

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Controle da Qualidade em Indústrias Mecânicas Pesadas

Relatório Final

Samuel Guimarães Filho

Orientador: Adherbal Caminada Netto

São Paulo

2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Controle da Qualidade em Indústrias Mecânicas Pesadas

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Graduação em Engenharia

Samuel Guimarães Filho

Orientador: Adherbal Caminada Netto

Área de concentração:

Engenharia Mecânica - Qualidade

São Paulo

2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Guimarães Filho, Samuel

Controle da qualidade em indústrias mecânicas pesadas / S. Guimarães Filho. – São Paulo, 2009.

97 p.

Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Controle de Qualidade 2. Ensaio não destrutivo 3. Negócio (Modelos)

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica. III. t.

Lista de Figuras

Figura 1 - Complexo Fabril de Sorocaba	14
Figura 2 - Fábrica da Empresa B em Sorocaba.....	15
Figura 3 - Trinca em uma Superfície	16
Figura 4 - Preparação da Superfície	18
Figura 5 - Aplicação do Penetrante	19
Figura 6 - Aplicação via Pincel.....	19
Figura 7 - Aplicação via Aerossol.....	19
Figura 8 - Remoção do Excesso do Penetrante.....	20
Figura 9 - Atuação do Revelador	21
Figura 10 - Limpeza da Superfície.....	22
Figura 11 - Campo Magnético gerado por um ímã.....	29
Figura 12 - Sentido do Campo Magnético. Do Norte para o Sul.....	29
Figura 13 - Campo de Fuga.....	31
Figura 14 - Descontinuidade gerando um campo de fuga.....	32
Figura 15 - Esquema básico do ensaio de Ultra-Som	32
Figura 16 - Transdutor Normal ou Reto.....	35
Figura 17 - Transdutor Angular	36
Figura 18 - Transdutor de Duplo Cristal.....	36
Figura 19 - Gel Acoplante. Neste caso, Metilcelulose. Ideal para materiais não ferrosos.....	37

Figura 20 - Esquema Geral de um Paquímetro	38
Figura 21 - Esquema Básico do Ensaio de Radiologia	39
Figura 22 - Separação entre partículas alfa, beta e gama	42
Figura 23 - Esquema Básico do tubo de Coolidge	43
Figura 24 - Gerador de Raios-X portátil	44
Figura 25 - Painel de Controle de um Gerador de Raios-X	44
Figura 26 - Esquema de um Filme Radiográfico	45
Figura 27 - Entrada do local de Ensaio por Radiologia	52
Figura 28 - Local da realização do Ensaio por Radiologia	53
Figura 29 - Norma Geral de Qualidade	54
Figura 30 - Manuais de fácil acesso	55
Figura 31 - Plano de Solda	56
Figura 32 - Plano de Solda II	57
Figura 33 - Plano de Inspeção	58
Figura 34 - Plano de Inspeção II	59
Figura 35 - Solicitação / Boletim de Inspeção	61
Figura 36 - Relatório de Ensaio Visual	63
Figura 37 - Relatório de Ensaio Visual II	64
Figura 38 - Relatório de Ensaio por Líquido Penetrante	65
Figura 39 - Relatório de Ensaio por Partículas Magnéticas	66
Figura 40 - Relatório de Registro de Recebimento	68
Figura 41 - Inspetor realizando o EN por Líquido Penetrante	71

Figura 42 - Ensaio por LP com o revelador já aplicado.....	72
Figura 43 - Ensaio por Radiologia (Indicação de Falha)	72
Figura 44 - Solda em tampa ensaiada. As linhas amarelas verticais indicam aonde será colocado o filme radiográfico	73
Figura 45 - Chão de Fábrica da Empresa B	79
Figura 46 - Chão de Fábrica da Empresa B 2	80
Figura 47 - Plano de Inspeção e Testes (PIT)	84
Figura 48 - Plano de Solda 1	86
Figura 49 - Plano de Solda 2	87
Figura 50 - Plano de Solda 3 (Final)	88
Figura 51 - Mapa de Solda 1	89
Figura 52 - Mapa de Solda 2 (Final)	90
Figura 53 - Roteiro de Fabricação.....	92
Figura 54 - Relatório de Ensaio	94

Sumário

Resumo.....	10
Abstract	11
1. Introdução	12
2. Apresentação das Indústrias Visitadas	13
2.1 Primeira Empresa Visitada.....	13
2.2 Segunda Empresa Visitada.....	15
3. Tipos de Ensaio	16
3.1 Ensaio por Líquido Penetrante	16
3.1.1 – O líquido Penetrante.....	23
3.1.2 – O Revelador	24
3.1.3 – O Removedor	24
3.2 Ensaio por Partículas Magnéticas	25
3.2.1 – Conceitos Envolvidos Importantes	28
▪ Campo Magnético	28
▪ Materiais Ferromagnéticos.....	29
▪ Materiais Paramagnéticos	30
▪ Materiais Diamagnéticos.....	30
▪ Campo de Fuga	30
3.3 Ensaio por Ultra-Som.....	32
3.3.1 Conceitos Importantes.....	34

▪ Ondas Mecânicas	34
▪ Ondas Periódicas	34
▪ Ondas Sonoras.....	34
▪ Transdutores	35
▪ Acoplante	37
3.4 Ensaio por Metrologia.....	37
3.5 Ensaio por Radiologia.....	38
3.5.1 Conceitos Importantes.....	41
▪ Radioatividade.....	41
▪ Ondas Eletromagnéticas.....	42
3.5.2 Geradores de Raios-X	42
3.5.3 Filmes Radiográficos	45
3.5.4 Instalações para o ensaio.....	46
4. Controle de Qualidade na Empresa A.....	47
4.1 Qualificação do Pessoal	48
4.2 Documentação Interna	53
4.3 Processos / Etapas	69
4.4 Principais Normas Utilizadas.....	73
5. Controle de Qualidade na Empresa B	79
5.1 Principais Normas Utilizadas.....	80
5.2 Qualificação do Pessoal	82
5.3 Fluxograma da Informação e Documentação Utilizada.....	82

6. Conclusão.....	95
7. Bibliografia	97

Resumo

O presente projeto visa descrever como é desenvolvido o controle de qualidade em indústrias mecânicas pesadas, cujo processo de fabricação é não-seriado.

Como este tipo de indústria requer que não haja desperdício na peça produzida, em outras palavras, a peça final não pode ser rejeitada pelo cliente – Geralmente, as peças são muito caras e a não aceitável tornaria economicamente inviável a continuação deste modelo de gestão – faz-se necessário que haja meios para que o componente produzido atenda às normas técnicas e ao pedido do cliente.

É neste contexto que se insere os ensaios não destrutivos. Durante este projeto será explicado os principais ensaios, como eles são aplicados na prática em indústrias mecânicas pesadas e, finalmente, atestar a sua eficiência.

Abstract

The present work intends to describe how the quality control is done in an industry which its manufacturing process is non-serial.

This type of industry requires that there is no final waste in the manufacturing process, in other words, the final product can not be rejected by the customer – Generally, the pieces are very expensive and there is no economical sense for this business plan any waste – So, it is necessary to have ways to ensure that the component produced will attend the technical standards and the customer need.

In this context, non-destructive tests are the answers for all problems above mentioned. Finally, this project will explain the main non-destructive tests, will illustrate how they are used in real industries and, finally, will attest its effectiveness.

1. Introdução

A engenharia da qualidade, indubitavelmente, constitui-se numa ferramenta imprescindível no processo de qualquer indústria. É através dela que se é possível buscar não só a melhoria do processo, identificando problemas e gargalos na produção, como também, evita que haja custos desnecessários para a manufatura. Estes podem, inclusive, inviabilizar a competitividade e a viabilidade econômica de qualquer projeto a ser desenvolvido.

O controle tradicional na engenharia de qualidade constitui-se em um trabalho estatístico de toda a produção. Através dele, é possível mapear todas as etapas do processo. Entretanto, em uma indústria mecânica pesada, na qual, toda e qualquer produção é feita através de encomenda e onde não se é possível determinar, no conceito mais estrito da palavra, uma linha de produção, faz-se necessário encontrar algum meio e/ou controle de qualidade.

Este deve, primeiramente, garantir as especificações e normas da peça a ser produzida. Segundo e não menos importante, verificar todos os processos, sugerir melhorias que elevem os parâmetros da qualidade e por fim, assegurar que ela saia em conformidade com o pedido do cliente e que consiga suprir suas necessidades.

Neste tipo de indústria, entretanto, há a exigência de que – como são poucas as unidades produzidas – a peça seja preservada após qualquer tipo de controle. É neste contexto que se insere os ensaios não destrutivos para peças.

Apesar do grande número de ensaios disponíveis, o escopo deste projeto de formatura consiste em descrever alguns dos ensaios (Ex: Metrologia, Radiologia) e atestar a eficácia destes no controle de qualidade em uma indústria visitada.

2. Apresentação das Indústrias Visitadas

Durante os dois semestres em que este projeto foi realizado duas indústrias mecânicas pesadas serviram como base de estudo e posterior comparação. Para isto, visitas foram feitas a elas com o objetivo de acompanhar, verificar, atestar e, sobretudo, aprender os tipos de ensaios não destrutivos mais úteis não só para a realidade dela, como também, para todas as fábricas.

Além disso, era objetivo das visitas entender todo o fluxo do controle da qualidade. Como a qualidade estava inserida no meio da produção; como deve ser o treinamento dos profissionais envolvidos; normas utilizadas, etc.

Vale lembrar que durante todo o projeto, as visitas foram agendadas e acompanhadas pelos responsáveis pelo controle de qualidade de cada empresa. Ambas as empresas gentilmente permitiram que fosse possível a inclusão dos seus nomes no projeto.

2.1 Primeira Empresa Visitada

A primeira empresa visitada foi a Empresa A Equipamentos. Ela possui mais de 50 anos de mercado, tendo iniciado suas atividades em 1954, tendo atualmente como principal foco de atuação a área petroquímica.

Hoje em dia, ela conta com um parque industrial de aproximadamente 300 metros quadrados de área, distribuídos em três cidades.

- Sorocaba.
- Itapevi.
- Osasco



Figura 1 - Complexo Fabril de Sorocaba

Há planos, ainda, da instalação de mais um complexo no estado de Alagoas para atender a demanda crescente do Norte e do Nordeste Brasileiro.

Possui como principais clientes grandes grupos fabris do Brasil e do mundo. Entre eles:

- Gerdau.
- Albrás.
- Alcoa.
- Basf.
- Braskem
- Camargo Corrêa.
- Bunge.
- Siemens.
- Petrobras

2.2 Segunda Empresa Visitada

Durante o segundo semestre, a indústria visitada foi a Empresa B S/A. Ela iniciou suas atividades em 1911. Atualmente, ela é uma indústria de bens de produção (Seus clientes são outras indústrias) que atende os seguintes setores:

- Metalurgia
- Energia
- Petróleo e Gás
- Aços Trefilados e Aços Laminados

Possui unidades em Guarulhos e Sorocaba. A unidade visitada foi a localizada em Sorocaba.



Fábrica de Sorocaba

Figura 2 - Fábrica da Empresa B em Sorocaba

3. Tipos de Ensaio

Neste tópico, serão abordados cinco tipos de ensaio não destrutivos altamente utilizados e que, em especial, nas indústrias visitadas durante todo este projeto mais utilizam.

Sua função aqui não é a de explicar em detalhes cada processo, mas sim, familiarizar o leitor com os principais ensaios e, a meu ver, os mais eficazes no controle de qualidade para uma indústria cujo processo de fabricação é não seriado.

3.1 Ensaio por Líquido Penetrante

Este tipo de ensaio não destrutivo é utilizado preponderantemente para a verificação de descontinuidades superficiais do material em análise.

Desta forma, busca-se detectar a presença de trincas, poros, dobras. Desde que não seja poroso ou que possua uma superfície muito grosseira, ele pode ser aplicado em qualquer material sólido.

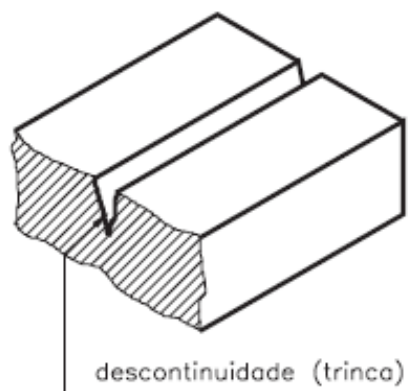


Figura 3 - Trinca em uma Superfície

É muito usado para materiais não magnéticos, já que, para estes é muito utilizado o ensaio por partículas magnéticas – O que não impede de o ensaio por líquido penetrante ser utilizado para estes casos –. Além do alumínio, magnésio, ligas metálicas, ligas de titânio, pode-se ensaiar em materiais como a cerâmica vitrificada, vidro e plásticos.

Além disso, este ensaio pode também detectar vazamento em tubos, tanques e componentes.

Altamente indicado para camadas de revestimento, soldas e zonas afetadas pelo calor excessivo. Assim como os outros ensaios e citado anteriormente, este procedimento visa prevenir acidentes, diminuir os custos, melhorar a confiabilidade.

Sua aplicação consiste basicamente em seis passos:

a) Preparação da Superfície:

A superfície na qual o ensaio será realizado precisa, antes de tudo, estar limpa e seca. Desta forma, não pode existir água, óleo ou outro contaminante. Caso isto aconteça, o ensaio perde a sua eficácia e, conseqüentemente, sua confiabilidade.

Normalmente, é utilizado na limpeza um solvente adequado. Sempre lembrando, que é necessário que haja um tempo da sua aplicação até o começo do teste. Já que, sua presença, assim como a de impureza, também prejudica os testes.

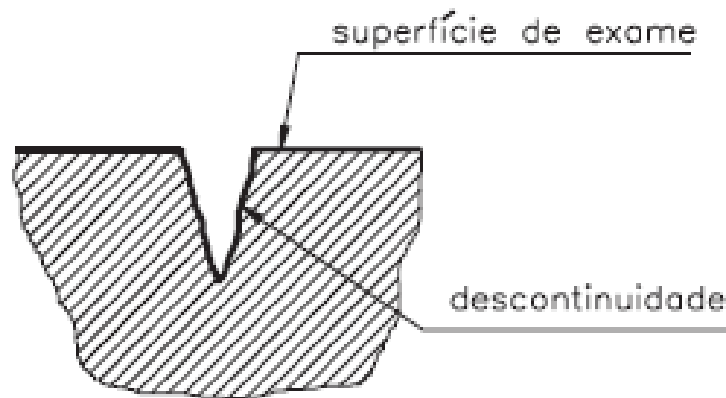


Figura 4 - Preparação da Superfície

b) Aplicação do Penetrante:

Nesta fase, a aplicação do líquido penetrante, geralmente de cor vermelha, formando, geralmente, um filme sobre a superfície e que por ação da capilaridade – poder de penetração de um líquido em áreas extremamente pequenas devido a baixa tensão superficial –, penetre em qualquer descontinuidade que possa existir. Sua aplicação é feita geralmente com um pincel, com uma pistola de aplicação, com lata de aerossol ou, até mesmo, imergindo o líquido sobre a peça.

A temperatura ideal para a aplicação do penetrante é a de 20 °C. Enquanto isso, a temperatura da superfície não deve estar abaixo dos 5°C. Estes valores contribuem para que o penetrante não evapore nem inflame.

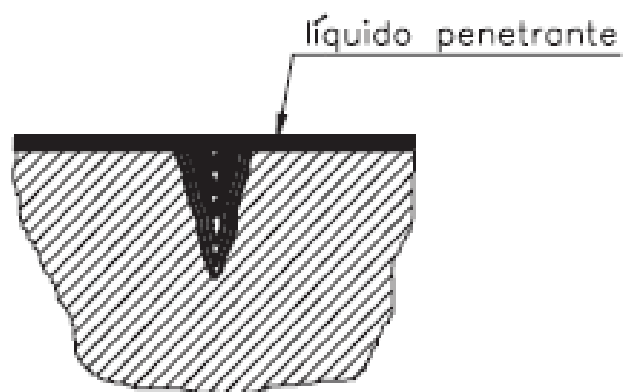


Figura 5 - Aplicação do Penetrante



Figura 6 - Aplicação via Pincel



Figura 7 - Aplicação via Aerossol

c) Remoção do excesso de Penetrante:

Nesta fase, torna-se necessária a remoção do excesso do líquido existente na superfície (Vale lembrar que esta retirada deve respeitar as propriedades do líquido penetrante). No final deste passo, a superfície do material deverá estar sem qualquer resíduo em sua superfície.

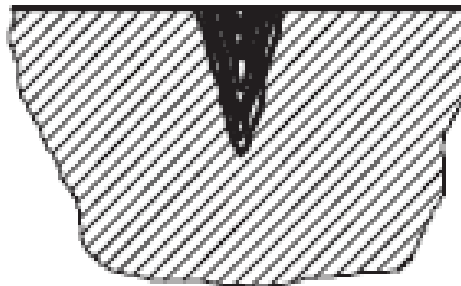


Figura 8 - Remoção do Excesso do Penetrante

d) Revelação:

Consiste na aplicação de um filme uniforme de revelador sobre a superfície. Este revelador geralmente é um pó fino branco. O revelador atua absorvendo o penetrante das discontinuidades e revelando-as.

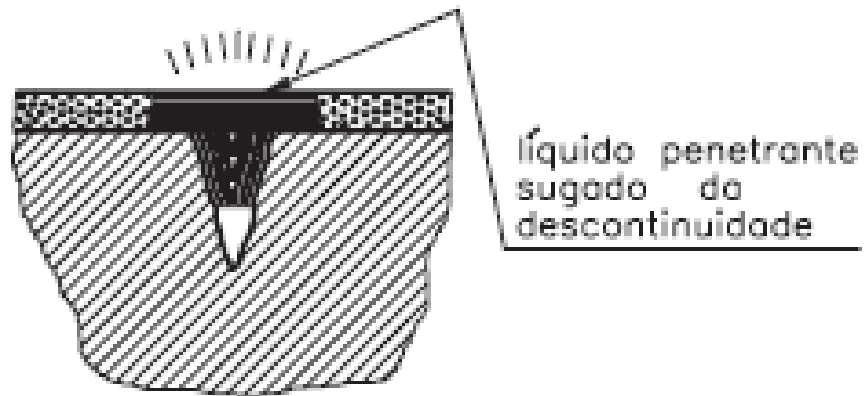


Figura 9 - Atuação do Revelador

e) Avaliação e Inspeção:

As manchas resultantes após a absorção do revelador serão os objetos de análise. A análise deve levar em conta as normas da peça ou ainda nas especificações do cliente em questão. Desta forma é possível criar critérios de aceitação da peça analisada.

É importante nesta etapa, relatar toda imperfeição localizada.

f) Limpeza pós Ensaio:

Por fim, deve-se retirar todo e qualquer resíduo na peça. Caso este procedimento não aconteça. Algum procedimento ou processo de fabricação a ser realizado na peça poderá ser comprometido.

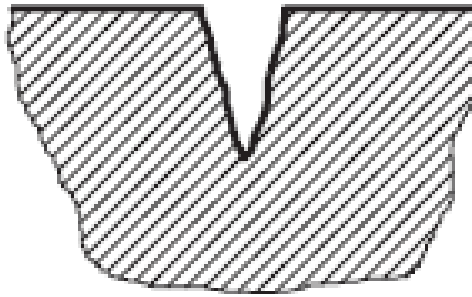


Figura 10 - Limpeza da Superfície

Principais vantagens:

- Fácil aplicação. É um procedimento relativamente simples. Assim como também, a análise dos resultados também é de fácil conclusão.
- Não se faz necessária grandes investimentos para o treinamentos do inspetor
- Não há limitação para o tamanho das peças.

Principais desvantagens:

- Há apenas a detecção de descontinuidades já abertas na superfície. Já que, o líquido penetrante precisa “penetrar” no material.
- Como citado acima, este ensaio não é utilizado para materiais com superfície porosa.
- Há também restrições quanto a temperatura do penetrante.

3.1.1 – O líquido Penetrante

Como citado acima, a principal característica deste material deve ser alta capacidade de infiltração, sua capilaridade. Além disso, há outros atributos que este líquido necessita possuir:

- O líquido não pode secar ou evaporar em um tempo curto.
- Deve ser facilmente limpo do local de aplicação.
- Sua cor ou fluorescência deve permanecer quando exposto a luz, calor ou luz negra.
- Não pode reagir quimicamente com o material ensaiado. De preferência, ele deve ser inerte.
- Não pode ser inflamável. Normalmente, bons penetrantes apenas inflamam com temperatura acima de 200 °C.
- Deve possuir uma elevada Molhabilidade. Tal propriedade indica a capacidade de o líquido se espalhar sem formar porções ou gotas.
- Não pode ser tóxico, tampouco causar qualquer dano ao operador do ensaio ou qualquer outra pessoa.

Normalmente, quanto a visibilidade do líquido penetrante, são utilizados dois tipos. São eles:

- Penetrante colorido – Este penetrante colorido normalmente possui a cor avermelhada que pode ser visualizado sob luz branca ou luz natural.

- Penetrante fluorescente – Este penetrante possui a cor verde-amarelado somente quando observado com a luz ultravioleta utilizando-se equipamentos apropriados.

3.1.2 – O Revelador

Apesar de óbvia a afirmação, um bom revelador deve, acima de tudo, ter a capacidade de absorver o penetrante. Ele age absorvendo o penetrante para fora da descontinuidade e, conseqüentemente, mostrando o lugar da imperfeição.

Além disso, ele, assim como o penetrante, deve ser facilmente removível do material, tampouco causar qualquer dano ao operador.

Existem basicamente quatro tipos de reveladores:

- Revelador Seco.
- Revelador Úmido em suspensão aquosa.
- Revelador Úmido em solução aquosa.
- Revelador Úmido não aquoso ou solúvel em solvente.

3.1.3 – O Removedor

São produtos que são utilizados para remover o excesso de penetrante na superfície da peça ensaiada. Vale lembrar, que se deve ter o cuidado para que o removedor também não remova o penetrante de dentro das descontinuidades.

Existem basicamente quatro tipos de removedores:

- Removedor à base de água.
- Removedor a base de solvente.
- Removedor que utiliza emulsificador hidrofílico.
- Removedor que utiliza emulsificador lipofílico.

3.2 Ensaio por Partículas Magnéticas

Este ensaio visa a localização de descontinuidades superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagnéticos. Ele pode ser utilizado em peças fundidas, usinadas, forjadas, soldadas e outras, tratados ou não termicamente. Além disso, pode ser realizado, inclusive, durante as etapas de fabricação.

Normalmente, detectam-se os seguintes defeitos: trincas, inclusões, gota fria, dupla laminação, falta de penetração, dobramentos.

Seu princípio básico consiste na utilização de uma corrente elétrica que produz ou induz um campo magnético que percorrerá toda a superfície da peça. Na região magnetizada da peça, as descontinuidades existentes, ou seja, a falta de continuidade das propriedades magnéticas do material irá causar um campo de fuga do fluxo magnético. Em outras palavras, há um desvio na trajetória das partículas.

Com a aplicação das partículas ferromagnéticas, ocorrerá a aglomeração destas nos campos de fuga, uma vez que serão por eles atraídas devido ao surgimento de pólos magnéticos. A aglomeração indicará o contorno do campo de fuga, fornecendo a visualização do formato e da extensão da descontinuidade.

Após a realização ensaio, pode ser necessária a desmagnetização da peça. Inúmeras são as razões pelas quais este processo se faz necessário. Dente elas, pode-se destacar:

- Interferência no processo de Usinagem: magnetismo induzirá a magnetização das ferramentas de corte.
- Interferência no processo de Soldagem: Há uma deflexão do arco elétrico, conseqüentemente, há um desvio da região de soldagem.
- Interferência com instrumentos de medição.

Etapas básicas:

- a. Verificação de documentos, instrumentos e procedimentos necessários para a realização do ensaio.
- b. Apesar de tênue, é necessária uma pré-limpeza da peça – É necessária, sobretudo, a remoção de camadas mais densas ou mais espessas de óxido, de tintas ou produtos de queima de óleos.
- c. Selecionar Equipamento, Técnica para Magnetização e das Partículas magnéticas – Esta escolha depende basicamente de alguns fatores. Forma da peça a ser ensaiada, local onde será executado o ensaio, qual é o acabamento superficial da peça e, por fim, qual é a especificação técnica para a posterior inspeção.
- d. Realizar o ensaio propriamente dito. Em outras palavras, estabelecer um campo elétrico sobre a peça.

- e. Examinar e analisar os acúmulos de partículas na superfície da peça – Para esta fase, é de fundamental importância a existência de critérios e requisitos recomendados com base nas normas aplicáveis.
- f. Caso necessário, desmagnetizar e limpar a peça – Caso este passo não aconteça, para algumas peças, pode-se provocar problemas.
- g. Tendo como base as informações coletadas, elaborar um resumo do ensaio e, posteriormente, com os critérios de aprovação da peça, aprová-la ou não.

Principais Vantagens:

- Ao contrário do ensaio por líquido penetrante, é possível detectar defeitos sub-superficiais.
- Sua aplicação é simples
- Ao contrário do ensaio por líquido penetrante, a preparação da peça ensaiada é simples.
- Independência quanto a forma ou tamanho da peça ensaiada.

Principais Desvantagens:

- Como o próprio nome sugere e descrito acima, é aplicável somente para materiais ferromagnéticos.
- Em alguns casos, é necessário mais um processo: a desmagnetização da peça ensaiada.

- Pode ocorrer um aquecimento não desejado das partes examinadas devido a elevada corrente elétrica demandada para o ensaio.

Vale lembrar que este ensaio pode gerar resultados falsos. Em outras palavras, nem toda indicação de descontinuidade deve ser encarada como, de fato, um motivo para a não aceitação da peça.

Há dois casos principais:

- Descontinuidades causadas não por descontinuidades nas peças, mas sim, por falhas operação. Que pode ser uso inadequado do equipamento, por exemplo.
- Outras indicações que se tornam irrelevantes por gerarem campos de fuga já esperados ou conhecidos. É o que acontece, por exemplo, quando a peça possui uma geometria especial. Além disso, dependendo da etapa de fabricação da peça (Cantos com rasgos de chaveta), pode gerar um campo de fuga que, no entanto, não representa irregularidade.

3.2.1 – Conceitos Envolvidos Importantes

- Campo Magnético

Um campo magnético é o campo produzido por um ímã ou por cargas elétricas em movimento. É a região que envolve esta massa, e, dentro da qual, o ímã consegue exercer suas funções magnéticas.

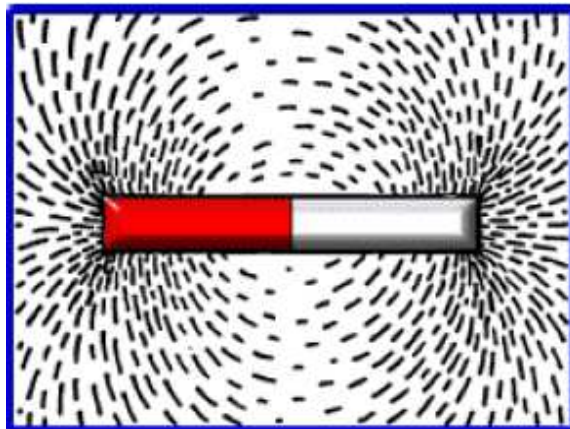


Figura 11 - Campo Magnético gerado por um ímã

Seu fluxo é sempre orientado de forma que saia do pólo Norte em direção ao pólo Sul

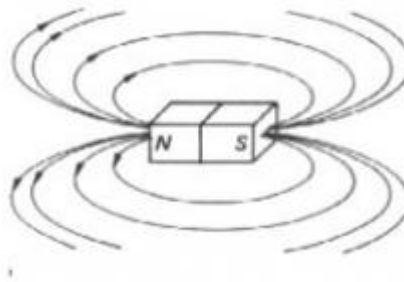


Figura 12 - Sentido do Campo Magnético. Do Norte para o Sul

- **Materiais Ferromagnéticos**

Elementos como o Ferro (Fe), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Gadolínio (Gd) e, evidentemente, em algumas ligas que contenham estes materiais, ocorre o fenômeno chamado ferromagnetismo. Esta característica possibilita estes

elementos adquirir um alto grau de alinhamento magnético de tal modo que venham a ser fortemente atraídos por ímãs.

Nestes elementos a permeabilidade magnética é maior do que 1 (um).

- **Materiais Paramagnéticos**

Quando colocadas num campo magnético, o alinhamento dos dipolos atômicos elementares não é perfeito, ocasionando uma fraca atração pelos ímãs.

Exemplos: Alumínio (Al), Potássio (K), Cobalto (Co).

Nestes elementos a permeabilidade magnética é praticamente igual a 1 (um).

- **Materiais Diamagnéticos**

São os materiais cuja permeabilidade magnética é um pouco menos do que 1 (um). São levemente repelidos por um ímã. Logo, este tipo de ensaio não é aplicável para este tipo de material.

Podem-se citar como exemplos deste tipo de material, elementos como o Zinco (Zn), Mercúrio (Hg), Cobre (Cu).

- **Campo de Fuga**

Se algum material possuir descontinuidades, estas modificam as suas propriedades magnéticas, conseqüentemente, as linhas de campo, que normalmente distorcem-se apenas nos pólos, distorcem-se na zona de descontinuidade.

Desta forma, podem sair e entrar novamente no material, gerando, assim, pólos locais e, conseqüentemente, indica ao operador o lugar exato da descontinuidade no material.

Uma grande vantagem deste ensaio é que o campo de fuga pode ser verificado mesmo para as pequenas descontinuidades. Ou seja, não há um tamanho mínimo para que este fenômeno seja observado.

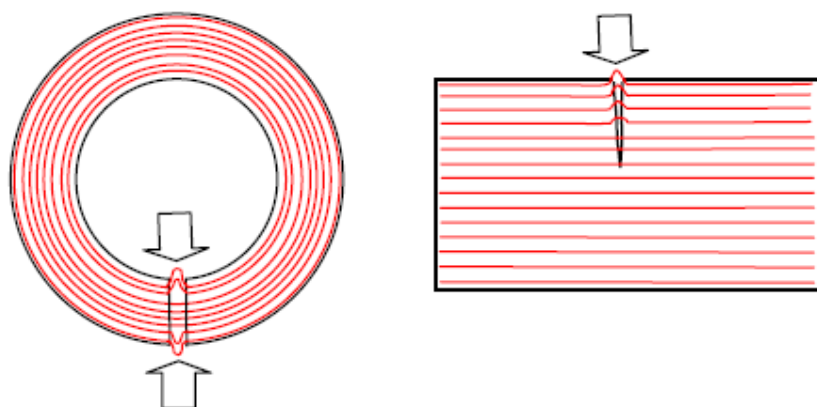


Figura 13 - Campo de Fuga

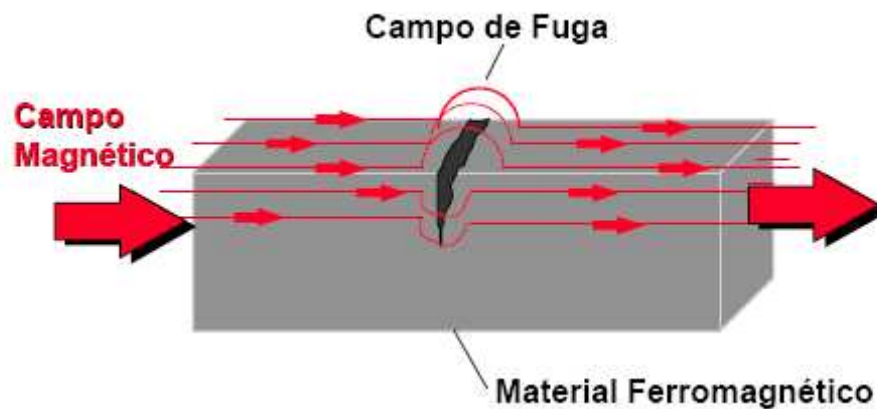


Figura 14 - Descontinuidade gerando um campo de fuga

3.3 Ensaio por Ultra-Som

Este ensaio, através de aparelhos especiais, visa a detecção de defeitos ou de descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou formas de materiais através da introdução de um feixe ultra sônico – gerado e transmitido através de um transdutor especial – com características compatíveis com a estrutura da peça a ser ensaiada.

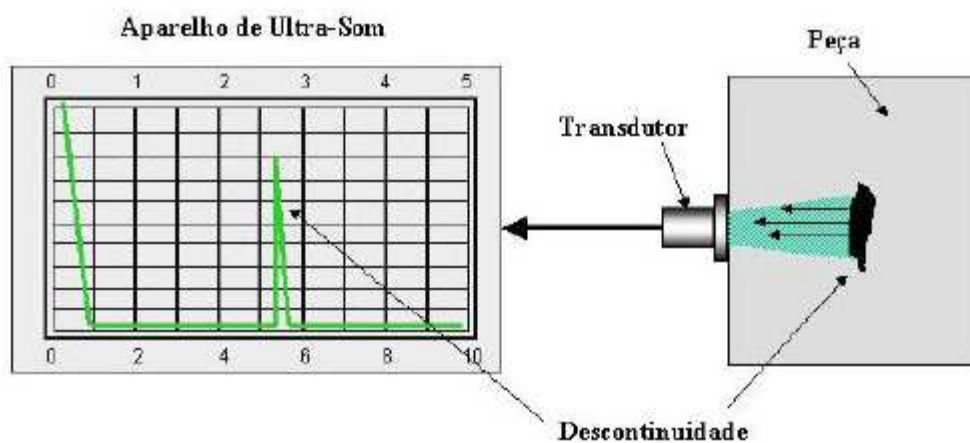


Figura 15 - Esquema básico do ensaio de Ultra-Som

Os ultra-sons são ondas acústicas que possuem frequências acima das audíveis pelos seres humanos, situando-se na faixa de 0,5 a 25 Mz.

Estes materiais podem ser ferrosos, não ferrosos, metálicos e não metálicos.

Caso haja uma descontinuidade na peça (Obstáculo na peça) e este feixe estiver uma direção favorável em relação a ela, a onda será interrompida e, conseqüentemente, parcialmente devolvida (refletida), captada pelo transdutor e, finalmente, um pico será mostrado nela to aparelho utilizado no ensaio.

A aplicabilidade deste ensaio é imensa. Podendo ser utilizado para peças soldadas, laminadas, fundidas. Assim como também, para materiais ferrosos, não ferrosos, ligas metálicas, vidro, borracha e materiais compostos.

Este ensaio possui como pré-requisito algumas condições. São elas:

- Atenção e obediência as normas técnicas, procedimentos e manuais.
- Aparelho que emita este feixe.
- Transdutor
- Acoplante
- Blocos de Referência e Calibração.

Principais Vantagens:

- Alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas descontinuidades internas. Por exemplo: trincas devido a tratamento térmico, fissuras.
- Dispensa processos intermediários.
- Não requer planos especiais de segurança.

Principais desvantagens:

- Requer grande conhecimento técnico do inspetor.
- Faixas de espessuras muito finas dificultam a sua aplicação.

3.3.1 Conceitos Importantes

- Ondas Mecânicas

São ondas originadas pela deformação de uma região de um meio elástico. Para que possam se propagar, é necessário que haja um meio material. Quando estas são transmitidas ao nosso sentido da audição, são por ele captados como uma impressão fisiológica denominada “som”.

- Ondas Periódicas

São ondas que, em intervalos de tempos iguais, repetem-se igualmente.

- Ondas Sonoras

São ondas mecânicas e periódicas. Classificação:

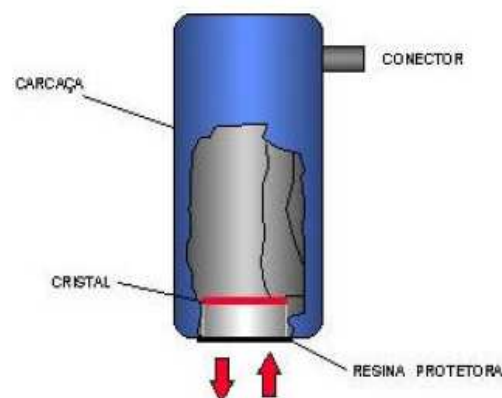
- o Som: ondas que possuem frequência entre 20 Hz e 20.000 Hz. São audíveis.
- o Infra-Som: ondas que possuem frequências inferiores a 20 Hz. São inaudíveis.
- o Ultra-Som: ondas que possuem frequências superiores a 20.000 Hz. São inaudíveis. Normalmente, neste tipo de ensaio são utilizados ondas com frequência entre 0,5 Mz e 20 Mz.

■ Transdutores

São os responsáveis pelas emissões das ondas ultra-sônicas. Vale lembrar que, por serem materiais frágeis, devem ser manuseados com cuidado.

Possuem três tipos principais:

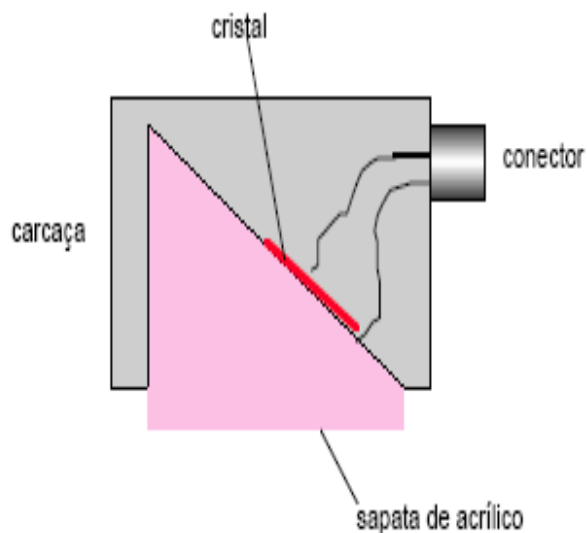
a. Transdutor Normal



O transdutor normal tem sua maior utilização na inspeção de peças com superfícies paralelas ou quando se deseja detectar descontinuidade na direção perpendicular à superfície da peça. É o exemplo de chapas, fundidos e forjados.

Figura 16 - Transdutor Normal ou Reto

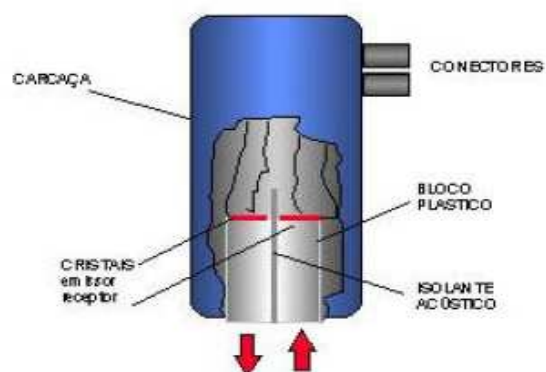
b. Transdutor Angular



O transdutor angular é muito utilizado na inspeção de soldas e quando a descontinuidade está orientada perpendicularmente à superfície da peça.

Figura 17 - Transdutor Angular

c. Transdutor de Duplo Cristal



O transdutor duplo-cristal tem sua utilização maior, na detecção de descontinuidades próximas da superfície, acima de 3 mm de profundidade e em medição de espessura, em razão do seu feixe sônico ser focalizado. Em geral, por ocasião da aquisição deste transdutor, deve se verificar qual a faixa de espessura que se pretende medir, e qual o modelo ideal para esta aplicação.

Figura 18 - Transdutor de Duplo Cristal

- **Acoplante**

Substância líquida ou gasosa que visa não deixar ar entre dois meios. Neste caso, o transdutor e a peça que está sendo ensaiada.

Os acoplantes mais utilizados são a água, óleo em geral, gel, graxa, vaselina líquida, Metilcelulose. A escolha de um Acoplante ou outro será baseado nas condições superficiais da peça e do tipo de material ensaiado.

No final do ensaio, o excesso de acoplante deverá ser retirado da peça.



Figura 19 - Gel Acoplante. Neste caso, Metilcelulose. Ideal para materiais não ferrosos.

3.4 Ensaio por Metrologia

Este, talvez, seja o mais simples e também o mais utilizado dos ensaios não destrutivos. Ele baseia seu procedimento em medições nas peças estudadas para a verificação da sua conformidade em relação aos parâmetros da norma ou o pedido efetuado pelo cliente.

No entanto, para que haja uma boa medição, torna-se necessário uma quantificação das características do produto e do próprio processo.

Requisitos básicos:

- Definição de unidades padronizadas que permitam a conversão de abstrações como comprimento e massa em medidas quantificáveis.
- Instrumentos bem calibrados em termo destas unidades. Este requisito é a grande limitação ou exigência deste processo.

São utilizados materiais simples como o paquímetro, micrômetro até máquinas tridimensionais associadas a sistemas computadorizados.

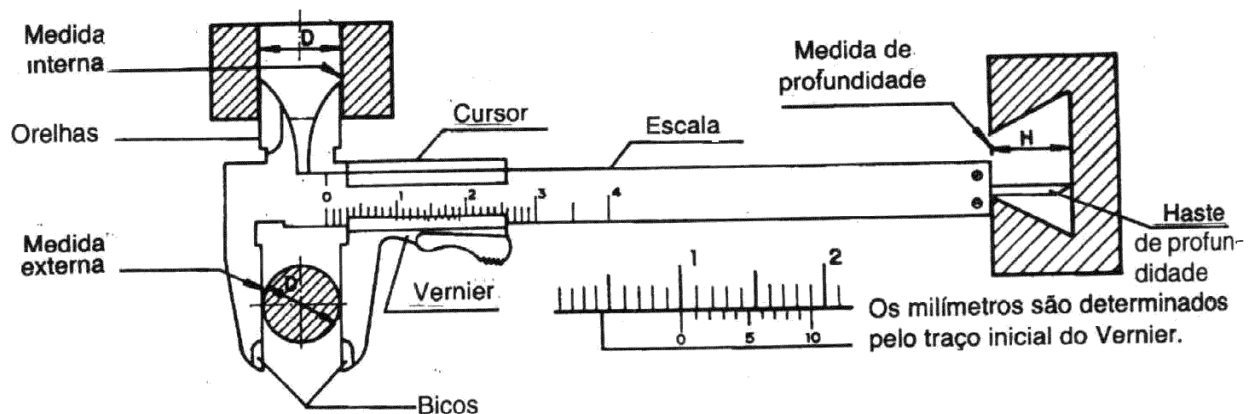


Figura 20 - Esquema Geral de um Paquímetro

3.5 Ensaio por Radiologia

Este método baseia-se basicamente na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça que está sendo ensaiada. Foi o primeiro método não destrutivo a ser utilizado pela indústria para a descoberta e posterior quantificação em defeitos internos na peça.

Há três componentes básicos necessários para a sua realização: uma fonte de radiação (Natural ou Artificial), a peça propriamente dita e um meio de registro, que neste caso será um filme radiográfico.

Pode ser utilizada para uma enormidade tipo de peças. Desde materiais soldados – chapas para tanques, vasos de pressão (utilizado em ambas as Indústrias Visitadas), navios, plataformas offshore –, forjados, materiais compostos, plásticos, componentes para engenharia aeroespacial, entre outros.

Essa diferente absorção é que será a indicadora da existência de uma falha interna ou defeito no material. Porque, neste caso, na parte na qual existir a falha, haverá uma menor absorção. Em outras palavras, esta descontinuidade, sendo uma inclusão ou um vazio, irá ocasionar uma diferença na intensidade da radiação transmitida.

Geralmente, a detecção da radiação absorvida é feita através de um filme ou através de um tubo de imagem. Como neste ensaio, detecta-se uma diferença na espessura ou densidade da quantidade de radiação absorvida, pode-se concluir, portanto, que este tipo de ensaio é, sobretudo, indicado para defeitos volumétricos.

Ou outras palavras, defeitos volumétricos como vazios ou inclusões serão facilmente detectados neste tipo de ensaio. Desde, é claro, que a dimensão do defeito não seja tão pequena em relação à espessura da peça.

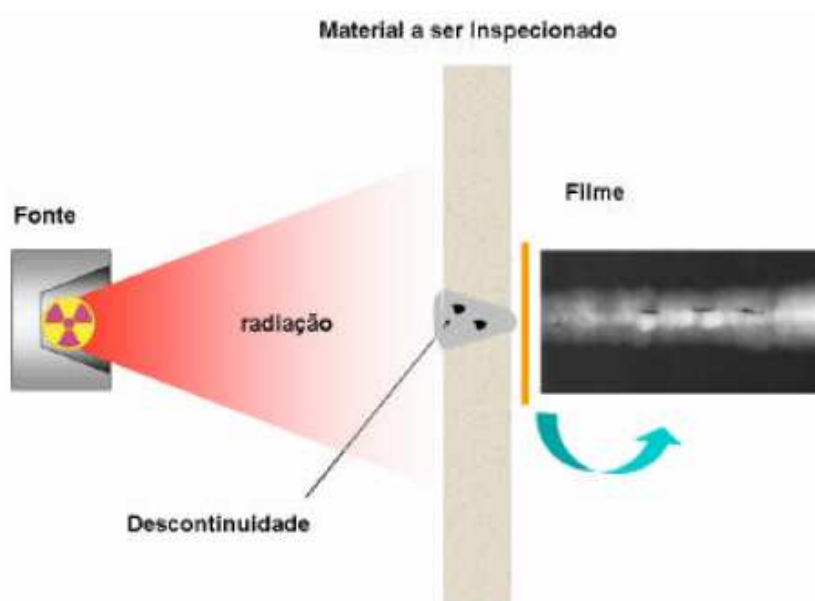


Figura 21 - Esquema Básico do Ensaio de Radiologia

Podem ser utilizados neste tipo de ensaio dois tipos de radiação eletromagnética:

- Raios-X – Neste caso, o ensaio chama radiografia. São produzidos pela interação de elétrons de alta energia ou íons, com a matéria.
- Raios Gama – Neste caso, o ensaio é chamado de Gamagrafia. Normalmente os isótopos utilizados são o Ilídio, Cobalto ou, recentemente, o Selênio. São produzidos em transformações nucleares. Sua principal vantagem reside no fato da fonte de radiação utilizada ser pequena, por conseguinte, permitir um melhor acesso a locais pequenos. Além disso, não necessitam de energia elétrica.

Algumas características comuns a ambos os tipos de radiação:

- Utilizados para a obtenção de uma imagem.
- Deslocam-se em linha reta.
- Mesma forma de luz visível. Fazem parte do espectro eletromagnético.
- Ambos são refratados quando passam através de vidro, lente ou outro meio.
- São Invisíveis.
- Provocam efeitos genéticos.
- Propagam-se na mesma velocidade da luz. Ou seja, 3×10^8 m/s.

- Estimulam fluorescência e fosforescência em alguns materiais. Esta característica é de fundamental importância para o ensaio em questão.

3.5.1 Conceitos Importantes

- Radioatividade

Fenômeno natural ou artificial, pelo qual, algumas substâncias ou elementos químicos são capazes de emitir radiações. Estas possuem como característica, como citado acima, a propriedade de impressionar placas fotográficas, ionizar gases, produzir fluorescência.

Este fenômeno acontece pelo fato de tais elementos (Urânio, Rádio, Tório) é causada pela instabilidade da complexa estrutura de um átomo sobre a ação de forças elétricas, magnéticas e gravitacionais. Conseqüentemente, acabam perdendo partículas alfa, beta e gama. Tipos de Radiação:

- o Radiação Alfa – São compostas por dois nêutrons e dois prótons. São desviadas por campos elétricos e magnéticos.
- o Radiação Beta – São fluxos de partículas originárias do núcleo. Possuem a mesma natureza dos elétrons. Assim como a radiação alfa, a radiação beta também é desviada por campos elétricos e magnéticos. É mais penetrante que a radiação alfa.
- o Radiação Gama – São Ondas eletromagnéticas. Das três, é a mais penetrante. Diferentemente das duas anteriores, não é desviadas por campos elétricos e magnéticos.

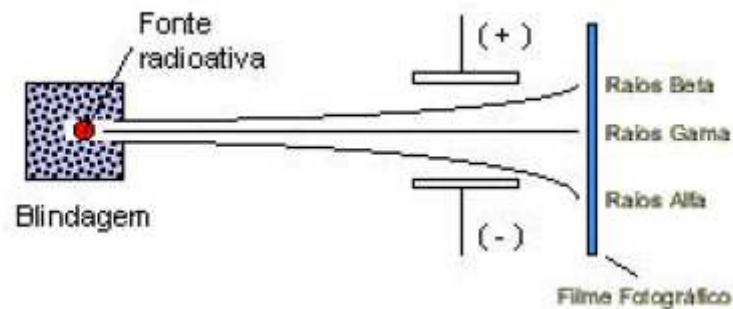


Figura 22 - Separação entre partículas alfa, beta e gama

▪ Ondas Eletromagnéticas

É a combinação de um campo elétrico e outro magnético, que oscilam perpendicularmente um ao outro, propagando-se simultaneamente através do espaço transportando energia.

Diferentemente das ondas mecânicas, vistas acima, elas não necessitam de um meio material para se propagarem. Ou seja, podem se propagar, inclusive, no vácuo.

A classificação destas radiações eletromagnéticas depende da frequência da onda. Em ordem crescente de frequência, temos: ondas de rádio, microondas, radiação terahertz (Raios T), radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, Raios-X, Radiação Gama.

3.5.2 Geradores de Raios-X

Os equipamentos de raios-x se dividem em dois componentes: o painel de controle e o cabeçote.

O cabeçote ou unidade geradora constitui-se numa ampola de vidro, denominada tubo de Coolidge. Esta possui duas partes distintas: ânodo e cátodo.

Eles são submetidos a uma tensão elétrica, sendo que o pólo positivo é ligado ao ânodo e o pólo negativo ligado ao cátodo.

Enquanto o cátodo é composto de um pequeno filamento, igual a uma lâmpada incandescente, o ânodo é feito de tungstênio.

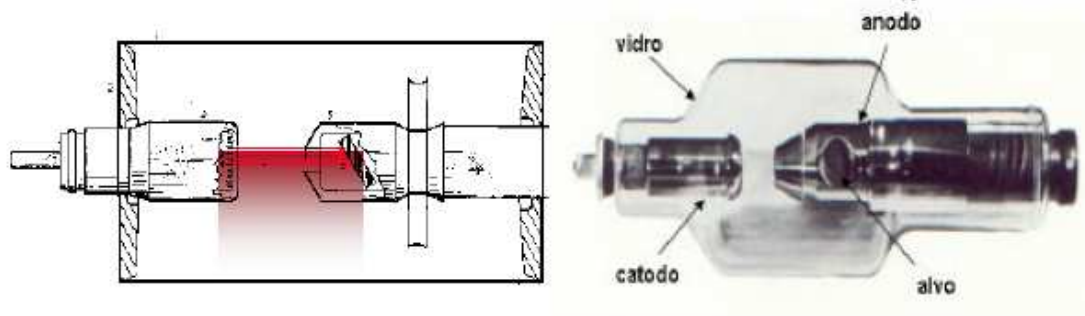


Figura 23 - Esquema Básico do tubo de Coolidge

Quando o tubo é ligado, o filamento se aquece e começa, então, a emitir elétrons. Estes são atraídos para o ânodo.

Nesta interação, ocorre uma desaceleração repentina dos elétrons que transforma energia cinética em raios-X.

Devido ao calor excessivo proveniente dos raios-x, é necessário uma atenção especial para o ânodo. Deve-se refrigerá-lo.

Já no painel de controle, como o próprio nome indica, estão todos os controles, indicadores, chaves e medidores.

Através dele é possível fazer ajustes na voltagem e amperagem, além do controle de liga/desliga do aparelho.



Figura 24 - Gerador de Raios-X portátil



Figura 25 - Painel de Controle de um Gerador de Raios-X

3.5.3 Filmes Radiográficos

São compostos de uma emulsão e uma base. A emulsão é uma camada muito fina de gelatina. Ela é colocada sobre um suporte, a base, fabricada geralmente de u, derivado da celulose.

Diferentemente dos filmes fotográficos, os radiográficos possuem a emulsão em ambos os lados.

Cristais de brometo de prata, presentes na emulsão, tornam-se aptos a reagir com o revelador quando atingidos pela radiação de luz.

O revelador provoca nos cristais uma reação de redução resultando em prata metálica negra.

Os locais os quais receberam maior quantidade de radiação apresentarão, conseqüentemente, diferentes quantidades de prata. Esta diferença é que forma a imagem do objeto radiografado.

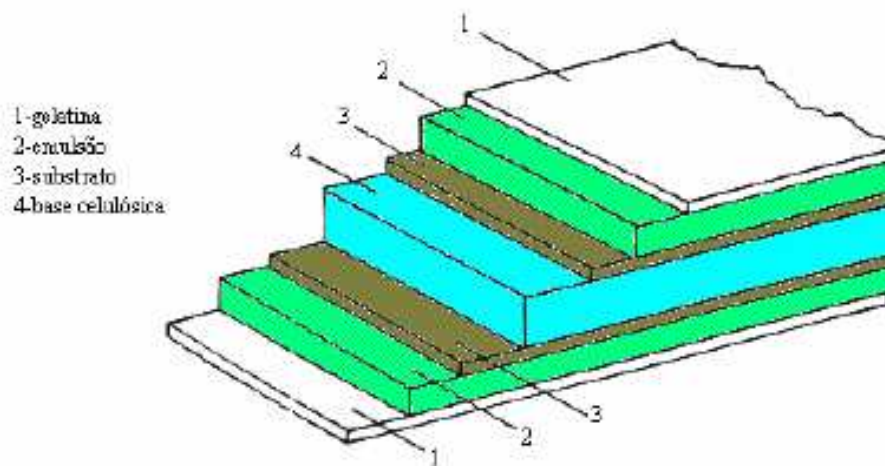


Figura 26 - Esquema de um Filme Radiográfico

3.5.4 Instalações para o ensaio

Este ensaio, sem sombra de dúvidas, é o que possui maior quantidade de pré-requisitos para sua realização. Pelo fato das radiações serem danosas ao ser humano, cuidados devem ser tomados, assim como também, deve ser realizado um intenso trabalho de qualificação dos operadores.

Itens obrigatórios para o funcionamento de um laboratório para ensaio por raios-X:

- Blindagem das Paredes.
- Blindagem das Portas.
- Sinalização Luminosa.
- Interruptores na sala onde ficará o aparelho. Este procedimento visa interromper o ensaio em caso de emergência.
- Medidores de Radiação.
- Sinalização.
- Plano de Radioproteção.
- Pessoal qualificado e treinado pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

4. Controle de Qualidade na Empresa A

Como já foi descrito anteriormente, não é possível a realização de um controle estatístico da produção em uma indústria mecânica cuja produção é não seriada e, conseqüentemente, a cada novo pedido de um cliente uma nova peça diferente será produzida.

Entretanto, faz-se necessário que durante o processo de fabricação, haja inspeções na peça para garantir que o produto final atenda às normas e às exigências do cliente.

A Empresa A produz basicamente os seguintes componentes industriais:

- Vasos de pressão;
- Colunas;
- Trocadores de Calor.

Para a produção destes componentes, há dois processos básicos de fabricação em que o controle de qualidade e, conseqüentemente, ensaios não destrutivos são utilizados para a identificação e posterior correção de falhas.

- Solda
- Dobra em Tubos

Enquanto na dobra de tubos o único ensaio não destrutivo utilizado é o por líquido penetrante, nas peças soldadas são realizados todos os tipos de ensaios.

Atualmente, a inspeção de solda é a operação mais utilizada na Empresa A e é, portanto, o processo de fabricação que exigirá maior controle da fábrica.

Este capítulo do presente trabalho poderá ser dividido nos seguintes tópicos:

- Qualificação do Pessoal
- Documentação Interna
- Processos; Etapas
- Principais Normas Utilizadas

4.1 Qualificação do Pessoal

Para a realização de qualquer um dos ensaios não destrutivos, é necessário que o técnico (inspetor) responsável por este procedimento seja qualificado. Primeiro, é necessário que este domine o processo. Segundo, esta qualificação, a princípio, assegura que o resultado do ensaio será satisfatório. Em outras palavras, a chance de aceitar uma peça defeituosa ou rejeitar uma peça que atende aos padrões se reduz.

Na Empresa A, cada ensaio é realizado por uma equipe. Cada equipe possui um inspetor chefe. Este é o responsável não só pela realização do ensaio em si, como também, do controle dos ensaios e da emissão final de um relatório para a peça.

A certificação no Brasil é realizada pela ABENDE (Associação Brasileira de Ensaio não Destrutivos e Inspeção) e emitida pelo SNQC/END (Sistema nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal em Ensaio não Destrutivos). Todos os certificados têm como base a norma ABNT NBR NM ISO 9712:2007.

Estes certificados abrangem os seguintes tipos de ensaios: Ultra-Som (US), Partículas Magnéticas (PM), Líquido Penetrante (LP), Radiografia (ER), Visual (EV), Correntes Parasitas (CP) e Emissão Acústica (EA).

Segundo a ABENDE, com seus certificados há a “comprovação das características e habilidades, segundo procedimentos escritos e com resultados documentados, que permitem a um indivíduo exercer determinadas tarefas.”

Para o técnico poder estar apto a realizar o teste alguns pré-requisitos são necessários:

- Escolaridade – Ensino fundamental para nível 1 e Ensino médio para os demais.
- Treinamento
- Experiência Profissional – Faz-se necessário que o postulante possuía ao menos, em média, um ano de experiência na área.
- Aptidão Física – Percepção de cores e Acuidade visual natural ou corrigida satisfatória.

Há três níveis para este certificado:

a) Nível 1 – O profissional é capaz de:

- Instalar e preparar o equipamento de END;

- Conduzir o Ensaio;
- Registrar e Classificar os Resultados do ensaio nos termos de um critério escrito;
- Relatar os resultados.

b) Nível 2 – O profissional é capaz de:

- Selecionar a técnica de END para o método de ensaio a ser usado;
- Definir as limitações da aplicação do método de ensaio;
- Preparar e verificar os ajustes do equipamento;
- Executar e supervisionar todas as tarefas de profissionais nível 1 ou 2;
- Organizar e relatar os resultados de um END.

c) Nível 3 – O profissional é capaz de:

- Assumir toda a responsabilidade por uma instalação de ensaio e pelo pessoal envolvido no ensaio;
- Elaborar e validar instruções de ENDs e procedimentos;

- Interpretar códigos, normas, especificações e procedimentos;
- Supervisionar e orientar todos os níveis de profissionais.

Em cada equipe da Empresa A possui um inspetor chefe que é pelo menos nível 2. Há na equipe quem não possua certificado algum. Entretanto, estes apenas auxiliam no processo.

Conseqüentemente, toda e qualquer erro destes será assumida pelo seu respectivo inspetor chefe.

Há ainda na indústria, profissionais que possuem o certificado emitido pela FBTS (Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem). Este se destina para os profissionais para a realização da solda.

Além da realização do ensaio em si, é papel das equipes responsáveis pela realização dos ensaios-não destrutivos a elaboração de um relatório que visa controlar a qualidade não da solda, mas sim, do soldador.

Cada solda é uma peça é designada por um código que representa que soldador a fará. Então, eles criam um número de eficiência dividindo-se o número de soldas defeituosas pelo número de soldas realizadas.

Cada tipo de solda possui uma tolerância máxima. Em média, o percentual máximo de reprovação é de 3 %.

Para os ensaios por radiologia é necessário também que os funcionários realizem treinamentos a parte. Por este motivo, na Empresa A, este processo é terceirizado. Há, no entanto, instalações adequadas para a perfeita realização deste ensaio. Inclusive, até o acesso ao local de ensaio é controlado.



Figura 27 - Entrada do local de Ensaio por Radiologia



Figura 28 - Local da realização do Ensaio por Radiologia

4.2 Documentação Interna

Para a realização do controle de qualidade na Empresa A, existe toda uma documentação interna que visa o controle não só do ensaio, como também, do processo de fabricação em si.

a) Norma Geral de Qualidade (NGQ):

Esta é a principal diretriz do processo. Cada processo possui a sua NGQ. Nela, há indicação de todo o processo; Que materiais serão

usados; Os tipos de instalações necessárias. As normas as quais ela é referenciada (Normas Petrobras e ASME).

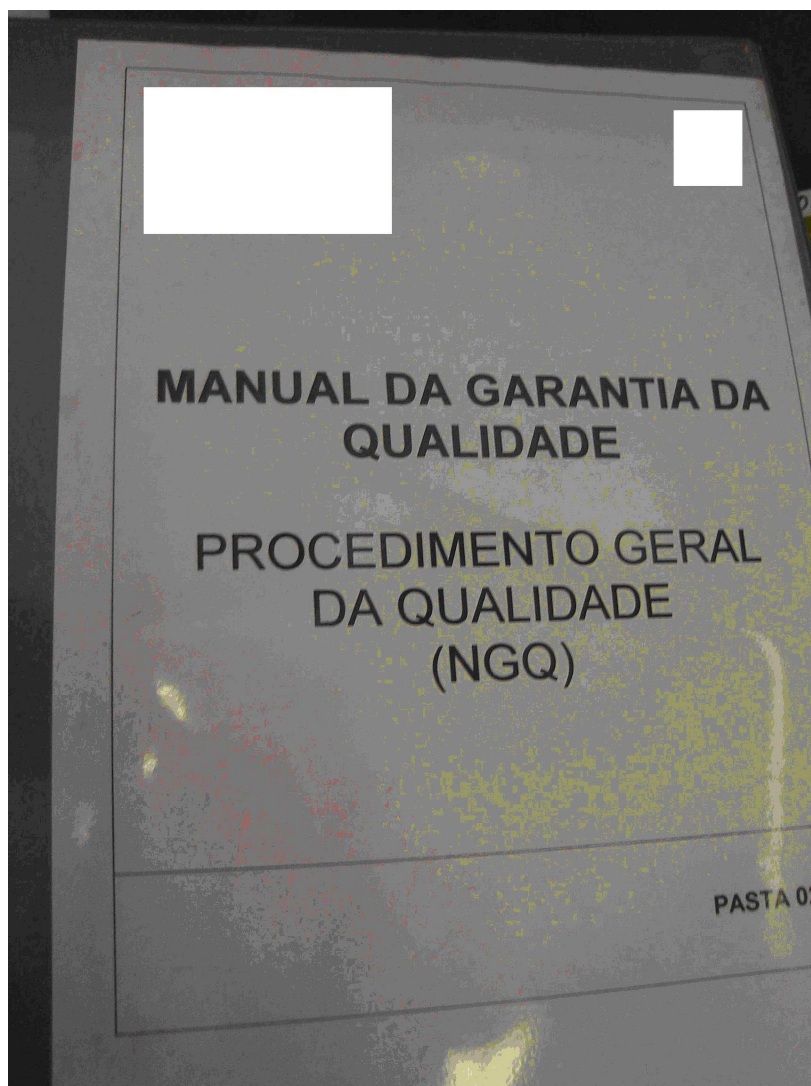


Figura 29 - Norma Geral de Qualidade

É de fácil acesso no chão de fábrica. São espalhadas pela indústria de modo que todos tenham fácil acesso a ela.



Figura 30 - Manuais de fácil acesso

b) Plano de Solda:

Nada mais é do que um desenho da peça a ser fabricada. Nele, há todas as juntas que precisarão sofrer o processo de soldagem e o seu respectivo soldador (Importante para a realização do controle). Além disso, numa página posterior, há a indicação do tipo de solda. Se for solda ponto, solda a arco elétrico, etc.

Sua nomenclatura é simples. É composta de uma letra, que designa o tipo de solda, seguida de um número (sempre começando de 1 em ordem crescente). Embaixo, há a indicação do soldador que a realizará.

Há quatro letras possíveis:

- i. L: Longitudinal;
- ii. T: Tampa;
- iii. C: Circunferencial;
- iv. S: Estrutural;

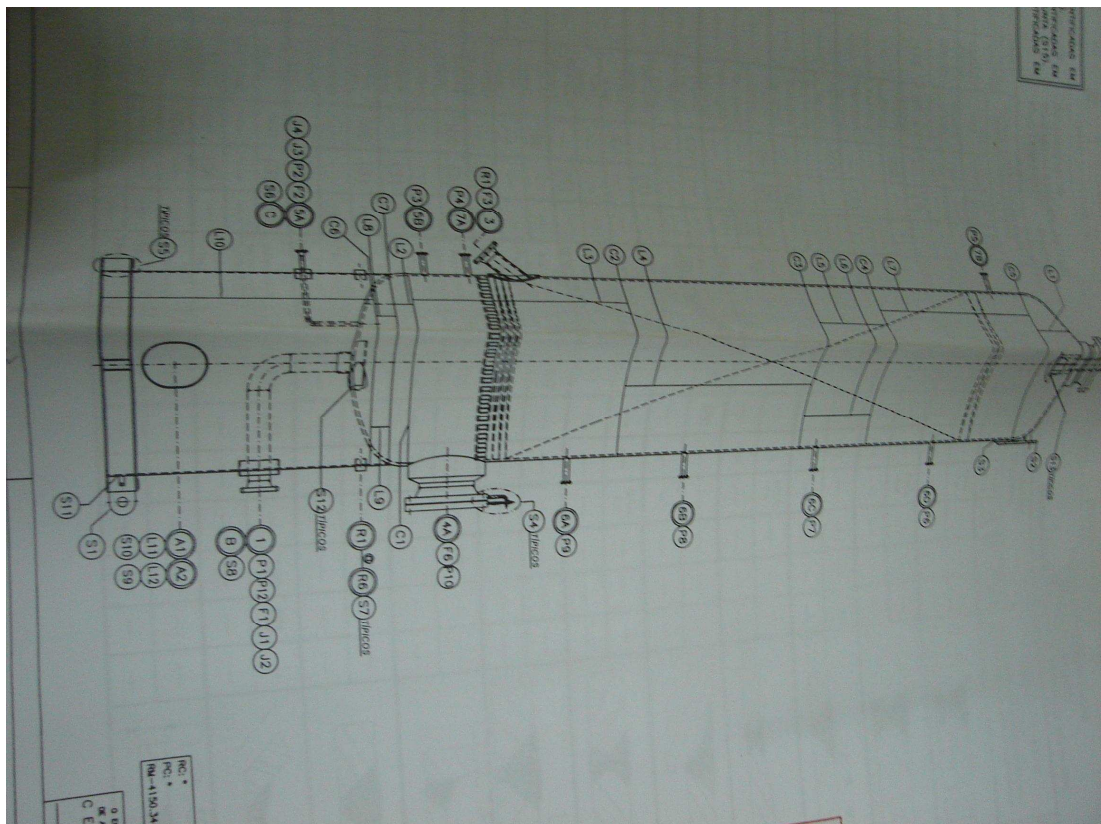


Figura 31 - Plano de Solda

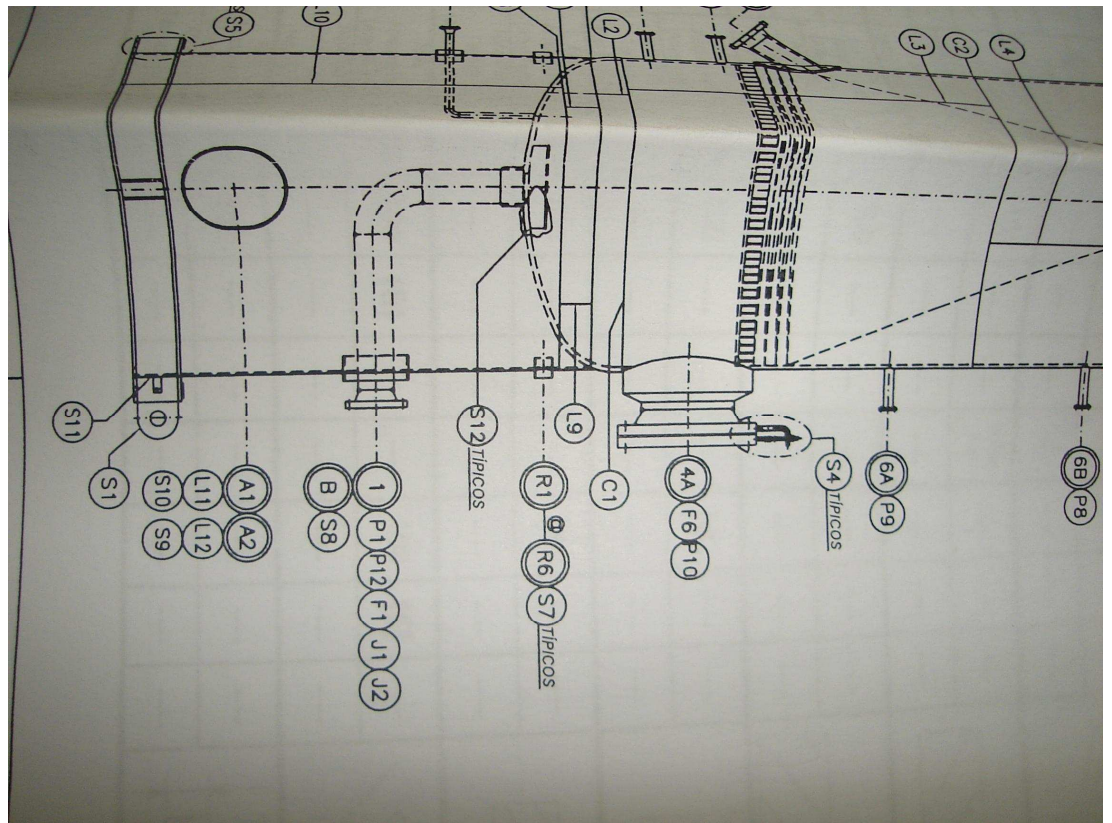


Figura 32 - Plano de Solda II

c) Plano de Inspeção:

Cada peça possui um plano de inspeção. Ele possui, como o próprio nome sugere, todas as inspeções, intermediárias ou finais, que a peça precisará passar até a entrega.

Ele é elaborado na própria Empresa A e passa pela aprovação do cliente. Este pode sugerir a inclusão de algum procedimento não sugerido ou, simplesmente a retirada de algum procedimento que julgue desnecessário.

Por fim, o cliente pode sugerir inspeção interna. Isto será indicado no plano de inspeção com o símbolo HP. É comum neste tipo de indústria

a presença de inspetores externos para garantir que a peça saia em conformidade com o pedido.

RM-4150.34-6315-550-PEI-101 Rev.0 RM-4150.34-6315-552-PEI-101 Rev.0 Proposta Técnica - CT 00087/07			
Nº Desenho:			
PRIDA		Equipamento : TORRE	
SEÇÃO	DESCRIÇÃO DA INSPEÇÃO	DOC. APLICÁVEIS	PR JA
34.01	Controle visual e dimensional da(s) virola(s) após conformação. OBS : Incluindo as virolas da saia.	ASME VIII - Div.1 UG 29/80 e Desenhos de Fabricação	NGO
36.01	Controle visual e dimensional da preparação da(s) junta(s) após conformação da(s) virola(s). OBS : Incluindo a preparação das juntas longitudinais da saia.	ASME VIII - Div.1 UW-32/33	N
34.03	Controle visual e dimensional da(s)	ASME VIII - Div.1 UG	

Figura 33 - Plano de Inspeção

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE - PLANO DE INSPEÇÃO									
Pag: 3 de 11		Data: 22/02/2009							
Documentos de Referência:		Pedido de Cotação e Serviços Nº: 4502287569 (Item 00030)		Rev. B		Nº P.L.: 31519			
		I-RM-5285.00-2316-501-PPC-001 Rev. B							
		Proposta Técnica - TC-00099/07				O.S.: 31519			
		I-ET-5285.00-2316-500-RVP-001 Rev. A							
		I-ET-5000.00-2316-500-PPC-002 Rev. A				Nº Desenho: 31519-01			
Cliente:		Equipamento: TROCADOR							
ITEM	ÉPOCA DE INSPEÇÃO	DESCRIÇÃO DA INSPEÇÃO	DOC. APLICÁVEIS	PROC. JAR.	INTERV. CL.	REQ. I.A.	REV. QUAL.	REV. P.L.	
06.00	12.07	Controle visual e dimensional com verificação dos certificados de qualidade do material das conexões e componentes principais (anéis forjados, conexões auto reforçantes, espelhos forjados, etc.). OBS: Aplicável ensaios mecânicos após a simulação de 3 ciclos de tratamento térmico, além dos requisitos da I-ET-5000.00-2316-500-PPC-002 Rev. A, item 3.1.2(b), 5.1 e 5.2(c).	Especificação dos Materiais		HP	N	A		
07.00	12.10	Controle visual e dimensional com verificação dos certificados de qualidade do material dos parafusos, estojos, porcas, chumbadores e afins.	Especificação dos Materiais		NGQ056(03)	RP	N	A	
08.00	16.01	Controle visual e dimensional com verificação dos certificados de qualidade do material dos consumíveis de soldagem. OBS: Aplicável a N-133.	Especificação dos Materiais		NGQ059(04)	RP	N	A	
09.00	14.01	Controle visual e dimensional da traçagem e verificação da transferência das identificações (onde aplicável) nos materiais.	ASME VIII - Div.1 UG-77 e Desenhos de Fabricação		NGQ063(11) NGF038(05)	HP	N	A	
10.00	14.06	Verificação da traçagem e identificação do(s) corpo(s) de prova(s) do(s) material(is) para execução de ensaios mecânicos. OBS: Aplicável a traçagem dos corpos de prova dos tubos (pipes) que serão submetidas a tratamento térmico, para simulação de 3 ciclos de alívio e posteriores ensaios mecânicos.	Especificações		NGQ001(04)	HP	N	A	
11.00	19.01	Verificação dos ensaios mecânicos. OBS: Aplicável aos ensaios mecânicos dos tubos (pipes) após a simulação de 3 ciclos de tratamento térmico.	Especificação dos Materiais		NGQ001(04) NGF038(05)	HP	N	B	A
12.00	80.00	81.15 Exame por líquido penetrante após goivagem (onde aplicável).	ASME VIII - Div.1 Apêndice 8		NGQ022(14)	HP	N	B	A
DE INSPEÇÃO DURANTE A FABRICAÇÃO									

Figura 34 - Plano de Inspeção II

d) Solicitação / Boletim de Inspeção:

Durante o processo de fabricação da peça, se o boletim de inspeção indicar que seja necessária a realização de uma inspeção visual ou a realização de um ensaio não destrutivo por líquido penetrante ou por partículas magnéticas faz-se necessário que a equipe de fabricação emita para a equipe de qualidade uma solicitação do ensaio desejado.

Ela possui como informações principais:

- Solicitante
- Ordem de Serviço – A peça que está sendo processada;
- Item do Plano de Inspeção – Em que estágio do Plano de Inspeção foi solicitado este controle;

Após a realização do procedimento, é necessário que o inspetor relate de a peça foi aprovada, reprovada ou se será necessário retrabalhar na peça.

Caso a peça seja aprovada, dá-se continuidade ao processo de fabricação.

O Boletim de Inspeção consta de três vias:

- Cor Branca – Fica no arquivo do Controle de Qualidade;
- Cor Amarela – Fica com quem solicitou o controle;
- Cor Rosa – Fica com a equipe que realizou a Inspeção.

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE (QUALITY MANAGEMENT SYSTEM)		Nº 51101
SOLICITAÇÃO/BOLETIM DE INSPEÇÃO (Inspection Request/Record)		
Ordem de Serviço (Job No.)	Itens do P.I./Rev.: B (I.P. Sequence/Rev.) 5100.	
Solicitante: (Requester) FABIO.	Observação: (Note) EXAME POR LP NA SOLDA ACABADA DAS 05/08/09 CONEXÃO APÓS ANEL DE REFORÇO SL E SR CASCO	
Resultado da Inspeção (Inspection Results)	☒ Aprovado (Approved)	☐ Retrabalhar (Rework) ☐ Reprovado (Rejected) ☐
Nº do(s) Instrumento(s) Utilizado(s): (Instrument(s) No.):		
Descrição da Disposição/Observação: (Description of Disposition/Observation) LOTE REV. 8132. LOTE PEN. 7811.		
Inspeção: (Inspector)  05/08/09	Inspeção Cliente: (Customer's Inspector)	Chefia Fabricação/C.Q.: (Manufacturing Chief/Q.C.)

F-3035

Figura 35 - Solicitação / Boletim de Inspeção

Já para os ensaios por ultra-som e radiologia não é necessário que a equipe de Fabricação entregue para a de controle o Solicitação / Boletim de Inspeção.

Para estas equipes, há a geração de um relatório diário que informa todos os ensaios realizados.

e) Relatório do Ensaio:

Como visto anteriormente, ao fim de cada ensaio ou inspeção realizado, no Boletim de Inspeção consta se a peça foi reprovada ou

não. No entanto, no fim do processo de fabricação, para cada peça ensaiada é necessário que se faça um relatório do ensaio.

Neste relatório, há informações de todas as juntas soldadas da peça. Além disso, há o soldador que há realizou, o inspetor responsável, o critério de aceitação utilizado e procedimento utilizado (NGQ).

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE (QUALITY MANAGEMENT SYSTEM)		N.º
RELATÓRIO DE ENSAIO VISUAL/DIMENSIONAL E REGISTRO DE SOLDAS (VISUAL/DIMENSIONAL WELDS EXAMINATION REPORT AND RECORD)		
Ordem de Serviço: (Job Order No.)	Doc. de Referência: (Ref. Document) PS -	Folha de (Page) 01 (of) 04
Cliente: (Customer)		
Equipamento: (Equipment) Refervedor Final de C5 + DA da Estabilizadora (Item: P -123712)		
Código de Referência: (Reference Code) ASME VIII Div. 1 Edição 2004 AD. 2006		
Condição da Superfície: (Surface Condition) Escovada	Critério de Aceitação: (Acceptance Standard) NGQ - 051 Rev. 02	
Técnica Empregada: (Employed Technique) Método Direto	Procedimento de Ensaio/Rev.: (Examination Procedure/Rev.) NGQ - 061 Rev. 11	
Itens do P.I./Rev.: (I.P. Sequence/Rev.) 18:00, 19:00, 25:00, 26:00, 32:00, 34:00, 37:00, 39:00, 43:00, 45:00, 48:00, 59:00.		
RESULTADO DO ENSAIO (EXAMINATION RESULT)		
Aprovado		
OBSERVAÇÕES (REMARKS)		
DE - 3902.01 - 1231 - 451 - JEI - 271 REV. D		
Inspetor: (Inspector)	Inspecção Cliente: (Customer's Inspector)	Inspecção Autorizada: (Authorized Inspector)
12 / 02 / 09	/ /	/ /

Figura 36 - Relatório de Ensaio Visual

RELATÓRIO DE ENSAIO VISUAL/DIMENSIONAL E REGISTRO DE SOLDAS (VISUAL/DIMENSIONAL WELDS EXAMINATION REPORT AND RECORD)					
N.º DO RELATÓRIO: (REPORT No.)		O.S.: (O.S.)		FOLHA: DE: (PAGE) 02 (OF) 04	
JUNTA N.º (JOINT No.)	DOC. DE REFERÊNCIA (REF. DOCUMENT)	SOLDADOR (WELDER)	LAUDO (RESULT)	ITEM(S) P.I. (IP. ITEM)	OBSERVAÇÕES (NOTES)
L1	PS-30966	285I/E	A	18:00/19:00	Item: P-123712
L2	PS-30966	285I	A	18:00/19:00	Item: P-123712
L3	PS-30966	234A	A	18:00/19:00	Item: P-123712
L4	PS-30966	234A	A	18:00/19:00	Item: P-123712
L5	PS-30966	230E	A	18:00/19:00	Item: P-123712
L6	PS-30966	232A/S/291I	A	18:00/19:00	Item: P-123712
C1	PS-30966	294I/16S	A	32:00/34:00	Item: P-123712
C2	PS-30966	09I/212I/16S	A	37:00/39:00	Item: P-123712
C3	PS-30966	294I/213I	A	37:00/39:00	Item: P-123712
C4	PS-30966	231A/209A	A	32:00/34:00	Item: P-123712
C5	PS-30966	209A/208A	A	32:00/34:00	Item: P-123712
C6	PS-30966	101S/214A	A	32:00/34:00	Item: P-123712
C7	PS-30966	207I/277S	A	32:00/34:00	Item: P-123712
F1	PS-30966	229I/230E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
F2	PS-30966	229I/230E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
F3	PS-30966	207I/280E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
F4	PS-30966	229I/278E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
F5	PS-30966	207I/225E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
F6	PS-30966	207I/225E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
F7	PS-30966	223I/291E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
F8	PS-30966	207I/225E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
F9	PS-30966	207I/225E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
F10	PS-30966	229I/225E	A	25:00/26:00	Item: P-123712
P3	PS-30966	216I/274I	A	43:00/45:00	Item: P-123712
P4	PS-30966	216I	A	43:00/45:00	Item: P-123712
P5	PS-30966	294I	A	43:00/45:00	Item: P-123712
P6	PS-30966	294I	A	43:00/45:00	Item: P-123712
Inspetor: (Inspector)		Inspeção Cliente: (Customer's Inspector)		Inspeção Autorizada: (Authorized Inspector)	
12 / 02 / 09		/ /		/ /	

Figura 37 - Relatório de Ensaio Visual II

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE (QUALITY MANAGEMENT SYSTEM)				Nº 16533	
RELATÓRIO DE ENSAIO POR LÍQUIDOS PENETRANTES (LIQUID PENETRANT EXAMINATION REPORT)					
Ordem de Serviço: (Job Order)		Nº Desenho/Rev (Drawing Nº/Rev.)		Procedimento/Rev.: 09 (Procedure/Rev.) NGQ -0.81	
Folha: (Page) 01/01					
Cliente: (Customer)			Equipamento: CRUZETA DO MANCAL ESCORA (Equipment)		
Código de Referência: ASME SEC V III DIV 1 (Reference Code) ED.2004 AD 2006			Critério de Aceitação: (Acceptance Standard) GS-4990-37147p REV.2		
Itens do P.I./Rev. A (I.P. Sequence/Ver) 17.00					
MATERIAL ENSAIADO (EXAMINATION MATERIAL)					
Material/Espessura: (Material/Thickness) S 235 J2		Condição da Superfície: (Surface Condition) ESCOVADO		Tratamento Térmico: (Heat Treatment) ☒ Sim ☐ Não ☐ Antes do T.T. ☒ Após T.T. (Yes) (No) (Before H.T.) (After H.T.)	
PRODUTOS/CONDIÇÕES DO ENSAIO (PRODUCTS/CONDITIONS OF EXAMINATION)					
P E N E T R A N T E	Fabricante: (Manufacturer) METAL CHEK	R E M O V E R D O R	Tipo: (Type) ☒ Água ☐ Solvente (Water) (Solvent)	R E V E L A D O R	Fabricante: (Customer) METAL CHEK
	Código: (Code) VP - 30		Fabricante: (Manufacturer) N/A		Código: (Code) D - 70
	Certificado: (Certificate) 2290		Código: (Code) N/A		Certificado: (Certificate) 2592
	Lote: (Heat) 7509		Certificado: (Certificate) N/A		Lote: (Heat) N/A
Tempo de Penetração: (Penetration Time) 15 MIN.		Temperatura: (Temperature) 25°C		Tempo de Avaliação: (Avaliation Time) 60 MIN.	
Equip. de Iluminação: (Lighting Equip.) N/A					
RESULTADO DO ENSAIO (EXAMINATION RESULTS)					
APROVADO					
OBSERVAÇÕES (REMARKS)					
OP- 855184 3290-2923 OP-012709 B					
Ensaio realizado conforme RNC 104065					
Inspetor: (Examiner)		Inspeção Cliente: (Customer's Inspector)		Inspeção Autorizada: (Authorized Inspector)	
Hora: : Data: 04/06/09 (Time) (Date)		/ /		/ /	

F-1592-F

Figura 38 - Relatório de Ensaio por Líquido Penetrante

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE (QUALITY MANAGEMENT SYSTEM)		Nº 10720	
RELATÓRIO DE ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION REPORT)			
Ordem de Serviço: (Job Order Nº)	Nº Desenho/Rev.: (Drawing Nº/Rev.):	Procedimento/Rev. 08 (Procedure/Red.) NGQ-021	Folha: (Page) 01/01
Cliente: (Customer)	FRIST STAG HDS FEED/EFLUENT EXCHANGER ITEM: P-26411 A		
Código de Referência: (Reference Code) ED2007	ASME SEC. VIII DIV.1 & TEMA "R" ED 1999	Critério de Aceitação: (Acceptance Standard)	ASME VIII DIV 1 AP 6
Itens do PI./Rev.B (I.P. Sequence/Rev.)	60.00		
MATERIAL ENSAIADO (EXAMINATION MATERIAL)			
Material: (Material) SA-516-70/SA-105 SA-266-4	Condição da Superfície: (Surface Condition) ESCOVADO	Tratamento Térmico: (Heat Treatment) ☒ Sim ☐ Não ☐ Antes do T.T. ☒ Após T.T. (Yes) (No) (Before H.T.) (After H.T.)	
PRODUTOS/CONDIÇÕES DO ENSAIO (PRODUCTS/CONDITIONS OF EXAMINATION)			
EQUIPAMENTO DE MAGNETIZAÇÃO	☒ Yoke ☐ Eletrodos	☐ Via Seca (Dry Way) ☒ Via Úmida (Wet Way)	Antioxidante: (Antioxidation) METAL CHEK BC 502
	Fabricante do Equipamento: (Equipment's Manufacturer) METAL CHEK	Fabricante do Pó Magnético: (Dust Magnetic's Manufacturer) METALCHEK	Concentração do Pó Magnético: (Dust Magnetic Concentration) 0,3 - ML
	Modelo: (Modelo) SUPERMAGNA HMM6	Código: (Code) LY 1.500	Contraste (marca/tipo): (Contrast [mark/type]) N/A
	Corrente de Magnetização: (Magnetizing Current) ☒ Alternada (Alternating Current) ☐ Retificada (Rectifying Current)	Veículo: (Vehicle) ÁGUA	Espaçamento entre polos: (Spacing between polos) 150 MM
RESULTADO DO ENSAIO (EXAMINATION RESULTS)			
APROVADO:			
OBSERVAÇÕES (REMARKS)			
Inspetor: (Examiner)	Inspeção Cliente: (Customer's Inspector)	Inspeção Autorizada: (Authorized Inspector)	
Hora: : (Time)	Data: 29/07/09 (Date)	/ /	

F-1591-E

Figura 39 - Relatório de Ensaio por Partículas Magnéticas

f) Registro de Recebimento:

Para a realização de alguns ensaios é necessário que se valide também os materiais utilizados. O Registro de recebimento nada mais é do que um documento que confirma se o lote recebido atende com as exigências da norma.

Por exemplo, para o ensaio por líquido penetrante, é necessário verificar se o penetrante, o removedor e o revelador estão aprovados.

Como na maioria dos ensaios efetuados na Empresa A, utiliza-se padrões da Petrobras para o teste dos materiais (Padrão GIZ).

Deve-se tomar o cuidado, por fim, de misturar produtos de fabricantes diferentes e, mais importante, utilizar materiais sempre do mesmo lote. Desta forma, fica mais fácil identificar e solucionar problemas que venham a surgir.

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE									
REGISTRO DE RECEBIMENTO E CONTROLE DE PRODUTOS PARA ENSAIOS POR LÍQUIDOS PENETRANTES									
1. PRODUTO EM TESTE:									
P E N E T R A N T E	Fabricante:	R E M O V E D O R	Tipo: ☐ Água ☐ Solvente		R E V E L A D O R	Fabricante:			
	Código:		Fabricante:			Código:			
	Certificado:		Código:			Certificado:			
	Lote:		Certificado:	Lote:		Lote:			
2. CARACTERÍSTICAS DOS TESTES:									
						NA	S	N.S.	C
a) Ponto de Fulgor									
b) Corrosividade									
c) Teor de Contaminantes (Enxofre, Cloro e Flúor)									
d) Viscosidade									
e) Sensibilidade (comparar com padrão fotográfico)									
f) Molhabilidade (deverá abrir a área aplicada sem formação de gotas descoberta)									
g) Remoção (solvente ou água)									
h) Redispersibilidade (válido para revelador)									
3. QUESTIONÁRIO									
O Produto está identificado adequadamente?									
A identificação permite rastreabilidade aos documentos da Qualidade?									
Os Certificados da Qualidade estão completos, corretos e são rastreáveis?									
Os contaminantes controlados de acordo com a NGQ-066 estão destacados e identificados no rótulo e/ou Certificado?									
COMENTÁRIOS:									
LEGENDA:									
NA: Não Aplicável		S: Satisfatório		NS: Não Satisfatório		C: Comentário			
INSPETOR RESPONSÁVEL:						APROVAÇÃO C.Q.			
Data: / /						Data: / /			

F-3028

Figura 40 - Relatório de Registro de Recebimento

g) Relatório de Desempenho:

Como citado anteriormente, é o documento que verifica e quantifica o trabalho de cada soldados.

É através dele que se verifica a necessidade de melhorar o treinamento de equipe evitando, assim, que profissionais que estejam com baixo rendimento continuem a desempenhar suas funções.

Para o ensaio visual, por líquido penetrante e por partículas magnéticas há um relatório semanal. Já para os ensaio de Ultra-Som e por Radiografia há um relatório Mensal.

4.3 Processos / Etapas

O processo de fabricação interagindo com o controle de Qualidade pode ser assim resumido:

i. Fabricação → Inspeção Visual

A inspeção visual sempre é a primeira a ser executada. Evidentemente, traduz-se em custo a realização de qualquer ensaio.

Desta forma, evita-se que ensaios sejam realizados em peças em que defeitos podem ser evidenciados através da inspeção visual.

Há a emissão de um boletim de Inspeção.

ii. Inspeção Visual → Acabamento Superficial

Nesta fase é necessário que a peça seja polida. É a preparação da superfície para que possa ser executado o ensaio por LP ou PM. Há a emissão de um Boletim de Inspeção.

iii. Acabamento Superficial → Ensaio por Líquido Penetrante

iv. Ensaio por Líquido Penetrante → Ensaio por Partícula Magnética

v. Ensaio por Partícula Magnética → Ensaio por Ultra-Som

vi. Ensaio por Ultra-Som → Ensaio por Radiologia

Por motivos econômicos também, este é o último ensaio a ser realizado. Este é o mais caro dos ensaios. Além disto, é trabalhoso e perigoso locomover as peças para o local de realização do ensaio.

vii. Ensaio por Radiologia → Tratamento Térmico

Esta fase pode ou não ser necessária.

viii. Tratamento Térmico → Ensaio por LP e/ou PM

Esta fase ocorrerá se constar no Plano de Inspeção.

ix. Ensaio por LP ou PM → Dimensionamento

x. Dimensionamento → Teste Hidrostático

xi. Teste Hidrostático → Pintura

A peça está pronta para ser entregue.

Vale lembrar que a realização de todas estas etapas não faz necessária. Tudo depende do que estiver no Plano de Inspeção.

Para facilitar este processo, as equipes responsáveis por cada ensaio antes de receberem o Boletim de Inspeção já circulam pelo chão da fábrica para averiguar qual será a demanda estimada do dia.

Desta forma evita-se que haja uma sobrecarga da área ou que o processo seja executado de uma forma lenta.



Figura 41 - Inspetor realizando o EN por Líquido Penetrante

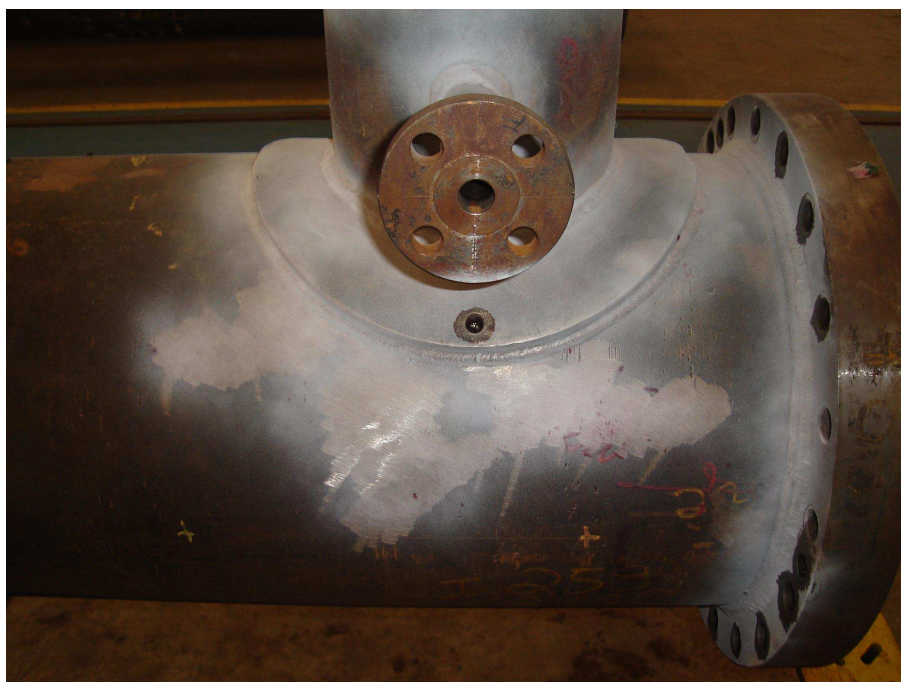


Figura 42 - Ensaio por LP com o revelador já aplicado



Figura 43 - Ensaio por Radiologia (Indicação de Falha)



Figura 44 - Solda em tampa ensaiada. As linhas amarelas verticais indicam aonde será colocado o filme radiográfico

4.4 Principais Normas Utilizadas

Além da norma ASME V, é possível afirmar que apesar da Empresa A utilizar para a realização dos seus ensaios seus NGQ, ela baseia seus procedimentos internos nas normas da Petrobras (sua principal cliente).

As principais normas da Petrobras utilizadas são as seguintes:

- N – 1597: Ensaio não Destrutivo Visual

Define como procedimentos de inspeção:

- a) Objetivo
- b) Norma de referência, incluindo edição/revisão;

- c) Qualificação do Pessoal;
- d) Método de Ensaio;
- e) Estado disponível da Superfície;
- f) Condição Superficial requerida para o ensaio;
- g) Iluminamento requerido;
- h) Instrumentos;
- i) Inspeção (Relação de Descontinuidades, irregularidades a serem examinadas e/ou observações a serem efetuadas);
- j) Seqüência do ensaio;
- k) Requisitos Adicionais;
- l) Requisitos de Segurança e ambientais;
- m) Sistemática de registro de Resultados;
- n) Modelo de Registro de Resultado;

▪ N – 1598: Ensaio não Destrutivo por Partículas Magnéticas

Define como procedimentos de inspeção:

- a) Objetivos;
- b) Normas de Referência;
- c) Material, forma ou tipo da peça, dimensões, extensão do exame e detalhes da peça a ser examinada;
- d) Aparelhagem, citando fabricante e modelo;
- e) Técnica de Magnetização, tipo de corrente de magnetização e quando aplicável, valores de corrente;
- f) Partículas ferromagnéticas, citando fabricante, marca comercial, cor, via-seca ou úmida, indicando o veículo, aditivos e concentração para o preparo e verificação da suspensão;

- g) Temperatura máxima da peça permitida para partículas magnéticas que são usadas por recomendação do fabricante ou por qualificação;
- h) Condição requerida para a superfície a ser ensaiada e método de fabricação;
- i) Tinta de contraste, citando fabricante, marca comercial, diluição, modo de aplicação, espessura máxima de película e tempo de secagem, quando aplicável;
- j) Área útil do ensaio;
- k) Esquema indicativo da direção do fluxo magnético e da sobreposição, quando aplicável;
- l) Desmagnetização, citando o método, quando necessária;
- m) Limpeza final e ensaios a serem efetuados na superfície, nos pontos de contato do aparelho, quando aplicável;
- n) Requisitos de Segurança e Ambientais;
- o) Sistema de Identificação e Rastreabilidade;
- p) Relatório de Registro dos resultados.

▪ N – 1596: Ensaio não Destrutivo por Líquido Penetrante

Define como procedimentos de inspeção:

- a) Objetivo
- b) Normas de Referência;
- c) Tipo, forma e processo de fabricação do material a ser ensaiado
- d) Materiais Penetrantes: o fabricante, a marca, a referência comercial de cada produto, bem como o tipo de acondicionamento de cada um e a família dos materiais penetrantes;

- e) Método de preparação da Superfície;
- f) Modo e tempo de secagem na limpeza prévia da superfície;
- g) Modo de aplicação do líquido penetrante e tempo de penetração;
- h) A faixa de temperatura permissível para a superfície em ensaio e para o líquido penetrante;
- i) Modo de Remoção de excesso de líquido Penetrante;
- j) Modo e tempo de secagem, antes da aplicação do revelador;
- k) Modo e tempo máximo para a aplicação do revelador;
- l) Requisitos adicionais;
- m) Aplicação da Limpeza Final;
- n) Sistemática de registro de Resultados (Identificação da superfície ensaiada e localização das indicações);
- o) Requisitos de Segurança e Ambientais;
- p) Relatório de Registro de Resultados.

▪ N – 1594: Ensaio não Destrutivo por Ultra-Som

Define como procedimentos de inspeção:

- a) Objetivos;
- b) Normas de Referência;
- c) Material e faixa de espessura a ser ensaiada (exemplo: aço-carbono, espessura de 25 mm a 30 mm);
- d) Aparelho, tipo, fabricante e modelo;
- e) Sistema de aquisição de dados computadorizado incluindo programa de computador (software) e versão do programa, quando aplicável;
- f) Cabecote, tipo, dimensões e frequência, citando fabricante e modelo;

- g) Método e periodicidade de aferição da aparelhagem;
- h) Método de calibração;
- i) Condição superficial e técnica de preparação;
- j) Acoplante;
- k) Técnica de Varredura;
- l) Descrição do sistema de Varredura (manual ou mecanizado), quando aplicável;
- m) Requisitos adicionais;
- n) Critério de registro e aceitação de descontinuidades;
- o) Método de dimensionamento das descontinuidades;
- p) Sistemática de registro de resultados;
- q) Requisitos de segurança e Ambientais;
- r) Relatório de Registro de Resultados.

▪ N – 1595: Ensaio não Destrutivo por Radiografia

Define como procedimentos de inspeção:

- a) Objetivo;
- b) Normas de Referência;
- c) Material (exemplo: material aço-carbono e processo de fabricação);
- d) Tipo de fonte ou aparelho de raios-X, citando isótopo radioativo ou tensão máxima;
- e) Dimensão máximas da fonte ou foco de aparelho de raios-X;
- f) Marca Comercial e tipo do filme;

- g) Telas Intensificadoras ou filtros de proteção contra radiação dispersa, citando tipo, quantidade, dimensões e espessura;
- h) Condição requerida para as superfícies a serem ensaiadas e métodos de preparação;
- i) Esquema indicativo do arranjo para exposição;
- j) Descrição do método de marcação de Posição;
- k) Faixa de Intensidade;
- l) Indicadores de qualidade de Imagem (IQI);
- m) Tabelas de Execução;
- n) Esquema e sistemas de identificação da radiografia;
- o) Dados do Laboratório radiográfico;
- p) Processamento do filme;
- q) Requisitos adicionais;
- r) Radioproteção;
- s) Requisitos de Segurança e Ambientais;
- t) Sistemática de Registro de resultados;
- u) Formulário para relatório de registro de resultados

5. Controle de Qualidade na Empresa B

Como descrito na introdução, no primeiro semestre deste ano, durante a disciplina PME2598 foi realizado um projeto sobre o controle de qualidade em uma indústria mecânica pesada.

Sua continuação desenvolvida durante o segundo semestre foi realizado um trabalho análogo ao primeiro. Em outras palavras, uma nova indústria foi visitada (Empresa B) e seu processo de qualidade foi analisado.

Conforme já apresentada, a indústria visitada foi a Empresa B S.A



Figura 45 - Chão de Fábrica da Empresa B



Figura 46 - Chão de Fábrica da Empresa B 2

5.1 Principais Normas Utilizadas

Diferentemente da empresa visitada no primeiro semestre que possuía uma codificação interna (Norma Geral da Qualidade) – nada mais é do que um resumo das normas –, a presente utiliza e sempre faz referência às próprias normas utilizadas e a respectiva revisão.

Como a Petrobras é a principal cliente de ambas as indústrias, resulta que as normas internas da Petrobras acabam sendo bastante utilizadas. Uma breve descrição das normas Petrobras para ensaios não destrutivos foi realizada no tópico anterior.

As principais normas utilizadas são:

- Normas ASME
 - o ASME VII – Divisão I e Divisão II

- o ASME V – Ensaios não Destrutivos
 - o ASME IX – Soldagem, Qualificação Pessoal
- Normas Petrobras
 - o Para Soldagem:
 - N 133
 - N 2301 : Estabelece como que tem que ser o plano de solda e os seguinte documentos: IE (Instrução Execução) e IS (Instrução de Soldagem)
 - o Para Projeto:
 - N 253
 - o Para Fabricação:
 - N 258
 - o Para Ensaios não Destrutivos:
 - N 1590
 - N 1591
 - N 1592
 - N 1593
 - N 1494
 - N 1595
 - N 1596
 - N 1597
 - N 1598

- o Elaboração do Databook

- N 268

- Normas AWS – Norma Americana focada para Estruturas Metálicas

5.2 Qualificação do Pessoal

Para os ensaios não destrutivos, assim como já explicado anteriormente, há três níveis. Enquanto para a realização da soldagem, há apenas dois.

A Empresa B, para ensaio não destrutivo, possui técnicos nível 3 (responsável por treinamento e qualificação interna) e nível 2 (operacional) e para soldagem, nível 2 (responsável por treinamento e qualificação interna) e nível 1 (operacional).

Além disso, há programas de reciclagem do aprendizado realizados anualmente.

5.3 Fluxograma da Informação e Documentação Utilizada

O fluxo de informação realizado na Empresa B é semelhante ao realizado na Empresa A Equipamentos. É claro que ele possui suas peculiaridades. No entanto, na conclusão (próximo tópico) serão detalhadas as principais diferenças e semelhanças.

O fluxograma de informações e os principais documentos internos usados pela Empresa B para a realização destes podem ser resumidos da seguinte forma:

- i. Fechado o negócio, o cliente emite um pedido de compra e de serviço (PCS). Em anexo, vem uma requisição de materiais (RM). O RM possui a descrição de todas as normas e especificações técnicas do projeto. Estes documentos (PCS e RM – Documentos Internos) definem o escopo do projeto. Vale frisar que se deve estar atento para possíveis revisões das normas citadas.

- ii. Após esta etapa, é realizado pelo pessoal da própria Empresa B o memorial de cálculo e o projeto mecânico com base nos dados de entrada. E, posteriormente, o material desenvolvido é enviado para o cliente para sua aprovação.
- iii. Neste ponto do processo, é elaborado o plano de inspeção e testes (PIT). Este é o principal documento interno da Empresa B. Ele é o documento mandatário e define qual será a sequência dos pontos de inspeção, tendo em vista às normas técnicas aplicáveis, especificações e códigos de projeto.

Se por algum acaso, houver conflito entre as normas citadas, por exemplo, conflito entre a norma ASME e a norma Petrobras, ele também é responsável por definir a hierarquia entre elas.

Seus principais pontos são:

- 1) Série de Procedimentos: Uma breve descrição da atividade.
- 2) Amostragem: Indica qual o percentual do lote, se cabível, receberá o ensaio. Normalmente, este número é 100 %.
- 3) Indicação do local aonde será realizada a inspeção: Normalmente é realizada na fábrica mesmo.
- 4) Quem realizará e quem acompanhará a atividade: Neste ponto, a Empresa B está presente em todas. O que é variável é a presença do cliente.
- 5) Indicação se esta atividade é uma mera revisão de alguma outra atividade realizada anteriormente ou se ela precisará emitir um registro.
- 6) Documentos, normas, procedimentos que serão utilizados.
- 7) Critérios de Aceitação.

		PLANO DE INSPEÇÃO E TESTES – PIT INSPECTION AND TEST PLAN								No.	PIT004883A4 F0		
										REV.	A	FOLHA	1 de 10
										EQUIP.	DUAL FREQ. ELECTROSTATIC PRE-DEHYDRATOR		
										TAG	V-T-6204		
ITEM	INSPEÇÕES E ENSAIOS INSPECTIONS AND TESTS	AMOST. (%)	TIPO DE INSPEÇÃO TYPES OF INSPECTION							PROCEDIMENTOS/ DOCS DE INSPEÇÃO INSPECTION DOCS AND PROCEDURES	CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO ACCEPTANCE STANDARD	OBS. REMARK	
			1	2					3				
				BAR	SBM	ABS	C	PRBR					
7	Fabricação e Montagem do Conjunto Manufacture and shell assembly												
7.1	Controle visual e dimensional da montagem e preparação das juntas circunferenciais: Visual and dimensional of assembly and fit up circumferential joints	100	F	X	-	SW	-	-	-	Desenho / Drawing GI-13-060	ASME VIII DIV.1 Desenho Drawing		
7.2	Controle visual e dimensional com verificação da circularidade, diâmetro e ovalização após emenda das virolas: Visual and dimensional after weld, including diameter and out-of-round	100	F	X	SW	SW	-	SW	-	Desenho/ Drawing SK-T-92-094 (C1)	Desenho/ Drawing ASME VIII DIV.1 SK-T-92-094 (C1)		
7.3	Controle visual e dimensional das soldas acabadas: Visual and dimensional of circumferential welds	100	F	X	SW	HP	-	-	A	Desenho / Drawing GI-13-060	Desenho/ Drawing GI-13-060 ASME VIII DIV.1 UW-35		
7.4	Radiografia das soldas circunferenciais (casco x casco e casco x tampô): RT inspection of circumferential welds	100	F	X	RP	RP	-	-	A	PER-021 / Drawing Plano de Solda Weld plan	ASME VIII UW-51		
7.5	Controle visual e dimensional da traçagem para abertura de bocais no casco e tampos: Visual and dimensional inspection of nozzles lay out	100	F	X	SW	-	-	SW	-	Desenho/ Drawing	Desenho/ Drawing ASME VIII DIV.1		
7.6	Controle visual e dimensional da montagem e preparação das juntas entre bocais x casco/tampos: Visual and dimensional of assembly and preparation of the meetings between nozzles x shell/head	100	F	X	SW	SW	-	-	-	Desenho/ Drawing GI-13-060	Desenho/ Drawing ASME VIII DIV.1		
7.7	Controle visual e dimensional das soldas acabadas: Visual and dimensional of welds	100	F	X	SW	HP	-	-	A	Desenho/ Drawing GI-13-060	Desenho/ Drawing GI-13-060 ASME III DIV.1 UW-35		

Figura 47 - Plano de Inspeção e Testes (PIT)

- iv. Outro documento importante no processo do controle da qualidade é o plano de solda – Elaborado de acordo com a norma N133 da Petrobras –. Ele possui um desenho da peça com todas as soldas que serão realizadas e que tipo de ensaio será necessário aplicar na peça.

Ele é elaborado com a ajuda de dois outros documentos:

- 1) EPS – Especificação Procedimentos de Soldagem:
Especificação da faixa na qual o procedimento deve ser qualificado (Amperagem, tensão). É realizado em corpo de prova.
- 2) RQP – Registro de Qualificação de Procedimento: Este documento é o resultado do EPS. Depois de realizado o teste no corpo de prova, registra-se, então, os parâmetros observados e que precisarão ser respeitados.

		SISTEMA DA QUALIDADE PLANO DE SOLDAGEM WELDING PLAN PS Nº: INS000641A4F0				CLIENTE (Customer): NATCO UK.LIMITED / SBM ÁREA: PROJECT P-57 JUBARTE PLATAFORM EQUIPAMENTO (Equipment): DUAL FREQUENCY ELETROSTATIC PRE-DEHYDRATOR ITEM: V-T6204 DESENHO (Drawing): DES087146A1F1				FOLHA (Sheet) 2/12	
Identificação da Junta (Joint Identification)		1		2		3					
EPS N.º WPS N.º		612		543		453A					
RQP N.º PQR N.º		612 / 613		543		453					
Referências (Desenhos e Posições) Reference (Drawings and positions)		DES087146A1F1/DES087148A2F1/DES087149A1F1/DES087150A2F1/DES087152A1F1/DES087153A1F1/DES087154A1F1/DES087155A1F1/DES087157A1F1/DES087158A2F1		DES087146A1F1/DES087148A2F1/DES087149A1F1/DES087150A2F1/DES087152A1F1/DES087153A1F1/DES087154A1F1/DES087155A1F1/DES087157A1F1/DES087158A2F1		DES087146A1F1/DES087148A2F1/DES087149A1F1/DES087150A2F1/DES087152A1F1/DES087153A1F1/DES087154A1F1/DES087155A1F1/DES087157A1F1/DES087158A2F1					
Metal Base Base Metal	Especificação Specification	A - 516 Gr. 70		A-516-Gr.70 / A-516 Gr. 60 / A-105 / A-36 / A-106 Gr.B		A-105 / A-36 com AISI 316					
	Número P P.N.º	1		1		1 com (with) AISI 316					
	Espessura (mm) Thickness (mm)	31,5 ~ 37,5 mm		11,07 ~ 37,5 mm		12,5 mm					
Processo de Soldagem Welding Process		Acabamento Finishing	Enchimento Filler	Raiz Root	Acabamento Finishing	Enchimento Filler	Raiz Root	Acabamento Finishing	Enchimento Filler	Raiz Root	
		SAW		FCAW	FCAW		FCAW				
Consumíveis Consumables	Classificação AWS A/W.S Class	F7A4 - EM13K		E 71 T - 1	E 71 T - 1		E 309 L T1 - 1				
	Marca Comercial Trade Mark	Arame (wire): BMAS 141 Fluxo (flux): CARBOOX MU		Lincoln - Outhershield 71MB Böhler - ARS 5	Lincoln - Outhershield 71 MB Böhler - ARS 5		Böhler – CN 23/12 PW-FD				
Temperatura Temperature	Pré-aquecimento (°C) Pre Heating	150 °C		T ≤30 - NR T >30 - 150°C		NA					
	Interpasse (°C) Interpass	250 °C		250 °C		150 °C					
	Pós aquecimento (°C) Post Heating	NA		NA		NA					
Diâmetro (mm) Diameter		3,2 4,0		1,2	1,2		1,2				

Figura 48 - Plano de Solda 1

		SISTEMA DA QUALIDADE		CLIENTE (Customer): NATCO UK LIMITED / SBM		FOLHA
		PLANO DE SOLDAGEM		ÁREA: PROJECT P-57 JUBARTE PLATFORM		(Sheet)
		WELDING PLAN		ELETROSTATIC PRE-DEHYDRATOR		
		PS Nº: INS000641A4F0		ITEM: V-T6204		2/12
		DESENHO (Drawing): DES087146A1F1				
Características elétricas Electric Characteristics	Tipo e Polaridade Type and Polarity	CC+		CC+	CC+	
	Corrente (A) Current	450 ~ 500 500 ~ 600	220 ~ 250	150 ~ 250 250 ~ 350	140 ~ 280	
	Tensão (V) Voltage	28 ~ 32 31 ~ 32	20 ~ 24	20 ~ 24 20 ~ 28	21 ~ 32	
	Velocidade (cm/min) Travel Speed	39 ~ 50 50 ~ 74	24 ~ 25	15 ~ 30 24 ~ 30	6,5 ~ 7,2	
Gás Gas	Gás de proteção Shielding gas	NA	CO ₂	CO ₂	CO ₂	
	Vazão (L / min) Flow rate	NA	15 ~ 20	15 ~ 20	15 ~ 20	
	Proteção raiz Gas backing	NA	NA	NA	NA	
Técnica Technique	Deposição Deposition	Retilíneo / Oscilado String / Wave		Retilíneo / Oscilado String / Wave	Retilíneo / Oscilado String / Wave	
	Limpeza inicial Initial Cleaning	Esmerilhamento e/ou Escovamento Grinding and/or Brushing		Esmerilhamento e/ou Escovamento Grinding and/or Brushing	Esmerilhamento e/ou Escovamento Grinding and/or Brushing	
	Limpeza Interpassos Interpass Cleaning	Esmerilhamento e/ou Escovamento Grinding and/or Brushing		Esmerilhamento e/ou Escovamento Grinding and/or Brushing	Esmerilhamento e/ou Escovamento Grinding and/or Brushing	
	Goivagem Arc gouging	A ARCO Arc		A ARCO Arc	NA	
Posição da junta Joint Position		1G	TODAS All	TODAS All	TODAS All	
Progressão Soldagem Welding Progression		-	ASCENDENTE Up-hill	ASCENDENTE Up-hill	ASCENDENTE Up-hill	
Tratamento Térmico Heat Treatment		NA		NA	NA	

Figura 49 - Plano de Solda 2

SISTEMA DA QUALIDADE PLANO DE SOLDAGEM WELDING PLAN P5 Nº: INS000641A4F0		CLIENTE (Customer): NATCO UK.LIMITED / SBM ÁREA: PROJECT P-57 JUBARTE PLATAFORM EQUIPAMENTO (Equipment): DUAL FREQUENCY ELETROSTATIC PRE-DEHYDRATOR ITEM: V-T6204 DESENHO (Drawing): DES087146A1F1	FOLHA (Sheet) 2/12
Controle de Junta (END) Joint Control (NDE)	1) VISUAL E DIMENSIONAL 100% 2) RADIOGRAFIA TOTAL DO COSTADO E TAMPOS 1) Visual and Dimensional 100% 2) Radiographic Testing on shell and heads (FULL)	1) VISUAL E DIMENSIONAL 100% 2) LP NOS CHANFROS DOS BOCAIS $\leq 3"$: M1, M2, N2, K5, K7, K8, N4A, N4B, N5, N6A/B, N7A/C, K2A/B. 3) RX NAS SOLDAS LONGITUDINAIS E CIRCUNFERENCIAL DOS PESCOÇOS DOS BOCAIS: M1 e M2 ($>10"$) 4) ULTRA-SOM NAS SOLDAS DE UNIÃO DOS PESCOÇOS COM O COSTADO/TAMPOS NOS BOCAIS $\leq 4"$: N1, N2, N3A/B, N4A/B, N5, K5, K7, K8, M1 e M2, ANTES E APÓS A INSTALAÇÃO DAS CHAPAS DE REFORÇOS E NAS SOLDAS DE UNIÃO DAS CHAPAS DE REFORÇOS BI-PARTIDAS. 5) LP NAS ALÇAS DE IÇAMENTO 1) Visual and Dimensional 100% 2) Dye penetrant in the bevel of nozzles $\leq 3"$: M1, M2, N2, K5, K7, K8, N4A, N4B, N5, N6A/B, N7A/C, K2A/B. 3) Radiographic Testing on nozzle neck N1, N2, M1 e M2 ($>10"$) in Longitudinal and Circumferential weld. 4) Ultrasonic examination in joint of nozzles $\leq 4"$: N1, N2, N3A/B, N4A/B, N5, K5, K7, K8, M1 e M2, before and after assembly reinforcement ring and in welds of union the two reinforcement ring. 5) Dye penetrant in Lifting Lug	1) VISUAL E DIMENSIONAL 100% 2) LP 100% 1) Visual and Dimensional 100% 2) Dye penetrant 100%
Observações Remarks	CLASSIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO CONFORME N-268F CLASSE DE FABRICAÇÃO: B Equipment Classification in accordance with 2668-F - Equipment classes: B	CLASSIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO CONFORME N-268F CLASSE DE FABRICAÇÃO: B Equipment Classification in accordance with 2668-F - Equipment classes: B	CLASSIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO CONFORME N-268F CLASSE DE FABRICAÇÃO: B Equipment Classification in accordance with 2668-F - Equipment classes: B

Figura 50 - Plano de Solda 3 (Final)

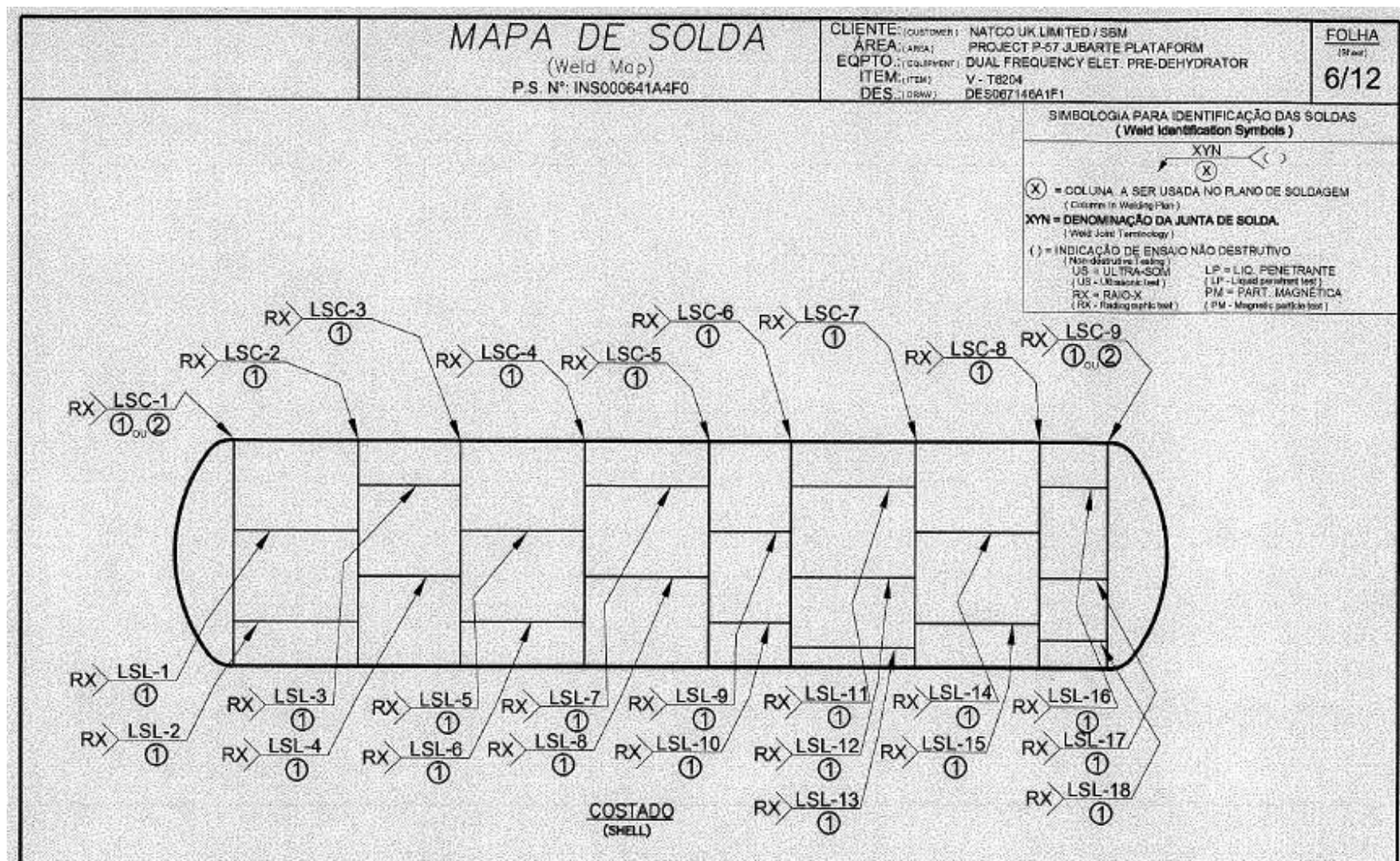


Figura 51 - Mapa de Solda 1

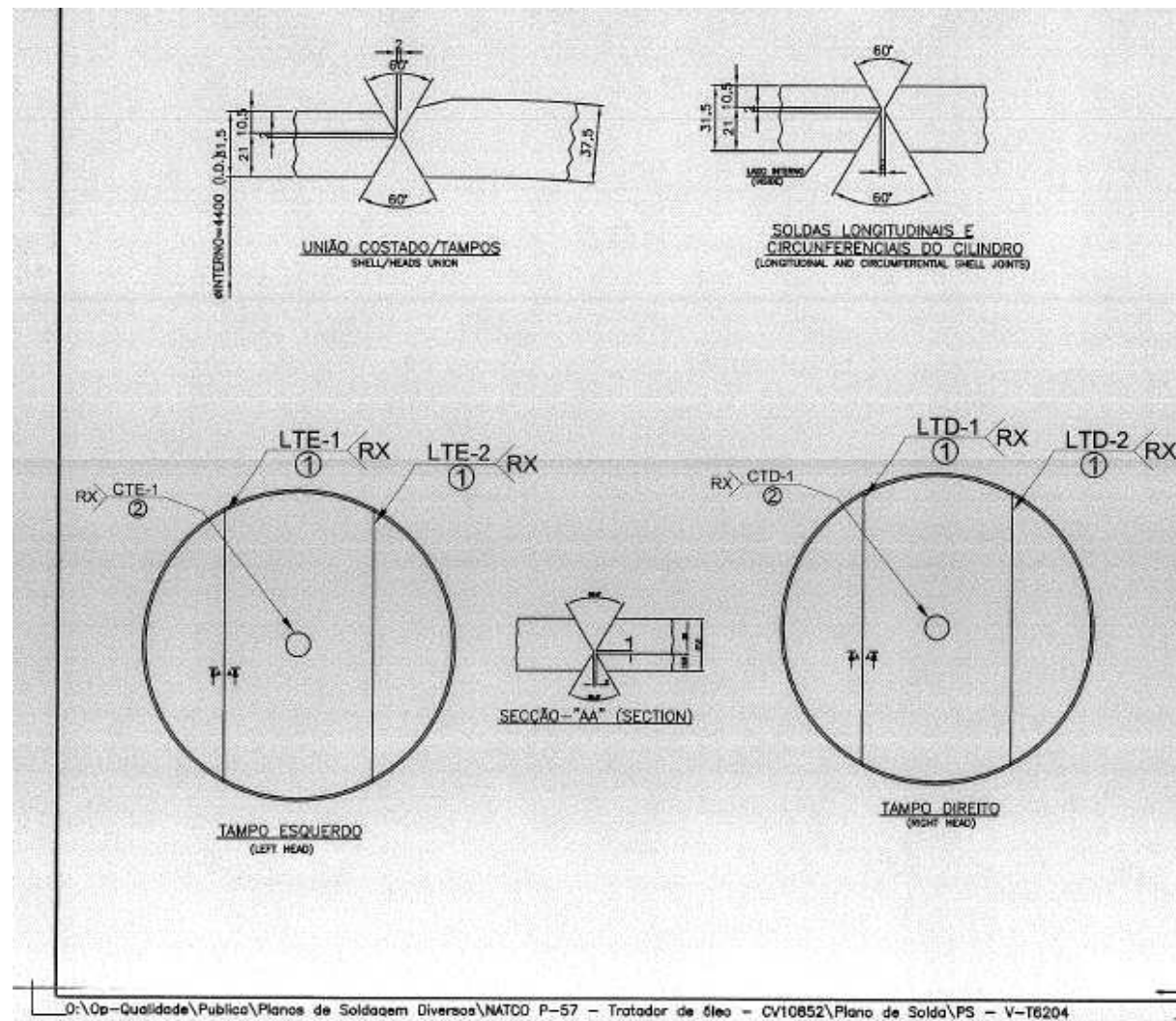


Figura 52 - Mapa de Solda 2 (Final)

- v. Além disso, é necessário haver uma comunicação entre a fábrica e o setor de qualidade para saber quando será necessária a aplicação de algum ensaio.

Para isto, há um roteiro de Fabricação. Ele é o documento que irá para a fábrica e servirá de guia para ela. Este determina também em quanto tempo deve ser realizada cada etapa do processo. Quando no roteiro de fabricação houver a indicação que a peça deve passar pelo controle de qualidade ela é enviada para análise.

Neste caso, não é necessário o envio de documentação por parte da fabricação para o setor de qualidade.

					ROTEIRO DE FABRICAÇÃO - ROT		
		Cód. do ROT ROF-VSPR&990224F01-01		Rev: 02	Descrição do Roteiro: CONJUNTO DA TORRE		
Responsável: AGREGORU		Data: 06/05/2009		Situação: IAPD (Item Aprovado por Métodos e Processos - Definitivo)			
Des. Principal: DE-3902.01-21231-550-BAR-001				IT People: IS10663-37001 - VSPR&990224F01			
Cód. do IT PRD: VSPR&990224				Descr. IT PRD: CONJUNTO GERAL			
Cód. do ITEM: VSPR&990224F01				Descr. ITEM: CONJUNTO DA TORRE			
PAI do ITEM: VSPR&990224				Cliente/Equip.:			
S.O.	SETOR	T.PREP.	EQ.	HS.	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	CNC	CODIGO CNC
20,07	72102		1	0,01	=====> PARADA PARA INSPEÇÃO <===== - EXECUTAR CONTROLE VISUAL E DIMENSIONAL DA SOLDA DO CONE = TIPO DE INSPEÇÃO: # AMOSTRAGEM 100% # PARADA OBRIGATORIA (H) # LOCAL DE INSPEÇÃO: BARDELLA (F) # ANALISE DE DOCUMENTO (RD) # APROVAÇÃO DO CLIENTE (A) - EXECUTAR EXAME RADIOGRÁFICO NA SOLDA DO CONE COM O COSTADO = TIPO DE INSPEÇÃO: # AMOSTRAGEM SPOT # PARADA OBRIGATORIA (H) # LOCAL DE INSPEÇÃO: BARDELLA (F) # ANALISE DE DOCUMENTO (RD) # RELATÓRIO CÓPIA PARA O CLIENTE (C) - PS ==> ET-3902.01-21231-550-BAR-003 - PIT ==> ET-3902.01-21231-550-BAR-001 - REN-VSPR&990224F01A()		
20,08	85127		1	5	SEQUENCIA 03 - MONTAR FLANGE CONEXÃO "6" - FLANGE Ø30" - DECJ&001181F06 - CONFORME DESENHO DE-3902.01-21231-550-BAR-001 e DE-3902.01-21231-550-BAR-005		
20,09	85125		1	3	- EXECUTAR A SOLDA CIRCUNFERENCIAL DA CONEXÃO "6" COM O COSTADO CONFORME PLANO DE SOLDA ET-3902.01-21231-550-BAR-003		
20,1	72102		1	0,01	=====> PARADA PARA INSPEÇÃO <===== - EXECUTAR CONTROLE VISUAL E DIMENSIONAL DA SOLDA DA CONEXÃO "6" = TIPO DE INSPEÇÃO: # AMOSTRAGEM 100% # PARADA OBRIGATORIA (H) # LOCAL DE INSPEÇÃO: BARDELLA (F) # APROVAÇÃO DO CLIENTE (A) - EXECUTAR EXAME RADIOGRÁFICO NA SOLDA CONEXÃO "6" COM O COSTADO = TIPO DE INSPEÇÃO: # AMOSTRAGEM SPOT # PARADA OBRIGATORIA (H) # ANALISE DE DOCUMENTO (RD) # LOCAL DE INSPEÇÃO: BARDELLA (F) # RELATÓRIO CÓPIA PARA O CLIENTE (C) - PS ==> ET-3902.01-21231-550-BAR-003 - PIT ==> ET-3902.01-21231-550-BAR-001 - REN-VSPR&990224F01A()		
20,11	85127		1	4	SEQUENCIA 04 - MONTAR CONEXÃO "5" NO COSTADO - CONEXÃO "5" - DECJ&001181 - DES. DE-3902.01-21231-550-BAR-005 - TRAÇAR REFERENCIAS E CONVOCAR O SETOR DE CORTE PARA REFILAR O S.M. EXISTENTE NA CONEXÃO "5", CHANFRAR PARA EMENDA COM O COSTADO - MONTAR E AJUSTAR A DIMENSÃO DE FACE A FACE 5902mm		

Data de Impressão: 05/10/2009 17:12:28

Folha 3 de 9

Figura 53 - Roteiro de Fabricação

Seu objetivo é além de possibilitar uma perfeita comunicação entre todos os times da indústria, é padronizar processos.

vi. Vale destacar ainda mais outros três documentos internos:

- 1) Relatório de Ensaio: este relatório é emitido quando a peça está pronta e será tantos quantos forem os ensaios não destrutivos realizados.
- 2) Controle de Desempenho de Soldadores – Semelhante ao desenvolvido pela Empresa A. Na Empresa B, este acompanhamento é mensal.
- 3) Databook – Elaborado de acordo com a norma N 268: Livro com dados de operação e construção de equipamento.

WELDS INSPECTION STATUS CONTROL / WELDING REPORT

ANTES DO TRATAMENTO TÉRMICO

SAIA / COSTADO / TAMPOS - (MAPA DE SOLDA - Fl. 9/15)

Figura 54 - Relatório de Ensaio

6. Conclusão

Após o prévio estudo dos ensaios disponíveis no mercado e o acompanhamento e posterior mapeamento do controle de qualidade em duas indústrias reais é possível assegurar que o atual procedimento adotado por estas fábricas é eficaz no controle da qualidade, tendo em vista que nos últimos dois anos não há histórico de peças rejeitadas em ambas as indústrias.

Isto se deve a alguns fatores: Primeiro, na maioria dos casos, há a presença de inspetores do cliente que acompanham todo o processo. O segundo motivo é que há indicações no meio do processo que indicam que algum procedimento precisa ser novamente realizado. (Ex: Solda mal feita).

Comparando o processo realizado nas duas indústrias, pode-se afirmar que eles são bastante semelhantes e que não apresentam diferenças significativas. Até porque o responsável pela qualidade na Empresa B já trabalhou na Empresa A por mais de 10 anos.

No entanto, é possível citar algumas diferenças entre os processos:

- A Empresa A possui um documento interno com um resumo das normas (Norma Geral da Qualidade), enquanto que a Empresa B utiliza diretamente as normas.
- Enquanto na Empresa A para que seja acionada a área de qualidade há um documento que formaliza este acionamento (Solicitação/Boletim de inspeção), na Empresa B há um roteiro prévio (Roteiro de Fabricação – ROT) conhecido por todas as partes envolvidas que indica qual procedimento deverá ser realizado.
- O ROT funciona como padronizador de atividades. Ele, além do procedimento, mede o tempo necessário para a realização de cada atividade e procura identificar gargalos. Ou seja, foi possível identificar no processo desenvolvido pela Empresa B uma maior

preocupação com a interação entre as áreas de uma forma bastante padronizada e pragmática.

Indubitavelmente, percebe-se que para que haja um processo de qualidade eficaz é necessário um grande controle do processo. É importantíssimo a rastreabilidade de toda e qualquer informação útil no processo. Desta forma, evitam-se gastos desnecessários e fica fácil identificar gargalos na produção – Controle dos soldadores, por exemplo –.

Por fim, foi possível, entretanto, identificar alguns problemas no processo. Não na maneira como ele é realizado (no seu método), apenas há existência de alguns equipamentos muito antigos na rotina. A utilização de equipamentos mais modernos poderia ajudar bastante os inspetores e garantir ainda mais o bom resultado já alcançado. Esta discussão envolve questões econômicas e financeiras e precisa ser pensada antes de qualquer decisão ser tomada.

7. Bibliografia

- <http://www.abende.org.br/index.php?w=1024&h=768>,
<acessado em 30/06/2009>
- <http://www.atendservicos.com.br/>,
<acessado em 30/06/2009>
- Kume, Hitoshi, Métodos Estatísticos para controle da qualidade: São Paulo: Editora Gente, 1993.
- Sakamoto, A , "Ensaio por Líquidos Penetrantes", ABENDE;
- Leite, Paulo G.P , “Curso de Ensaios Não Destrutivos”, Associação Brasileira de Metais-ABM , 8a. edição 1966;
- Sanchez,W. ; "Ensaios Não Destrutivos pela Técnica de Raios X e Gama", Informação Nr.29 IEA, Instituto de Energia Atômica, São Paulo , 1974
- <http://www.qualidadeaeronautica.com.br/>,
<acessado em 17/11/2009>
- http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1gina_principal,
<acessado em 17/11/2009>
- Andreucci, Ricardo . Ensaios não destrutivos: São Paulo: ABENDE, 2009
- Normas Técnicas da Petrobras
- Documentação interna da Empresa A Equipamentos.
- Documentação interna da Empresa B S/A.