: [Outros]

2.33. Outros: [Outros]

2.34. Outros: [Outros]

2.35. Outros: [Outros]

2.36. Outros: [Outros]

2.37. Outros: [Outros]

2.38. Outros: [Outros]

2.39. Outros: [Outros]

2.40. Outros: [Outros]

2.41. Outros: [Outros]

2.42. Outros: [Outros]

2.43. Outros: [Outros]

2.44. Outros: [Outros]

2.45. Outros: [Outros]

2.46. Outros: [Outros]

2.47. Outros: [Outros]

2.48. Outros: [Outros]

2.49. Outros: [Outros]

2.50. Outros: [Outros]

2.51. Outros: [Outros]

2.52. Outros: [Outros]

2.53. Outros: [Outros]

2.54. Outros: [Outros]

2.55. Outros: [Outros]

2.56. Outros: [Outros]

2.57. Outros: [Outros]

2.58. Outros: [Outros]

2.59. Outros: [Outros]

2.60. Outros: [Outros]

2.61. Outros: [Outros]

2.62. Outros: [Outros]

2.63. Outros: [Outros]

2.64. Outros: [Outros]

2.65. Outros: [Outros]

2.66. Outros: [Outros]

2.67. Outros: [Outros]

2.68. Outros: [Outros]

2.69. Outros: [Outros]

2.70. Outros: [Outros]

2.71. Outros: [Outros]

2.72. Outros: [Outros]

2.73. Outros: [Outros]

2.74. Outros: [Outros]

2.75. Outros: [Outros]

2.76. Outros: [Outros]

2.77. Outros: [Outros]

2.78. Outros: [Outros]

2.79. Outros: [Outros]

2.80. Outros: [Outros]

2.81. Outros: [Outros]

2.82. Outros: [Outros]

2.83. Outros: [Outros]

2.84. Outros: [Outros]

2.85. Outros: [Outros]

2.86. Outros: [Outros]

2.87. Outros: [Outros]

2.88. Outros: [Outros]

2.89. Outros: [Outros]

2.90. Outros: [Outros]

2.91. Outros: [Outros]

2.92. Outros: [Outros]

2.93. Outros: [Outros]

2.94. Outros: [Outros]

2.95. Outros: [Outros]

2.96. Outros: [Outros]

2.97. Outros: [Outros]

2.98. Outros: [Outros]

2.99. Outros: [Outros]

2.100. Outros: [Outros]