

**MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRANÇA ARANHA**

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS (APMA)



**MEDIÇÃO DE ESPESSURA POR ULTRASSOM PARA VISTORIAS
DO CASCO DE NAVIOS GRANELEIROS**

JÚLIA GABRIELA DE ALMEIDA SOARES

Rio de Janeiro, 2013

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS

**MEDIÇÃO DE ESPESSURA POR ULTRASSOM PARA VISTORIAS
DO CASCO DE NAVIOS GRANELEIROS**

JÚLIA GABRIELA DE ALMEIDA SOARES

Rio de Janeiro, 2013

JÚLIA GABRIELA DE ALMEIDA SOARES

**MEDIÇÃO DE ESPESSURA POR ULTRASSOM PARA VISTORIAS
DO CASCO DE NAVIOS GRANELEIROS**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do grau de Especialização em Aperfeiçoamento para Oficial de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Prof. OSM Inspetor Naval RICARDO DE LIMA BARRETO

Rio de Janeiro, 2013

JÚLIA GABRIELA DE ALMEIDA SOARES

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. OSM Inspetor Naval RICARDO DE LIMA BARRETO

Nota: _____

1º Examinador: _____

2º Examinador: _____

Rio de Janeiro, 2013.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, que sempre me ofereceu suporte e incentivo aos estudos, incluindo os investimentos, mesmo nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos professores da segunda turma do ano 2013 do curso APMA por oferecem estímulos aos estudos.

Agradeço ao Prof. Ricardo de Lima Barreto por ter me sugerido o tema desafiante e enriquecedor

Obrigada à Prof. Denise pela paciência e colaboração para edição do trabalho.

Obrigada à minha grande amiga Alessandra Sepulcre pela contribuição na elaboração dos detalhes.

Obrigada a toda a turma 2013/02 do curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas pelo companheirismo durante toda duração do curso, em que tive o privilégio de suas presenças e amizades.

Obrigada à minha irmã Hruska e ao meu namorado Fábio pela constante preocupação a respeito do desenvolvimento deste trabalho.

Um agradecimento especial à Maersk Supply Service, cujo apoio foi fundamental para a minha participação no curso.

EPÍGRAFE

“Um ladrão rouba um tesouro, mas não furta a inteligência. Uma crise destrói uma herança, mas não uma profissão. Não importa se você não tem dinheiro, você é uma pessoa rica, pois possui o maior de todos os capitais: a sua inteligência. Invista nela. Estude!”

Augusto Cury

RESUMO

A integridade da estrutura do casco de navios graneleiros é comprometida pela ocorrência de fraturas, provocadas pelas forças cíclicas as quais o casco está submetido em conjunto com o desgaste de material por corrosão. Para avaliar o grau deste desgaste em elementos estruturais, sociedades classificadoras conduzem vistorias do casco que, além do exame visual, utiliza dados de medição de espessura de chapas, vigas e reforços estruturais fundamentais à integridade da resistência do casco. Por ser uma importante ferramenta indicadora de desgaste, a medição espessura de elementos da estrutura do casco tem critérios estabelecidos pela Associação Internacional das Sociedades Classificadoras (*International Association of Classification Societies – IACS*), a organização das maiores classificadoras do mundo, segundo a qual a medição deve ser realizada através do equipamento de ultrassom. O ensaio não destrutivo por ultrassom utiliza a energia do som de alta frequência para realizar inspeções e medições. É baseado no fenômeno de reflexão do som ao incidir num anteparo qualquer. Através de aparelhos especiais, detectam-se as reflexões ultrassônicas provenientes do interior da peça examinada, obtendo-se informações sobre espessura e descontinuidades. A partir da análise dos dados de espessura fornecidos pelo equipamento de ultrassom, deve ser feita uma comparação com os limites aceitáveis de desgaste, definidos pela IACS, e assim, definir as medidas de reparo e compensação.

Palavras-chave: vistoria de casco; medição de espessura; ensaio não destrutivos por ultrassom; integridade estrutural do casco; UR S31

ABSTRACT

The structural integrity of the hull on bulk carriers is affected by the appearance of cracks, caused by cyclic forces, to which the hull is subjected, together with material wastage. In order to assess the extent of the wastage on structural elements, Classification Societies lead surveys on the hull which, besides visual inspection, uses information about plates and beams thickness measurements, as well as structural stiffeners which are fundamental to ensure the hull's strength. As it is an important tool to indicate wastage, the thickness measurement of structural elements of the hull has criteria established by the International Association of Classification Societies – IACS, the organization for the most important classification societies in the world. IACS establishes that ultrasonic equipment has to be used for the measurements. The ultrasonic non-destructive test uses energy of high frequency sound to carry out inspections and measurements. It is based on the sound reflection phenomenon when reaching any surface. Through special equipment, ultrasonic reflections from inside the inspected part are detected, what gives information about thickness and discontinuity. After the assessment of information about elements' thickness, the results ought to be compared to the acceptable wastage limits defined by IACS, and then, compensation and repair measures will be defined.

Keywords: hull survey; thickness measurement; ultrasonic non destructive test; hull structural integrity; UR S31.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração de navio	17
Figura 2 - Seção transversal e arranjo de graneleiro	19
Figura 3 - Arranjo típico de porão de carga	20
Figura 4 - Seções de graneleiros especializados	21
Figura 5 - Esforços devidos à desigual distribuição de peso.....	22
Figura 6 - Estrutura dos cascos metálicos	24
Figura 7 - Vazamento em porão de carga que indica indício de trinca.....	28
Figura 8 - Exemplo de fratura.....	29
Figura 9 - Vistoria em porão de carga	33
Figura 10 - Grau de corrosão	34
Figura 11 - Condição ideal para inspeção.....	35
Figura 12 - Exemplo de espaço sem limpeza.....	35
Figura 13 - Faixas limites de audibilidade	41
Figura 14 - Princípio de um sistema de ultrassom	43
Figura 15 - Representação de onda sonora.....	44
Figura 16 - Contração e expansão do cristal submetido a alta tensão alternada	46
Figura 17 - Cabeçote normal.....	47
Figura 18 - Técnica pulso-eco	48
Figura 19 - Técnica de transparência.....	49
Figura 20 - Pulso de Ultrassom	50
Figura 21 - Reflexo de Ultrassom.....	50
Figura 22 - Reflexões múltiplas do ultrassom no interior de peça	51
Figura 23 - Ecos em tela de aparelho de ultrassom	51
Figura 24 - Medidor de espessura digital ultrassônico	52
Figura 25 - Cabeçote duplo cristal.....	52
Figura 26 - Blocos de calibração sugeridos para medidores de espessura	55
Figura 27 - Exemplo de estrutura do casco- fiadas de chapa do costado.....	58
Figura 28 - Exemplo de estruturas do casco - Chapeamento do fundo e quilha.....	58
Figura 29 - Antepara transversal em porão de carga	59
Figura 30 - Localização das medições nas anteparas transversais	60
Figura 31 - Exemplo de estruturas do convés - tampas de escotilha e braçolas (hatch covers and coamings)	62
Figura 32 - Exemplo de estruturas do convés - Chapeamento do convés principal (main deck plating)	62
Figura 33 - Estrutura do duplo-fundo.....	63
Figura 34 - Exemplo de localizações das medições.....	64

Figura 35 - Cavernas em porão de carga.....	65
Figura 36 - Seção transversal de porão de carga	65
Figura 37 - Intensidade da corrosão por pite.....	67
Figura 38 - Exemplo de corrosão nas extremidades	68
Figura 39 - Exemplo de corrosão em torno de cordão de solda.....	70
Figura 40 - Seções a) e b).....	72
Figura 41 - Renovação de chapas no convés principal.....	75
Figura 42 - Zonas de cavernas.....	76
Figura 43 - Tripping Brackets	77
Figura 44 - Porão com tripping brackets entre cavernas.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valotes de t_c	71
-----------------------------------	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estruturas do casco - extensão de medições de espessura	58
Quadro 2 - Anteparas transversais em porões de carga - extensão de medições de espessura.....	59
Quadro 3 - Estruturas do convés - extensão de medições de espessura	61
Quadro 4 - Estruturas do duplo fundo e do tanque hopper - extensão de medições de espessura.....	63
Quadro 5 - Porões de carga - extensão de medições de espessura.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IACS	International Association of Classification Societies
IMO	International Maritime Organization
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
RBC	Rede Brasileira de Calibração

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. NAVIOS.....	16
2.1 Conceito.....	16
2.2 Evolução dos navios	18
2.3 Navios graneleiros.....	19
2.4 Esforços ao casco	21
2.5 Estrutura do casco	23
2.6 Estudos sobre estrutura do casco	24
3. AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO CASCO	27
3.1 Falhas estruturais.....	27
3.2 Vistorias do casco	30
3.3 Processo de medição de espessura	33
3.4 Certificação de empresas.....	36
3.5 Relatórios	38
4. ENSAIO POR ULTRASSOM.....	41
4.1 Conceito básico.....	42
4.2. Princípios físicos do ensaio.....	43
4.3 Transdutores piezoelétricos	45
4.4 Técnicas de Inspeção	47
4.5 Aparelhos medidores de espessura	49
4.6 Calibração dos equipamentos.....	53
5 LIMITES MÍNIMOS DE ESPESSURA.....	57
5.1. Localização das medições	57
5.2 Critérios para renovação da espessura devido à corrosão	66
5.3 Critérios para porões de carga.....	70
6 COMPENSAÇÃO DE DESGASTES E REPAROS	73
6.1 Compensação de desgaste em cavernas e borboletas de porões de carga.....	75
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXO A Exemplo de certificado de empresa para medição de espessura	82
ANEXO B Exemplo de relatório de medição de espessura.....	83
ANEXO C Exemplo de certificado de calibração de equipamento de ultrassom	97
ANEXO D Exemplo de relatório de calibração de equipamento de ultrassom	98
ANEXO E Exemplo de certificado de treinamento	100

1. INTRODUÇÃO

Os navios são vitais para a economia de muitos países e carregam 95% de toda a carga transportada no mundo. Os navios graneleiros especificamente são responsáveis por 40% da frota mundial e, no mercado brasileiro, têm um papel importantíssimo. Transportam graneis fundamentais para a economia brasileira como o açúcar, a soja, o minério de ferro e a bauxita.

Como os navios graneleiros estão submetidos a vários tipos de esforços, além dos esforços devidos à distribuição da carga, sua integridade estrutural de requer minuciosa atenção, especialmente quando cargas muito pesadas, como minério de ferro e bauxita, são transportadas. Uma combinação desses esforços com o desgaste do material pode ocasionar falhas estruturais, que podem comprometer a resistência estrutural do casco e, portanto, a segurança do navio.

Medição de espessura de componentes estruturais do casco é a principal ferramenta utilizada por sociedades classificadoras durante a realização de vistorias. A análise dos dados obtidos através de medições de espessura possibilita a avaliação da resistência estrutural do casco. A Associação Internacional das Sociedades Classificadoras (*International Association of Classification Societies – IACS*) determina que tais dados devem ser obtidos através um instrumento medidor de espessura por ultrassom.

Este estudo busca, portanto, compreender o princípio de funcionamento do ensaio não destrutivo por ultrassom e sua normalização nacional, bem como identificar os limites aceitáveis de espessura de elementos estruturais. Além disto, através do entendimento de que falhas em estruturas localizadas no interior de porões são de grande importância e seriedade, são apresentados os requisitos da UR S31, norma estabelecida pela IACS para o tratamento específico de tais estruturas.

Para facilitar o entendimento do assunto, é feita uma breve descrição dos componentes estruturais do casco. Posteriormente serão apontados os componentes suscetíveis a medições de espessura. Também se faz necessário o entendimento das causas do desgaste de material

Por fim, faz-se necessário o conhecimento do tratamento dos dados obtidos das medições de espessura, ou seja, das medidas a serem tomadas para

compensação ou reparo nos itens estruturais que apresentam desgaste acima do aceitável de acordo com as normas definidas pela Associação Internacional das Sociedades Classificadoras.

2. NAVIOS

2.1 Conceito

Navio designa, em geral, as embarcações de grande porte. O termo embarcação refere-se a uma construção que flutua e transporta pela água pessoas ou coisas. Podem ser feitas de madeira, concreto, ferro, aço ou da combinação desses e outros materiais. A evolução das embarcações, desde a piroga (tronco escavado) e a balsa (amarração de troncos) até os modernos navios, teve fundamental importância no progresso das civilizações e no intercâmbio cultural entre os povos.

Quanto ao seu propósito, um dos tipos de navios é o mercante, que se destina a transportar com segurança pessoas ou produtos. Os navios mercantes são fundamentais para a economia de vários países, pois ainda transportam 95% de carga mundial. De acordo com Tupper, “Em 1998, a frota mundial de navios totalizou 775 milhões de toneladas de arqueação bruta e estava crescendo 2% ao ano”¹. Apesar de o avião tenha substituído o transatlântico, navios ainda transportam um grande número de pessoas em cruzeiros em variedades de balsas em todas as áreas do mundo. Navios e outras estruturas marinhas são necessárias para explorar riquezas do fundo do mar.

Embora seja a forma mais antiga de transporte, navios e seus equipamentos passam por uma evolução constante. Mudanças são impulsionadas por padrões de mudanças do comércio mundial, por pressões sociais, por melhorias tecnológicas dos materiais, por avanços de técnicas de construção e de sistemas de controle, e por pressão econômica. Como exemplo, a tecnologia atualmente possibilita a construção de navios muito maiores e rápidos, e isto é adotado para aumentar as vantagens econômicas que eles podem conferir. Muitos dos novos designs das formas dos navios, em busca do aumento da eficiência, foram desenvolvidos graças a avançados métodos de análise.

Para a leitura deste estudo, é importante o conhecimento de algumas partes e termos básicos referentes a navios:

- O casco é o corpo do navio sem aparelhos acessórios, ou qualquer outro

¹ TUPPER, E.C. **Introduction to Naval Architecture**. 4ª ed. Oxford: Elsevier, 2004. p.1.

arranjo. Normalmente os cascos de embarcações são simétricos, ou seja, possuem um plano de simetria chamado plano diametral, que passa pelo eixo da quilha.

- A proa é a extremidade anterior do navio no sentido de sua marcha normal. Quase sempre tem a forma exterior adequada para mais facilmente fender o mar.

- A popa é a extremidade posterior do navio. Quase sempre, tem a forma exterior adequada para facilitar a passagem dos filetes líquidos que vão encher o vazio produzido pelo navio em seu movimento, a fim de tornar mais eficiente a ação do leme e do hélice.

- Os bordos são as duas partes em que o casco é dividido pelo plano diametral, ou seja, são os dois lados da embarcação. A parte da direita recebe o nome de boreste ou estibordo, e a parte da esquerda recebe o nome de bombordo.

- AV e AR representam, respectivamente, a vante e a ré. A vante está relacionada à proa, e a ré está relacionada à popa.

- Obras vivas, também chamadas de carena, é a parte do casco abaixo da linha de flutuação em plena carga, isto é, a parte que fica total ou quase imersa. Recebe esse nome, pois é a parte do casco onde os danos podem ser mais perigosos para a estabilidade da embarcação.

- Obras mortas é a parte do casco que fica acima da linha de flutuação em plena carga e que está sempre emersa.

- Costado é o invólucro do casco acima da linha d'água. Em arquitetura naval, durante a construção do navio, quando ainda não está traçada a linha d'água, costado é o revestimento do casco acima do bojo.

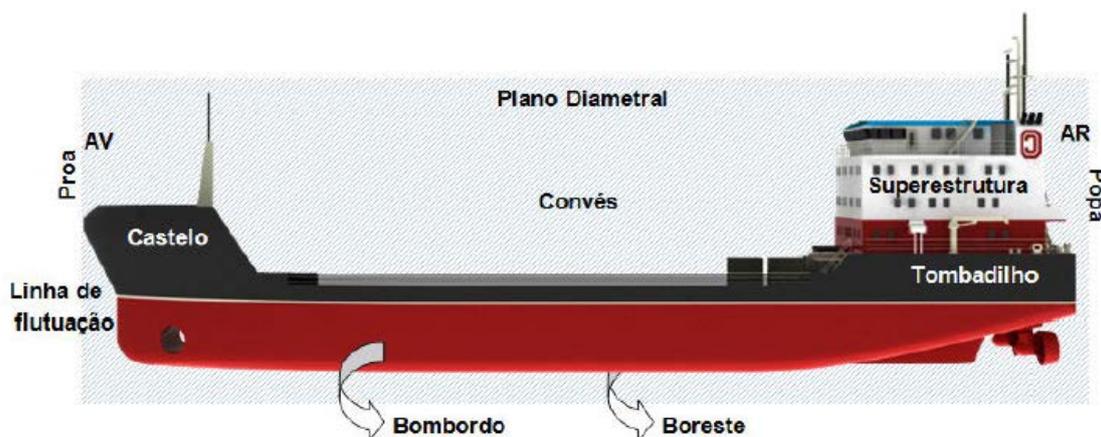


Figura 1 – Ilustração de Navio
 Fonte: (PINTO, 2011, p.5).

2.2 Evolução dos Navios

No período de 1800 até a Segunda Guerra Mundial houve o crescimento de cruzeiros, como resultado do transporte de cargas e passageiros entre a Europa e as colônias no Oriente e no Ocidente, e do número de emigrantes da América do Norte.

A construção de navios mudou vagarosamente mas constantemente para facilitar as novas demandas usando tecnologia nova. Os novos desenvolvimentos foram: quanto ao material principal de construção, a substituição da madeira pelo o ferro e depois pelo aço; navios a vela foram substituídos por navios a vapor e posteriormente por navios com motores; novos tipos de navios como navios tanques e navios frigoríficos; e uma melhora gradual da velocidade, tamanho e segurança.

No geral, os grandes e versáteis navios de comércio deste período estavam ainda em uso nos anos 1970. Transporte de passageiros, carga geral, óleo, carga refrigerada, animais e granéis em um mesmo navio era muito comum. Nem atualmente os navios multipropósitos (*multipurpose ships*) não alcançam tal nível de versatilidade.

Depois de alguma hesitação inicial, o período depois da Segunda Guerra Mundial mostrou um crescimento contínuo no comércio mundial e, deste modo, no comércio marítimo. Este aumento no comércio global foi constante, apenas interrompido por curtos períodos de recaídas. No início isto resultou em cada vez mais navios, conseqüentemente eles se tornaram maiores e mais rápidos. Muitos navios pequenos foram retirados de serviço. A modernização da construção naval e da navegação conduziu a várias perdas de empregos no setor. Depois dos anos 70, cada vez mais navios multipropósitos foram substituídos por navios especializados que podem carregar apenas um tipo de carga. Este processo já havia começado em 1900, mas numa escala muito menor. Assim, foram desenvolvidos os navios tanques, navios químicos, conteneiros, navios graneleiros, navios curral, navios frigoríficos.

2.3 Navios Graneleiros

O volume de cargas a granel transportadas pelo mar cresceu rapidamente na segunda metade do século XX, levando ao aparecimento de navios específicos que carregavam cargas que não precisavam ser embaladas e que podiam ser beneficiadas pela economia do transporte em grande escala. Anteriormente, o transporte de granéis sólidos era efetuado em navios de carga geral, em condições deficientes do ponto da estabilidade (cargas como cereais e carvão têm tendência para correr) e da descarga. Foi Ole Skaarup, fundador da companhia americana Skaarup Shipping Co., quem primeiro idealizou um graneleiro com a seção típica dos navios “*self-trimming*” de hoje, em que os porões de carga têm anteparas longitudinais inclinadas no topo para reduzir a superfície livre e no fundo para facilitar a descarga. O primeiro navio deste tipo foi o N/M Cassiopeia construído pela Kockums em 1955. Esse arranjo, mostrado na figura a seguir, foi universalmente adotado e continua a ser utilizado nos graneleiros convencionais construídos hoje.

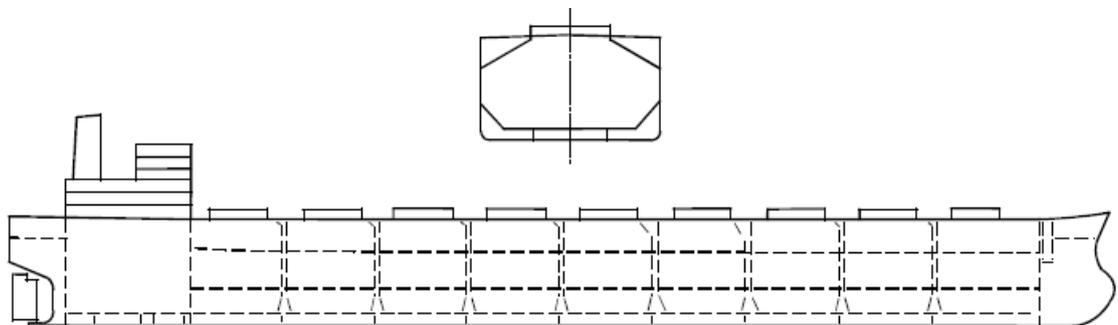


Figura 2 – Seção transversal e arranjo de graneleiro

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Guidelines_and_recommendations/PDF/REC_76_pdf216.pdf).

A maioria dos navios graneleiros é construída com convés único, tanques laterais elevados (*topside tanks*) e tanques laterais inferiores (*hopper tanks*) nos espaços de carga, fundo duplo (*double bottom*), e com a seção para carregamento de carga dividida em porões de carga. O formato destes últimos varia de acordo com a gama de cargas a serem carregadas. Transportam carga homogênea, seca a granel (não unitizada), e incluem tipos como de transporte de minério e combinados,

com carga/descarga vertical através de escotilhas de grandes dimensões.

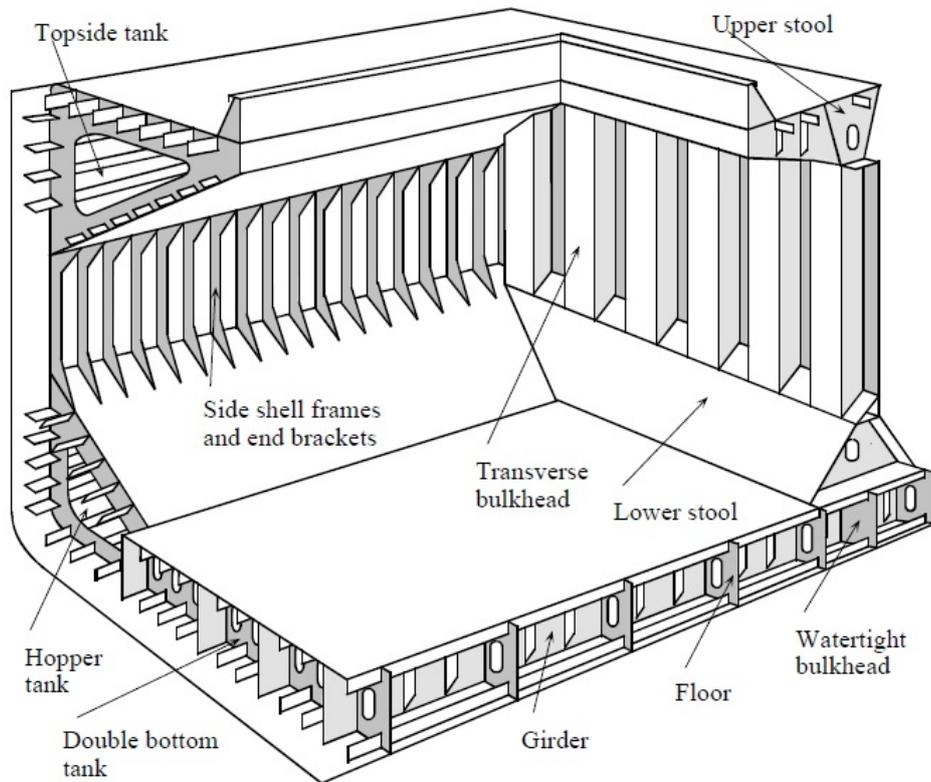


Figura 3 – Arranjo típico de porão de carga

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Guidelines_and_recommendations/PDF/REC_76_pdf216.pdf).

Os navios graneleiros sólidos (ou simplesmente graneleiros, já que os graneleiros líquidos são mais conhecidos por navios tanques) são classificados segundo o porte:

- *Panamax*. As dimensões do navio são limitadas pela necessidade de ser apto para transitar o Canal de Panamá. A boca deve ter menos que 32,25m.
- *Suezmax*. As dimensões do navio são limitadas pela necessidade de ser apto para transitar o Canal de Suez. Seu calado máximo é de 19m.
- *Capesize*. Sem as restrições dos tipos anteriores
- *Handysize*. Geralmente têm menos que 50.000 toneladas de arqueação bruta.

As proporções e o arranjo interno dos graneleiros são fortemente influenciados pela densidade da carga. Na Figura 4 mostram-se secções de graneleiros especializados, dos tipos minereiro (*ore carrier*) e OO. Este último e o

OBO (*ore/bulk/oil*) são também chamados combo ou combi, navios que combinam a capacidade de transporte de graneis sólidos e líquidos.

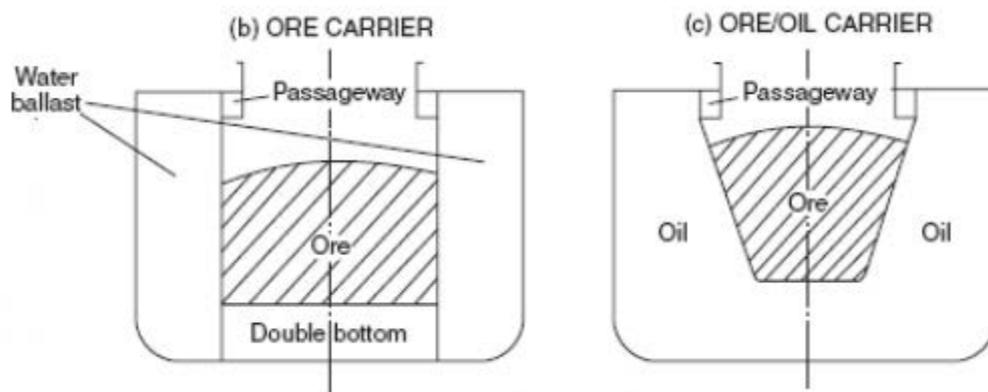


Figura 04 – Seções de graneleiros especializados
 Fonte: (www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/PT/1.4.3-Navios%20Graneleiros.pdf).

Durante o período de 1990 a 1997 verificou-se um número alarmante de acidentes com graneleiros, particularmente *capesizes* e *panamax*, levando ao afundamento de 99 navios e à perda de 654 vidas. Por isso, a *International Association of Classification Societies* (IACS) tomou a iniciativa, depois seguida pela IMO, de adotar medidas específicas para reforçar a estrutura deste tipo de navios..

2.4 Esforços ao Casco

Um navio que flutua em águas tranquilas está sujeito, em cada ponto de sua superfície imersa, à ação de duas espécies de força, que agem em sentidos opostos. Ele permanece em estado de equilíbrio porque estas forças têm como resultantes duas forças iguais e contrárias, isto é, o peso total do navio e sua carga, aplicado ao centro de gravidade, e o empuxo devido à água onde flutua, aplicado ao centro de carena. Cada uma dessas forças, sobrepondo-se à outra em um ponto qualquer da carena, tende a fazer deformar a estrutura do casco, porque o peso exerce uma pressão de dentro para fora, e o empuxo, de fora para dentro.

Considerando o navio uma viga, é fundamental saber que este é um corpo, que se deforma na presença dos esforços devidos a cargas e flutuações. A

deformação é causada pelas tensões impostas aos componentes estruturais do casco. Embora as previsões mais realistas, tensões e deformações associadas à flexão longitudinal do navio em serviço requeiram um tratamento estatístico por conta da imprevisibilidade dos carregamentos impostos pela natureza do mar não serem conhecidos de maneira precisa, muito se pode inferir a partir do estudo da teoria simples de viga.

O peso da carga e de outros itens que o navio transporta, faz com que o mesmo, por alguns instantes, apresente a tendência de fletir para baixo, mas em outros momentos, ele é forçado a fletir para cima, quando as forças de flutuação se rearranjam. Os dois sentidos de flexão da viga navio são denominados de arqueamento, quando a viga se arqueia para cima, e de tosamento, quando o arco ocorre para baixo. O arqueamento e o tosamento são denominados solicitações primárias, que devem ser suportadas por toda a estrutura da embarcação. O tosamento gera tensões de compressão no convés e tensões de tração no fundo. Já o arqueamento gera tensões de tração no convés e de compressão no fundo.

É importante destacar que inevitavelmente a distribuição de pesos e a distribuição da flutuação ao longo do comprimento do navio raramente serão iguais uma à outra. Assim, a viga navio estará sujeita a forças cortantes e momentos fletores e as tensões e deformações oriundas destes esforços.

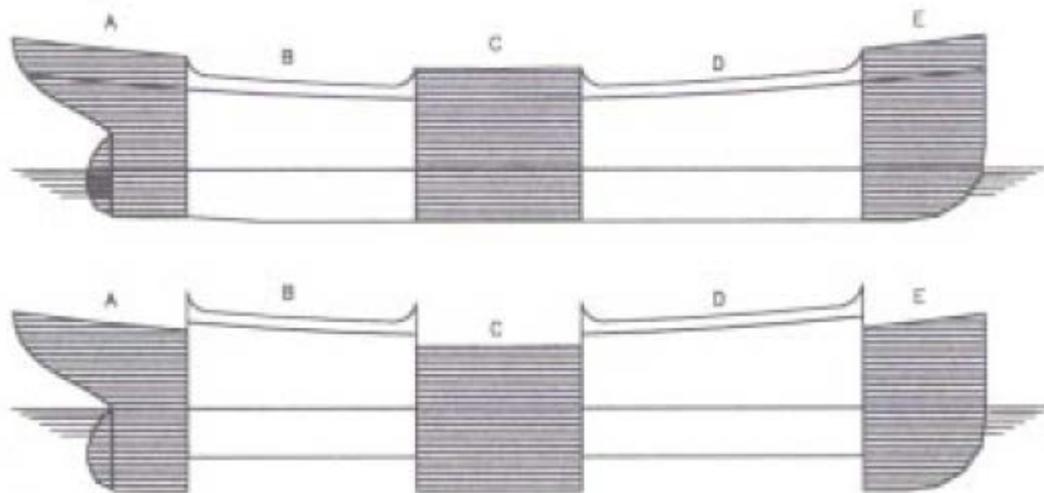


Figura 5 - Esforços devidos à desigual distribuição de peso

Fonte: (FONSECA, 2002, p.214).

Estas tendências à deformação podem se acentuar por ação de outras forças,

tais como a ação dos movimentos de balanço e arfagem produzidos pelas ondas do mar e a ação das máquinas e dos propulsores em movimento.

2.5 Estrutura do Casco

A estrutura do casco dos navios é diferente da maioria das estruturas constituídas apenas de viga sujeitas a esforços, pois, além disso, deve ter um invólucro estanque.

O material das diversas peças estruturais opõe-se com sua resistência à ação de forças deformantes e pode, portanto, ser sujeito a esforços mecânicos de tração, de compressão, de cisalhamento, de torção e de flexão. Para que possa resistir a todos esses esforços que possivelmente o navio sofrerá, a estrutura deve oferecer resistência longitudinal e transversal.

A estrutura do casco é constituída por um invólucro resistente e impermeável (chapeamento ou forro exterior), e por elementos estruturais que o suporta (ossada ou esqueleto). Estes elementos são formados por uma combinação de dois sistemas de vigas, as longitudinais e transversais, além de reforços locais.

As vigas e chapas longitudinais, que, juntamente com o chapeamento exterior do casco e o chapeamento do convés resistente, garantem a resistência aos esforços longitudinais, são a quilha, sobrequilha, longarinas, trincaniz e sicordas. Já as vigas transversais, que, juntamente com as anteparas estruturais, resistem à tendência à deformação do casco por ação dos esforços transversais, são as cavernas vaus e hastilhas. Os reforços locais, que completam a estrutura fazendo a ligação entre as demais peças ou servem de reforço a uma parte do casco, são roda de proa, cadaste, pés-de-carneiro, prumos, travessas, borboletas, latas, buçardas.

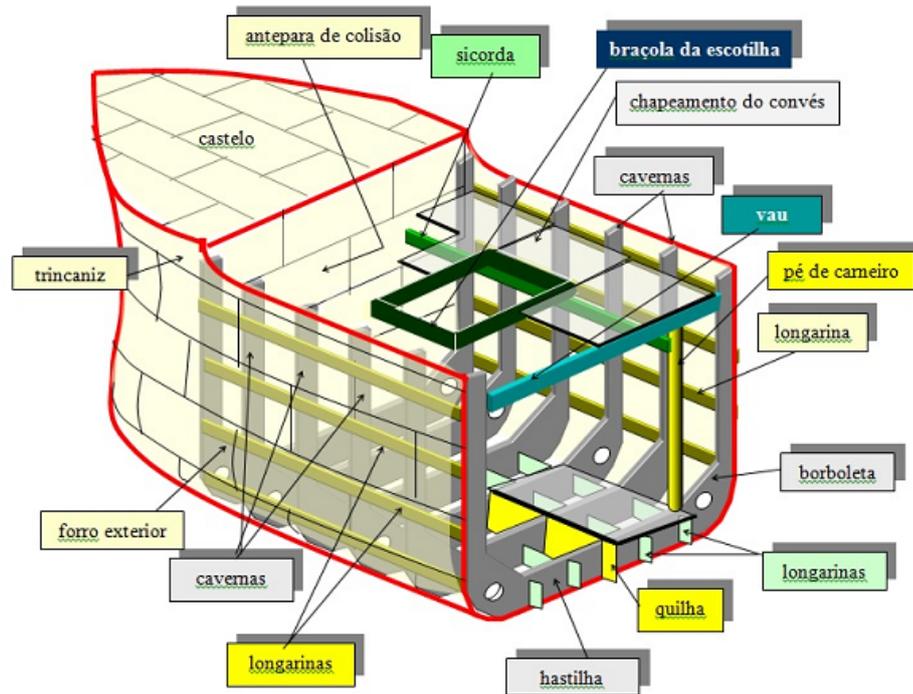


Figura 6 - Estrutura dos cascos metálicos
 Fonte: (www.uff.br/petmec/downloads/mecnav/mecnav1.doc).

2.6 Estudos sobre Estrutura do Casco

Duas dificuldades principais da arquitetura naval é identificar os todos esforços aos que a estrutura do navio é submetida e o cálculo de sua reação àqueles esforços. A tarefa de avaliar a adequação da estrutura de um navio é um dos mais complexos problemas do estudo da engenharia estrutural. Os esforços gerados nos materiais do navio e suas conseqüentes deformações devem ser mantidos dentro de limites aceitáveis através de um cuidadoso projeto de design e de elementos estruturais.

O projeto de navios só é possível com a análise dos elementos estruturais fundamentais a qualquer tipo de embarcação. Cabe à engenharia naval a definição da estrutura de uma embarcação, a distribuição de todos os componentes e o projeto, instalação e funcionamento de seus equipamentos. O planejamento da estrutura e dos componentes de uma embarcação tornou-se progressivamente mais complexo, devido à automatização dos controles de navegação e dos instrumentos propulsores, de refrigeração e outros.

Atualmente, com exceção de algumas embarcações pequenas, a quase totalidade dos navios, de guerra ou mercantes, de vela ou de propulsão mecânica, é de aço doce. As principais vantagens dos navios de casco metálico em comparação com os de madeira são: economia de peso do casco, ou aumento da resistência; maior facilidade de construção e de reparo; maior segurança contra o alagamento, pois a compartimentagem é mais fácil; menor perigo de incêndio; maior capacidade interior disponível; possibilidade de aumento do comprimento e do deslocamento; possibilidade de adotar formas quaisquer, inclusive de maior fineza; e maior durabilidade. As desvantagens que podiam ser atribuídas aos navios de aço já estão completamente removidas: a perturbação produzida pelo magnetismo do casco sobre as agulhas magnéticas é evitada pelas compensações, pelo emprego de metais diamagnéticos e pelo uso das agulhas giroscópicas; as condições de habitabilidade são melhoradas por um sistema aperfeiçoado de ventilação, aquecimento e refrigeração; e as corrosões e incrustações na carena são diminuídas com as pinturas e as docagens frequentes.

Para seguir o seu propósito, um navio deve ser um objeto flutuante impermeável, capaz de transportar cargas e de resistir, sem sofrer falhas por fraturas ou por deformações permanentes, a ações do ambiente e de sua própria operação. A estrutura é projetada para resistir ao momento fletor longitudinal, o esforço primário da embarcação. Logo essa estrutura deve ser composta de material contínuo no sentido longitudinal, de popa a proa. O chapeamento deve ser estanque.

A principal tarefa dos projetistas é combinar os requisitos de resistência longitudinal e de estanqueidade em uma única viga, buscando-se o mínimo peso estrutural. O projetista deve escolher a orientação (longitudinal ou transversal, ou seja, vertical ou horizontal) de cada tipo de reforço em cada região da estrutura, como o fundo, costados, conveses e anteparas. Essa escolha se baseia principalmente:

1 – Na eficiência estrutural. O arranjo que resulta no mínimo peso para uma dada resistência é o melhor.

2 – O custo de material e de fabricação. Considerar quanto custo adicional em material e fabricação é justificado em função da redução do peso da estrutura.

3 – A continuidade estrutural. Os membros estruturais devem ser capazes de suportar as cargas e as transmitir ao resto da estrutura, evitando-se assim as

concentrações de tensões. O alinhamento e a união de membros estruturais contínuos são de extrema importância.

4 – A melhor utilização do espaço.

3. AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO CASCO

3.1 Falhas Estruturais

No sentido de contribuir com a resistência ao cisalhamento das longarinas, o chapeamento do casco constitui uma fronteira exterior de um porão de carga e é naturalmente a primeira linha de defesa contra o ingresso/ vazamento de água do mar quando o costado do navio estiver sujeito às ondas e a outros esforços dinâmicos em mau tempo. A integridade da estrutura lateral é de suma importância para a segurança do navio e exige muita atenção durante a inspeção e mapeamento.

A estrutura lateral está propensa aos danos causados pelo contato com o cais durante atracação e pelos impactos da carga e seus equipamentos de manuseio durante operações de carregamento e descarregamento.

O meio ambiente marinho em associação com o manuseio e características de certas cargas (ex. troncos de madeira molhados com água salgada e certos tipos de carvão) podem ocasionar deterioração do revestimento e severa corrosão do chapeamento e prumos. Essas situações tornam a estrutura mais vulnerável quando expostas a mau tempo

Navios graneleiros carregam vários tipos de carga e uma das mais comuns é o carvão, especialmente para grandes graneleiros. Certos tipos de carvão contêm impurezas de enxofre e quando reagem com água produzem ácido sulfúrico que pode causar corrosão severa na estrutura se o revestimento apropriado não estiver aplicado e propriamente mantido.

As estruturas nas regiões de transição na proa e popa de um navio são sujeitas a grandes esforços devido a descontinuidades estruturais. O chapeamento do casco nessas regiões de transição é também sujeito a vibração. A falta de continuidade da estrutura longitudinal e flexibilidade da estrutura lateral tornam a estrutura das regiões de transição mais propensas a falhas estruturais.

Falhas ocorrem quando uma estrutura não consegue mais desempenhar a função para a qual foi designada. Se, ao falhar, um elemento simplesmente passa a carga a que era submetido a outro elemento que pode suportar tal carga, não há

geralmente nenhum grande problema à segurança, embora uma ação de remediação possa ser necessária. Se, entretanto, houver um efeito 'dominó' e os elementos estruturais ao redor também falharem, o resultado pode ser a perda do navio. Falhas podem ocorrer devido a:

- Distorção da estrutura por ter sido tensionada além do limite de elasticidade. Uma distorção permanente pode levar o sistema a ser incapaz de desempenhar sua função.

- Trincas, que aparecem quando o material não suporta mais a sustentação da carga aplicada. Podem ocorrer porque a tensão do esforço aplicado excede a tensão de ruptura do material ou, mais comumente, devido à fadiga, conduzindo a trinca a uma fratura. Mesmo que uma trinca não gere uma fratura completa, pode permitir vazamentos e, assim, fazer com que a estrutura falhe em uma de suas funções.



Figura 7 – Vazamento em porão de carga que indica indício de trinca

Fonte: (Ricardo de Lima Barreto).

Como já visto, o material das estruturas do casco de um navio graneleiro está submetido às forças da distribuição da carga a bordo, às tensões cíclicas das forças das ondas e de vibração induzida pelos motores principais ou propulsores, além de concentração de tensões devida à possíveis erros de projeto ou de construção. A principal razão do surgimento de trincas, e sua conseqüente evolução para fratura, é

a combinação de tais esforços combinados com o desgaste do material.



Figura 8 - Exemplo de fratura
Fonte: (CANELLA, 2009, p.8).

O desgaste de material é normalmente devido à corrosão, que ocorre em membros estruturais nos conveses, nos porões e nos tanques. As formas mais comuns de corrosão nos componentes estruturais são a puntiforme, ou por pite, por esfoliação e em torno de cordões de solda. Corrosão por pites, cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa, frequentemente encontrada no chapeamento do fundo ou em superfícies horizontais e em tanques de lastro, inicia-se normalmente devido a falhas no revestimento. A corrosão por esfoliação aparece como camadas quebradiças de ferrugem que podem ocorrer uniformemente nas superfícies internas sem revestimento de porões ou de tanques. Quando em torno de cordões de solda, a corrosão ocorre por causa do surgimento de regiões onde há elétrons que ficaram sob uma certa tensão devido à solda. Ocorre a poucos milímetros do local onde foi aplicada a solda e pode gerar concentração de tensão e consequente aceleração do processo corrosivo.

O desgaste pode também ser consequência de erosão, que é causada pelo efeito de desgaste de um líquido ou granel corrente, ou de abrasão, causada por ações mecânicas.

Como as forças, esforços e pontos concentradores de tensão aos quais o material está submetido são inevitáveis, pode-se afirmar que com a monitoração do desgaste do material, além dos devidos reparos a este desgaste, é possível evitar a

ocorrência de falhas estruturais.

3.2 Vistorias do Casco

Um dos principais objetivos dos construtores navais e dos armadores consiste em assegurar que, ao longo de todo o ciclo de vida dos seus navios, a segurança e a fiabilidade são mantidas a níveis elevados. As condições da estrutura e maquinaria das embarcações são elementos muito importantes para as seguradoras, bancos, tripulação e passageiros, autoridades portuárias e comunidades de regiões costeiras onde existe tráfego de navios comerciais.

As sociedades classificadoras são organizações que estabelecem e aplicam padrões técnicos relativos ao projeto, construção e inspeção dos sistemas e equipamentos marítimos, incluindo navios e estruturas *offshore*. A vasta maioria dos navios é construída e inspecionada em obediência aos padrões estabelecidos por sociedades classificadoras. A uma embarcação projetada e construída em conformidade com as regras aplicáveis de uma sociedade classificadora pode ser-lhe atribuído um certificado de classe dessa sociedade. A classificadora emite este certificado após a realização de vistorias importantes para a classificação. Tal certificação não deve ser interpretada como uma garantia expressa de segurança, da aptidão para a finalidade ou navegabilidade do navio. É apenas um atestado de que a embarcação se encontra em conformidade com os padrões que foram desenvolvidos e publicados pela sociedade que emite o certificado de classificação. Apesar disto, as sociedades classificadoras desempenham um papel fundamental na prevenção de acidentes marítimos em virtude de sua dupla função de classificação e certificação de navios.

Através da observação de que a manutenção do material dos componentes estruturais sem desgaste ou trincas é de grande importância para evitar o surgimento de falhas estruturais, sociedades classificadoras adotaram regras para a monitoração e para limites de aceitação de desgaste de material e fraturas, além de regras para seus possíveis e consequentes reparos.

A Organização Marítima Internacional (*International Maritime Organization - IMO*), na Conferência SOLAS em 1997, adotou padrões de resistência estrutural,

para novos e existentes navios graneleiros que transportam cargas de alta densidade, redigidos pela Associação Internacional das Sociedades Classificadoras (*International Association of Classification Societies - IACS*).

Além das regras para limites de aceitação de desgaste e para compensação do desgaste, a associação estabeleceu as diretrizes para um programa de vistorias periódicas com o objetivo de avaliar a condição estrutural do casco, a estrutura dos porões de carga e tanques adjacentes. O programa consiste de Vistorias Especiais (ou de Renovação), realizadas a cada 5 anos e de Vistorias Anuais e Intermediárias, realizadas entre as Vistorias Especiais.

As vistorias anuais buscam confirmar que a condição geral do casco está mantida num estado satisfatório. Conforme o envelhecimento do navio, os porões de carga devem ser sujeitos a amplas vistorias gerais e a vistorias minuciosas (*close-up survey*). Além disto, caso sejam detectadas, em vistorias intermediária ou especial anteriores, deterioração no revestimento ou corrosão substancial nas estruturas de tanques de lastro, estes também estarão sujeitos a vistorias gerais e minuciosas.

A Vistoria Intermediária substitui a segunda e a terceira Vistoria Anual a cada ciclo de cinco anos e, além dos requerimentos normais à Vistoria Anual, requer extensivas inspeções gerais e inspeções minuciosas, incluindo medições de espessura de porões de carga e tanques de lastro. Esta vistoria também inclui reexaminação e medições de espessura de áreas suspeitas de estarem substancialmente corroídas ou conhecidas por serem propensas a rápido desgaste. Áreas de tanques de lastro e porões de carga que foram encontradas suspeitas em Vistoria Especial anterior devem ser sujeitas a uma inspeção geral e uma inspeção minuciosa.

As Vistorias Especiais (ou de Renovação) da estrutura do casco, realizadas em intervalos de cinco anos, têm o propósito de estabelecer a condição da estrutura para confirmar que a integridade estrutural atende aos Requerimentos de Classificação, e que irá permanecer adequada para seu propósito por um período de mais cinco anos. Este tipo de vistoria é concentrada em examinações minuciosas e também na determinação de espessura. Tem o objetivo de detectar fraturas, empenos, corrosões substanciais e outros tipos de deterioração estrutural. Medições de espessura devem ser realizadas nesta vistoria. Revestimento protetivo deteriorados em espaços de tanques de lastro e áreas estruturais que mostram corrosão substancial e as áreas consideradas pelo inspetor como propensas ao

rápido desgaste devem ser registradas para uma particular atenção na próxima vistoria do ciclo.

Uma Vistoria em Dique Seco é requerida em conjunto com a Vistoria Especial para examinar a parte externa submersa do navio. Duas Vistorias de Fundo devem ser realizadas durante o período de cinco anos de validade do Certificado SOLAS de Construção Segura de Navio de Carga (*SOLAS Cargo Ship Safety Construction Certificate*), e o máximo intervalo entre duas Vistorias de Fundo não deve exceder três anos. Desde 1 de Julho de 2002, para graneleiros que tenham 15 anos ou mais, a inspeção do lado externo do fundo do navio deve ser realizada com o navio no dique seco. Para navio que tenham menos de 15 anos, inspeções alternativas do fundo do navio, não conduzidas em conjunto com a Vistoria Especial, podem ser realizadas com o navio flutuando. Para estas inspeções alternativas são requeridas equipamento adequado e pessoal qualificado.

Vistorias de danos são vistorias ocasionais que, em geral, não estão incluídas no programa de vistorias periódicas do casco e são requeridas em consequência a danos no casco ou outros defeitos. É de responsabilidade do armador informar a sociedade classificadora quando um dano ou defeito pode afetar a capacidade estrutural ou a integridade da estanqueidade do casco. Os danos devem ser inspecionados e avaliados pelo vistoriador da sociedade classificadora, e os reparos pertinentes, se necessários, devem ser realizados. Em alguns casos, dependendo da extensão, tipo e localização do dano, reparos permanentes podem ser adiados para serem realizados durante alguma vistoria do programa. Qualquer dano em conjunto com desgaste acima do limite admissível que afete ou que, na opinião do vistoriador, afetará a integridade estrutural do navio ou a integridade da estanqueidade deve ser prontamente e completamente reparadas.

O objetivo da realização de vistorias periódicas do casco é detectar defeitos e danos estruturais, e estabelecer a extensão de qualquer deterioração. Neste sentido, para identificar localizações chaves na estrutura do casco que podem necessitar de atenção especial, deve ser considerado qualquer histórico de problemas do navio em particular ou de outros navios de classe similar.

3.3 Processo de Medição de Espessura

O desgaste de material é percebido através da perda de sua espessura, que geralmente não é detectada visualmente até que uma perda excessiva ocorra. Assim também ocorre com as fraturas, que podem não ser visualmente percebíveis devido a falta de limpeza da superfície, dificuldade de acesso, iluminação pobre ou compressão das superfícies fraturadas.

Visto que importantes deficiências do material podem não ser detectadas numa inspeção visual, outra forma de inspeção deve ser adotada para garantir a detecção de falhas estruturais. Em qualquer tipo de vistoria, especial, intermediária ou anual, medições de espessura de partes estruturais são requeridas em conjunto com as inspeções visuais.

A medição de espessura deve cumprir com as exigências da sociedade classificadora envolvida na vistoria, e, caso não seja realizada pela própria, deve ser realizada por uma empresa qualificada e certificada pela classificadora em questão, cujo vistoriador deve presenciar a medições. Estas são realizadas através de um equipamento de teste de ultrassom, que também pode ser usado para a detecção de fraturas. Apenas instrumentos de múltiplos ecos são permitidos.

A figura a seguir mostra um porão de carga sendo vistoriado e tendo a espessura de sua estrutura medida:



Figura 9 – Vistoria em porão de carga
Fonte: (Ricardo de Lima Barreto)

Pontos dos componentes estruturais nos porões de carga, nos tanques de lastros, e nas anteparas transversais de chapeamento identificadas com corrosão substancial nas vistorias (especial, intermediária ou anual), normalmente apontadas a critério do vistoriador da sociedade classificadora, devem ter a espessura medida. Múltiplas leituras devem ser tomadas, e o vistoriador avalia a condição média baseado nas observações visuais e leituras medidas da estrutura.

Corrosão Substancial é definida como um grau de corrosão cuja avaliação de padrões de corrosão indica desgaste em excesso de 75% das margens permitidas, mas dentro dos limites aceitáveis. Uma leitura individual não representaria um padrão de corrosão, por isso múltiplas leituras são necessárias. Por exemplo, assumindo que o limite de desgaste de chapa individual para chapas de anteparas transversais de um tanque seja 25% e que a espessura original da chapa em questão era de 12 mm, os limites de desgaste são:

- Para a espessura medida de 9,75 a 12 mm, a porcentagem de diminuição foi de 18,75% (ou seja, 75% de 25%) a 0%, portanto a chapa apresentou alguma corrosão.

- Para a espessura medida de 9,0 a 9,75 mm, a porcentagem de diminuição foi de 25% a 18,75%, portanto o desgaste da chapa estava na faixa de corrosão substancial.

- Para a espessura medida menor que 9,0 mm, a porcentagem de diminuição foi maior que 25%, portanto o desgaste da chapa estava no limite de renovação.

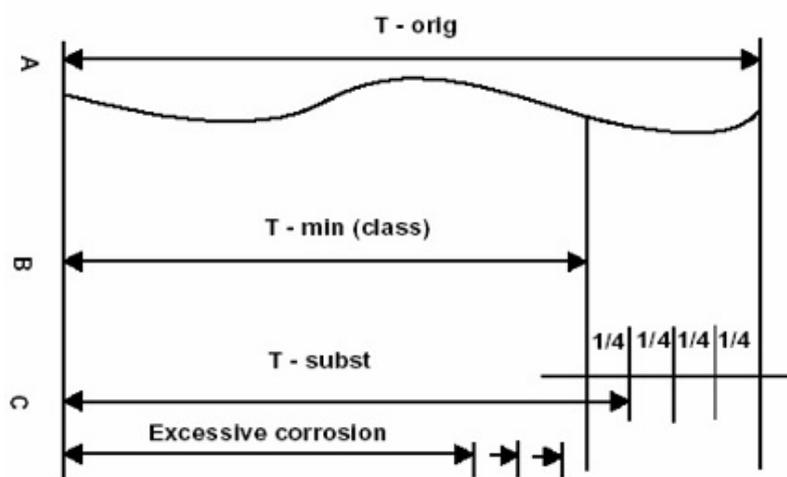


Figura 10 - Grau de corrosão

Fonte: (www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf).

Em preparação para a vistoria e medições de espessura, para permitir uma minuciosa examinação, o armador deve assegurar que todas as áreas a serem inspecionadas sejam limpas, e que água, depósitos, resíduos oleosos e camadas de corrosão sejam removidas. Deve também garantir que o espaço esteja livre de gás, ventilado e iluminado.



Figura 11 - Condição ideal para inspeção
Fonte: (www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf).



Figura 12 - Exemplo de espaço sem limpeza
Fonte: (www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf).

Antes do início das medições, devem ser verificados que o tipo de equipamento e

que sua calibração estão de acordo com os reconhecidos padrões nacionais e internacionais, tratados mais a frente neste estudo. O vistoriador da sociedade classificadora deve presenciar a calibração do instrumento.

Um relatório de medição de espessura é elaborado, contendo informações sobre a localização das medições, juntamente com suas correspondentes espessura original e máxima diminuição admissível e a espessura medida. Além disso, o relatório deve informar a data, tipo de equipamento de medição, nomes do pessoal e suas qualificações.

Medições de espessura do chapeamento realizadas internamente no navio em condição de flutuação podem ser aceitas, desde que sejam acompanhadas por um relatório de uma inspeção do casco de um mergulhador. Também pode ser realizadas medições de espessura externamente ao navio em flutuação, desde que o mergulhador seja certificado para medição de espessura por ultrassom submersa.

3.4 Certificação de empresas

As medições de espessura por ultrassom devem ser realizadas na presença de um vistoriador por empresas aprovadas pela sociedade classificadora. A empresa deve ter um certificado válido da sociedade classificadora autorizando a empresa a realizar medições a bordo do tipo de navio em questão. A categoria da empresa é informada no seu certificado.

Há três categorias de empresas que realizam medições de espessura por ultrassom:

- categoria I: autorizada a realizar medições em todos os tipos e tamanhos de navios;
- categoria II: autorizada a realizar medições em navios pesqueiros com arqueação bruta menor que 500 AB; e
- categoria III: autorizada a realizar medições em navios pesqueiros de qualquer tamanho.

Os requerimentos mais importantes específicos para empresas da categoria I são:

- 1) Utilização de instrumentos que usem a técnica pulso-eco, com osciloscópio digital ou instrumentos digitais que usem múltiplos pulsos. Uma confirmação do fabricante de que os instrumentos satisfazem esse requerimento deve ser anexada ao registro do instrumento. Instrumentos de pulsos simples não são aceitos.
- 2) Cada trabalho de medição em Vistorias Intermediárias e Vistorias de Renovação devem ser realizadas por dois operadores qualificados.

Para certificação de empresas, são requeridos os seguintes documentos:

- a) Esquematização da empresa, como estrutura organizacional e gerencial.
- b) Experiências da empresa em medição de espessura de estruturas de casco de navios, entre outras.
- c) Profissão dos técnicos, por exemplo, experiências dos técnicos como operadores de medição de espessura, conhecimento técnico da estrutura do casco, etc. Os operadores devem ser qualificados de acordo norma industrial de ensaios não destrutivos reconhecida, que no Brasil é a ABNT NBR ISO 9712 e, para profissionais de ultrassom submerso, a ABNT NBR NM ISO/IEC 17024.
- d) Procedimento para manutenção e calibração de equipamento utilizado para medição de espessura, como máquinas de teste de ultrassom.
- e) Um guia para operadores de medição de espessura.
- f) Programas de treinamento de técnicos para medição de espessura.
- g) Formato de registro de medição de acordo com as especificações da sociedade classificadora.

Após a aprovação dos documentos requeridos, a empresa é auditada para a averiguação de que é devidamente organizada e gerenciada de acordo com os documentos fornecidos, e é finalmente capaz de realizar medições de espessura das construções do casco de navios. Por fim, a certificação depende da demonstração de medições de espessura a bordo.

Desde que a auditoria e a demonstração dos testes tenham resultados satisfatórios, a sociedade classificadora emitirá o Certificado de Aprovação e também um aviso com a finalidade de atestar que o sistema de medição de espessura da empresa foi também certificado pela Classificadora.

A renovação e aprovação do certificado deve ser feita em intervalos que não excedam 3 anos através da verificação das mesmas condições iniciais.

A aprovação pode ser cancelada quando as medições forem realizadas indevidamente ou os resultados forem reportados incorretamente, ou quando o vistoriador da Classificadora encontrar qualquer deficiência no sistema de medição de espessura da empresa.

No Anexo A, é possível ver um exemplo de certificado emitido pela sociedade classificadora Bureau Veritas permitindo que uma determinada empresa realize medições de espessura nas estruturas do casco dos navios sob a classe da referida classificadora, bem como emita relatórios sobre as medições realizadas.

3.5 Relatórios

Com o propósito de prover evidências de que vistorias estipuladas foram realizadas de acordo com as regras de classificação, um relatório de vistoria deve ser elaborado pelo vistoriador que a realizou. É normalmente gerado em conexão com o início, continuação ou finalização de uma vistoria do programa de vistorias do casco, como a anual, intermediária, ou especial. A identificação de danos ou defeitos estruturais, bem como a realização de reparos, renovações ou modificações também requererem a emissão de um relatório de vistoria.

Os dados e informações sobre a condição estrutural do navio coletados devem ser comparados com os limites de aceitação e uma avaliação da garantia da integridade estrutural deve ser feita. Caso tenham sido feitos renovações ou reforços de membros estruturais, deve ser relatada uma avaliação da resistência longitudinal do navio baseada no estudo das medições de espessura obtidas. É preciso que contenha o relatório das medições de espessura elaborado pela empresa que realizou as medições

Quando uma vistoria é dividida em diferentes seções, um relatório deve ser feito para cada seção. Uma lista de itens examinados deve estar disponível para o próximo vistoriador antes de continuar ou completar uma vistoria. O armador deve emitir um Sumário Executivo do Casco da vistoria e mantê-lo a bordo para referência para futuras vistorias. Este sumário deve ser endossado pela sociedade

classificadora.

Após as medições de espessura, a empresa que as realizou deve emitir um relatório para a sociedade classificadora. Este relatório deve conter os valores das espessuras de projeto e das espessuras mínimas admissíveis para as partes estruturais a serem medidas, bem como a localização das medições e os valores das espessuras medidas. Deve também informar quais partes da estrutura foram substituídas e incluir uma clara indicação de quais seções transversais foram medidas. Além disso, no relatório devem ser registrados a data em que a medição foi realizada, tipo do equipamento de medição, qualificação e nomes do pessoal envolvido no trabalho, e deve ser assinado pelo operador do equipamento.

Este relatório deve ser preparado a bordo, sendo feito o preenchimento das medições regularmente, devendo estar disponível ao vistoriador da classificadora quando requisitado. Após a conclusão das medições a bordo, uma cópia digital do relatório preliminar, que inclua todas as medições, deve ser dado ao vistoriador antes mesmo de que o operador da empresa deixe o navio. Esquemas que mostram os pontos de localização das medições deve também ser entregue ao vistoriador, mas não pode ser digital.

Deve ser enviado o relatório final à classificadora no máximo em duas semanas após o término das medições, que deve consistir de uma cópia digital num formato não editável, como por exemplo, um arquivo de pdf, e de uma cópia impressa. O teor da cópia em papel ou da cópia digital deve ser como o relatório preliminar, com esquemas mostrando os pontos medidos, mas adicionalmente deve conter uma capa com o carimbo e assinatura do operador da empresa e do vistoriador. A capa deve informar a data e o local das medições, número de páginas do relatório e qual empresa realizou as medições.

O relatório gerado deve ser avaliado e sua capa deve ser rubricada pelo vistoriador da sociedade classificadora. Este documento deve seguir as normas especificadas pela IACS através de anexo II de *Hull Surveys of Bulk Carriers* (Vistorias de Casco de Graneleiros).

No Anexo B é possível verificar um exemplo de um relatório real emitido por uma empresa de medição de espessura que segue as normas da IACS.

Ao relatório deve ser anexado um registro do equipamento de medição de espessura que contenha informações sobre a manutenção e a calibração do instrumento. Nos anexos C e D são apresentados um Certificado de Calibração e um

Relatório de Calibração, respectivamente, anexados a um real relatório de medição de espessura emitido por uma empresa.

Além disto, o certificado de treinamento do operador do equipamento, bem como o certificado da empresa de medição emitido pela sociedade classificadora devem também estar em anexo ao relatório. No Anexo E é mostrado um exemplo de certificado de treinamento de um operador.

4. ENSAIO POR ULTRASSOM

O ensaio por ultrassom é um tipo de ensaio não destrutivo, ou seja, quando realizado em partes e peças de equipamentos e estruturas, não causa danos à peça ensaiada, nem deixa vestígios. Os métodos de ensaios não destrutivos foram desenvolvidos para complementar o ensaio visual, pioneiro e até hoje muito utilizado, permitindo a análise de uma peça oferecendo informações qualitativas e quantitativas sobre a integridade de um elemento mecânico. Assim, é possível a avaliação da necessidade de se substituir aquele componente antes que falhe em operação.

Nos anos antigos, para avaliar a resistência de uma espada, ferreiros utilizavam-se de "ensaio de tinido" analisando o som gerado no forjamento da arma. Com o tempo, testes de eixos ferroviários, de rodas de trens, de sinos e de âncoras passaram a ser realizados através desse ensaio. O som produzido pela peça, através de testes com martelo, indicavam a presença de rachaduras ou trincas. Exigia, portanto, inspetores com muita experiência para perceber as diferenças entre o som gerado por peças boas do gerado por peças defeituosas.

Por vários anos do século 19 físicos e engenheiros tentaram melhorar a sensibilidade do "ensaio de tinido" com a utilização de instrumentos auxiliares, como estetoscópios, microfones e amplificadores eletrônicos. Em 1876, o cientista inglês Francis Galton inventou o apito de Galton, que gerava ondas de alta frequência do som acima do limite da audição humana (ultrassom). Em 1880 ocorreu o real avanço das técnicas de eco-sonda de alta frequência, pois, ao se tomar conhecimento do efeito piezelétrico em certos cristais, foi possível a geração e recepção de ultrassom, caracterizado por altas frequências que estão na faixa de milhões de ciclos por segundo (MHz).

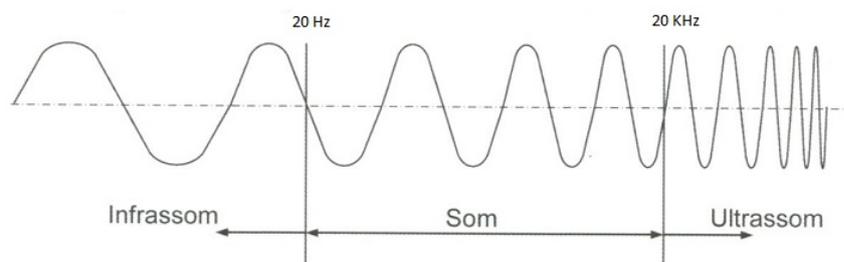


Figura 13 - Faixas limites de audibilidade
 Fonte: (MARTIN, 2012, p.36).

Em 1912, um mês após o afundamento do navio Titanic, o primeiro sonar (sigla de *sound navigation and ranging*), para determinação de profundidade das águas, identificação de icebergs e até detecção de submarinos, foi patenteado. Alguns anos depois, foi sugerido o conceito de detecção de falhas por ultrassom após a realização de experiências com geradores de ultrassom que detectaram a presença de descontinuidades em peças de ferro fundido.

A partir de então vários aparelhos para detecção de falhas por ultrassom foram criadas. O avanço da tecnologia tornou os aparelhos menores e mais robustos, cada vez mais aperfeiçoados com a integração de características de computador, ou seja, com capacidade de armazenamento de dados e informações.

4.1 Conceito Básico

O ensaio por ultrassom utiliza a energia do som de alta frequência para realizar inspeções e medições. A inspeção ultrassônica pode ser usada para a avaliação de peças e detecção de descontinuidades e dimensionamentos e caracterização de materiais.

Um aparelho típico de ultrassom, como mostrado na figura abaixo, é composto por um cabeçote (transdutor) que, ao ser estimulado por um dispositivo eletrônico que produz pulsos de alta tensão, o pulsador, gera energia de alta frequência ultrassônica. Ao se propagar através de materiais na forma de ondas, esta energia é refletida ao incidir numa descontinuidade e na superfície oposta do material. Esses sinais ou ecos retornam ao cabeçote, que transforma a onda em sinal elétrico, exibido em uma tela. A partir da interpretação dos ecos mostrados pela tela é possível obter informações sobre a espessura de um refletor, bem como a localização e profundidade de uma descontinuidade.

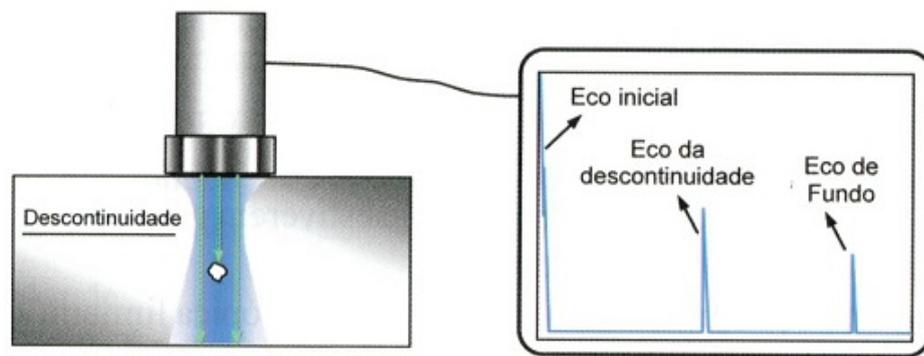


Figura 14 - Princípio de um sistema de ultrassom
 Fonte: (MARTIN, 2012, p.31).

O eixo horizontal do mostrador representa o tempo de propagação do sinal acústico e o eixo vertical representa a amplitude do sinal. Conhecendo-se a velocidade de propagação das ondas sonoras em determinado material isento de defeitos, pode-se determinar com precisão o tempo de viagens das ondas e, assim, calcular a espessura do material ou detectar um defeito interno, caso o sinal volte mais rápido.

4.2 Princípios físicos do ensaio

Ondas ultrassônicas são geradas pela propagação de vibrações em meios elásticos. A passagem de energia acústica no meio faz com que as partículas que o compõem oscilem. Ao sofrer a ação de qualquer força externa, partículas atômicas ou moleculares são movidas de suas posições de equilíbrio, mas tensões internas agem para recolocá-las em suas posições originais. Em razão das forças interatômicas entre as partículas adjacentes, o deslocamento de uma partícula induz o deslocamento de partículas vizinhas, propagando, assim uma onda elástica. O deslocamento real de matéria por ondas ultrassônicas é extremamente pequeno. Acontece, portanto, um transporte de energia, mas não de massa, como em qualquer outro tipo de onda.

Por se tratarem de um fenômeno periódico no tempo e no espaço, as ondas ultrassônicas apresentam características de propagação como amplitude, comprimento de onda, velocidade e frequência. Algumas dessas características mudam em diferentes meios, estando intimamente relacionadas à natureza

detalhada do material.

A velocidade de propagação está diretamente relacionada ao comprimento de onda e à frequência da onda propagada:

$$V = \lambda \times f$$

Onde:

V = velocidade da onda (m/s);

λ = comprimento de onda (m);

f = frequência da onda (Hz).

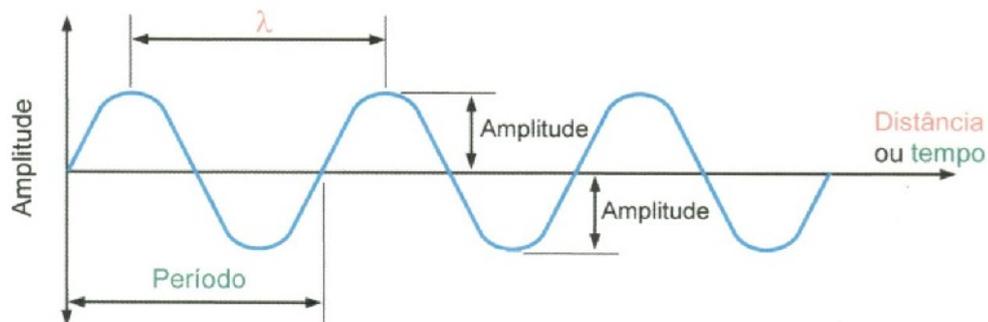


Figura 15 - Representação de onda sonora

Fonte: (MARTIN, 2012, p.39).

Além disso, a velocidade de propagação depende do material em que a onda de propaga em função da grande diferença na distância média entre as partículas em diferentes materiais. Essas diferenças influenciam forças de atração entre as partículas e o comportamento elástico dos materiais.

Já a frequência depende somente da fonte emissora, ou seja, do aparelho de ultrassom. Ela influencia diretamente o comprimento de onda, que, por sua vez, está diretamente relacionado ao tamanho da descontinuidade que pode ser detectada (sensibilidade). Teoricamente, descontinuidades com dimensões equivalentes a $\lambda / 2$ ou $\lambda / 3$ do comprimento de onda podem ser detectadas. Na prática, há outros fatores que influenciam a detectabilidade das descontinuidades, como por exemplo, a orientação, a forma da descontinuidade e o tipo.

A frequência a ser usada pelo aparelho de ultrassom tem um efeito sobre a probabilidade de detectar uma descontinuidade. a regra geral é que uma

descontinuidade deve ser maior que a metade do comprimento de onda para ter uma chance razoável de ser detectada. A sensibilidade do ensaio por ultrassom aumenta com frequências maiores (ondas curtas ou comprimento de onda menor).

Por outro lado, à medida que a frequência aumenta, o som tende a se dispersar, quando o teste é realizado em materiais que não são totalmente homogêneos, como por exemplo alguns materiais fundidos, que apresentam grãos de grafite e ferrita com propriedades elásticas distintas. Portanto, para viabilizar a teste por ultrassom em materiais com essa estrutura grosseira, é necessária a utilização de frequências mais baixas, em detrimento da sensibilidade.

A amplitude não altera o comprimento, período, frequência ou velocidade da onda, mas é relacionada à sua intensidade, que é proporcional ao quadrado da amplitude.

4.3 Transdutores piezoelétricos

Alguns materiais transformam energia elétrica alternada em oscilação mecânica e vice-versa. Este fenômeno é baseado no efeito piezoelétrico: ao se aplicar uma pressão sobre as faces de uma lâmina de material piezoelétrico, numa face surgirão cargas positivas e na outra, negativas. O efeito inverso também ocorre pois, ao se aplicar tensão elétrica nas faces da lâmina, esta comporta-se como se estivesse sobre pressão e diminui de espessura

Ao se aplicar tensão elétrica alternada da ordem de centenas de Volts através de eletrodos no cristal piezoelétrico, este irá se contrair e se esticar ciclicamente, gerando nas zonas adjacentes uma onda ultrassônica longitudinal, em que as partículas oscilam na direção de propagação da onda. Este tipo de onda pode ser transmitida a sólidos, líquidos e gases e possui alta velocidade de propagação.



Figura 16 - Contração e expansão do cristal submetido a alta tensão alternada
Fonte: (ANDREUCCI, 2011, p.19).

Materiais piezoelétricos são o quartzo, o sulfato de lítio, o titanato de bário, o metaniobato de chumbo e o zirconato-titanato de chumbo. O quartzo é o material piezoelétrico mais antigo. Já o sulfato de lítio é um cristal sensível à temperatura e pouco resistente. Os melhores emissores são os materiais cerâmicos titanato de bário e o zirconato-titanato de chumbo, que produzem impulsos de ondas de grande energia quando comparadas às produzidas por cristais de quartzo.

O transdutor, ou cabeçote propriamente dito, é constituído por de uma lâmina de um cristal piezoelétrico montada sobre uma base de suporte (bloco amortecedor) juntamente com eletrodos, ligados às duas faces do material piezoelétrico, e a carcaça externa. A frequência ultrassônica gerada pelo cristal depende de sua espessura, cerca de 1 mm para 4MHz e 2 mm para 2MHz. Para a inspeção ultrassônica, além da potência de emissão, é importante a sensibilidade da recepção(resolução).

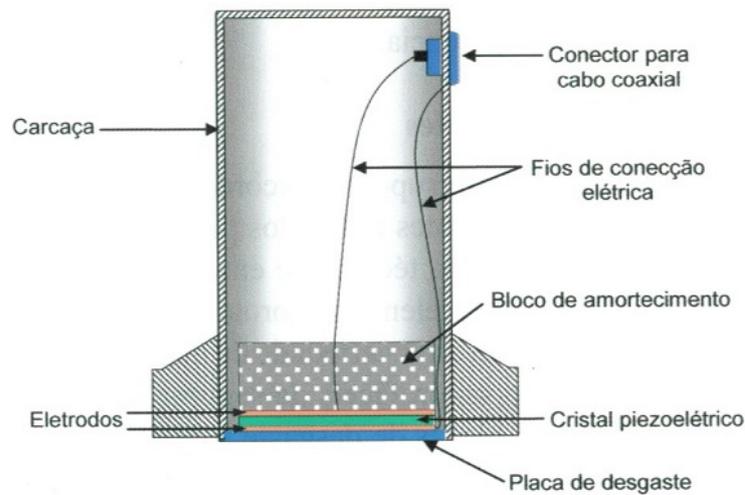


Figura 17 - Cabeçote normal
Fonte: (MARTIN, 2012, p.126).

Existem alguns diferentes tipos de cabeçotes. Os cabeçotes convencionais, como o normal ou reto, duplo cristal e o angular, suportam elevadas tensões. Já os cabeçotes especiais, como o phase-array, foram concebidos para trabalhar com baixa tensão.

4.4 Técnicas de Inspeção

Há dois métodos de inspeção mais utilizados atualmente: a técnica pulso-eco e a técnica de transparência.

A técnica pulso-eco, ou impulso-eco, utiliza apenas um transdutor, que emite e recebe as ondas ultrassônicas que se propagam no material. Assim, o cabeçote é mantido em apenas um lado da peça de ensaio. É a técnica mais utilizada no ensaio por ultrassom.

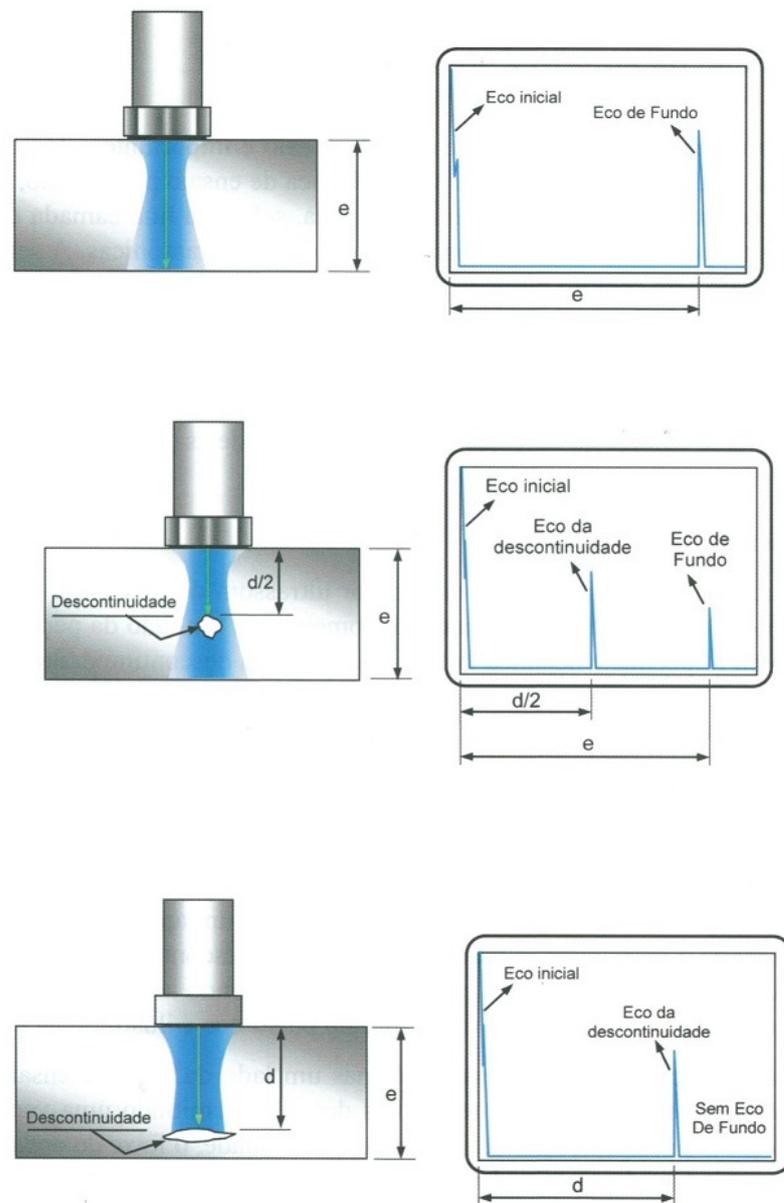


Figura 18 - Técnica pulso-eco
Fonte: (MARTIN, 2012, p.154).

A técnica de transparência utiliza dois transdutores separados, um para transmitir e outro para receber as ondas ultrassônicas. Assim, é necessário acoplar os transdutores nos dois lados da peça, de forma que estejam alinhados. Este método não consegue identificar detalhes de descontinuidades, como sua posição, extensão ou localização.

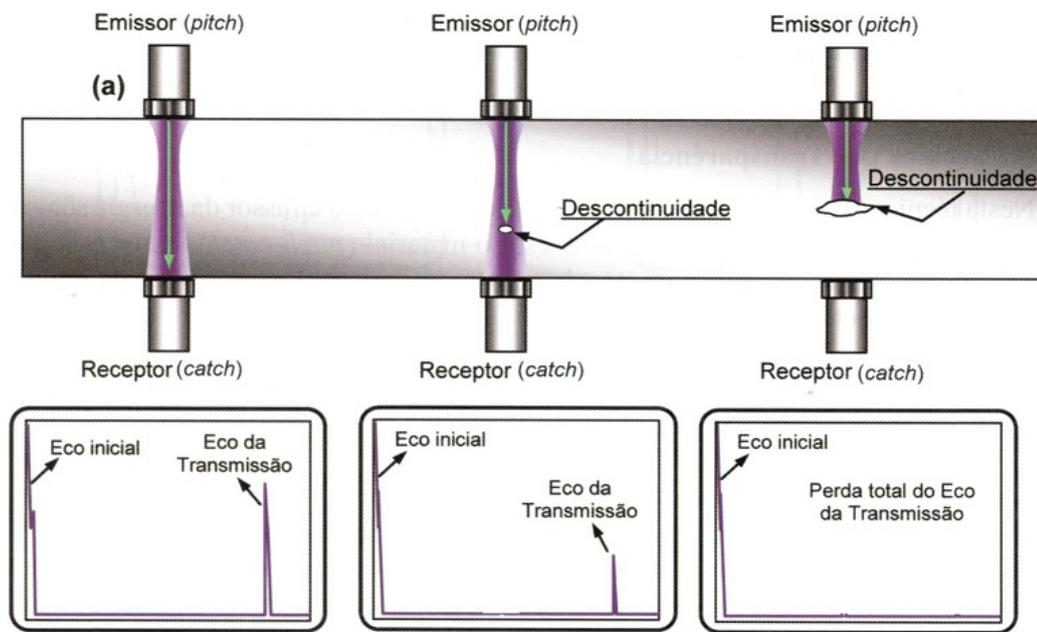


Figura 19 - Técnica de transparência
 Fonte: (MARTIN, 2012, p.160).

4.5 Aparelhos medidores de espessura

O aparelho de ultrassom é basicamente um osciloscópio projetado para medir o tempo de percurso do som na peça ensaiada através da relação: $S = V \times T$, onde o espaço percorrido (S) é proporcional ao tempo (T) e a velocidade de propagação (V) da onda no material.

Na figura o aparelho de ultrassom produz um pulso (1) através do cristal. Este se propaga pela peça, e neste instante os circuitos do aparelho iniciam a contagem do tempo.

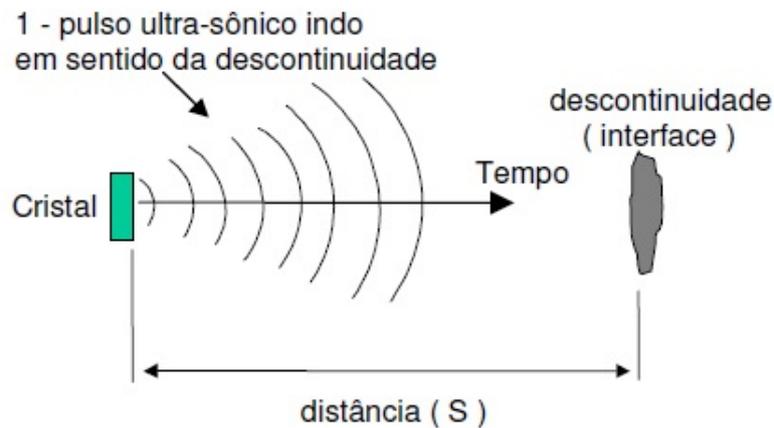


Figura 20 – Pulso de Ultrassom

Fonte: (ANDREUCCI, 2011, p.39).

Ao incidir numa interface, ou seja, na descontinuidade na distância "S", ocorre a reflexão da onda (2) que é detectada pelo cristal, originando um sinal elétrico que é interpretado e amplificado pelo aparelho e representado pelo eco de reflexão (3) na tela do aparelho de ultrassom. A posição do eco na tela é proporcional ao tempo medido de retorno do sinal como também ao caminho percorrido pelo som (S) até a descontinuidade na peça.

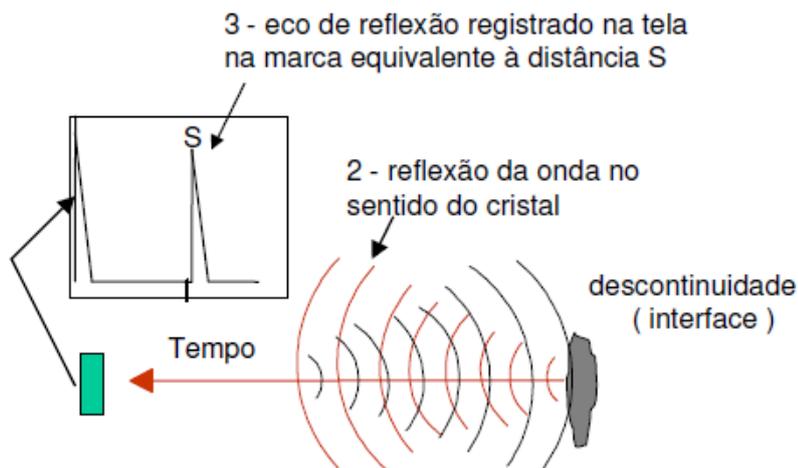


Figura 21 – Reflexo de Ultrassom

Fonte: (ANDREUCCI, 2011, p.39).

O aparelho de ultrassom contém circuitos eletrônicos especiais que transmitem ao cristal piezoelétrico, através de um cabo coaxial, uma série de pulsos

elétricos controlados, que são transformados pelo cristal em ondas ultrassônicas. Os sinais de eco que o cristal capta são mostrados numa tela em forma de pulsos luminosos.

O som que percorre a espessura do metal se reflete nas interfaces formadas pelo fundo da peça e a superfície da peça, de forma contínua, isto é, o ultrassom emitido pelo cristal do transdutor realiza no interior da peça um movimento de zig-zag de ida e volta, se refletindo no fundo da peça e superfície, continuamente.

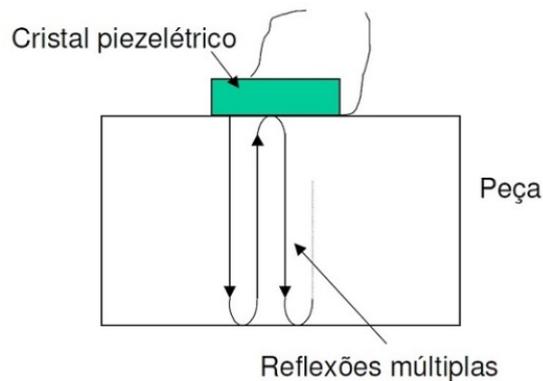


Figura 22 – Reflexões múltiplas do ultrassom no interior de peça
Fonte: (ANDREUCCI, 2011, p.41).

Para cada incidência do ultrassom na superfície oposta de acoplamento do cristal, um sinal é transmitido ao aparelho e um eco correspondente a este sinal será visualizado na tela. Portanto, será possível observar vários ecos de reflexão de fundo correspondente à mesma espessura.



Figura 23 – Ecos em tela de aparelho de ultrassom
Fonte: (MARTIN, 2012, p.42). Erro! Indicador não definido.

Os medidores de espessura por ultrassom, com circuitos analógicos ou digitais, são aparelho simples. Contam o tempo do percurso da onda ultrassônica que percorre a espessura da peça medida, e assim registram no display o espaço percorrido, ou seja, a espessura da peça. Trabalham com uma exatidão de décimos ou até centésimo, dependendo do modelo.



Figura 24 - Medidor de espessura digital ultrassônico
Fonte: (ANDREUCCI, 2011, p.35).

Seu cabeçote é composto por transdutores duplo-cristal, que são os mais indicados e largamente utilizados para medição de espessura por ultrassom. No interior da carcaça do cabeçote, separados por uma barreira acústica, há dois cristais independentes elétrica e acusticamente. Podem ser fabricados para gerar um feixe de incidência normal ou angular.

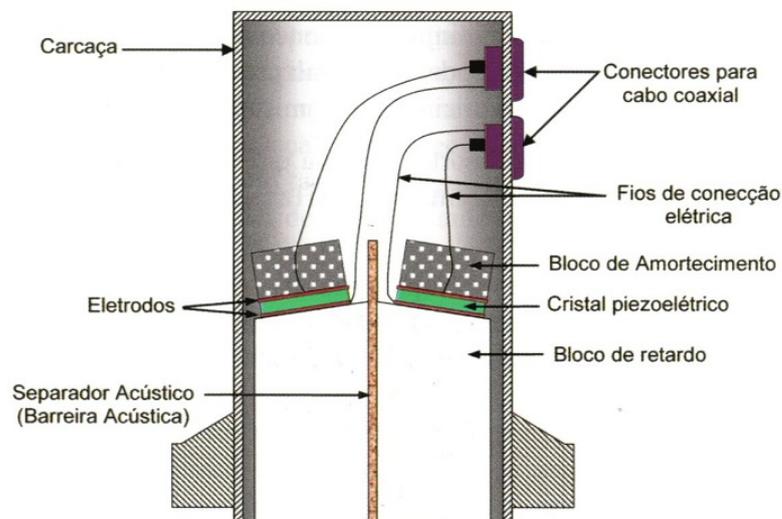


Figura 25 - Cabeçote duplo cristal
Fonte: (ANDREUCCI, 2011, p.128).

Um dos cristais é ligado ao sistema transmissor, enquanto o outro, ao sistema receptor do aparelho de ultrassom. Podem ser fabricados com materiais que apresentem melhores características de geração na parte transmissora, e melhores características de recepção de energia sônica na parte receptora, obtendo-se, assim, um eco mais "limpo" na tela do aparelho.

Os modernos aparelhos medidores de espessura digitais possuem circuitos de memória capazes de armazenar centenas de dados referentes a espessuras medidas. Apresentam ainda a possibilidade de serem conectados a impressoras, fornecendo um relatório completo das medidas efetuadas e as condições usadas.

São muito utilizados para a medição de espessuras de chapas, tubos, taxas de corrosão em equipamentos industriais.

4.6 Calibração dos equipamentos

Os equipamentos de medição de espessura devem ser calibrados antes do uso, usando blocos com espessuras calibradas e de mesmo material a ser medido, com o ajuste correto da velocidade de propagação do som do aparelho. O instrumento deve ser ajustado para a faixa de espessura a ser medida usando o bloco padrão graduado e calibrado, construído com material de mesma velocidade e atenuação sônica do material a ser medido.

A calibração do instrumento para uso deve ser feita usando no mínimo duas espessuras no bloco, conforme a faixa de espessura a ser medida. O instrumento deve ser ajustado para indicar a espessura correta das duas graduações selecionadas. Os ajustes devem ser feitos de acordo com as instruções do fabricante. Se ambos os valores indicados estiverem corretos, o instrumento estará apto para uso. Se o instrumento estiver corretamente calibrado a leitura de duas diferentes espessuras não devem variar mais que 0,2 mm. Se não for possível atingir um ou ambos os valores, verificar se o instrumento / transdutor está sendo aplicado na faixa especificada pelo fabricante, assim como se o ajuste da velocidade de propagação sônica no instrumento está corretamente calibrado ou ajustado.

A norma ABNT NBR 15865:2010 padroniza os métodos de medição de espessuras. Para medições a altas temperaturas, ou seja, maior que 60 °C, e maior

exatidão das medidas, recomendam-se correções devido à temperatura da peça dos valores lidos no aparelho medidor de espessura. Valor da espessura real aproximada é determinado através da aplicação direta da fórmula indicada abaixo:

$$Er = \frac{Emq \times (Vsa - K \cdot \Delta T)}{Vsa}$$

Onde,

Er = espessura real (mm);

Emq = espessura da medida a quente (mm);

Vsa = velocidade do som no bloco à temperatura ambiente;

DT = diferença entre a temperatura da superfície do bloco e do material inspecionado (° C).

K = constante de redução da velocidade em função do aumento da temperatura, igual a 1 m/s /°C

Para uma melhor precisão nas medidas sobre superfícies com alta temperatura é recomendado calibrar o aparelho num bloco separado com características iguais ao material que será medido, na mesma temperatura da peça. É importante saber que o cristal no transdutor não suporta altas temperaturas, e, portanto, a medição deve ser feita de forma rápida com resfriamento subsequente em água.

A calibração do aparelho medidor de espessura deve ser feita usando blocos escalonados com faixas de espessuras próximas da peça a ser medida.

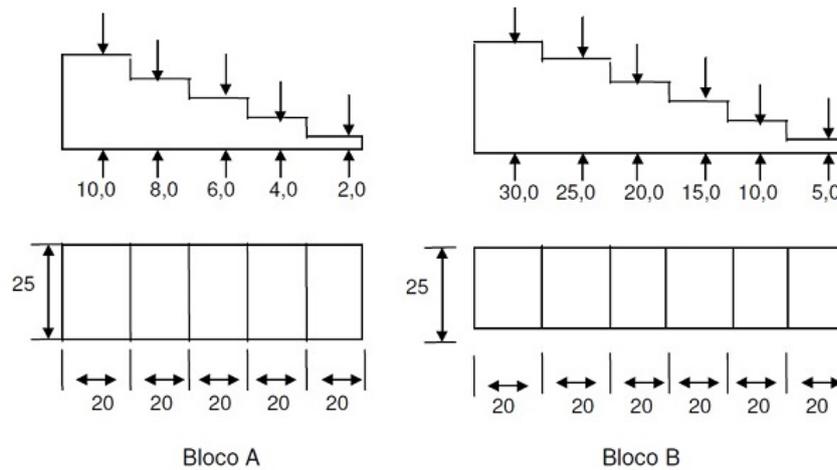


Figura 26 - Blocos de calibração sugeridos para medidores de espessura
Fonte: (ANDREUCCI, 2011, p.38).

Tolerâncias:

- Dimensões: + 0,5 mm
- Espessuras: + 0,02 mm
- Acabamento superficial: faces Ra = 0,8 μ m max.

Tabela 1 - Faixa de aplicação dos blocos de calibração A e B

Espessuras Seleccionadas do Bloco A (mm)	Faixa de Espessura Aplicável ou a ser medida (mm)
2,0 e 4,0	1,80 até 4,20
4,0 e 6,0	3,80 até 6,20
6,0 e 8,0	5,80 até 8,20
8,0 e 10,0	7,80 até 10,20

Espessuras Seleccionadas do Bloco B (mm)	Faixa de Espessura Aplicável ou a ser medida (mm)
5,0 e 10,0	4,8 até 10,2
10,0 e 15,0	9,8 até 15,2
15,0 e 20,0	14,8 até 20,2
20,0 e 25,0	19,8 até 25,2
25,0 e 30,0	24,8 até 30,2

Fonte: (ANDREUCCI, 2011, p.38).

A periodicidade de calibração dos medidores de espessura por ultrassom não

pode ser superior a 24 meses. Os certificados de calibração são emitidos por laboratórios acreditados conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025. Quando não houver laboratório acreditado para a grandeza a ser calibrada, podem ser utilizados aqueles com padrões rastreados à Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou outro com seu sistema metrológico nacional ou internacionalmente reconhecido.

A superfície da peça que será medida precisa de uma preparação. Sua camada de revestimento ou pintura deve ser removida. Caso isto não seja possível, o bloco-padrão utilizado na calibração deve possuir o mesmo revestimento e espessura da camada. Se for necessário, as superfícies podem ser esmerilhadas, jateadas, escovadas, raspadas ou preparadas de algumas outras formas. Para garantir a passagem do feixe sônico para a peça, é necessário usar um acoplante. Este deve ter uma boa propriedade de molhar a superfície, podendo ser líquido ou pastoso). Em geral, óleo, água, ou soluções de metil-celulose podem ser utilizados.

5. LIMITES MÍNIMOS DE ESPESSURA

Ao avaliar a condição geral, deve ser entendido que, onde os limites de desgaste são baseados na porcentagem, membros mais finos vão alcançar o limite mais cedo, supondo que o ritmo de perda de material por superfície seja mesmo para partes mais grossas. Além disso, onde ambas superfícies do membro estão expostas às mesmas condições de desgaste, o limite irá ser alcançado ao dobro do ritmo normal. Por exemplo, as partes internas da maioria dos tanques de lastro, já que estão expostas à corrosão em ambas superfícies são frequentemente mais finas que o chapeamento na mesma área, pois geralmente atingem o limite de desgaste mais cedo que o chapeamento.

5.1 Localizações das medições

Considerando a extensão de medições de espessuras conforme os diferentes elementos estruturais do navio e vistorias (especial, intermediária e anual), as localizações dos pontos a serem medidos são dadas para os itens mais importantes da estrutura, e os pontos são indicados pelo vistoriador da sociedade classificadora.

As seções a serem medidas estão normalmente localizadas em tanques de lastro, porões de carga e espaços onde há maior risco de corrosão. Onde possível, as localizações devem ser diferentes das realizadas em vistorias anteriores, onde as informações são insuficientes.

A Associação Internacional das Sociedades Classificadoras (*International Association of Classification Societies - IACS*) estabelece os requerimentos para definição das partes estruturais e para as quantidades de pontos a serem medidos, como pode ser verificado nos quadros seguintes.

Quadro 1 - Estruturas do casco - extensão de medições de espessura

STRUCTURAL MEMBER	EXTENT OF MEASUREMENT	PATTERN OF MEASUREMENT
1. Bottom and Side Shell plating	a. Suspect plate, plus four adjacent plates b. See other tables for particulars on gauging in way of tanks and cargo holds	a. 5 point pattern for each panel between longitudinals
2. Bottom/Side Shell longitudinals	Minimum of three longitudinals in way of suspect areas	3 measurements in line across web 3 measurements on flange

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

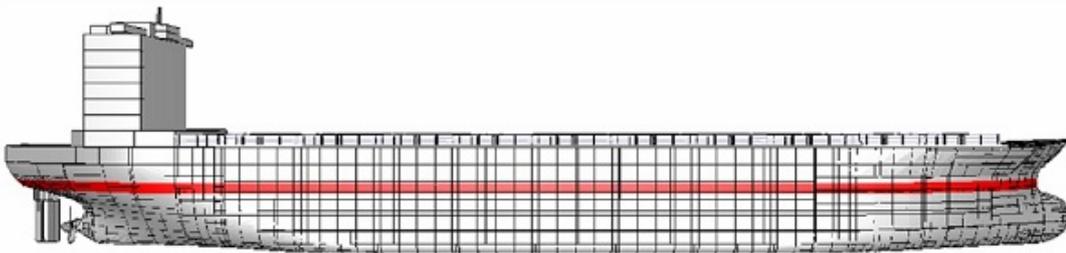


Figura 27 - Exemplo de estrutura do casco- fiadas de chapa do costado
Fonte: (www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf**).**

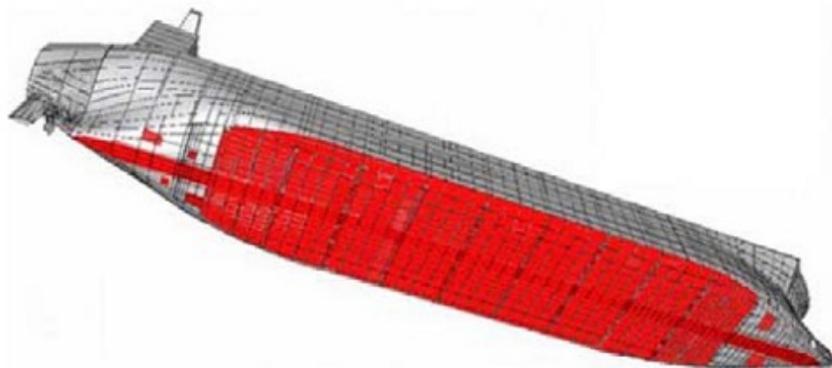


Figura 28 - Exemplo de estruturas do casco - Chapeamento do fundo e quilha
Fonte: (www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf**).**

Quadro 2 - Anteparas transversais em porões de carga - Extensão de medições de espessura

STRUCTURAL MEMBER	EXTENT OF MEASUREMENT	PATTERN OF MEASUREMENT
1. Lower Stool	<p>a. Transverse band within 25mm of welded connection to inner bottom</p> <p>b. Transverse band within 25 mm of welded connection to shelf plate</p>	<p>a. 5 point between stiffeners over 1 metre length</p> <p>b. Ditto</p>
2. Transverse Bulkhead	<p>a. Transverse band at approximately mid height</p> <p>b. Transverse band at part of bulkhead adjacent to upper deck or below upper stool shelf plate (for those ships fitted with upper stools)</p>	<p>a. 5 point pattern over 1 sq. metre of plating</p> <p>b. 5 point pattern over 1 sq. metre of plating</p>

Fonte: (www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

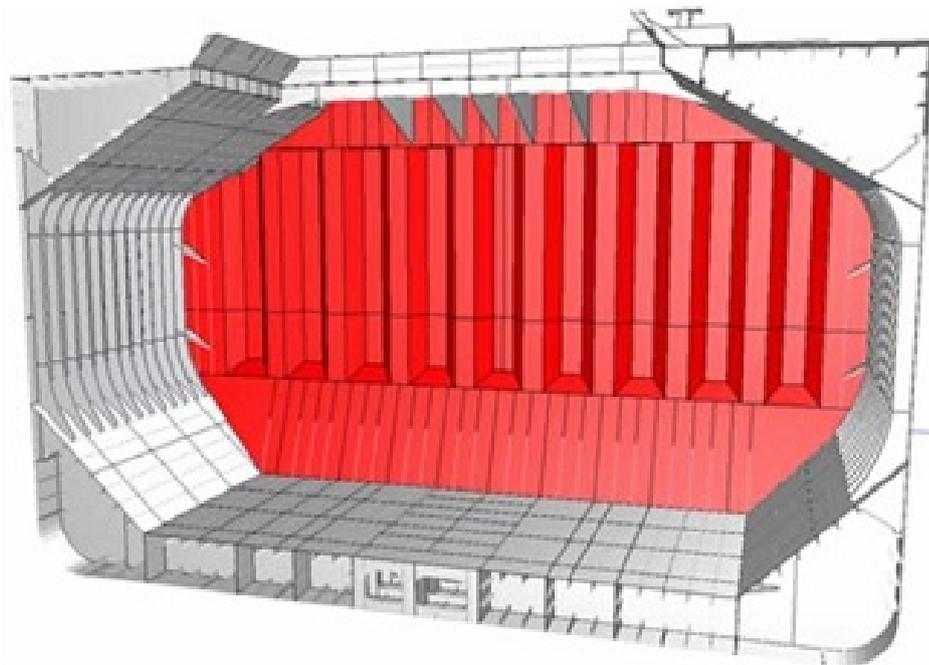


Figura 29- Anteparas transversais em porão de carga
 Fonte: (www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf).

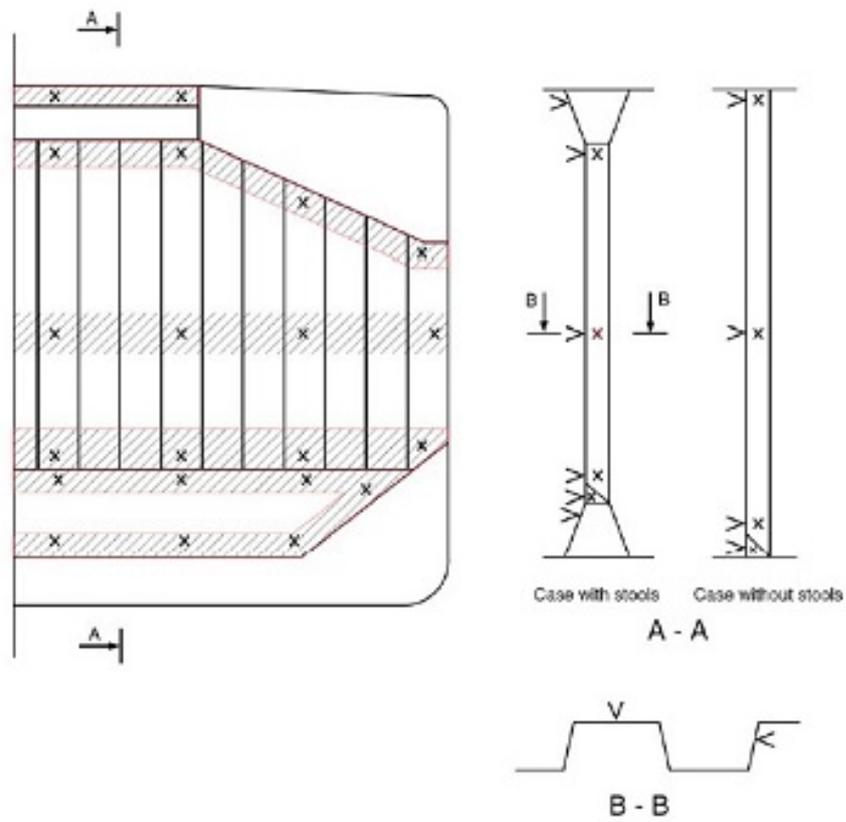


Figura 30 - Localização das medições nas anteparas transversais

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

Quadro 3 - Estruturas do Convés - Extensão de medições de espessura

STRUCTURAL MEMBER	EXTENT OF MEASUREMENT	PATTERN OF MEASUREMENT
1. Cross Deck Strip plating	Suspect cross deck strip plating	a. 5 point pattern between underdeck stiffeners over 1 metre length
2. Underdeck Stiffeners	a. Transverse members b. Longitudinal member	a. 5 point pattern at each end and mid span b. 5 point pattern on both web and flange
3. Hatch Covers	a. Side and end skirts, each 3 locations b. 3 longitudinal bands outboard strakes (2) and centreline strake (1)	a. 5 point pattern at each location b. 5 point measurement each band
4. Hatch Coamings	Each side and end coaming, one band lower 1/3, one band upper 2/3 of coaming	5 point measurement each band i.e. end of side coaming
5. Topside Water Ballast Tanks	a. Watertight transverse bulkheads I. lower 1/3 of bulkhead II. upper 2/3 of bulkhead III. stiffeners b. 2 representative swash transverse bulkheads I. lower 1/3 of bulkhead II. upper 2/3 of bulkhead III. stiffeners c. 3 representative bays of slope plating I. lower 1/3 of tank II. upper 2/3 of tank d. Longitudinals, suspect and adjacent	I. 5 point pattern over 1 sq. metre of plating II. 5 point pattern over 1 sq. metre of plating III. 5 point pattern over 1 metre length I. 5 point pattern over 1 sq. metre of plating II. 5 point pattern over 1 sq. metre of plating III. 5 point pattern over 1 metre length I. 5 point pattern over 1 sq. metre of plating II. 5 point pattern over 1 sq. metre of plating d. 5 point pattern both web and flange over 1 metre length
6. Main Deck Plating	Suspect plates and adjacent (4)	5 point pattern over 1 sq. metre of plating
7. Main Deck Longitudinals	Minimum of 3 longitudinals where plating measured	5 point pattern on both web and flange over 1 metre length
8. Web frames/Transverses	Suspect plates	5 point pattern over 1 sq. metre

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

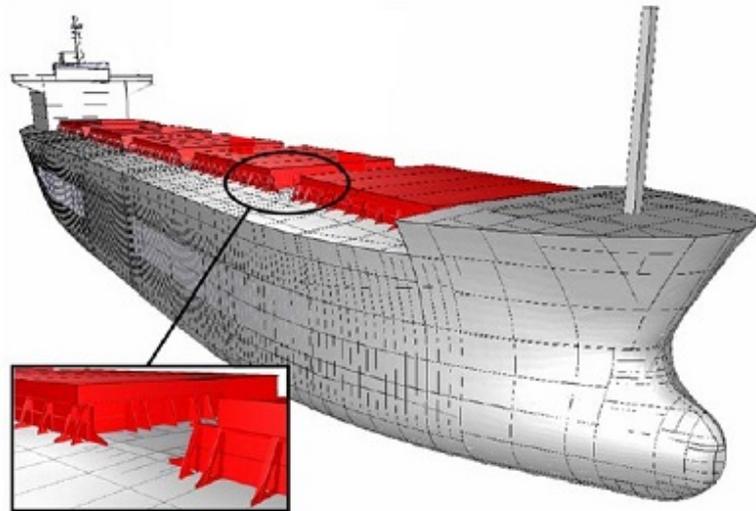


Figura 31 - Exemplo de estruturas do convés - tampas de escotilha e braçolas (hatch covers and coamings)

Fonte: (www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf).

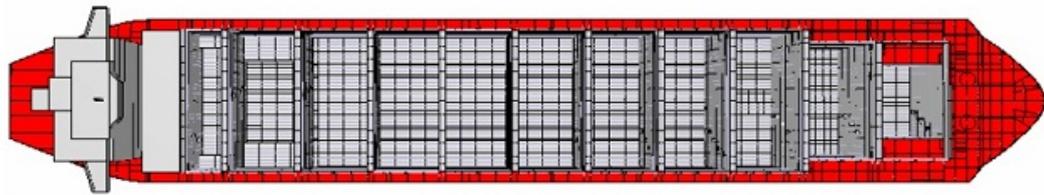


Figura 32 - Exemplo de estruturas do convés - Chapeamento do convés principal (main deck plating)

Fonte: (www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf).

Quadro 4 - Estruturas do duplo fundo e do tanque hopper - extensão de medições de espessura

STRUCTURAL MEMBER	EXTENT OF MEASUREMENT	PATTERN OF MEASUREMENT
1. Inner/Double Bottom Plating	Suspect plate plus all adjacent plates	5 point pattern for each panel between longitudinals over 1 metre length
2. Inner/Double Bottom Longitudinals	Three longitudinals where plates measured	+3 measurements in line across web and 3 measurements on flange
3. Longitudinal Girders or Transverse floors	b. Suspect plates	b. 5 point pattern over about 1 sq. metre
4. Watertight Bulkheads (WT Floors)	a. lower 1/3 of tank	a. 5 point pattern over 1 sq. metre of plating
	b. upper 2/3 of tank	b. 5 point pattern alternate plates over 1 sq. metre of plating
5. Web Frames	Suspect plate	5 point pattern over 1 sq. metre of plating
6. Bottom/side shell longitudinals	Minimum of three longitudinals in way of suspect areas	3 measurements in line across web 3 measurements on flange

Fonte:
 (www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes
 /
 PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

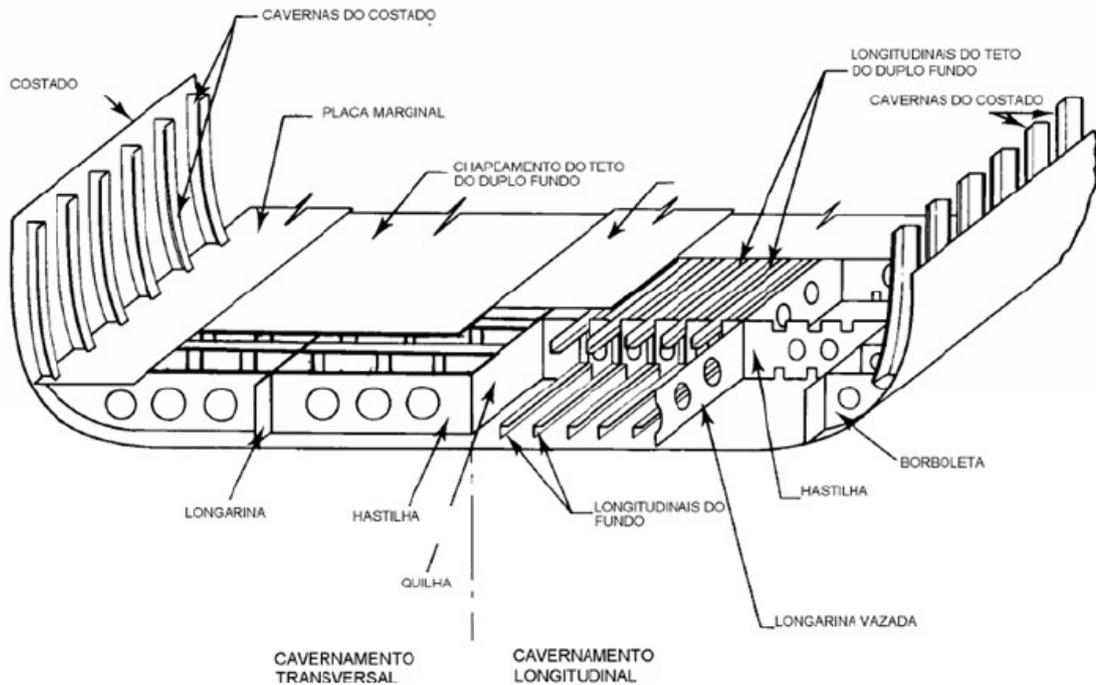


Figura 33 - Estrutura do duplo-fundo

Fonte: (PINTO, 2011, p.12).

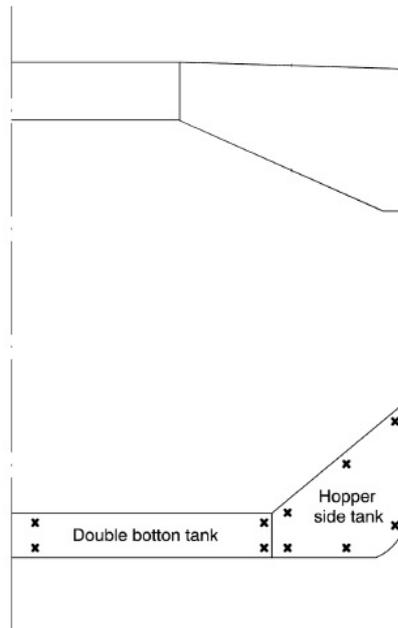


Figura 34 - Exemplo de localizações das medições

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

Quadro 5 - Porões de carga - extensão de medições de espessura

STRUCTURAL MEMBER	EXTENT OF MEASUREMENT	PATTERN OF MEASUREMENT
1. Side Shell frames	Suspect frame and each adjacent	a. At each end and mid span: 5 point pattern of both web and flange b. 5 point pattern within 25 mm of welded attachment to both shell and lower slope plate

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

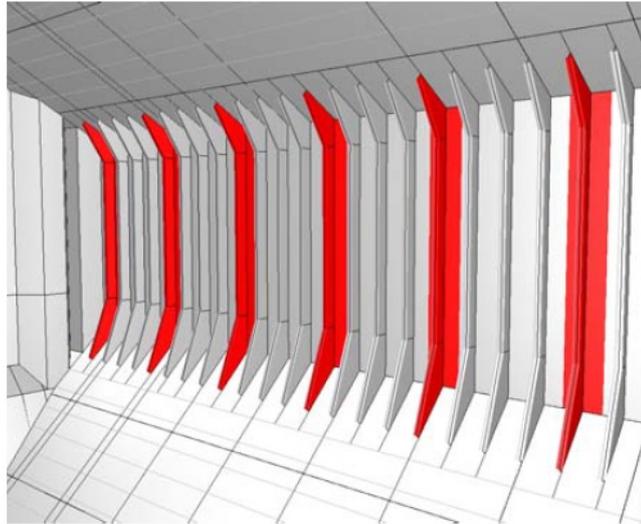


Figura 35 - Cavernas em porão de carga

Fonte:

(www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf).

Na figura a seguir, é possível ver a maioria dos componentes estruturais que são submetidos a medições de espessura:

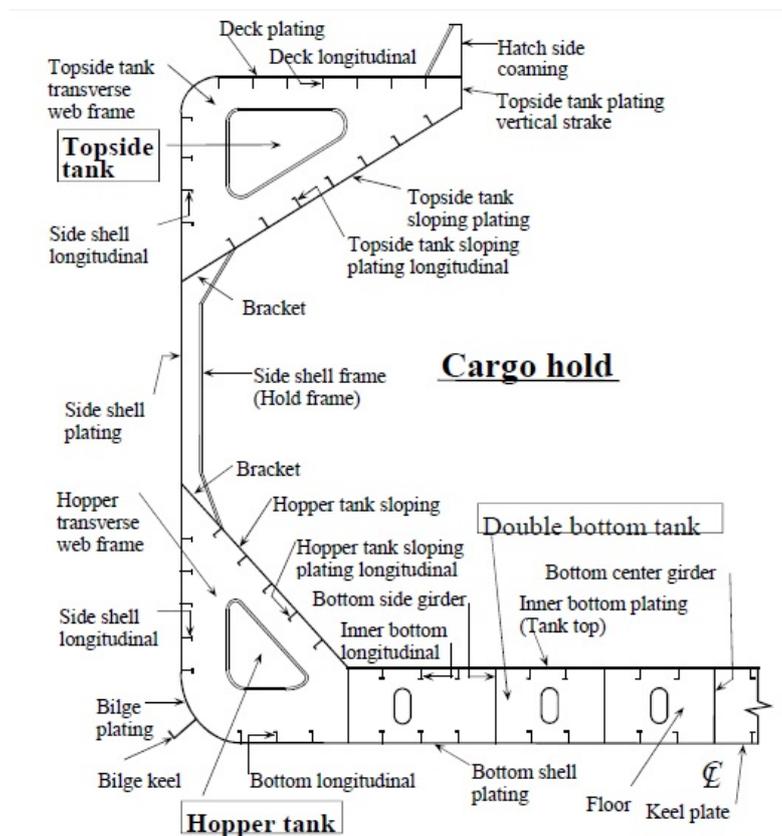


Figura 36 - Seção transversal de porão de carga

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

5.2 Critérios para Renovação da Espessura devido à Corrosão

a - Corrosão em geral:

Para cada item que deve ser considerado, quando a espessura medida (t_{gauged}) é menor que a espessura de renovação (t_{renewal}), é requerida a renovação do aço, como especificado na seguinte fórmula:

$$t_{\text{gauged}} < t_{\text{renewal}}$$

Onde a espessura medida t_{gauged} é:

$$t_{\text{renewal}} < t_{\text{gauged}} < t_{\text{renewal}} + t_{\text{reserve}}$$

t_{reserve} = espessura reserva, espessura, em mm, considerada para diminuição prevista de espessura que pode ocorrer durante o intervalo de 2,5 anos de intervalo das vistorias ($t_{\text{reserve}} = 0,5\text{mm}$)

Como alternativa à renovação do aço, podem ser adotadas medidas para a aplicação de revestimento de acordo com os requerimentos do fabricante ou para medições anuais podem ser adotadas como uma alternativa à renovação do aço. O revestimento deve estar mantido em boa condição.

b - Corrosão por pite:

Em estruturas laterais, a intensidade da corrosão por pite numa área onde é requerido revestimento for maior que 15%, devem ser realizadas medições de espessura para verificar a extensão da corrosão. Os 15% são baseados no pite em apenas um lado da chapa.

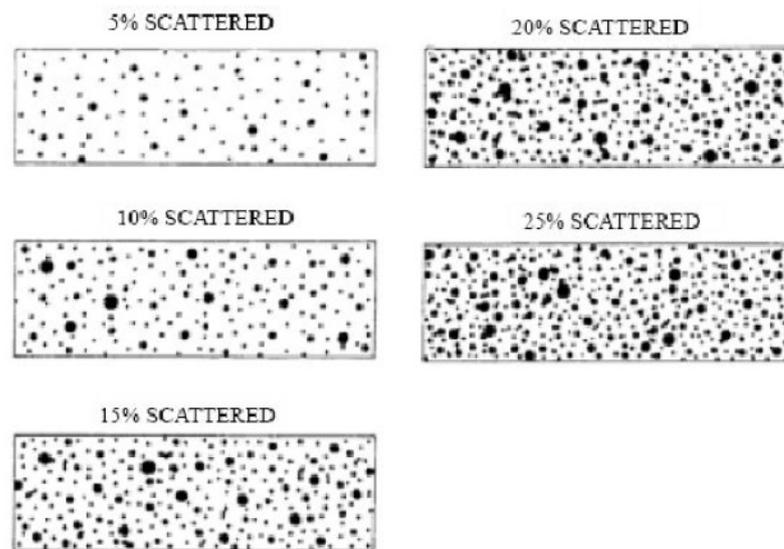


Figura 37 - Intensidade da corrosão por pite

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Common_rules/PDF/7.CSRBulkCarrierConsolidatedEffective.pdf).

Nos casos onde os pites excedem 15%, uma área de 300 mm ou mais na parte mais atacada da chapa deve ser limpa até que o metal da chapa fique descoberto e a espessura deve ser medida em cinco pontos em que o pite esteja mais profundo dentro da área que foi limpa. A mínima espessura medida deve ser adotada como a espessura a ser registrada.

A mínima espessura restante nos pites ou em outras áreas locais deve ser maior que o seguinte:

- 75% da espessura da espessura de projeto, para as almas e flanges de cavernas e borboletas
- 70% da espessura original, no chapeamento lateral, chapeamento do tanque inferior lateral (*hopper tank*) e do tanque superior lateral (*topside tank*)

Em outras estruturas, para chapas com uma intensidade de pite menor que 20%, a espessura medida (t_m) de qualquer medição individual deve satisfazer o menor dos seguintes critérios:

$$t_m \geq 0,7 (t_{as-built} - t_{vol\ add}) \text{ mm}$$

$$t_m \geq t_{ren} - 1 \text{ mm}$$

Onde,

$t_{as-built}$ = espessura de projeto do membro, em mm.

$t_{vol\ add}$ = adição voluntária de espessura; espessura, em mm, voluntariamente adicionada como margem extra do armador para corrosão em adição ao t_C .

t_{ren} = espessura de renovação; mínima espessura admissível, em mm, abaixo da qual deve ser realizada a renovação de membros estruturais.

t_C = adição total de corrosão.

t_m = espessura medida, em mm, em um item (por exemplo, espessura média em um item usando-se as várias medições realizadas no mesmo item durante as vistorias de serviço periódicas no navio).

c - Corrosão em extremidades:

Desde que a extensão total da corrosão na extremidade de flanges ou almas de prumos (*stiffener*) seja menor que 25% da largura flange ou da altura da alma do prumo, a espessura medida, t_m , deve satisfazer o menor dos seguintes critérios:

$$t_m \geq 0,7 (t_{as-built} - t_{vol\ add}) \text{ mm}$$

$$t_m \geq t_{ren} - 1 \text{ mm}$$

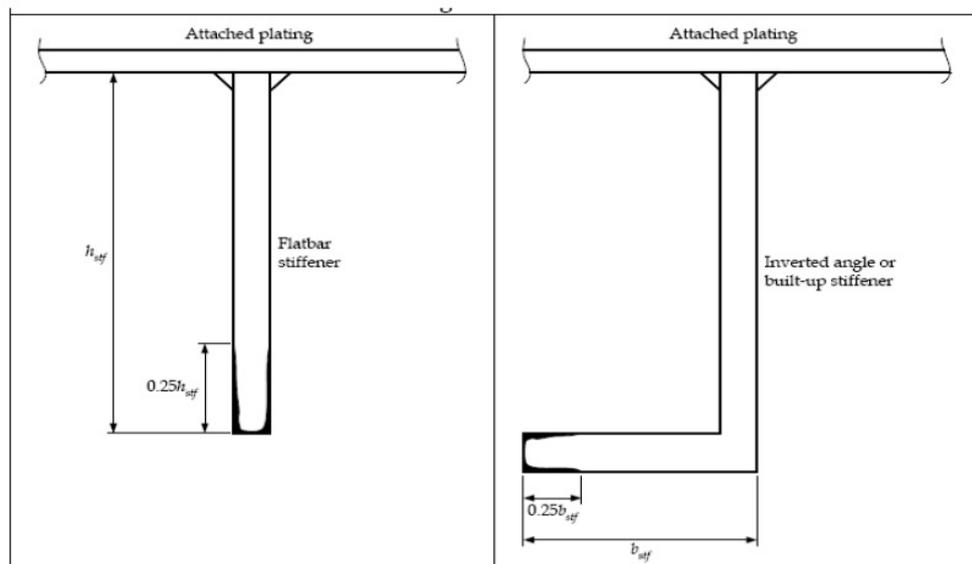


Figura 38 - Exemplo de corrosão nas extremidades
 Fonte: (www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

A beirada de chapas de portas de visitas, elipses etc. podem estar abaixo das especificações desde que:

- A máxima extensão da espessura reduzida da chapa, a partir da extremidade aberta, não seja maior que 20% da menor dimensão da abertura e não exceda 100 mm.

- extremidades ásperas ou irregulares podem ser aparadas desde que a dimensão máxima da abertura não seja aumentada mais que 10% e que a espessura remanescente da nova extremidade não seja menor que $t_{ren} - 1$ mm.

d - Corrosão em torno de cordão de solda:

Atenção especial deve ser dada aos cordões de solda que unem as partes internas do chapeamento. O desgaste de pesados componentes longitudinais do convés pode ser relativamente baixo percentualmente, mas os cordões de solda relativamente pequenos que unem as partes longitudinais ao chapeamento podem estar desgastadas suficientemente para tornar o membro interno ineficaz. Igualmente, membros internos como cavernas de porões de carga e borboletas requerem atenção especial, pois podem ser sujeitas a empescoçamento e corrosão em torno do cordão de solda.

Onde a largura do sulco for no máximo de 15% da altura da alma da viga, mas não mais que 30 mm, a espessura medida, t_m , na área com depressão, deve satisfazer a o menor dos seguintes critérios:

$$t_m \geq 0,7 (t_{as-built} - t_{vol add}) \text{ mm}$$

$$t_m \geq t_{ren} - 0,5 \text{ mm}$$

mas não menos que $t_m = 6$ mm

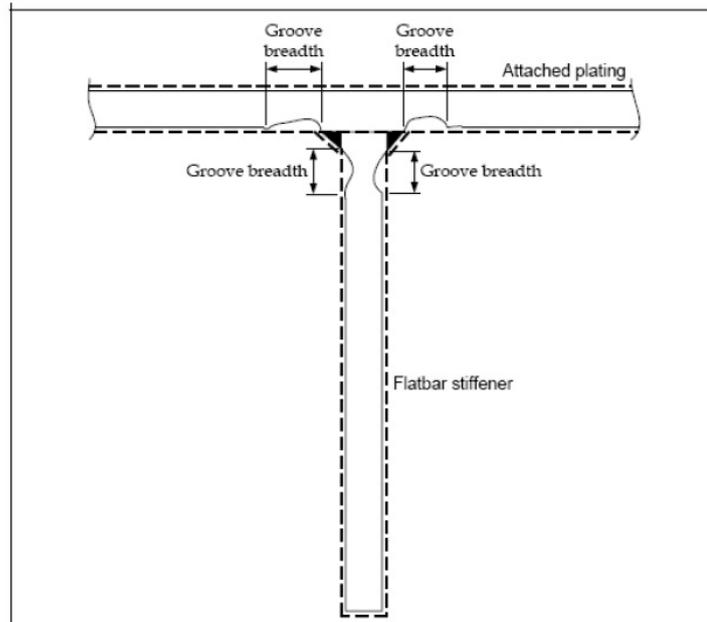


Figura 39 - Exemplo de corrosão em torno de cordão de solda

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf).

5.3 Critérios para Porões de Carga

Estudos comprovam que vários desastres de quebra e conseqüente afundamento de navios graneleiros estão relacionados com falhas estruturais no interior dos porões de carga.

Para dar tratamento à questão, a IACS criou a UR S31. Os URs são requerimentos unificados (*Unified Requirements*) inerentes à estrutura (*Structural da parte S*), seguidos pelas sociedades classificadoras membros da IACS.

A UR S31 (*Renewal Criteria for Side Shell Frames and Brackets in Single Side Skin OBO Carriers not Built in accordance with UR S12 Rev.1 or subsequent revisions*) define critérios de renovação de aço ou outras medidas a serem tomadas para as almas e flanges das cavernas e borboletas em porões de carga delimitados por casco simples destinados a transportar carga seca a granel.

Quando se trata de substituição dos elementos atingidos por oxidação, a UR S31 adota o limite de 25% de desgaste, ou seja, se a espessura medida em um determinado elemento for inferior a 75% da espessura de projeto, o elemento deverá ser trocado. Para padronizar esse critério, a UR S31 define que as almas das

cavernas e das borboletas devem ser renovadas se a espessura medida (tM) for igual ou inferior ao maior dos quatros critérios:

$$- t_{\text{COAT}} - t_{\text{C}};$$

Onde,

$$t_{\text{COAT}} = 0,75 \times t_{\text{S12}}$$

$$t_{\text{S12}} = c \times (0,7 + 0,03L)$$

$c = 1,15$ para as cavernas do porão mais a vante

1,0 para as cavernas dos demais porões de carga

$L = L_{\text{pp}}$ ou 200 m (o que for menor)

t_{C} de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 1 - Valores de t_{c}

Ship's length L, in m	Holds other than No. 1		Hold No. 1	
	Span and upper brackets	Lower brackets	Span and upper brackets	Lower brackets
≤100	2.0	2.5	2.0	3.0
150	2.0	3.0	3.0	3.5
≥ 200	2.0	3.0	3.0	4.0

Note: For intermediate ship lengths, t_{c} is obtained by linear interpolation between the above values.

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_S_pdf158.PDF).

$$- 0,75 \times t_{\text{AB}};$$

Onde,

t_{AB} = espessura de projeto, em mm.

$t_{\text{REN,d/t}} = (\text{comprimento da alma da viga em mm}) / R$.

$R = 65 \times K^{0,5}$ para cavernas

$87 \times K^{0,5}$ para borboletas inferiores

$K = 1.0$ para aço estrutural de casco

- $t_{REN,s}$

Onde,

$t_{REN,Sa} = (1000Ks \times P_{fr,a}) \div (d_a \text{sen}\Phi \times T_a)$, na seção a.

$t_{REN,Sb} = (1000Ks \times P_{fr,b}) \div (d_b \text{sen}\Phi \times T_a)$, na seção b.

Ks = fator de distribuição de força de ser considerado igual a 0,6.

$P_{fr,a}$, $P_{fr,b}$ = Forças de pressão.

d_a , d_b = profundidade da alma da borboleta e da caverna, em mm, nas seções a e b, respectivamente (veja figura 32).

Φ = ângulo entre a caverna e chapa do casco.

T_a = tensão de cisalhamento admissível, em N/mm².

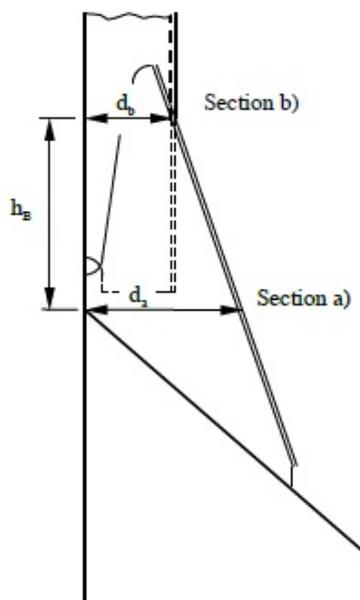
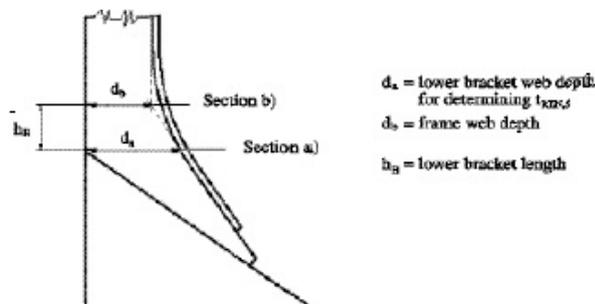


Figura 40 - Seções a) e b)

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_S_pdf158.PDF).

6. COMPENSAÇÃO DE DESGASTES E REPAROS

Chapas individuais ou membros estruturais que estejam desgastados além do limite admissível devem ser removidos e renovados. A principal preocupação em avaliar o desgaste geral é a garantir resistência longitudinal do casco

Desgaste localizado e pites devem ser tratados a critério do vistoriador da sociedade classificadora, que pode não requisitar a renovação. Desgaste localizado deve ser avaliado do ponto de vista de empeno local, fratura e o risco potencialmente sério de poluição marinha. Áreas localizadas com sérios desgaste, pites ou corrosão em torno de cordão de soldas podem ter que ser tratados imediatamente.

Pites altamente localizados, geralmente encontrados em tanques de carga de óleo, podem ser recortados e renovados, limpados e revestidos com um revestimento especial, limpados e preenchidos com um preenchedor especial, ou reparados por solda. A escolha do método de reparo depende principalmente da porcentagem da área da superfície do chapeamento atacada por pites, da profundidade e do tamanho do pite. O inspetor da sociedade classificadora fará as recomendações apropriadas considerando as circunstâncias particulares.

Áreas que apresentem deformações permanentes ou corrosão sob tensão podem ter que ser reforçadas ou renovadas mesmo que o desgaste admissível não tenha sido excedido.

É permitida uma renovação parcial da chapa desde que a parte remanescente esteja satisfatória. Pequenas inserções devem ser evitadas porque frequentemente desenvolvem fraturas, provavelmente por causa da tensão de contração e do efeito de concentração de tensão nas extremidades. É preferível que a renovação seja feita em toda a largura, e que o comprimento não seja menor que a largura; ou no mínimo metade da largura e igual ou maior à largura de uma chapa. Para inserções menores que a largura total de uma chapa, os cantos que não encostam em uma costura ou topo devem ser arredondados. Para inserções locais, a menor dimensão nunca deve ser menor que 300 mm.

A chapa substituta deve ser do mesmo, equivalente ou maior Grau e substancialmente da mesma espessura que determina as especificações de projeto. Perfis estruturais substitutos também devem atender as especificações de projeto.

Substituições de aço que diferem da instalada originalmente, alterações da configuração da estrutura inicial ou mudança nas juntas rebitadas para soldadas não devem ser feitas sem a prévia aprovação da sociedade classificadora.

Chapas de reforço locais não são aceitas como reparo permanente ou compensação de desgaste. Se tais chapas de reforço são encontradas, o chapeamento abaixo deve ser cuidadosamente inspecionado e reparado, onde necessário.

Onde fiadas de chapa forem usadas para compensação de perda de área do convés ou do chapeamento do fundo, deve haver material suficiente abaixo para transmitir cargas efetivamente. Se usadas para reforçar um membro de resistência longitudinal, então a continuidade deve ser mantida em toda a área afetada. Qualquer desgaste local de chapa deve ser tratado como renovação antes da instalação de fiadas de chapa.

No geral, uma fiada de chapa deve ser contínua ao longo de $0,5L$ à meia nau, e sua espessura não deve ter mais que 1,5 vezes a espessura do chapeamento abaixo. A fiada deve encaixar-se com firmeza em cima do chapeamento que fica abaixo e deve ter as arestas soldadas. Se for mais larga que 600 mm, deve ter pontos de solda nos centros (300mm). As extremidades das fiadas devem afinar na largura e terminarem pelo menos a distância equivalente a dois espaçamentos entre cavernas ou aproximadamente 2 metros além mudanças estruturais (como as extremidades de escotilhas ou anteparas estruturais de extremidades). Onde possível, as fiadas devem ser situadas por cima de longarina ou anteparas longitudinais. Todas as propostas de fiadas contínuas devem ser aprovadas pela sociedade classificadora.

Em qualquer caso onde esteja cogitada a eliminação de juntas rebitadas ou mudança na forma estrutural com relação a renovações, aprovação prévia deve ser obtida da sociedade Classificadora.



Figura 41 – Renovação de chapas no convés principal
Fonte: (www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf).

6.1 Compensação de Desgaste em Cavernas e Borboletas de Porões de Carga

O tratamento que deve ser dado às cavernas e borboletas de porões de carga quanto aos limites de espessura é determinado pela UR S31.

Para a determinação da necessidade de renovação de aço, jateamento ou revestimento, quatro zonas A,B,C e D são definidas. As zonas A e B são consideradas as mais críticas.

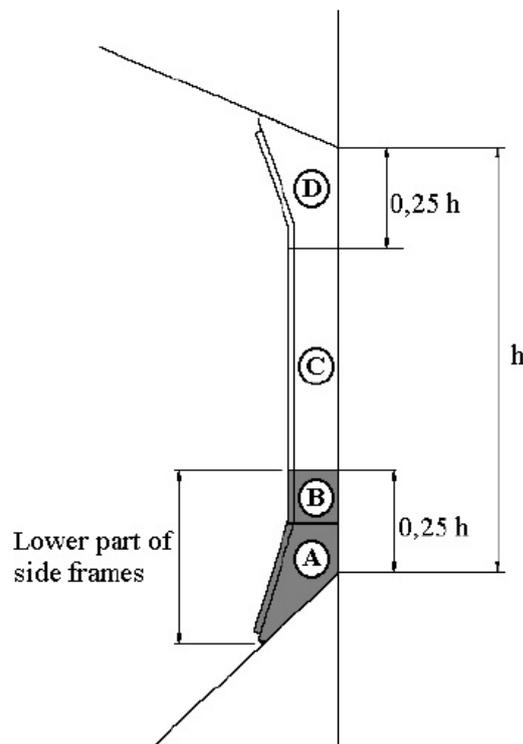


Figura 42 - Zonas de cavernas

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_S_pdf158.PDF).

Quando a espessura não for igual ou inferior a um dos quatro critérios definidos, mas for $t_{\text{renewal}} < t_M \leq t_{\text{COAT}}$, sendo t_M a espessura medida em mm, não há necessidade de renovação do elemento, mas torna-se necessária a tomada de medidas de reforço:

- 1- Jateamento a areia, ou equivalente, e revestimento.
- 2- A instalação de reforços, denominados *tripping brackets*, quando a condição da medida ocorrer em qualquer zona da caverna: A, B, C ou D
- 3- Manutenção do revestimento numa condição como se fosse novo (por exemplo, sem avarias ou desagregação, ou ferrugem).

Quando a espessura medida da alma das cavernas for $t_{\text{renewal}} < t_M \leq t_{\text{COAT}}$ e o revestimento estiver em boa condição (condição com apenas leves pontos de ferrugem), o jateamento de areia e revestimento, como descrito acima, podem ser dispensados, desde que seja os *tripping brackets* sejam instalados e que o revestimento danificado, nas proximidades do reforço soldado, seja reparado.

Os *tripping brackets* apoiam em pares as cavernas, um na parte mais baixa e outro na parte central, e devem ser instalados em linha entre pares alternados de

cavernas. Devem também ser instalados a uma distância de 50 milímetros do flange das cavernas. A espessura desses reforços não deve ser menor que a espessura de projeto da alma das cavernas com as quais são conectados. Solda dupla é adotada para ligá-los às cavernas e ao chapeamento do casco. Poderão ser inclinados para baixo para não reter o granel.

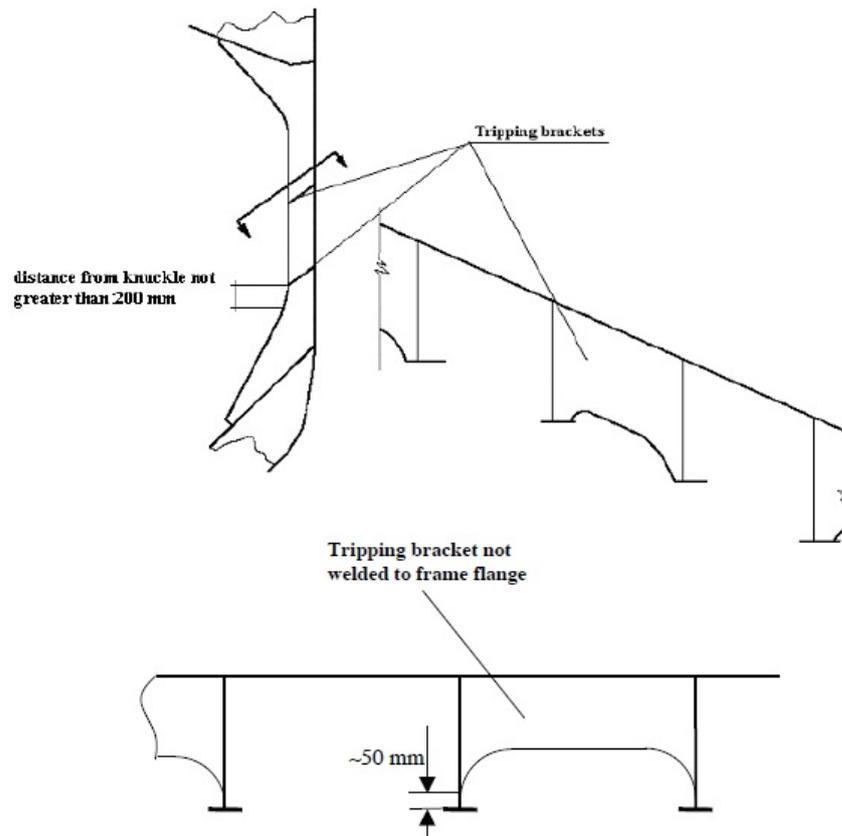


Figura 43 - Tripping Brackets

Fonte:

(www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_S_pdf158.PDF).

A seguir, são mostrados dois porões de carga, um com e outro sem *tripping brackets* entre as cavernas:



**Figura 44 – Porão com tripping brackets entre cavernas.
Fonte: (Ricardo de Lima Barreto).**

Se os membros estruturais não mostrarem diminuição de espessura em relação à espessura de projeto e se o revestimento estiver numa condição de quase novo (sem avarias ou ferrugem), as medidas citadas podem ser dispensadas.

Por outro lado, onde for necessária a substituição, a espessura da alma das vigas de renovação não deve ser menor que a maior das seguintes medidas: t_{AB} , $1,2t_{COAT}$ ou $1,2 t_{renewal}$. Neste caso, a preparação da superfície e revestimento são requeridos para as estruturas renovadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser observado no primeiro capítulo, a resistência estrutural do casco depende da integridade de cada um dos seus, grandes ou pequenos, componentes estruturais. Em navios graneleiros, tais elementos estão sujeitos a grandes esforços que, combinados ao desgaste de seu material, geram falhas estruturais na forma de fraturas.

Visto que os esforços a que um navio está submetido são inevitáveis, buscase a minimização e controle do desgaste do material das partes estruturais, que é monitorado através de relatórios de medição de espessura gerados em vistorias do programa de vistorias periódicas do casco

Por se tratar de um tema tão importante, a Associação Internacional de Sociedades Classificadoras criou normas e critérios para guiar as vistorias das estruturas do casco realizadas por sociedades classificadoras, apontando os itens que devem ter sua espessura medida, a quantidade de medições que devem ser tomadas de cada item específico, e os limites aceitáveis de espessura.

O medidor de espessura por ultrassom, instrumento apontado pela IACS para o processo da medição de espessura em vistorias, é baseado no efeito das vibrações ultrassônicas de cristais piezoelétricos, que se expandem e comprimem ao receberem alta tensão alternada. O vistoriador da sociedade classificadora acompanha a medição realizada por empresa certificada através de equipamento calibrado e também certificado.

Ao registrar os dados fornecidos pelas medições, o vistoriador elabora um relatório, com base no qual é analisado se as espessuras reais estão dentro dos limites aceitáveis. Alguns grupos de componentes estruturais têm seus limites específicos, baseados no tipo de corrosão que os desgastou, mas pode-se concluir que o limite máximo admissível de desgaste é de 20% a 30% da espessura de projeto.

Por fim, é observado que, para tratar dos itens com espessura menor que a mínima admissível, as chapas dos mesmos devem ser recortadas e renovadas. No caso das cavernas e borboletas em porões de carga, tratadas especificamente pela UR S31, quando o desgaste é observado, mesmo que dentro dos limites aceitáveis, reforços longitudinais devem ser instalados entre as cavernas para apoiá-las.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - NBR 15824:2012 – Ensaio Não Destrutivos – Ultrassom – Medição de Espessura.

ABNT - NBR NM 330:2011 Versão Corrigida: 2011 - Ensaio Não Destrutivos – Ultrassom – Princípios Gerais.

ANDREUCCI, R. **Ensaio por Ultrassom**. Jul/2011. ed. São Paulo: Abendi, 2011. 97p.

ARRUDA, E. A. F. **Estudo Comparativo do Processo Corrosivo do Aço Patinável e do Aço Carbono Comum**. 2009. 80f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

CANELLA, H. M. **Análise da Integridade do Casco de Navios Graneleiros Através de Modelo Computacional**. 2009. 47f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Naval) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Common Structural Rules for Bulk Carriers. Disponível em: <www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Common_rules/PDF/7._CSR_Bulk_Carrier,_Consolidated_Effective_as_of_1_July_2012_pdf1808.pdf> Acesso em: 30 jul. 2013.

FONSECA, M. M. **Arte Naval, Volume I**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2002. 518p.

GARCIA, A.; SANTOS, C. A.; SPIM, J. A. **Ensaio dos Materiais**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1999. 247p.

Guide for Ultrasonic Thickness Measurements of Ships Classed With Det Norske Veritas. Disponível em: <www.exchange.dnv.com/publishing/cn/GL_10.pdf> Acesso em: 31 jul. 2013.

Hull surveys of Bulk Carriers. Disponível em:

<www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Resolution_changes/PDF/UR_Z10.2_Rev29_pdf1621.pdf> Acesso em: 31 jul. 2013.

IACS Guidelines for Surveys, Assessment and Repair of Hull Structure - Bulk Carriers. Disponível em:

<www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Guidelines_and_recommendations/PDF/REC_76_pdf216.pdf> Acesso em: 29 jul. 2013.

MARTIN, C. C. **Ultrassom.** 1ª. ed. São Paulo: Abendi, 2012. 342p.

PINTO, S. **Elementos Estruturais de Navios.** 2011. 28f. Monografia (Bacharelado em Tecnologia em Construção Naval) - Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

RIBEIRO, D. M. **Metodologia de manutenção preditiva do casco do navio.** 216 f. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 1993.

Termos Náuticos. Disponível em:

<www.uff.br/petmec/downloads/mecnav/mecnav1.doc> Acesso em: 3 ago. 2013.

TUPPER, E.C. **Introduction to Naval Architecture.** 4ª ed. Oxford: Elsevier, 2004. 446p.

UR S31 - Renewal Criteria for Side Shell Frames and Brackets in Single Side Skin Bulk Carriers and Single Side Skin OBO Carriers not Built in accordance with UR S12 Rev.1 or subsequent revisions. Disponível em:

<www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_S_pdf158.PDF> Acesso em: 1 jul. 2013.

VENTURA, M. **Navios graneleiros.** Disponível em:

<www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/PT/1.4.3-Navios%20Graneleiros.pdf> Acesso em: 30 jul. 2013

ANEXO A – Exemplo de certificado de empresa para medição de espessura



**BUREAU
VERITAS**

CERTIFICATION OF FIRMS ENGAGED IN THICKNESS MEASUREMENTS OF HULL STRUCTURES

ATTESTATION No 96/133/R2/CMI

This is to certify that :

TRIMBOW INSPECOES NAVAIS LTDA

Av. Jeronimo de Albuquerque, Edificio 90 Trade Center I, 27
Salas 203/204 2 andar, Curva do 90 - Vinhais
CEP 65.070-160 Sao Luis - Maranhao
BRAZIL

are certified by the Society to carry out and report on thickness measurement of hull structure of ships classed with Bureau Veritas, within the scope of Rules, Part A - Chapter 2.

This certification remains valid until **5 October 2009** and may be renewed for further periods of 3 years, subject to satisfactory renewal audit. This certification is given subject to maintenance of original standards and ability of this firm, together with keeping informed the Society of any change in the information originally supplied.

Port Everglades, FL,
on the 5 October 2006

For the Secretary
A. BAARS



The latest published Rules of Bureau Veritas Marine Division and the General Conditions are applicable.

Any person not a party to the contract pursuant to which this certificate is delivered may not assert a claim against Bureau Veritas for any liability arising out of errors or omissions which may be contained in said certificate, or for errors of judgment, fault or negligence committed by personnel of the Society or of its Agents in the establishment or issuance of this certificate, and in connection with any activities which it may provide.

ANEXO B – Exemplo de relatório de medição de espessura

ULTRASONIC SURVEY REPORT

OF

M.V. "TIAN SHAN HAI"

Macapá - Amapá
Brazil
2009



Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
Salas 203 / 204, 2ª andar, Curva do 90 - Vinhais
CEP: 65.070 -160 Telef: (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbow@elo.com.br

REPORT 008-2009

Vessel's name: "TIAN SHAN HAI"

Official Number:	18002000011	Call Sign:	B O N O
Gross Tons:	27,457.32 MT	Deadweight (summer):	45,884.00 MT
Port of Registry:	XIAMEN	Year of build:	1985
Type of Ship:	BULK CARRIER	IMO Number:	8406444
Owner:	XIMEN OCEAN SHIPPING CO.		

Classification society performing survey
attending decree 020/98 of Brazilian Navy:

**ABS – AMERICAN BUREAU OF SHIPPING
BRAZSHIPPING MARÍTIMA LTDA.**

At the request of:

Name of company performing

thickness measurement:

TRIMBOW INSPEÇÕES NAVAIS LTDA

Attestation:

BV No 96 / 133 / R1 / CMI

Place of measurement:

MACAPÁ, AMAPÁ - BRAZIL

Date of measurement:

JANUARY 21st 2009.

Details of measurement equipment:

Ultrasonic device "KRAUTKRAMER" DM2.

SCOPE OF MEASUREMENTS:

Main Deck Plating:

Between hatch covers nos. 01 / 02 – cross deck section – frames 183 / 184
Between hatch covers nos. 03 / 04 – cross deck section – frames 111 / 112

Cargo Holds nos. 03 and 05:

Tank top plating
Side shell plating - hopper platings
Fwd and aft watertight bulkheads – lower stool



Company Official Stamp



Name of ABS Surveyor: **RICARDO BARRETO**



Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
Salas 203 / 204, 2º andar, Curva do 90 - Vinhais
CEP: 65.070 -160 Telef: (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbowl@elo.com.br

REPORT 008-2009

THIS IS TO CERTIFY THAT, at the request of Messrs. **BRAZSHIPPING MARÍTIMA LTDA.**, did attend, with the Master's consent, on board of the M/V "TIAN SHAN HAI", Panama flag, whilst laying afloat and anchored at Macapá Bay, Macapá, Amapá, Brazil, on January 21st 2009, in order to assist the Class Society Surveyor and Harbor Master officer in conducting an ultrasonic thickness measurements with the following results:

- For the thickness measurement of vessel's plating was used 1 (one) ultrasonic wall thickness gauge instrument make KRAUTKRAMER model DM2.
- The measurements were carried out as per Class Society Surveyor instructions.
- The following areas gauged and their measurements are given in millimeters.
- All original thickness was taken from vessel's plans supplied on board at the time of survey by vessel's command .

MAIN DECK PLATING BETWEEN THE HOLD 01 AND 02 - CROSS DECK SECTION - FRAMES 183/184				
Point	Original	Gauged	Diminution (mm)	Percentage
A - PTS - 1st Plate Inboard	15,0	14,8	0,20	1,33 %
B - PTS - 1st Plate Inboard	15,0	14,9	0,10	0,67 %
C - PTS - 2nd Plate Inboard	15,0	14,8	0,20	1,33 %
D - PTS - 2nd Plate Inboard	15,0	14,9	0,10	0,67 %
E - PTS - 3rd Plate Inboard	10,5	10,4	0,10	0,95 %
F - PTS - 3rd Plate Inboard	10,5	9,6	0,90	8,57 %
G - PTS - 4th Plate Inboard	10,5	10,0	0,50	4,76 %
H - PTS - 4th Plate Inboard	10,5	10,2	0,30	2,86 %
I - PTS - 5th Plate Inboard	16,0	15,7	0,30	1,88 %
I - STB - 5th Plate Inboard	16,0	15,8	0,20	1,25 %
H - STB - 4th Plate Inboard	10,5	10,2	0,30	2,86 %
G - STB - 4th Plate Inboard	10,5	10,1	0,40	3,81 %
F - STB - 3rd Plate Inboard	10,5	9,6	0,90	8,57 %
E - STB - 3rd Plate Inboard	10,5	9,9	0,60	5,71 %
D - STB - 2nd Plate Inboard	15,0	14,8	0,20	1,33 %
C - STB - 2nd Plate Inboard	15,0	14,9	0,10	0,67 %
B - STB - 1st Plate Inboard	15,0	14,8	0,20	1,33 %
A - STB - 1st Plate Inboard	15,0	14,9	0,10	0,67 %

2

MV "TIAN SHAN HAI"





Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
 Salas 203 / 204, 2º andar, Curva do 90 - Vinhais
 CEP: 65.070 - 160 Telef: (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
 São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbow@elo.com.br

REPORT 008-2009

MAIN DECK PLATING				
BETWEEN HATCHES Nos. 03 AND 04 - CROSS DECK SECTION - FRAMES 111/112				
Point	Original	Gauged	Diminution (mm)	Percentage
A - PTS - 1st Plate Inboard	19,5	19,2	0,30	1,54 %
B - PTS - 1st Plate Inboard	19,5	19,1	0,40	2,05 %
C - PTS - 2nd Plate Inboard	19,5	19,0	0,50	2,56 %
D - PTS - 2nd Plate Inboard	19,5	18,6	0,90	4,62 %
E - PTS - 3rd Plate Inboard	10,5	10,3	0,20	1,90 %
F - PTS - 3rd Plate Inboard	10,5	10,1	0,40	3,81 %
G - PTS - 4th Plate Inboard	10,5	10,0	0,50	4,76 %
H - PTS - 4th Plate Inboard	10,5	10,1	0,40	3,81 %
I - PTS - 5th Plate Inboard	16,0	15,8	0,20	1,25 %
I - STB - 5th Plate Inboard	16,0	15,6	0,40	2,50 %
H - STB - 4th Plate Inboard	10,5	9,3	1,20	11,43 %
G - STB - 4th Plate Inboard	10,5	10,3	0,20	1,90 %
F - STB - 3rd Plate Inboard	10,5	10,1	0,40	3,81 %
E - STB - 3rd Plate Inboard	10,5	9,9	0,60	5,71 %
D - STB - 2nd Plate Inboard	19,5	19,3	0,20	1,03 %
C - STB - 2nd Plate Inboard	19,5	19,1	0,40	2,05 %
B - STB - 1st Plate Inboard	19,5	18,9	0,60	3,08 %
A - STB - 1st Plate Inboard	19,5	19,4	0,10	0,51 %

3

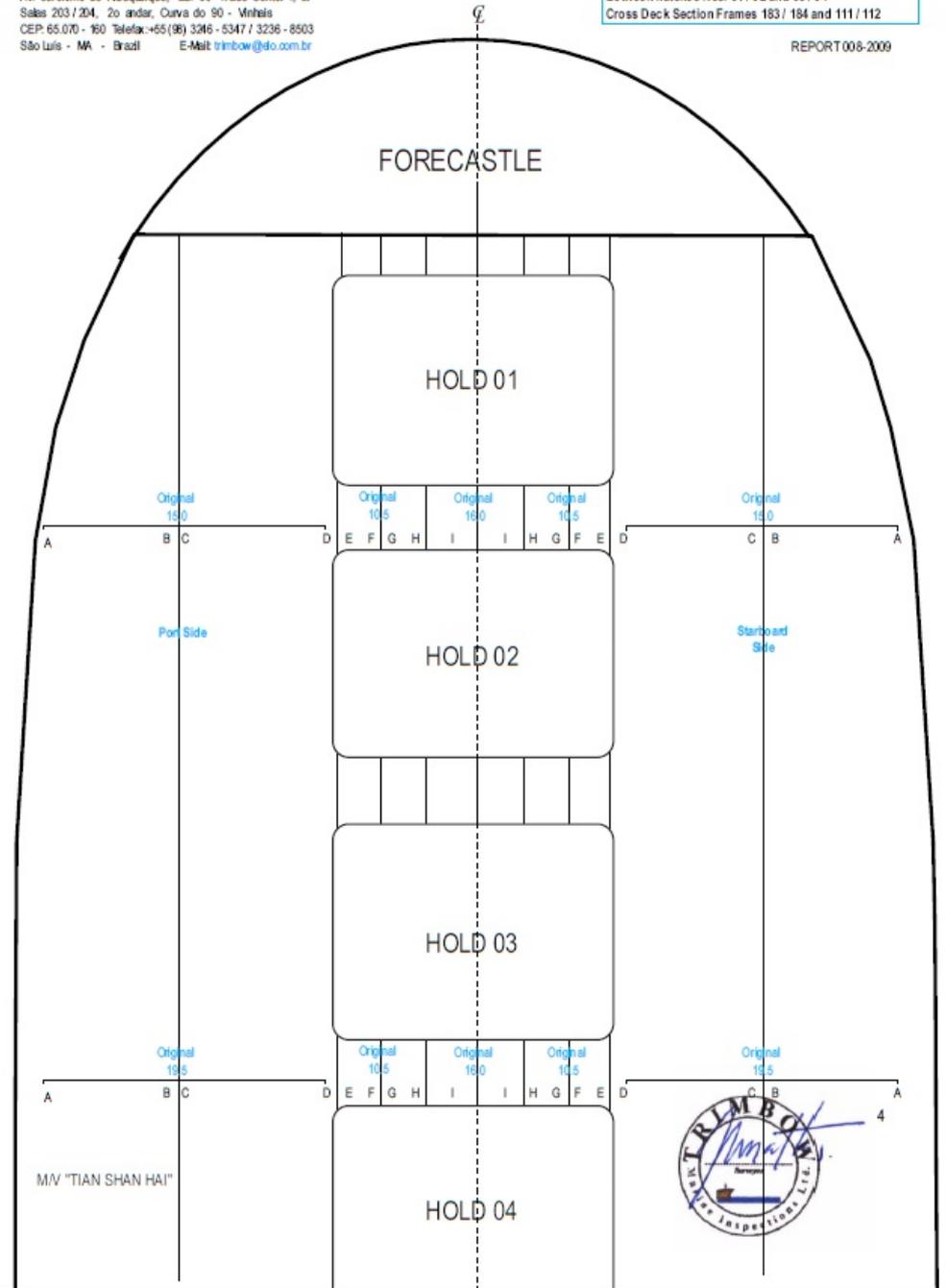
M/V 'TIAN SHAN HAI'



 **TRIMBOW** BRASIL
INSPECÇÕES
Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
Salas 203 / 204, 2o andar, Curva do 90 - Miraflores
CEP: 65.070 - 160 Telef: +55 (98) 3216 - 5347 / 3236 - 8503
São Luís - MA - Brazil E-Mail: trimbow@tfo.com.br

VESSEL: "TIAN SHAN HAI"
DATE: January 21st, 2009.
STRUCTURAL MEMBER: MAIN DECK PLATING
Between hatches Nos. 01 / 02 and 03 / 04
Cross Deck Section Frames 183 / 184 and 111 / 112

REPORT 008-2009





Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
Salas 203 / 204, 2º andar, Curva do 90 - Vinhais
CEP: 65.070 -160 Telefax: (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbow@elo.com.br

REPORT 008-2009

No. 03 CARGO HOLD				
TANK TOP PLATING - FRAMES 128 / 129				
Point	Original	Gauged	Diminution (mm)	Percentage
A	18,5	19,6	--	--
B	18,5	19,9	--	--
C	18,5	19,8	--	--
D	18,5	20,0	--	--
E	18,5	19,8	--	--
F	18,5	19,9	--	--
G	18,5	16,8	1,70	9,19 %
H	18,5	16,0	2,50	13,51 %
I	18,5	17,0	1,50	8,11 %
J	18,5	16,6	1,90	10,27 %
K	18,5	15,9	2,60	14,05 %
L	18,5	15,8	2,70	14,59 %
M	18,5	14,9	3,60	19,46 %
N	18,5	15,0	3,50	18,92 %
O	18,5	20,0	--	--
P	18,5	19,9	--	--
Q	18,5	20,0	--	--
R	18,5	19,8	--	--
S	18,5	19,9	--	--
T	18,5	19,8	--	--

No. 03 CARGO HOLD				
SIDE SHELL PLATINGS - LOWER STRAKES OF HOPPER PLATING - FRAMES 111 TO 145				
Point	Original		Diminution (mm)	Percentage
A - STB	16,0	17,7	--	--
B - STB	16,0	17,6	--	--
C - STB	16,0	17,4	--	--
D - STB	16,0	17,5	--	--
A - PTS	16,0	17,0	--	--
B - PTS	16,0	17,6	--	--
C - PTS	16,0	17,5	--	--
D - PTS	16,0	17,3	--	--

5

MV 'TIAN SHAN HAI'

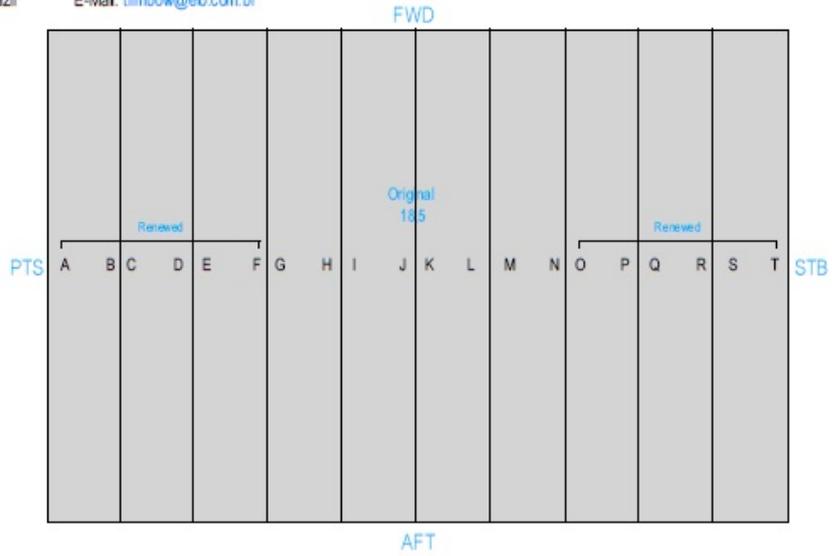




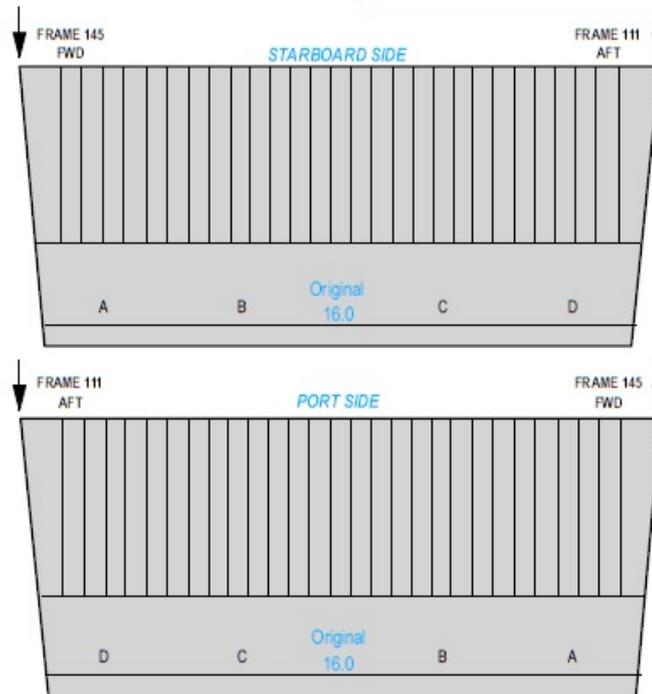
Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
 Salas 203/204, 2o andar, Curva do 90 - Vinhais
 CEP: 65.070 -160 Telefax: +55 (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
 São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbow@eb.com.br

VESSEL: "TIAN SHAN HAI"
 HOLD NUMBER: 03
 DATE: January 21st, 2009.
 STRUCTURAL MEMBER: Tank Top Plating
 Frames 128 / 129

REPORT 008-2009



VESSEL: "TIAN SHAN HAI"
 HOLD NUMBER: 03
 DATE: January 21st, 2009.
 STRUCTURAL MEMBER: Side Shell Plating - Lower Strakes of
 Hopper Plating - Frames 111 to 145



M/V "TIAN SHAN HAI"



Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
 Salas 203 / 204, 2ª andar, Curva do 90 - Vinhais
 CEP: 65.070 -160 Telefax: (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
 São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbow@elo.com.br

REPORT 008-2009

No. 03 CARGO HOLD				
FWD AND AFT BULKHEADS - STOOL PLATING - LOWER STRAKE PLATING - FRAMES 111 AND 145				
Point	Original	Gauged	Diminution (mm)	Percentage
A - FWD	14,5	16,1	--	--
B - FWD	14,5	16,3	--	--
C - FWD	14,5	16,5	--	--
D - FWD	14,5	16,2	--	--
A - AFT	16,5	15,5	1,00	6,06 %
B - AFT	16,5	16,6	--	--
C - AFT	16,5	16,1	0,40	2,42 %
D - AFT	16,5	16,0	0,50	3,03 %

7

M/V "TIAN SHAN HAI"



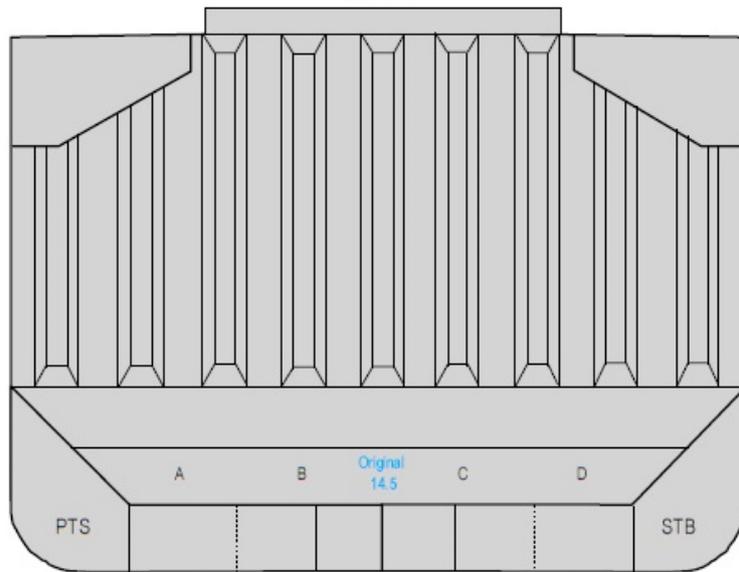


Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
Salas 203/204, 2o andar, Curva do 90 - Vinhais
CEP: 65.070 -160 Telefax: +55 (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbowl@eb.com.br

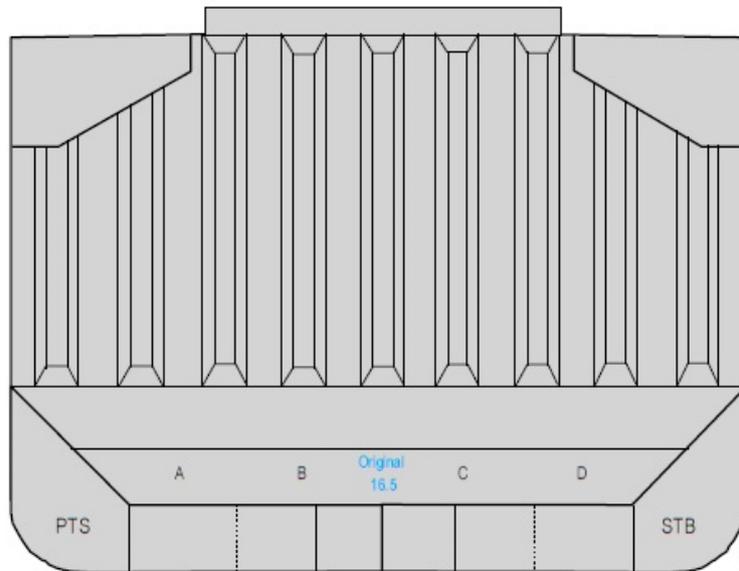
VESSEL: "TIAN SHAN HAI"
HOLD NUMBER: 03
DATE: January 21st, 2009.
STRUCTURAL MEMBER: FWD AND AFT BULKHEADS
Stool Plating - Lower Strake Plating - Frames 111 and 145

REPORT 008-2009

FWD TRANSVERSE BULKHEAD
FRAME 145



AFT TRANSVERSE BULKHEAD
FRAME 111



M/V "TIAN SHAN HAI"



Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
 Salas 203 / 204, 2ª andar, Curva do 90 - Vinhais
 CEP: 65.070 -160 Telefax: (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
 São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbow@eio.com.br

REPORT 008-2009

No. 05 CARGO HOLD TANK TOP PLATING - FRAMES 56 / 57				
Point	Original	Gauged	Diminution (mm)	Percentage
A	18,5	20,2	--	--
B	18,5	20,0	--	--
C	18,5	15,3	3,20	17,30 %
D	18,5	16,4	2,10	11,35 %
E	18,5	15,9	2,60	14,05 %
F	18,5	15,1	3,40	18,38 %
G	18,5	15,9	2,60	14,05 %
H	18,5	15,1	3,40	18,38 %
I	18,5	15,0	3,50	18,92 %
J	18,5	15,3	3,20	17,30 %
K	18,5	20,0	--	--
L	18,5	20,2	--	--

No. 05 CARGO HOLD SIDE SHELL PLATINGS - LOWER STRAKES OF HOPPER PLATING - FRAMES 45 TO 73				
Point	Original	Gauged	Diminution (mm)	Percentage
A - STB	16,0	16,0	--	--
B - STB	16,0	16,2	--	--
C - STB	16,0	15,9	0,10	0,62 %
D - STB	16,0	16,1	--	--
A - PTS	16,0	16,0	--	--
B - PTS	16,0	15,9	0,10	0,62 %
C - PTS	16,0	16,1	--	--
D - PTS	16,0	15,6	0,40	2,50 %

9

MV "TIAN SHAN HAI"

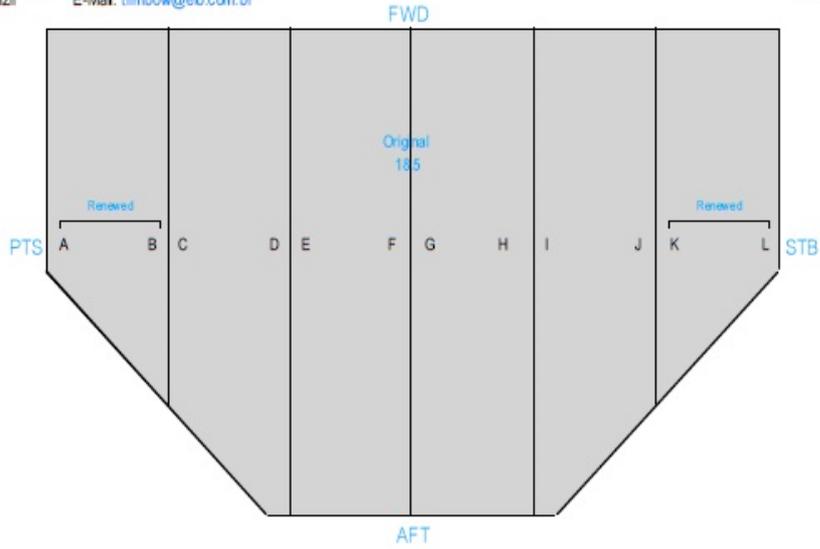




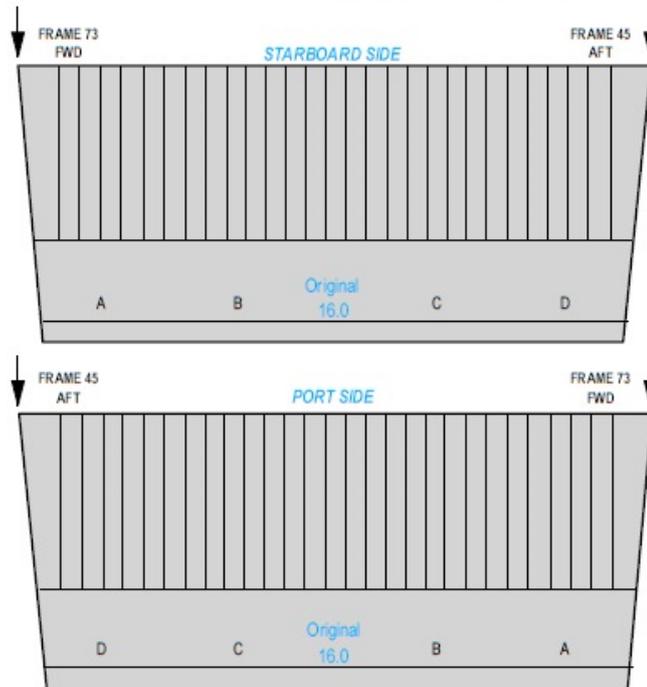
Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
 Salas 203/204, 2o andar, Curva do 90 - Vinhais
 CEP: 65.070 -160 Telefax: +55 (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
 São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbow@eib.com.br

VESSEL: "TIAN SHAN HAI"
 HOLD NUMBER: 05
 DATE: January 21st, 2009.
 STRUCTURAL MEMBER: Tank Top Plating
 Frames 56 / 57

REPORT 008-2009



VESSEL: "TIAN SHAN HAI"
 HOLD NUMBER: 05
 DATE: January 21st, 2009.
 STRUCTURAL MEMBER: Side Shell Plating - Lower Strakes of
 Hopper Plating - Frames 45 to 73



M/V "TIAN SHAN HAI"





Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
 Salas 203 / 204, 2º andar, Curva do 90 - Vinhais
 CEP: 65.070 -160 Telefax: (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
 São Luís - MA - Brazil E-Mail: trimbow@eio.com.br

REPORT 008-2009

No. 05 CARGO HOLD				
FWD AND AFT BULKHEADS - STOOL PLATING - LOWER STRAKE PLATING - FRAMES 45 AND 73				
Point	Original	Gauged	Diminution (mm)	Percentage
A - FWD	14,5	14,3	0,20	1,38 %
B - FWD	14,5	12,9	1,60	11,03 %
C - FWD	14,5	12,4	2,10	14,48 %
D - FWD	14,5	12,5	2,00	13,79 %
A - AFT	12,5	12,3	0,20	1,60 %
B - AFT	12,5	12,0	0,50	4,00 %
C - AFT	12,5	12,3	0,20	1,60 %
D - AFT	12,5	12,4	0,10	0,80 %

11

MV "TIAN SHAN HAI"



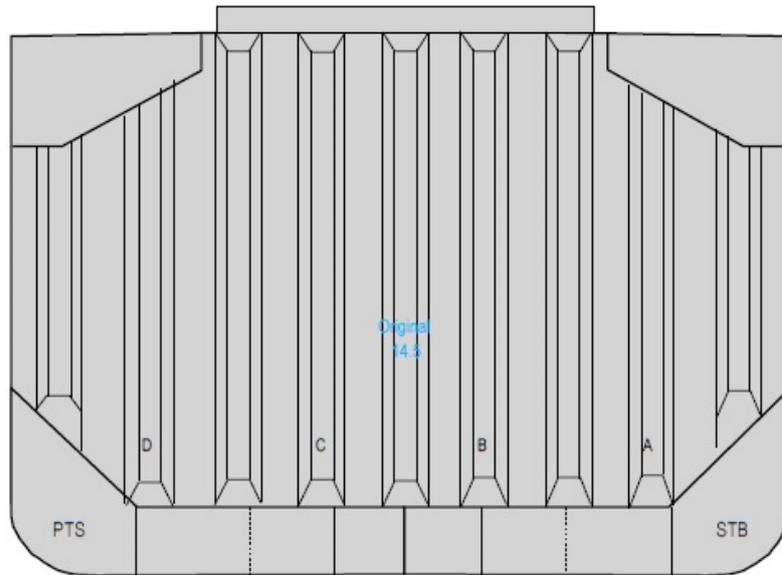


Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
Salas 203/204, 2o andar, Curva do 90 - Vinhais
CEP: 65.070-160 Telef: +55 (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbow@eb.com.br

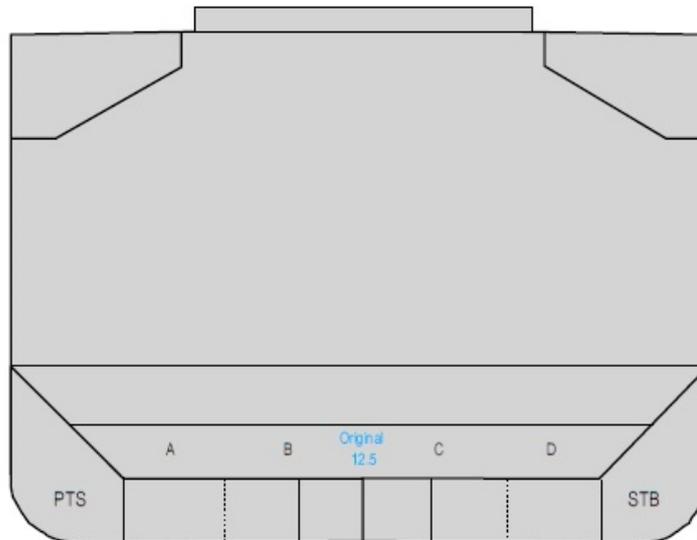
VESSEL: "TIAN SHAN HAI"
HOLD NUMBER: 05
DATE: January 21st, 2009.
STRUCTURAL MEMBER: FWD AND AFT BULKHEADS
Stool Plating - Lower Strake Plating - Frames 45 and 73

REPORT 008-2009

FWD TRANSVERSE BULKHEAD
FRAME 73



AFT FLUSH BULKHEAD
FRAME 45



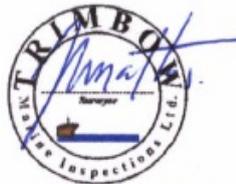
M/V "TIAN SHAN HAI"



Av. Jerônimo de Albuquerque, Ed. 90 Trade Center I, 27
Salas 203 / 204, 2o andar, Curva do 90 - Vinhais
CEP: 65.070 - 160 Telef: +55 (98) 3246 - 5347 / 3236 - 8503
São Luis - MA - Brazil E-Mail: trimbow@elo.com.br

REPORT 008-2009

*THIS SURVEY WAS MADE AND REPORT IS ISSUED WITHOUT
PREJUDICE FOR ANY PART.*



Marine Surveyor

MV 'TIAN SHAN HAI'

ANEXO C – Exemplo de certificado de calibração de equipamento de ultrassom



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

FOLHA 1/1

Nº 33290-06

CLIENTE: TRIMBOW INSPEÇÕES NAVAIS LTDA

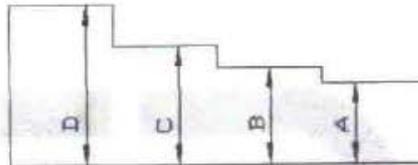
1 - IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO CALIBRADO:

DESCRIÇÃO: BLOCO ESCALONADO AÇO CARBONO
 CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO: **BLE-001**
 ORDEM DE SERVIÇO Nº: 2195-06 05/09/06

FABRICANTE: N/C
 MODELO: -
 Nº DE SÉRIE: -

2 - METODOLOGIA EMPREGADA NA CALIBRAÇÃO: INSTRUÇÃO DE CALIBRAÇÃO PSI. 149 em sua revisão atual

A calibração foi executada pelo método comparativo direto utilizando-se um Micrômetro Externo-Álgebra, sendo realizadas duas medições por cota. A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada, multiplicada por um fator de abrangência $k=2$, para um nível de confiança de aproximadamente 95%.

3 - RESULTADOS


Cota	Valor Nominal (mm)	1ª Medição no Padrão (mm)	2ª Medição no Padrão (mm)	Média das Medições (mm)	Erro de Indicação (mm)	Incerteza de Medição \pm (mm)
A	5	4,994	4,994	4,994	0,006	0,001
B	10	10,008	10,008	10,008	-0,008	0,001
C	15	15,003	15,003	15,003	-0,003	0,001
D	20	20,032	20,032	20,032	-0,032	0,001

4 - EQUIPAMENTOS PADRÕES UTILIZADOS:

MICRÔMETRO EXTERNO

Nº DE CONTROLE: MG-A-001-PS

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 1489-03

ÓRGÃO CALIBRADOR: PRESERTEC (RBC Nº141) DIMENS

VALIDADE: jun/2007

5 - CONDIÇÕES AMBIENTAIS:
TEMPERATURA: 20°C \pm 2°C // UMIDADE RELATIVA: 65% \pm 10%
6 - OBSERVAÇÕES

Calibrado por: Alex Lopez Siqueira Técnico Laboratório	Aprovado por: Dilson Siqueira Junior Supervisor Responsável
Data da Calibração:	6/9/2006
Data da Emissão do Certificado:	6/9/2006

NOTA:

1 - "A Reprodução deste certificado só poderá ser total e dependente da aprovação por critério do laboratório emissor."

2 - "Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes."

PRESERTEC - Serviços de Calibração Ltda.

Av Gastão Vidigal Neto, 220 - Cidade Nova - CEP 12414-020 - Fone: (12) 3642-8205 / 3642-2699 - Pindamonhangaba - SP
 C.N.P.J. 09.113.322/0001-43 Inscrição Estadual 528.126.564.115 - site: www.presertec.com.br e-mail: presertec@bighost.com.br

ANEXO D – Exemplo de relatório de calibração de equipamento de ultrassom



Assistência Técnica, Manutenção Geral em Equipamentos Eletrônicos
Indústrias para: Controle de Qualidade
Ensaio não Destrutivos
Laboratórios, etc.

RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO NÚMERO : 5358-08

EMPRESA : TRIBOW INSPEÇÕES NAVAIS LTDA
ENDEREÇO AV. JERÔNIMO DE ALBUQUERQUE Nº 27 ED. 90 TRADE CENTER , 2º ANDAR S. 203/204
CURVA DO 90 - CEP : 65070-160 CIDADE : VINHAIS SÃO LUIS - MA

INSTRUMENTO : MEDIDOR DE ESPESSURA DIGITAL
MARCA : KRAUTKRAMER MODELO: DM2
N.º SÉRIE : 26080-48162 CÓDIGO :

PADRÃO DE REFERÊNCIA UTILIZADO

CÓDIGO	TIPO	NR. CERTIF.	DATA CALIB.	PROX. CALIB.	LAB. AFERIDOR	RASTREABILIDADE
1433	V1 KRAUTK.	24296-06	19/06/06	19/06/09	PRESETEC	R.B.C. - 141
044	V2 ASTM USA	24293-06	19/06/06	19/06/09	PRESETEC	R.B.C. - 141
36 C,E,F	BLOCOS CILIND.	1606-07	01/07/07	01/07/08	PRESETEC	R.B.C. - 141
027	BL. ESCALONADO	1607-07	01/07/07	01/07/08	PRESETEC	R.B.C. - 141
076	BL. ESCALONADO	1617-07	01/07/07	01/07/08	PRESETEC	R.B.C. - 141
078	BL. ESCALONADO	1609-07	01/07/07	01/07/08	PRESETEC	R.B.C. - 141

OBSERVAÇÃO : OS RELATÓRIOS DE CALIBRAÇÕES DOS BLOCOS PADRÕES , ESTÃO ARQUIVADOS NA
ECOTEC

CONDIÇÕES AMBIENTAIS :

TEMPERATURA	U.R.A. %	OBSERVAÇÃO
23 °C - +/- 1 °C	60+/- 10 %	

PROCEDIMENTO N.º : **E-US-71/06-01**

ECOTEC ELETRÔNICA LTDA

Página 172

Rua Elias Farah, 59
CNPJ 65 940 306/0001-73

FONE (12) 3642-5390 - FAX (12) 3648-6172
CONSERVO E CALIBRAÇÃO ELETRÔNICA
EQUIPAMENTOS E.N.D. E LABORATÓRIOS

CEP 12412-270 - Pindamonhangaba - SP
INSCR. ESTADUAL 528 037 622 110



Assistência Técnica, Manutenção Geral em Equipamentos Eletrônicos
Industriais para: Controle de Qualidade
Ensaio não Destrutivos
Laboratórios, etc.

CONTINUAÇÃO DO RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO N.º

5358-08

ESCALA : LIMITE 200 MILÍMETROS

LEITURA PADRÃO NOMINAL MM	LEITURA PADRÃO BLOCO AÇO MM	LEITURA NO APARELHO C/ TRANSDUTOR MM	DESVIO ENCONTRADO MM	MAIOR VALOR DE INCERTEZA MM
2,00	1,989	2,1	0,11	0,010
3,00	3,001	3,0	0,01	0,010
4,50	4,489	4,5	0,01	0,010
5,00	4,984	5,0	0,02	0,010
7,00	6,995	7,1	0,09	0,010
10,00	9,998	10,0	0,00	0,010
15,00	15,014	15,1	0,09	0,010
18,00	17,968	18,0	0,00	0,010
20,00	19,905	20,0	0,09	0,010
25,00	25,000	25,0	0,00	0,010
32,00	31,980	32,0	0,02	0,010
50,00	50,004	50,0	0,02	0,010
80,00	80,000	80,0	0,00	0,050
100,00	100,010	100,0	-0,01	0,050

OBSERVAÇÕES :

- 1 - OS VALORES EXPRESSOS, SÃO MÉDIAS DE TRÊS LEITURAS .
- 2 - OS RESULTADOS APRESENTADOS, NO PRESENTE DOCUMENTO TEM SIGNIFICAÇÃO RES-TRITA E SE APLICAM À AMOSTRA ENSAIADA.
- 3 - A INCERTEZA DE MEDIÇÃO DECLARADA É BASEADA EM UMA INCERTEZA PADRONIZADA , COMBINADA , MULTIPLICADA POR UM FATOR DE ABRANGÊNCIA K=2 FORNECENDO UM NÍVEL DE CONFIANÇA DE APROXIMADAMENTE 95 %.

OBS: LEITURAS EFETUADAS COM VELOCIDADE PARA AÇO.

LOCAL E DATA

PINDAMONHANGABA, 13 DE MARÇO DE 2008

RESPONSÁVEL TÉCNICO



JOSÉ CARLOS RODRIGUES
CREA 115/090

ECOTEC ELETRÔNICA LTDA

Página 2/2

Rua Elias Farah, 59
CNPJ 65 940 306/0001-73

FONE (12) 3642-5390 - FAX (12) 3648-6172
CONSERTO E CALIBRAÇÃO ELETRÔNICA
EQUIPAMENTOS E.N.D. E LABORATÓRIOS

CEP 12412-270 - Pindamonhangaba - SP
INSCR. ESTADUAL 528 037 622 110

ANEXO E - Exemplo de certificado de treinamento

abende

**CERTIFICADO
DE
TREINAMENTO**

Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos

Nº 1260



Certificamos que o(a) Sr.(a) JOÃO ANTONIO MONTE
portador(a) dos documentos descritos no verso, participou do Curso
"ULTRA-SOM NÍVEL 2 - ASNT"
segundo os requisitos DA NORMA SNT-TC-1A DA AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING
realizado em SAO LUIZ, Estado de MARANHÃO, no período de
18 SETEMBRO a 29 SETEMBRO 1995, com duração de 80 h, com 100 % de frequência e
obtendo o aproveitamento final de 80,00 %.

São Paulo, 02 de OUTUBRO de 1995

JOÃO ANTONIO MONTE
Diretor Executivo