

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA BACHARELADO**

**LUAN COELHO ROCHA**

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO COMO  
ALTERNATIVA PARA OTIMIZAÇÃO, MANUTENÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DE  
INFRAESTRUTURAS NAVAIS NO CONVÉS DAS EMBARCAÇÕES DA  
INTERNACIONAL MARÍTIMA**

**SÃO LUÍS - MA**

**2016**

**LUAN COELHO ROCHA**

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO COMO ALTERNATIVA PARA OTIMIZAÇÃO, MANUTENÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DE INFRAESTRUTURAS NAVAIS NO CONVÉS DAS EMBARCAÇÕES DA INTERNACIONAL MARÍTIMA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Universidade Estadual do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador Me. Wellinton de Assunção

**SÃO LUÍS - MA**

**2016**

**LUAN COELHO ROCHA**

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO COMO ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DOS CUSTOS GERADOS PELA TROCA, MANUTENÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DE INFRA-ESTRUTURAS NAVAIS NO CONVÉS DAS EMBARCAÇÕES DA INTERNACIONAL MARÍTIMA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Universidade Estadual do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Monografia defendida e aprovada, em 06 de dezembro de 2016, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:

---

Prof. Me. Wellinton de Assunção  
Orientador e Membro da Banca Examinadora  
Universidade Estadual do Maranhão

---

Prof. Me. Francismar Rodrigues de Sousa  
Membro da Banca Examinadora  
Universidade Estadual do Maranhão

---

Prof. Dr. Adilto Pereira Andrade Cunha  
Membro da Banca Examinadora  
Universidade Estadual do Maranhão

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, que me deu condições de ter chegado até aqui, a minha mãe que incondicionalmente esteve ao meu lado em todos os momentos difíceis, a minha família e amigos por todo apoio dado.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo amor incondicional; Sua infinita fidelidade, misericórdia e bondade e pela persistência, com a qual me presenteou; a minha mãe Maria Regina (meu braço direito e esquerdo) – à qual amo e agradeço a Deus todos os dias por ter me dado o privilégio de ser seu filho – por ter me dado tudo: a vida, muito amor, educação, apoio moral, psicológico, incentivo nas horas de desestímulo me dando força para não desistir, e sempre ter tido fé que poderia conquistar o que desejasse sempre buscando meus sonhos de forma honesta ainda que seja com muito trabalho, mas sem nunca passar por cima de nenhum semelhante; ao meu pai João Rocha que sempre esteve ao meu lado; ao meu padrasto José Wilson pelo apoio dado; aos meus tios José Manuel C. Saraiva e Sônia N.R. Saraiva por ter me dado a chance de iniciar este sonho a 8 anos atrás e por todo amor, carinho, ensinamentos, apoio, conselhos, dados ao longo destes anos; a família pinheiro em especial a Olendina Pinheiro que me estendeu a mão em um momento crucial desta batalha e a quem devo muito de tudo que um dia poderei conquistar, por quem tenho imenso carinho e admiração pela sua garra, bondade e força de vontade de ajudar as pessoas; a minha prima Silvia Pinheiro por todo o apoio incondicional nos momentos difíceis ;a minha prima Therezinha Rocha por todo o apoio e ombro amigo; ao meu padrinho Abimael Ferreira e sua esposa Tatiana Ferreira por todo apoio que me foi dado;

Agradeço ao professor Msc. Wellinton de Assunção pela atenção e ajuda no desenvolvimento acadêmico.

Não poderia esquecer dos meus amigos Fábio Sousa, Maxuel Vieira, Pedro Moraes, pela atenção e pela força dada através do companheirismo, sempre que precisei.

A todos os meus colegas do curso de Engenharia Mecânica, pelos anos de convivência e companheirismo. Enfim, agradeço a todos que de alguma forma me apoiaram e torceram pelo meu sucesso.

“Muitas das coisas mais importantes do mundo foram conseguidas por pessoas que continuaram tentando quando parecia não haver mais nenhuma esperança de sucesso”.

Dale Carnegie

## RESUMO

Tratando-se de uma embarcação que navega em águas salinas e o material de sua construção é composto por aço naval e que sofre desgaste constantemente devido as intempéries do meio, é exigido, a cada vistoria de renovação, pela Capitania dos Portos do estado em que a embarcação foi registrada um relatório de medição de espessura de chapa por ultrassom (MECU), para certificar que a espessura média de cada chapa esteja igual ou superior a 80% da espessura original (NORMAN-01PC). Este procedimento visa garantir a segurança, a navegabilidade dos tripulantes a bordo da embarcação, evitando um possível acidente ambiental se, porventura, a embarcação vier a naufragar em virtude de uma rachadura em uma chapa com espessura fora dos padrões exigidos.

**Palavras-Chave:** Ultrassom, Espessura, Ferry Boat, Embarcação

## **ABSTRACT**

In the case of a vessel that sails in salt water and the material of its construction is composed of naval steel and that is constantly undermined due to the intemperies of the environment, it is required, at each renewal survey, by the Captaincy of the Ports of the state in which The vessel has recorded an ultrasonic plate thickness measurement report (MECU) to ensure that the average thickness of each plate is equal to or greater than 80% of the original thickness (NORMAN-01PC). This procedure is intended to guarantee the safety and the navigability of the crew on board the vessel, avoiding a possible environmental accident if the vessel may collapse due to a crack in a plate with thickness outside the required standards.

Keywords: Ultrasound, Thickness, Ferry Boat, Vessel

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Princípio Básico da Inspeção de Materiais por ultrassom.....	17
Figura 2	Onda longitudinal. Modo de propagação .....	20
Figura 3	Onda transversal. Modo de propagação .....	22
Figura 4	Diagrama de propagação das ondas do metal na interface metal/ar.....	23
Figura 5	As duas formas das ondas de Lamb, simétrica (a) e assimétricas (b).....	24
Figura 6	Efeito Piezelétrico .....	25
Figura 7	(a) Método Pulso-Eco e (b) Sinal A-scan na tela do aparelho.....	26
Figura 8	Inspeção realizada com a técnica pulso-eco .....	27
Figura 9	Desenhos 2D .....	29
Figura 10	Projeto em 3D feito no Inventor 2015.....	30
Figura 11	Base Elevatória.....	31
Figura 12	Macaco Hidráulico de 200 Toneladas.....	32
Figura 13	Dimensões das bases elevatórias.....	32
Figura 14	Ferry Boat Cidade de Pinheiro: elevação por bases elevatórias.....	33
Figura 15	Troca de chapas do Convés.....	33
Figura 16	Retirada de chapas do fundo do FB Cidade de Pinheiro.....	34
Figura 17	Superfície Jateada.....	34
Figura 18	Aplicação de Intertuf 262 após jateamento à direita.....	35
Figura 19	Aparelho de Ultrassom utilizado nos testes .....	36
Figura 20	Ferry Boat Cidade de Pinheiro.....	36
Figura 21	Vista dos pontos aferidos nas chapas do convés da embarcação.....	39
Figura 22	Plano Longitudinal da Embarcação .....	40

Figura 23	Convés.....	41
Figura 24	Vista Superior do convés do Ferry Boat Cidade de Pinheiro.....	41
Figura 25	Corpo de prova para realização dos ensaios.....	42
Figura 26	Gráfico das curvas de Desgaste em relação ao ponto crítico.....	43
Figura 27	Estruturas de um porão do Ferry Boat apresentando deformações.....	44
Figura 28	Estruturas de um porão do Ferry Boat – deformações eixo Y.....	44
Figura 29	Simulação de chapa nova no eixo X.....	45
Figura 30	Simulação de chapa nova no eixo Y.....	45
Figura 31	Simulação de chapa nova no eixo Z.....	46
Figura 32	Simulação de chapa nova no eixo com sua respectiva deformação.....	46
Figura 33	Simulação da chapa velha no eixo X.....	47
Figura 34	Simulação da chapa velha no eixo Y.....	47
Figura 35	Simulação da chapa velha no eixo Z.....	48
Figura 36	Simulação de chapa velha no eixo com sua respectiva deformação .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Velocidades de propagação das ondas longitudinais.....	21
Tabela 2	Velocidades de propagação das ondas transversais.....	22
Tabela 3	Características Principais do Ferry Boat Cidade de Pinheiro.....	36
Tabela 4	Composição do Aço ASTM A 131.....	37
Tabela 5	Características de materiais e suas respectivas velocidades Ultrassom...	37
Tabela 6	Planejamento fatorial inicial.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MECU	Medição de Espessura de Chapas por Ultrassom
NORMAM	Normas da Autoridade Marítima
CAD	Desenho com auxílio de Computador
FB	Ferry Boat
CAE	Engenharia auxiliada por computador

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\gamma$

Raio Gama

$\lambda$

Comprimento de Onda

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>16</b>
<b>3. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 ENSAIO DE ULTRASSOM .....</b>	<b>17</b>
3.1.1 Ensaio por Ultrassom .....	18
3.1.2 Tipos de Ondas .....	20
<b>3.2 EFEITO PIEZOELÉTRICO.....</b>	<b>24</b>
3.2.1 Técnica de Inspeção – Pulso - Eco .....	26
<b>3.3 PROJETOS MECÂNICOS AUXILIADOS POR COMPUTADOR .....</b>	<b>28</b>
3.3.1 Desenhos por auxílio do computador (CAD) .....	28
3.3.2 Engenharia auxiliada por computador (CAE) .....	28
3.3.3 Sistema 2d e 3d .....	29
3.3.4 Software Autodesk .....	30
<b>4. A EMBARCAÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
<b>5.1 PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS .....</b>	<b>38</b>
5.1.1 Pré-testes .....	41
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A – PONTOS AFERIDOS E ESPESSURAS .....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Ensaaios não-destrutivos podem evitar a maioria das desvantagens dos métodos destrutivos, especialmente o ensaio por ultrassom tem recebido maior atenção nos últimos anos. O ultrassom é uma forma de energia que se caracteriza por vibrações mecânicas que se propagam num meio material. As frequências dessas ondas ultrassônicas são maiores que 20 kHz, o que as tornam inaudíveis ao ser humano. O ensaio por ultrassom é um método não destrutivo no qual feixes de ondas sonoras de alta frequência são introduzidos nos materiais para a detecção de falhas na superfície ou abaixo da superfície do material. As ondas de som viajam através do material com alguma perda de energia (atenuação) e são refletidas nas interfaces. O feixe refletido é exibido e depois analisado para definir a presença e localização de falhas ou descontinuidades. A inspeção por ultrassom é entre os ensaios não-destrutivos, um dos métodos mais amplamente utilizados. A aplicação primária na inspeção de metais é a detecção e caracterização de falhas internas, descontinuidades na superfície, medida de espessura e extensão de corrosão.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Descrever o processo de utilização e importância do teste de ultrassom em chapas de aço naval do ferryboat Cidade de Pinheiro.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar levantamento bibliográfico sobre o processo de ultrassom em embarcações navais;
- Utilizar o software INVENTOR no auxílio de simulações de carga em chapas estáticas para comparar desgastes sobre efeitos de cargas.
- Provar através de estudo a real necessidade da troca de chapas do convés do Ferry Boat Cidade de Pinheiro.

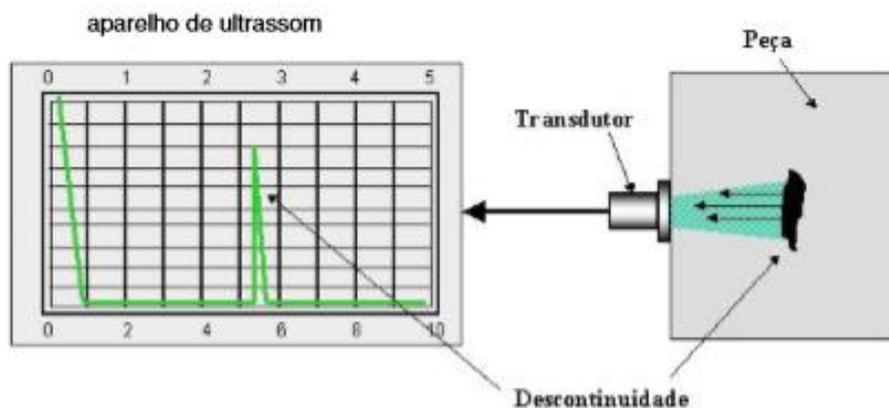
### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 ENSAIO DE ULTRASSOM

Sons extremamente graves ou agudos, podem passar despercebidos pelo aparelho auditivo humano, não por deficiência deste, mas por caracterizarem vibrações com frequências muito baixas, até 20Hz (infrassom) ou com frequências muito altas acima de 20 kHz (ultrassom), ambas inaudíveis (ANDREUCCI, 2001, pag 4).

Os sons produzidos em um ambiente qualquer, refletem-se ou reverberam nas paredes que consistem o mesmo, podendo ainda ser transmitidos a outros ambientes. Fenômenos como este apesar de simples e serem frequentes em nossa vida cotidiana, constituem os fundamentos do ensaio ultrassônico de materiais. No passado, testes de eixos ferroviários, ou mesmos sinos, eram executados através de testes com martelo, em que o som produzido pela peça, denunciava a presença de rachaduras ou trincas grosseiras pelo som característico. Assim como uma onda sonora, reflete ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica ao percorrer um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica ao percorrer um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna a este meio considerado. Através de aparelhos especiais, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades (ANDREUCCI, 2001, pag 4).

Figura 1 - Princípio Básico da Inspeção de Materiais por ultrassom



Fonte: Ricardo Andreucci, 2001

O grau de reflexão depende bastante do estado físico do material que forma a interface, e em menor grau das propriedades físicas específicas do material. Por exemplo, ondas sonoras são quase que completamente refletidas em interfaces metal/sólido, com percentual específico de energia refletida dependendo principalmente de razões de certas propriedades do material em lados opostos da interface (ASM Handbook, 1989).

A manutenção preditiva de máquinas e equipamentos vem encontrando aceitação crescente na indústria. Manutenção preditiva consiste em monitorar parâmetros que caracterizam a condição de estruturas ou máquinas de forma a poder detectar, prever a época provável de ocorrência, e se possível, diagnosticar o tipo de falha para que se possa planejar a operação de manutenção na ocasião e de forma conveniente (D'ORAZIO, T.; LEO, 2006).

A inspeção por ultrassom é entre os ensaios não-destrutivos, um dos métodos mais amplamente utilizados. A aplicação primária na inspeção de metais é a detecção e caracterização de falhas internas, é utilizada também para detectar descontinuidades na superfície, para medida de espessura e extensão da corrosão, e (com muito menos frequência) para determinar propriedades físicas, estrutura, tamanho de grão e constantes elásticas (TEBALDE, A. 2004).

A causa básica da corrosão é conhecida. Os metais apresentam uma condição termodinâmica instável e tendem a mudar para uma condição estável pela formação de óxidos, hidróxidos, sais, etc (GENTIL, Vicente.2007). Desta forma, a corrosão é um acontecimento natural e indesejável. Para evitar, ou ainda melhor, minimizar essa tendência termodinâmica dos metais, dispõe-se de vários métodos.

### 3.1.1 Ensaio por Ultrassom

O ensaio por ultrassom é um método não destrutivo que tem como objetivo principal a detecção de defeitos ou descontinuidades internas ou superficiais, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais, sejam ferrosos ou não ferrosos.

A inspeção por ultrassom é um eficiente instrumento para avaliação do módulo de elasticidade, resistência, rigidez e outros parâmetros que são vitais para análise e dimensionamento de estruturas (NESVIJSKI, E. G. 2000). Portanto, o exame

ultrassônico, tal como todo ensaio não destrutivo, visa reduzir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças de responsabilidades.

Assim como todo ensaio não-destrutivo, o ensaio ultrassônico possui vantagens e limitações nas aplicações, como segue (ASM Handbook, 1989):

Vantagens em relação a outros ensaios:

- ✓ Alta sensibilidade, permitindo a detecção de falhas extremamente pequenas.

- ✓ Maior precisão que outros métodos não destrutivos na determinação da posição de falhas internas, estimar seu tamanho, e caracterizar a sua orientação, forma e natureza.

- ✓ Apenas uma superfície precisa ser acessível.

- ✓ A operação é eletrônica, que fornece resposta quase instantânea aos indícios de falhas. Isso torna o método adequado para o acompanhamento em linha de produção e controle do processo.

- ✓ Para interpretação das indicações, dispensa processos intermediários, agilizando a inspeção.

- ✓ Não oferece perigo para operações ou para pessoal próximo e não tem efeito sobre equipamentos e materiais na vizinhança. É uma técnica mais segura e simples que técnicas com raios  $\gamma$  ou raios X.

Limitações em relação a outros ensaios:

- ✓ A operação manual exige muita atenção por técnicos experientes.

- ✓ Extenso conhecimento técnico é necessário para o desenvolvimento de procedimentos de inspeção.

- ✓ Peças que são de forma rugosa e irregular, muito pequena ou finas, ou não homogêneas são difíceis de inspecionar.

- ✓ Acoplantes são necessários para proporcionar efetiva transferência de energia das ondas ultrassônicas entre transdutores e peças que estão sendo inspecionadas.

- ✓ Padrões de referência são necessários, tanto para calibrar o

equipamento e para a caracterização de falhas.

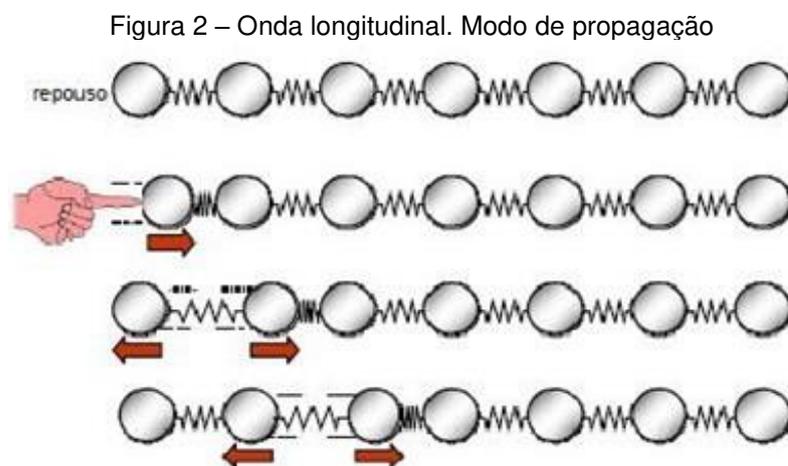
A inspeção ultrassônica é usada para controle de qualidade e inspeção de materiais em todas as grandes indústrias, incluindo a naval. Isso inclui elétrica e fabricação de componentes eletrônicos, produção de materiais metálicos e compósitos, e fabricação de estruturas como fuselagens, tubulação e vasos de pressão, navios, pontes, veículos, máquinas e motores. Em serviço a inspeção ultrassônica para a manutenção preventiva é usada para detectar o colapso iminente do material, máquinas de terraplenagem, rolos do moinho, equipamentos de mineração, sistemas nucleares, chapas de embarcações navais e outras máquinas e componentes.

### 3.1.2 Tipos de Ondas

Com base no modo de deslocamento da partícula, ondas ultrassônicas são classificadas como ondas longitudinais, ondas transversais, ondas de superfície e ondas de Lamb. Estes quatro tipos serão descritos a seguir.

#### ✓ Ondas Longitudinais

Algumas vezes chamadas de ondas de compressão, é o tipo de onda ultrassônica mais amplamente usada na inspeção de materiais. São ondas cujas partículas oscilam na direção de propagação da onda, podendo ser transmitidas a sólidos, líquidos e gases. Na figura 2 temos a representação de uma onda longitudinal.



Fonte: D'ORAZIO, T., LEO, 2006.

Na figura 2 nota-se que o primeiro plano de partículas vibra e transfere sua energia cinética para os próximos planos de partículas que passam a oscilar. Desta maneira, todo o meio elástico vibra na mesma direção de propagação da onda (longitudinal) e aparecem “zonas de compressão” e “zonas diluídas”. As distâncias entre duas zonas de compressão determinam o comprimento de onda ( $\lambda$ ) (ANDREUCCI, 2001. Pag 7)

Em decorrência do processo de propagação, este tipo de onda possui uma alta velocidade de propagação, característica do meio (ANDREUCCI, 2001. Pag 8). Na tabela 1 são dadas velocidades para alguns materiais.

Tabela 1 - Velocidades de propagação das ondas longitudinais

Material	Velocidade m/s
Ar	330
Alumínio	6300
Cobre	4700
Ouro	3200
Aço	5900
Aço inoxidável	5800
Nylon	2600
Óleo(SAE30)	1700
Água	1480
Prata	3600
Titânio	6100
Níquel	5600
Tungstênio	5200
Magnésio	5.800
Acrílico	2.700
Aço Inoxidável	5.800
Aço Fundido	4.800

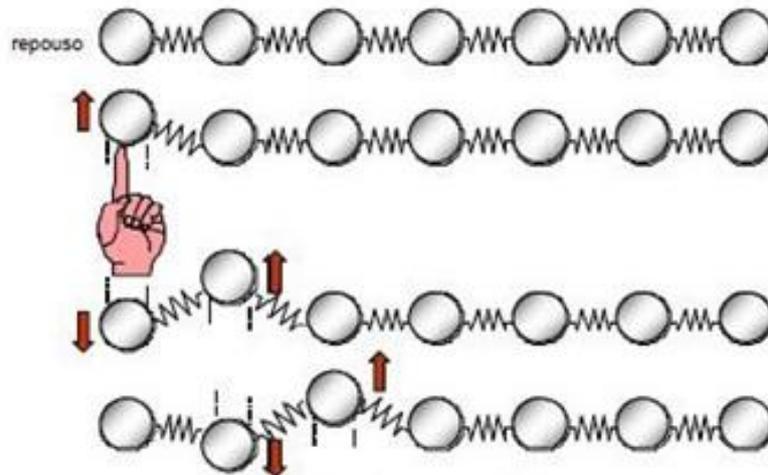
Fonte: ANDREUCCI, Ricardo. 2001

#### ✓ Ondas Transversais

Algumas vezes chamada de ondas de cisalhamento, também são consideravelmente usadas na inspeção ultrassônica de materiais.

Uma onda transversal é definida, quando as partículas do meio vibram na direção perpendicular ao de propagação (figura 3). Neste caso, observamos que os planos de partículas mantêm-se na mesma distância um do outro, movendo-se apenas verticalmente. (ANDREUCCI, 2001. Pag 8)

Figura 3 – Onda transversal. Modo de propagação



Fonte: D'ORAZIO, T., LEO, 2006

As partículas oscilam na direção transversal à direção de propagação, podendo ser transmitidas somente a sólidos. As ondas transversais são praticamente incapazes de se propagarem nos líquidos e gases, pela característica das ligações entre partículas destes meios. O comprimento de onda é a distância entre dois “vales” ou dois “picos” (ANDREUCCI, 2001. Pag 9). Na tabela 2 segue as velocidades de propagação das ondas transversais nos principais materiais.

Tabela 2 - Velocidades de propagação das ondas transversais

Material	Velocidade m/s
Ar	-
Alumínio	3100
Cobre	2300
Acrílico	1100
Alumínio	3100
Ouro	1200
Aço	3200
Aço Inoxidável	3100
Aço Fundido	2400
Nylon	1100
Óleo(SAE30)	-
Água	-
Prata	1600
Titânio	3100
Níquel	3000
Magnésio	3000

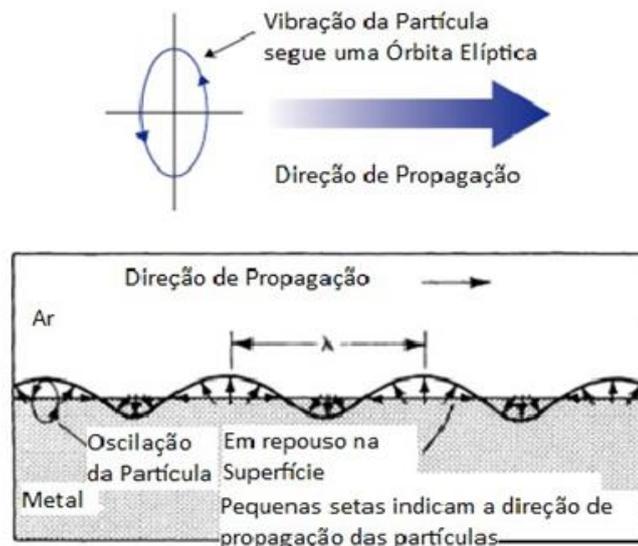
Fonte: ANDREUCCI, Ricardo. 2001

### ✓ Ondas Superficiais

É outro tipo de onda ultra-sônica utilizada na inspeção de materiais, também conhecidas como ondas de Rayleigh. As ondas de superfície estão sujeitas a atenuação em um dado material, como estão as ondas longitudinais ou transversais. Elas têm uma velocidade aproximadamente 90% da velocidade da onda transversal no mesmo material (ASM Handbook,1989).

A propagação deste tipo de onda, ocorre ao longo de uma superfície limitada de um lado pelas fortes forças elásticas de um sólido e de outro lado pelas forças elásticas praticamente desprezíveis entre as moléculas de um gás. (ASM Handbook,1989)

Figura 4 – Diagrama de propagação das ondas de superfície (Rayleigh na superfície do metal na interface metal/ar. O comprimento de onda  $\lambda$  é à distância correspondendo a um ciclo completo.



Fonte: (ASM Handbook,1989)

### ✓ Ondas de Lamb

São conhecidas também como ondas de placa, é outro tipo de onda ultrassônica que é utilizada na inspeção não destrutiva de materiais. Ondas de Lamb se propagam em chapas (feitas de compósitos ou metais) com apenas alguns comprimentos de onda de espessura. Uma onda de Lamb consiste de uma vibração complexa que ocorre em toda a espessura do material. As características de propagação das ondas de Lamb dependem da densidade, propriedades elásticas e estrutura do material, bem como da espessura da peça de teste e da frequência. (ASM

Handbook,1989)

As ondas de Lamb podem ser geradas a partir das ondas longitudinais incidindo segundo um ângulo de inclinação em relação à chapa.

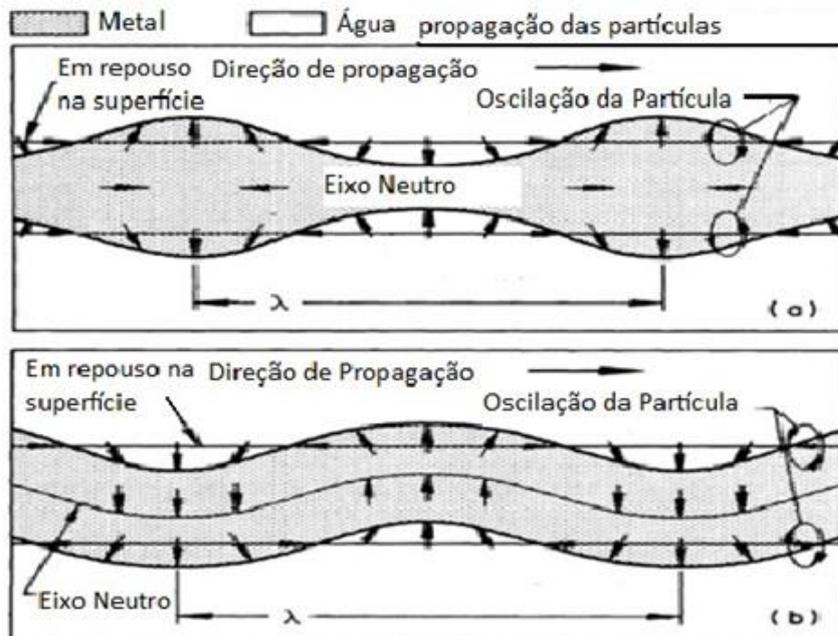
Existem duas formas básicas de ondas de Lamb:

- ✓ Simétrica, ou de dilatação
- ✓ Assimétrica, ou flexão

A forma é determinada pelo fato do movimento da partícula ser simétrico ou assimétrico, com relação ao eixo neutro da peça de teste.

Em ondas de Lamb simétricas (de dilatação), existe um deslocamento de compressão da partícula ao longo do eixo neutro da placa e um deslocamento elíptico da partícula em cada superfície (figura 5a). Em ondas de Lamb assimétricas (flexão), existe um deslocamento de cisalhamento da partícula (transversal) ao longo do eixo neutro da placa e um deslocamento elíptico da partícula em cada superfície (figura 5b). A razão entre o maior e o menor eixo da elipse é função do material no qual a onda está sendo propagada. (ASM Handbook,1989)

Figura 5 - As duas formas das ondas de Lamb, simétrica (a) e assimétricas (b)



Fonte: ASM Handbook,1989

### 3.2 EFEITO PIEZOELÉTRICO

Em 1880 os irmãos Curie descobriram o efeito piezoeétrico em cristais, e um ano mais tarde Lipmann previu que o efeito inverso, mudanças dimensionais em

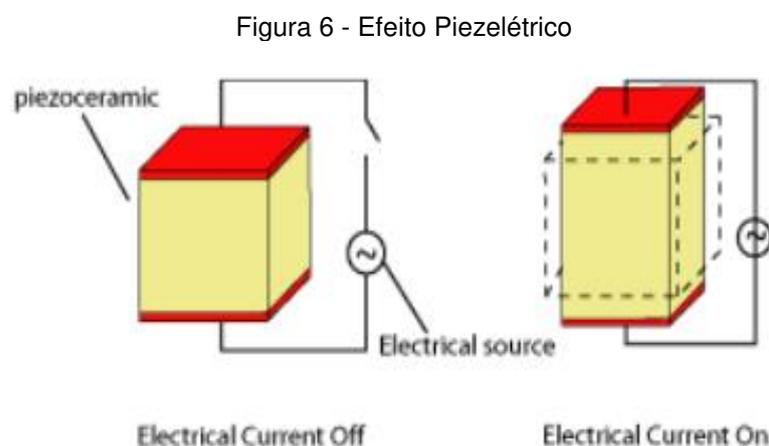
consequência de um campo elétrico aplicado, existia. (FORSBERGH, 1956)

Os materiais piezelétricos são denominados de "materiais inteligentes" e pertencem a uma classe de dielétricos que exibem deformação significativa em resposta a aplicação de um campo elétrico. Estes materiais, também, produzem uma polarização dielétrica, ou seja, um campo elétrico em resposta a deformação no material. Esta dupla propriedade exibida pelos materiais piezoelétricos torna extremamente vantajosa a aplicação destes materiais para sistemas de controle e para localização e caracterização de falhas estruturais (TEBALDI, A., COELHO, L. S., JUNIOR, V. L. 2006).

A maneira mais usual de geração das ondas ultrassônicas é através do efeito piezelétrico, que é baseado no fato de que certos cristais geram correntes elétricas quando deformados mecanicamente. Inversamente, ocorre a deformação do cristal quando uma diferença de potencial elétrico é aplicada entre duas faces opostas do cristal. Uma corrente elétrica alternada gera vibrações mecânicas no cristal na frequência correspondente a frequência de excitação. Estes cristais são chamados de transdutores de energia de um tipo em outros (SANTIN, 1996).

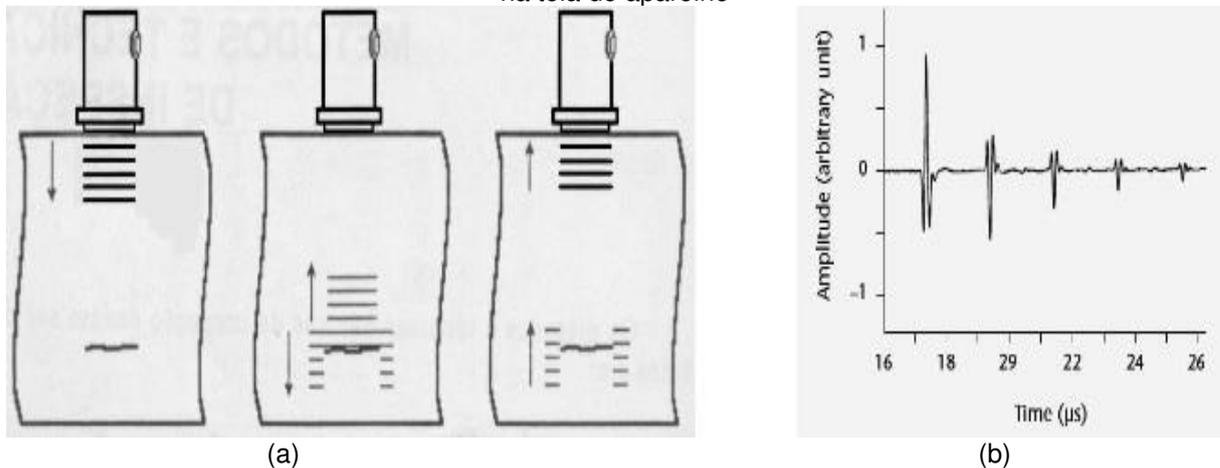
O efeito piezoelétrico representado na figura 6 é um fenômeno reversível apresentado por alguns materiais, caracterizado como a capacidade destes se expandirem ou comprimirem em resposta a aplicação de uma diferença de potencial externa ou, reciprocamente, produzirem uma polarização dielétrica em resposta a uma deformação externa ao material (SANTIM, 1996). A figura

Abaixo ilustra o efeito piezoelétrico:



Esta técnica denominada de “Pulso-Eco”, necessita de apenas um transdutor, que emite e recebe pulsos de energia sônica introduzidos no material em intervalos regulares de tempo. Quando os pulsos encontram alguma superfície refletora, toda a energia ou parte dela é refletida e retorna ao transdutor, que converte as vibrações em energia elétrica e a transforma em sinal na tela do aparelho (ANDREUCCI, 2001. Pag 33). Por empregar apenas um transdutor, esta técnica encontra maior aplicabilidade em ensaios realizados em campo, já que permite a inspeção através do acesso a apenas uma região da superfície do material. A figura 7 ilustra os princípios da técnica Pulso-Eco.

Figura 7 - (a) Esquema de funcionamento do método Pulso-Eco e (b) representação do sinal A-scan na tela do aparelho



Fonte: (a) SANTIM, J. L e (b) Non Destructive Testing Handbook.2007

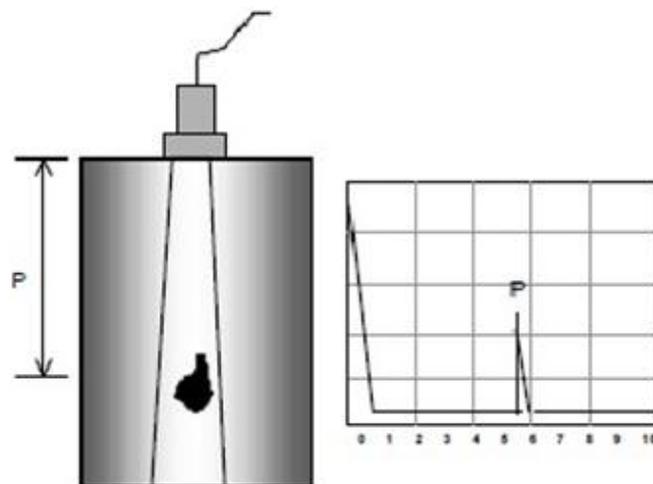
### 3.2.1. Técnica de Inspeção - Pulso-Eco

A técnica ultrassônica pulso-eco é a mais largamente utilizada devido principalmente a sua simplicidade e eficiência. Esta técnica envolve a detecção de ecos produzidos pela reflexão, do pulso ultrassônico, em uma descontinuidade presente no material ou pela interface do corpo de prova. É utilizado apenas um transdutor para emitir o pulso ultrassônico (emissor) e receber o eco refletido (receptor). Quando o pulso emitido encontra uma superfície refletora, parte ou toda a energia é refletida, retornando ao transdutor. A porcentagem de energia que é refletida é diretamente dependente do tamanho da superfície refletora em relação ao tamanho do feixe ultrassônico incidente. A direção do feixe refletido depende da orientação da

superfície refletora em relação ao feixe incidente. A energia refletida é avaliada tanto pela quantidade de energia refletida em uma determinada direção quanto pelo tempo decorrido entre a transmissão do pulso inicial e a recepção do eco (VEIGA, J. L. B. C., CARVALHO, A. A., SILVA, I. C., REBELLO, J. M. A., 2003)

Uma das vantagens desta técnica é a grande sensibilidade para detecção de pequenas discontinuidades presentes no material, além de detectar com precisão discontinuidades logo abaixo da superfície de entrada do feixe sônico. Aumentando assim, a região de detecção de falhas internas ao material (SANTI, J. L., 1996).

Figura 8 – Inspeção realizada com a técnica pulso-eco



Fonte: ANDREUCCI, 2001

A figura 8 ilustra a inspeção realizada com esta técnica. A inspeção ocorre da seguinte maneira:

- 1- O cristal piezelétrico do transdutor transmite à peça uma onda ultrassônica perpendicularmente à superfície, que percorre a espessura relativa à profundidade do defeito;
- 2- A onda incide no defeito e retorna ao cristal e produz um sinal elétrico que será amplificado e registrado na tela do aparelho na forma do pulso ou eco, identificado na figura acima como "P";
- 3- O percurso sônico é duas vezes a profundidade do defeito, a ida e a volta da onda ultrassônica. Isto sempre ocorre na inspeção por ultrassom os circuitos do aparelho compensam este fenômeno dividindo por 2 os registros na tela.

### 3.3 PROJETOS MECÂNICOS AUXILIADOS POR COMPUTADOR

A utilização de programa de computador serve como uma ferramenta de desenvolvimento de desenhos de engenharia. Sua maior contribuição ocorre no modelamento dos produtos e componentes, e no detalhamento de seus desenhos. Em alguns sistemas CAD, o termo "design" foi trocado por "drafting", tal sua aplicação como elemento puramente voltado a documentação do projeto, o que em alguns casos pode levar a subutilização do sistema. Outros sistemas que atuam na área de cálculos de engenharia são chamados de CAE (Computer Aided Engineering), onde são realizadas outras atividades do tipo análise estrutural por elementos finitos (FEM), análise de escoamento, simulações, análise de tensões (Henrique Rozenfeld, 2014).

#### 3.3.1 Desenhos por auxílio do computador (CAD)

O CAD pode ser definido como "a utilização de um sistema computacional para o auxílio na criação, modificação, análise e/ou otimização de um projeto" (GROOVER & ZIMMERS, 1984), podendo interagir junto a sistemas de automação da produção, como o CAM (Computer Aided Manufacturing), que utiliza computadores e equipamentos de controle numérico nos processos de produção.

À medida que o projeto avança, os incipientes croquis à mão livre realizados nos estágios iniciais serão suplantados por desenhos formais feito ou com o equipamento convencional da prancheta com aplicativos de projeto auxiliado por computador ou de desenho auxiliado por computador (Norton, 2013).

#### 3.3.2 Engenharia auxiliada por computador (CAE)

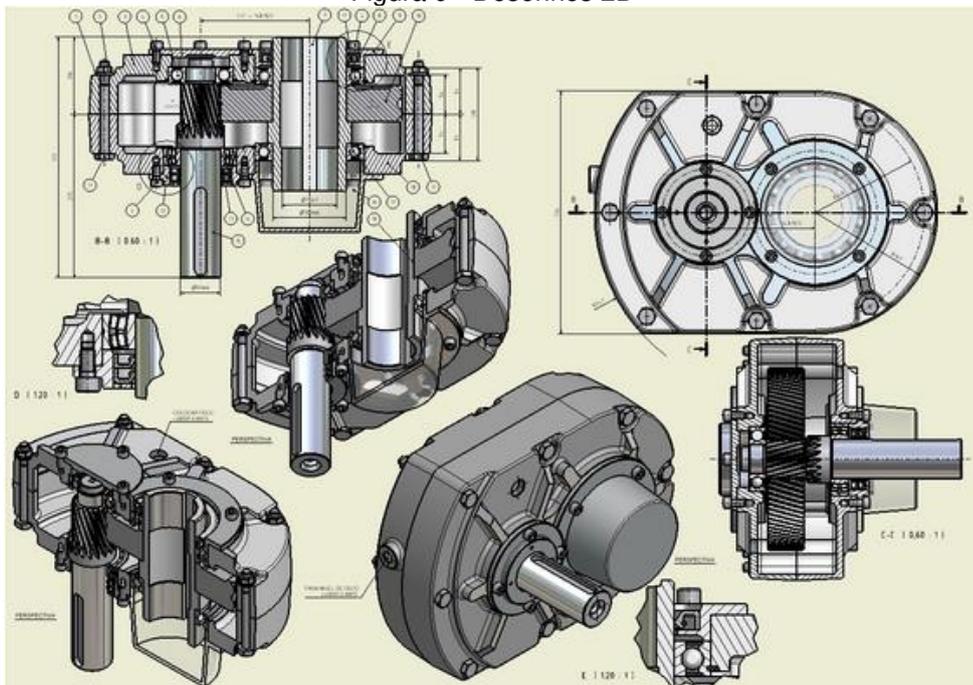
Segundo Render (1998), CAE significa Computer Aided Engineering, ou seja, Engenharia Auxiliada por Computador. A ferramenta CAE é uma grande aliada para os engenheiros, arquitetos, projetistas e designers, pois ela possibilita a simulação em condições reais do produto. Essas simulações podem ser: estáticas, dinâmicas, acústicas, térmicas, de fluídos e de impactos. O CAE possui diversas vantagens em sua utilização, como: redução de custos, aumento da produtividade,

maior eficiência e desempenho do projeto, eliminação de protótipos físicos, entre outras.

### 3.3.3 Sistemas 2d e 3d

Nos desenhos 2D os projetos precisam ser interpretados e quanto mais complexos, mais difícil é a sua compreensão. Modelos 3D representam a geometria real das peças e dos conjuntos de um projeto. A margem de erros de interpretação é muito menor com o 3D. Desenhos de grandes conjuntos são difíceis de gerenciar e de compreender com o CAD 2D além de ser difícil e trabalhoso a criação dos mesmos. Um software de modelamento 3D pode criar e gerenciar grades conjuntos de facilmente e com maior precisão. O conjunto evolui conforme o andamento do projeto. Na verificação de problemas de montagem com CAD 2D representado na figura 2 a verificação de erros de montagem é trabalhosa, difícil e demorada, dando margem para erros. Ciclos de verificação e correção são repetidos diversas vezes. Com o 3D, erros de montagem são detectado com facilidade pois a criação das peças e do conjunto são realizadas simultaneamente (Thomaz, 2008).

Figura 9 - Desenhos 2D

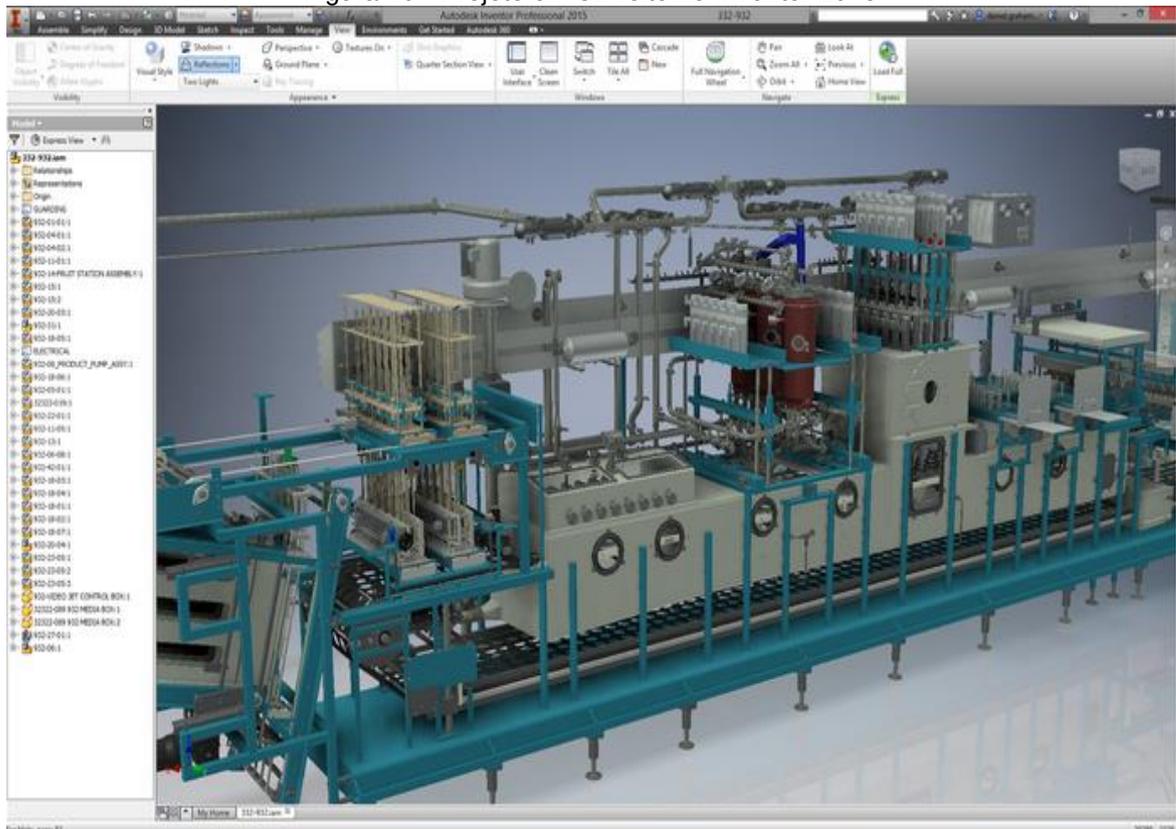


Fonte: (Marcos Venicio, 2009)

### 3.3.4 Software Autodesk Inventor

Autodesk Inventor é um programa desenvolvido pela companhia de software Autodesk que permite criar protótipos virtuais tridimensionais. Os modelos 3D gerados pelo Autodesk Inventor, também são funcionais, ou seja, eles funcionam como no mundo real. Caso o modelo for um motor, por exemplo, pode ser animado de modo que suas peças se desloquem e girem, como no motor real. O Autodesk Inventor também contempla a parte de engenharia, não apenas modelando as peças, como também permitindo que o seu comportamento mecânico seja avaliado, ultrapassando assim, o escopo de ferramentas CAD (Fábio Siqueira, 2005).

Figura 10 - Projeto em 3D feito no Inventor 2015



Fonte: Rodrigues, 2013

A versão 11 do produto, vem com um módulo de simulação dinâmica, onde o mecanismo é colocado sob os efeitos da aceleração da gravidade e de todas as outras forças presentes no sistema, permitindo-se observar e analisar seu comportamento.

#### 4. A EMBARCAÇÃO

O ferry boat Cidade de Pinheiro tem como principal função o transporte de passageiros e veículos entre os terminais da Ponta da Espera e Cujupe. Para fazer a manutenção das chapas do convés da embarcação se fez necessária uma parada programada onde o mesmo necessitou ser elevado por macacos hidráulicos. Na figura 11 temos uma dimensão do tamanho de uma base elevatória:

Figura 11 - Base elevatória



Fonte: COELHO, Luan.2014

Na figura 12 temos o macaco hidráulico utilizado na operação de elevação do Ferry Boat Cidade de Pinheiro que possui em média 500 toneladas para troca do fundo utilizando bases elevatórias.

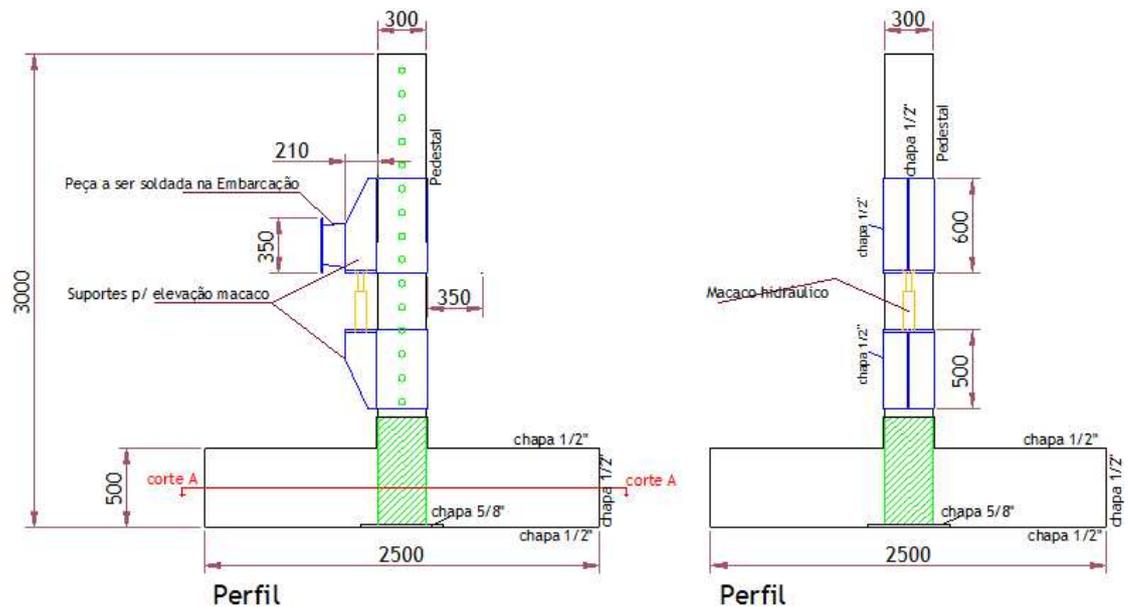
Figura 12 - Macaco Hidráulico de 200 Toneladas



Fonte: COELHO, Luan 2014

A figura 13 representa as dimensões das bases elevatórias utilizadas na elevação do Ferry Boat Cidade de Pinheiro.

Figura 13 - Dimensões das bases elevatórias



Fonte: Internacional Marítima

Na figura 14, o Ferry Boat Cidade de Pinheiro após sua elevação 8 bases elevatórias, sendo 4 de cada lado da embarcação.

Figura 14 - Ferry Boat Cidade de Pinheiro após elevação por 8 bases elevatórias



Fonte: COELHO, Luan 2014

Na figura 15 percebemos a troca de chapas do convés e estruturas dos porões do Ferry Boat Cidade de Pinheiro

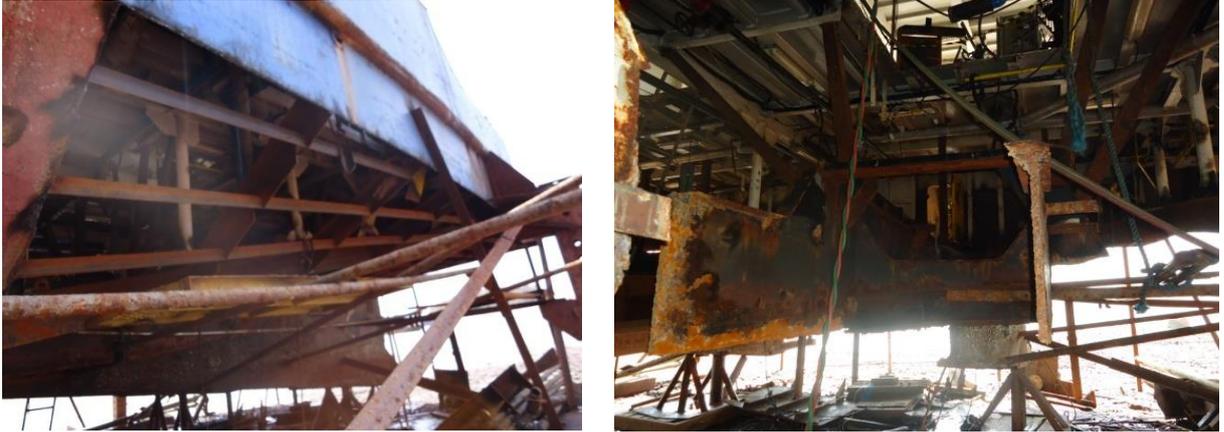
Figura 15 - Troca de chapas do convés



Fonte: COELHO, Luan 2014

Na figura 16 temos o corte de chapas velhas do fundo da embarcação onde percebemos nitidamente a ação da corrosão oriunda do contato das chapas com a água do mar sem a proteção adequada.

Figura 16 - Retirada de chapas do fundo do FB Cidade de Pinheiro



Fonte: COELHO, Luan 2014

Na figura 17, visualizamos a diferença de uma chapa com pintura antiga e a mesma após jateamento com escória de ferro.

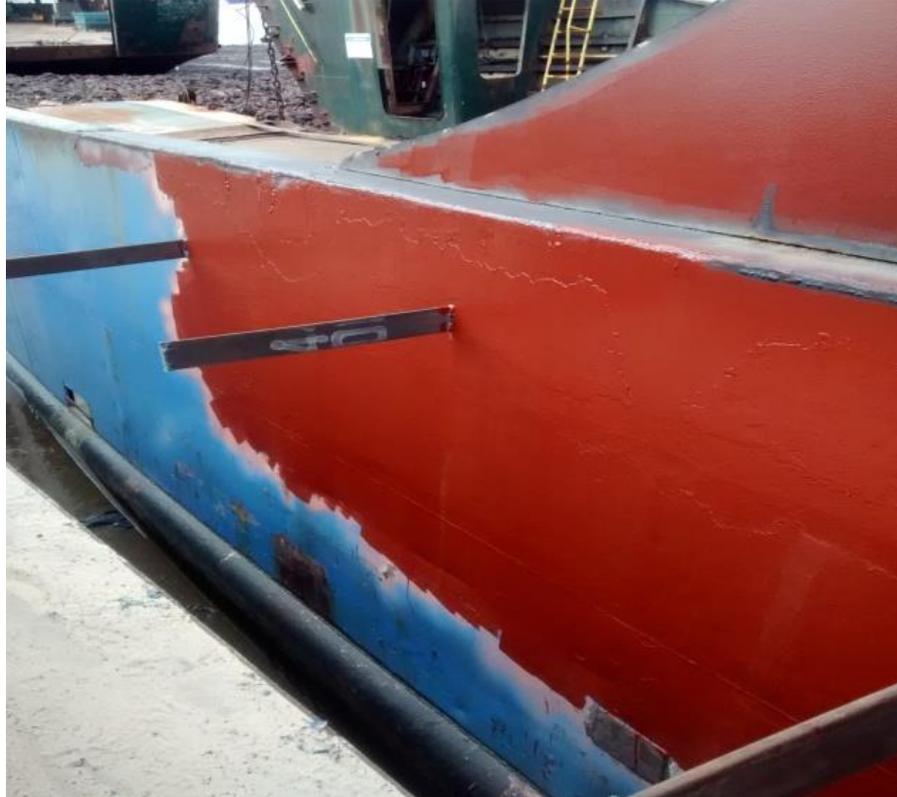
Figura 17 - Superfície jateada



Fonte: COELHO, Luan 2014

A figura 18 representa a aplicação do intertuf 262, mais conhecido por zarcão, usado para proteger a estrutura contra a corrosão.

Figura 18 - Aplicação de Intertuf 262 após jateamento à direita



Fonte: COELHO, Luan 2014

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em uma embarcação do tipo Ferry Boat da Internacional Marítima utilizando um equipamento medidor de espessura por ultrassom VA8041 representado na figura 19, com frequência da onda ultrassônica de 5MHz, faixa de medição de 1,2 mm a 225 mm(aço), exatidão (a 20°C) de  $\pm 0,1\%$  do valor medido  $\pm 0,1$  mm, resolução de 0,1 mm, tempo de resposta de 0,5 segundos, velocidade da onda ultrassônica de 1000 a 9999 m/s, fonte de alimentação 3 pilhas AAA(1,5 V), bloco de calibração em aço com espessura de 4,0 mm, com dimensões/peso 165 mm x 60 mm x 30 mm/ 210 g, conteúdo medidor de espessura, sonda ultrassom, gel para ultrassom, alça de mão, manual para utilização.

Figura 19 – Aparelho de Ultrassom utilizado nos testes



Fonte: COELHO, Luan. 2014

Na tabela 3 temos as principais características físicas do Ferry Boat Cidade de Pinheiro.

Tabela 3 - Características Principais do Ferry Boat Cidade de Pinheiro

Características Principais	
Comprimento Total	51,80 m
Comprimento entre perpendiculares	43,50 m
Boca moldada	12,80 m
Pontal moldado	2,30 m
Calado de projeto	1,50 m
Carga máxima no convés (por roda)	2,50 t

Fonte: Internacional Marítima

O Ferry Boat Cidade de Pinheiro em pleno ato de navegação representado na figura 20.

Figura 20 - Ferry Boat Cidade de Pinheiro



Fonte: Internacional Marítima

O aço naval precisa de garantia de composição química e propriedades mecânicas. Utilizados na construção naval e, portanto, precisam ter desempenho mecânico aliado a boas características de soldabilidade. A tabela 4 mostra a composição do aço ASTM A 131.

Tabela 4 - Composição do Aço ASTM A 131

ESPECIFICAÇÃO		COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) (1)						
NORMA	GRAU	C (máx.)	Mn (máx.)	Si (máx.) (4)	P (máx.)	S (máx.)	Al sol (min)	Ceq (máx)
ASTM A 131 (2007)	A	0,21 (2)	2,5 x C	0,5	0,035	0,035	-	0,40 (6)
	B	0,21	0,60	0,35	0,035	0,035	-	0,40 (6)
	D	0,21	0,6	0,1 - 0,35	0,035	0,035	-	0,40 (6)
	AH-32 (3)(6)	0,18	0,90 - 1,60(5)	0,10- 0,50	0,035	0,035	0,015	Es2 e 2<Es4 (7)
ABS, BV, CCS, DNV, GL, KRS, LRS e RINA	A	0,21	2,5 x C	0,5	0,035	0,035	0,015	0,40 (6)
	B	0,21	0,8	0,35	0,035	0,035	0,015	0,40 (6)
	D	0,21	0,6	0,35	0,035	0,035	0,015	0,40 (6)

Fonte: TENAX, 2016

Para utilizar o método de ultrassom ponto a ponto se faz necessário conhecer a velocidade ultrassom do material utilizado. Na tabela 5 está representada a velocidade ultrassom em função do material.

Tabela 5 - Características típicas de materiais e suas respectivas velocidades Ultrassom.

Nº	Material	Velocidade Ultrassom
1	Ferro/aço	5900 m/s
2	Alumínio	6320 m/s
3	Cobre	4700 m/s
4	Bronze	4430 m/s
5	Ouro	3240 m/s
6	Prata	3600 m/s
7	Zinco	4170 m/s
8	Estanho	3320 m/s
9	Vidro	5850 m/s
10	Plástico	2250 m/s

11	Telha de Vidro temperado	5580 m/s
12	Água (20° C)	1480 m/s
13	Material A	6500 m/s
14	Material B	5500 m/s
15	Material C	4500 m/s
16	Material D	3500 m/s
17	Material E	2500 m/s

Fonte: Manual de aparelho de Ultrassom VA8041

## 5.1 PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS

Para a realização dos experimentos foram definidos como parâmetros espessura de uma chapa nova de 3/8" que equivale a 9,525 mm e comparadas as aferições a essa espessura. A realização dos testes respeitou esta sequência de ações:

- a. Realização da Limpeza utilizando esmerilhadeira.
- b. Calibração do aparelho de Ultrassom: ligue o VA8041 e aplique de um pouco de pasta de engate sobre a superfície do bloco de metal embutido no painel, colocação da sonda, e pressione-a.
- c. Quando o símbolo de engate aparecer, pressione o botão "Adjust" por dois segundos. Quatro barras aparecerão no display. Continue pressionando a sonda, porém o botão "Adjust" já pode ser liberado. Você pode ver as barras desaparecendo gradualmente.
- d. Finalmente o display exibirá "4,0 mm" indicando que o VA8041 está calibrado.
- e. Limpeza da área e marcação de 5(cinco) espaços para medição da espessura na área de demarcada.
- f. Posicionamento do ultrassom sobre a chapa.
- g. Realização da leitura e registro.
- h. Repetição do teste por 2(duas) vezes caracterizando réplica e tréplica para análise posterior.

No APÊNDICE A – Pontos aferidos e Espessuras, temos todas as chapas com suas respectivas porcentagens de desgaste, permitindo visualizar as chapas que estão dentro do padrão aceitável de espessura e as chapas que necessitam de

atenção e posterior troca. Na tabela 6 está representado em amarelo as chapas que estão no limite de no máximo 20% de desgaste que equivale a uma espessura de 7,62 milímetros. Todas as chapas com espessura inferior necessitam de troca.

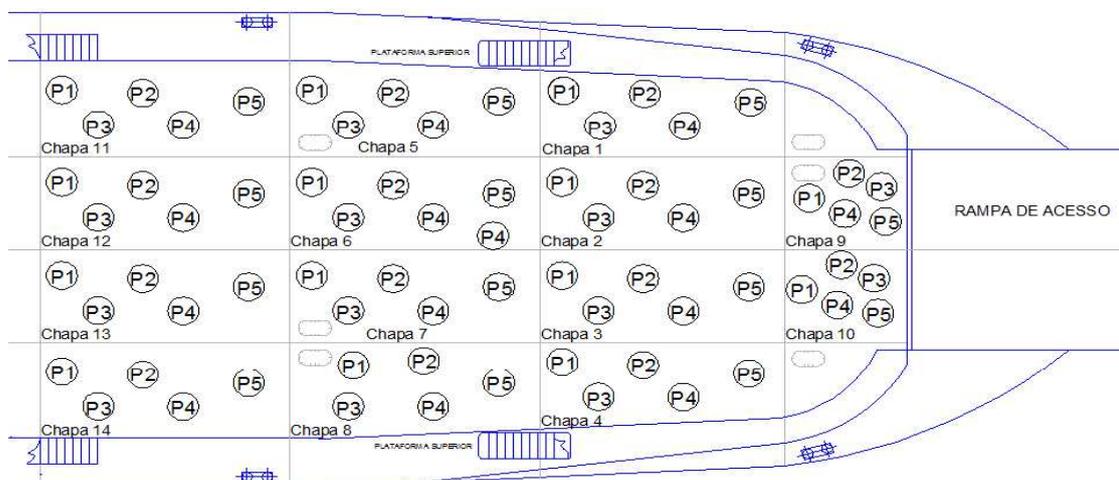
Tabela 6 - Planejamento fatorial inicial

Nº Ensaio	Parâmetros de entrada - Espessura				
	P1	P2	P3	P4	P5
CHAPA 1	7,0 mm	6,9 mm	7,0 mm	6,8 mm	7,0 mm
CHAPA 2	7,4 mm	7,8 mm	7,7 mm	7,5 mm	7,7 mm
CHAPA 3	7,3 mm	7,5 mm	7,4 mm	7,2 mm	7,1 mm
CHAPA 4	7,2 mm	7,2 mm	7,2 mm	7,1 mm	7,2 mm
CHAPA 5	8,0 mm	7,9 mm	7,9 mm	8,0 mm	7,9 mm
CHAPA 6	6,0 mm	6,2 mm	6,3 mm	6,1 mm	6,2 mm
CHAPA 7	6,6 mm	6,7 mm	6,9 mm	6,8 mm	7,0 mm
CHAPA 8	5,9 mm	5,9 mm	6,0 mm	6,0 mm	5,9 mm
CHAPA 9	6,7 mm	6,8 mm	6,9 mm	6,9 mm	6,8 mm
CHAPA 10	5,9 mm	6,0 mm	6,1 mm	6,0 mm	5,9 mm
CHAPA 11	6,0 mm	6,2 mm	6,3 mm	6,2 mm	6,0 mm
CHAPA 12	9,8 mm	9,4 mm	9,8 mm	9,5 mm	9,6 mm
CHAPA 13	8,8 mm	8,8 mm	8,8 mm	8,8 mm	8,8 mm
CHAPA 14	9,8 mm	9,5 mm	9,5 mm	9,5 mm	9,5 mm

Fonte: COELHO, Luan. 2014

Na figura 21 visualizamos todos os pontos aferidos nas chapas do convés do Ferry Boat Cidade de Pinheiro.

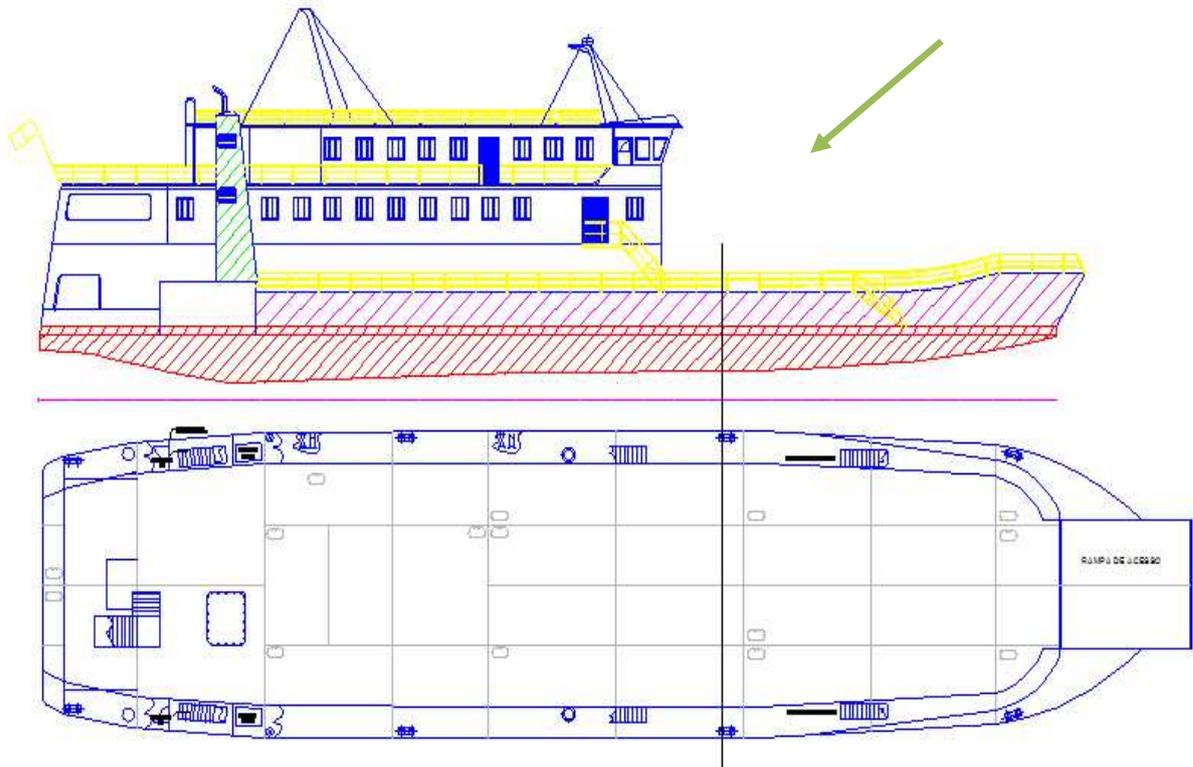
Figura 21 - Vista dos pontos aferidos nas chapas do convés da embarcação



Fonte: Internacional Marítima

A representação do plano longitudinal da embarcação na figura 22, através do auto cad é fundamental para entender a dinâmica de troca de estruturas antes mesmo da execução da obra, visto que através do mesmo dimensiona-se a quantidade de chapa a ser utilizada.

Figura 22 - Plano Longitudinal da Embarcação



Fonte: Internacional Marítima

Na figura 23 visualizamos o convés do Ferry Boat Cidade de Pinheiro antes da troca de chapas. E na figura 24 o início da reforma de troca de chapas da embarcação.

Figura 23 - Vista do convés



Fonte: COELHO, Luan. 2014

Figura 24 - Vista do convés do Ferry Boat Cidade de Pinheiro



Fonte: COELHO, Luan. 2014

### 5.1.1 Pré – Testes

1) Foram realizados pré-testes, a fim de averiguar o funcionamento do Ultra-som.

O corpo de prova de aço ASTM A 131 naval foi inicialmente lixado com uma esmerilhadeira em dimensões de 5 cm x 5 cm conforme a Figura 25.

Figura 25 - corpo de prova para realização dos ensaios.

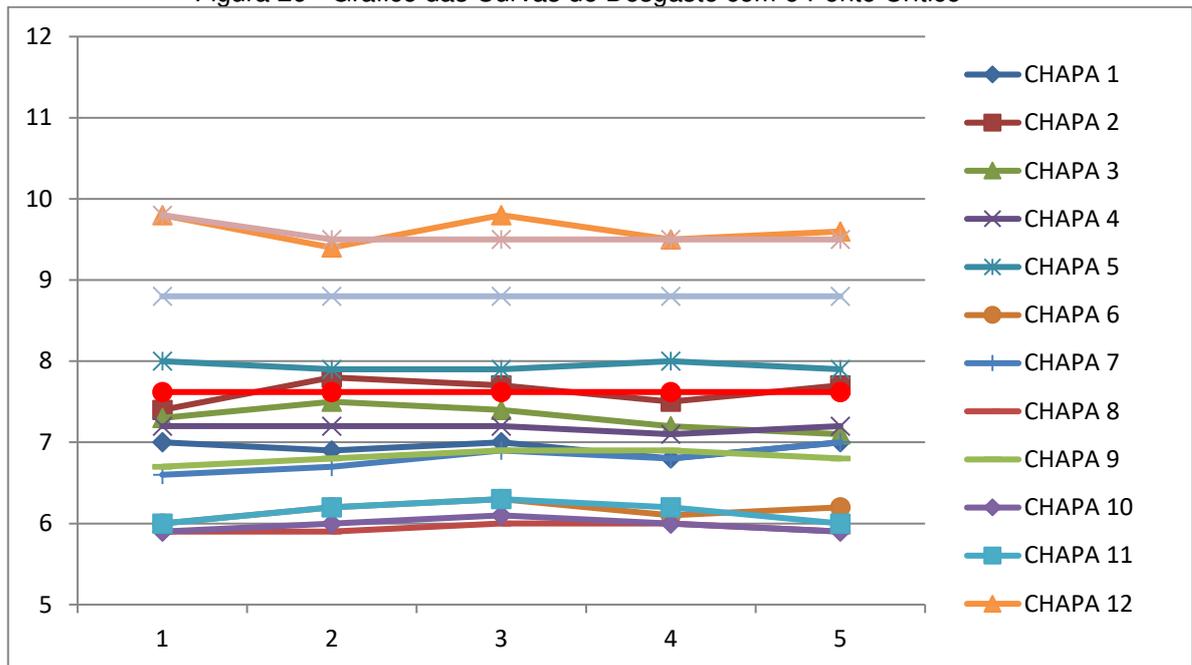


Fonte: COELHO, Luan. 2014

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O exame ultrassônico, assim como todo exame não destrutivo, visa diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças de responsabilidades. No tratamento estatístico, foi utilizado o valor base de uma chapa de 3/8" (9,525 milímetros) e baseado na NORMAM (Normas da Autoridade Marítima) onde fala que toda chapa que tem acima de 20% de desgaste deve ser trocada. Admitindo-se que 20% de desgaste equivale a 1,905 milímetros após aferir os pontos, foi analisado através de gráficos do excel o teor de desgaste de cada chapa baseando-se na média de todos os cinco pontos aferidos por chapa. Na figura 26 temos o gráfico de curvas de desgastes e o seu respectivo ponto crítico que será de 7,62 milímetros:

Figura 26 - Gráfico das Curvas de Desgaste com o Ponto Crítico



Fonte: COELHO, Luan. 2014

No APÊNDICE A – Pontos aferidos e Espessuras, encontramos todos os pontos aferidos com os seus respectivos desgastes (desgastes acima de 20% as chapas foram trocadas). Em alguns pontos foram aferidas espessuras acima da espessura original, isso porque abaixo da chapa tinha espessas camadas de carepas (corrosão acentuada) devido a umidade e salinidade dos porões causando desgaste da chapa por falta de pintura e um tratamento de jateamento adequado.

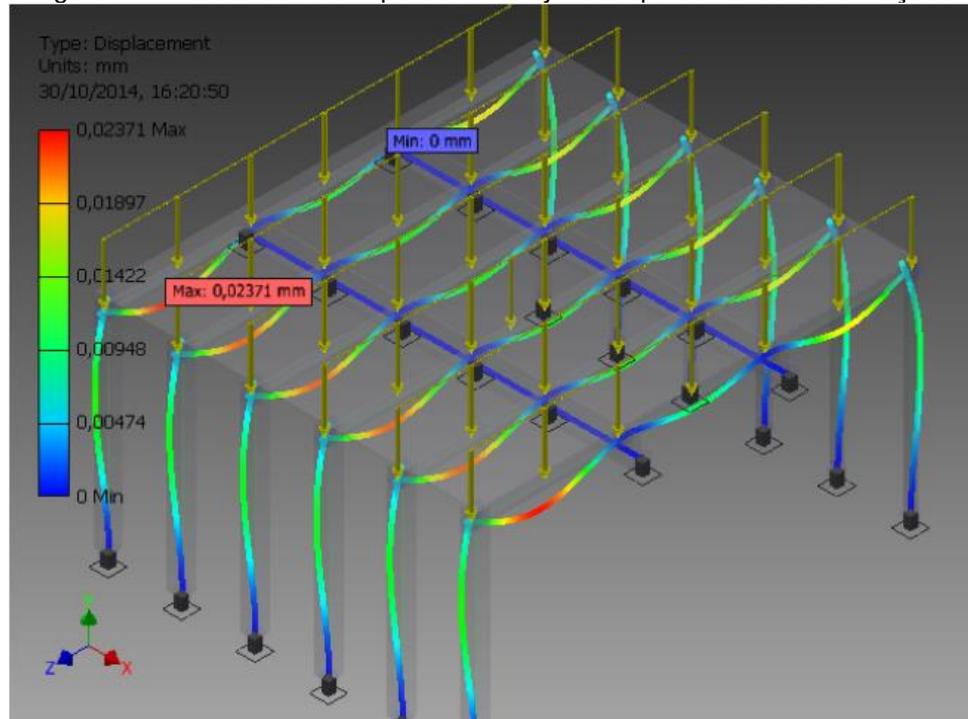
A salinidade interfere diretamente na corrosão das estruturas que estão com pintura antiga ou sem um bom acabamento, causando inchaço da tinta e causando um desgaste. A figura 26 nos mostra curvas de desgaste de cada chapa, a curva em vermelho é o ponto crítico admitido de 7,62 milímetros de espessura.

Através do gráfico percebemos que todas as curvas que estão abaixo são de chapas que devem ser trocadas por estarem com desgaste acima de 20%, já as chapas que estão acima apresentaram um bom estado de conservação e não necessitaram de troca.

Para comprovar a validação do estudo e entender a necessidade da troca das chapas, foram feitas simulações no Inventor das estruturas e da chapa velha em comparativo com a chapa nova.

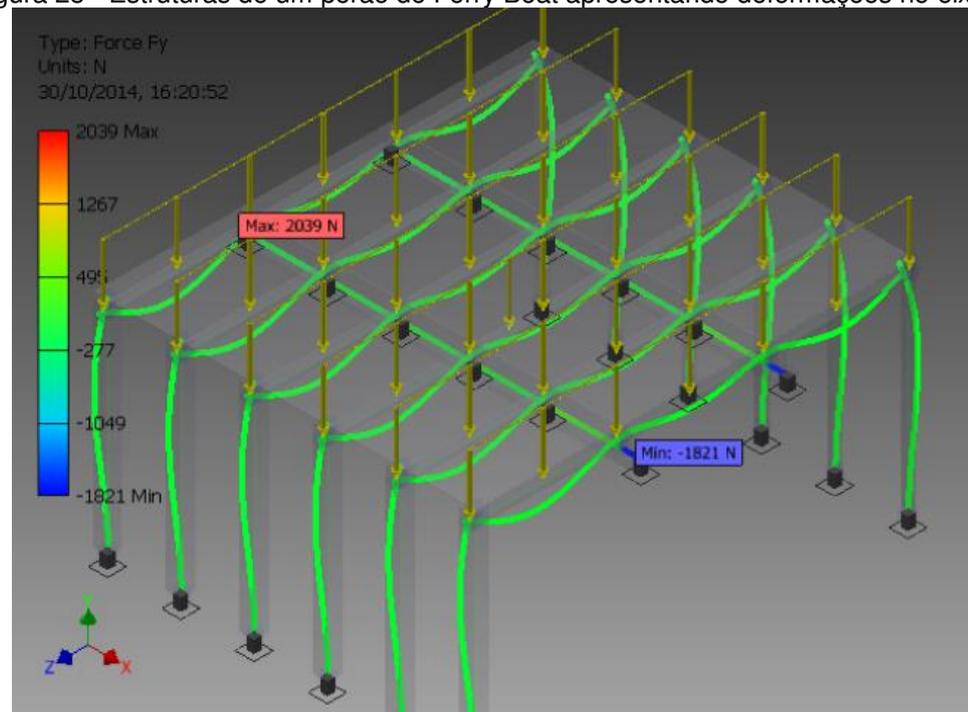
Nas figuras 27 e na figura 28, temos a simulação apenas da estrutura que mostra as possíveis flambagens quando sujeita a uma carga por roda de 2,5 toneladas( admitindo-se 3 toneladas), que distribuida na estrutura da simulação que tem as dimensões de 3 metrosx 2,5 metros, gerando uma carga de 1,635N/mm.

Figura 27 - Estruturas de um porão do Ferry Boat apresentando deformações



Fonte: COELHO, Luan. 2014

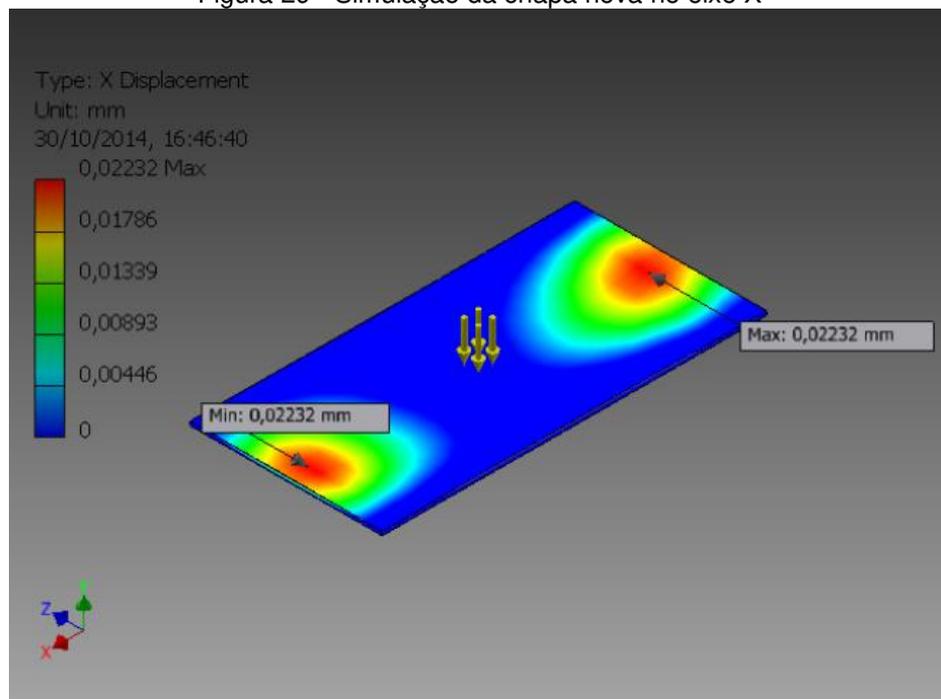
Figura 28 - Estruturas de um porão do Ferry Boat apresentando deformações no eixo Y



Fonte: COELHO, Luan. 2014

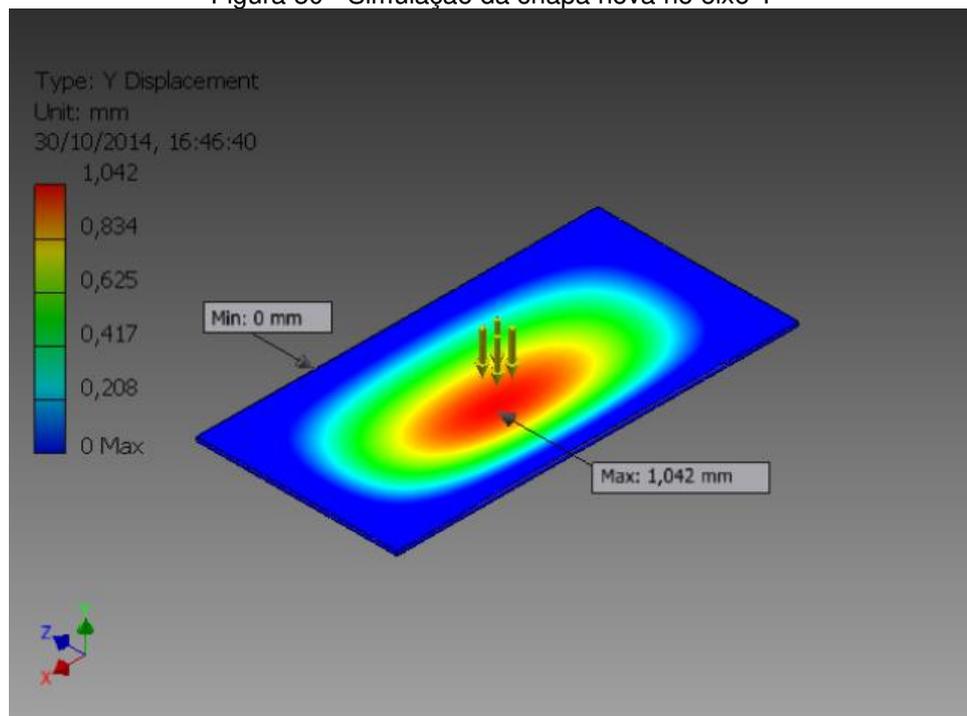
Na figura 29, figura 30 e figura 31 temos a simulação de esforços na chapa nova considerando os eixos X, Y e Z com suas respectivas deformações considerando uma área de 1 metro x 0,5 metros que é equivalente a estrutura entre as cantoneiras para analisar a deformação na chapa.

Figura 29 - Simulação da chapa nova no eixo X



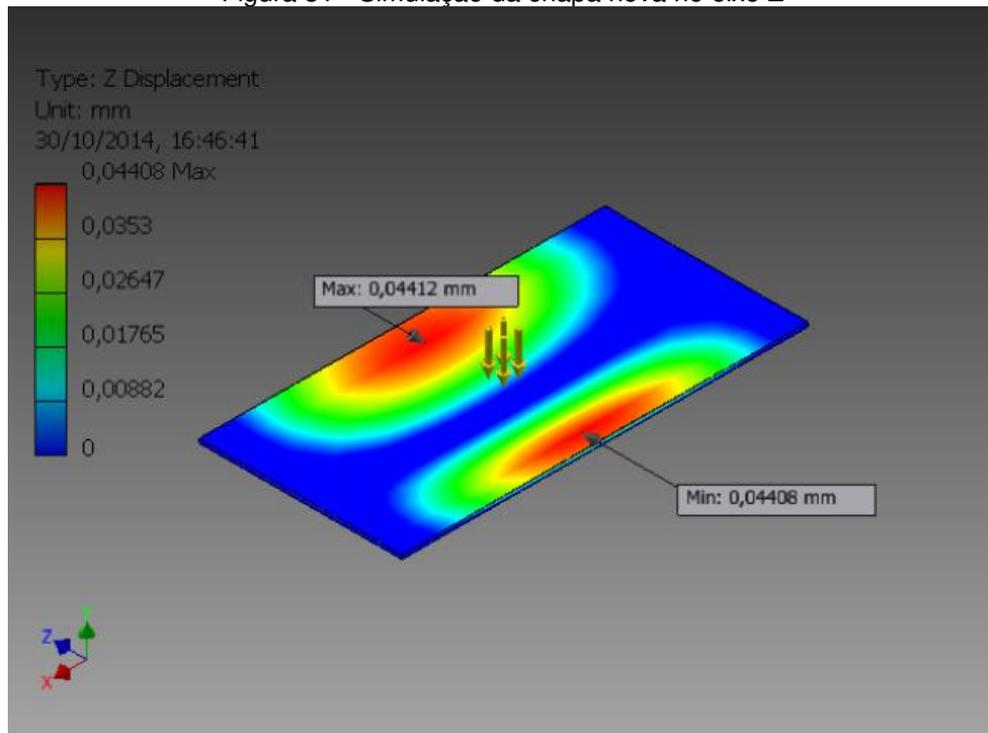
Fonte: COELHO, Luan. 2014

Figura 30 - Simulação da chapa nova no eixo Y



Fonte: COELHO, Luan. 2014

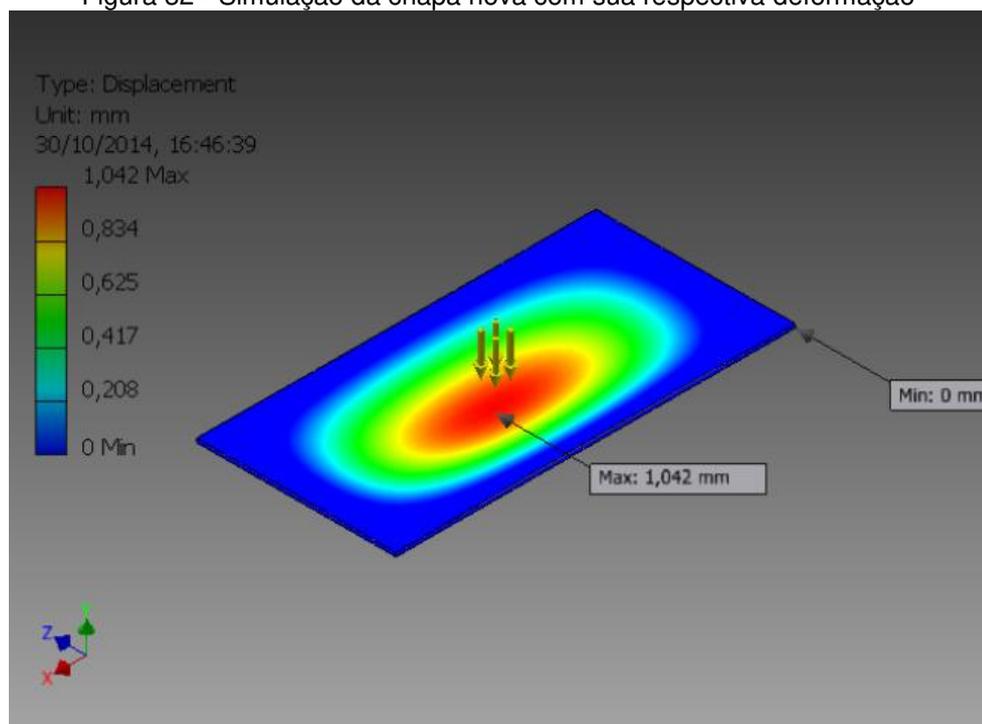
Figura 31 - Simulação da chapa nova no eixo Z



Fonte: COELHO, Luan. 2014

Na figura 32, temos a deformação de aproximadamente 1,042 milímetros no seu ponto máximo. Consideramos uma deformação pequena gerada pela deformação natural a qual a estrutura está sujeita.

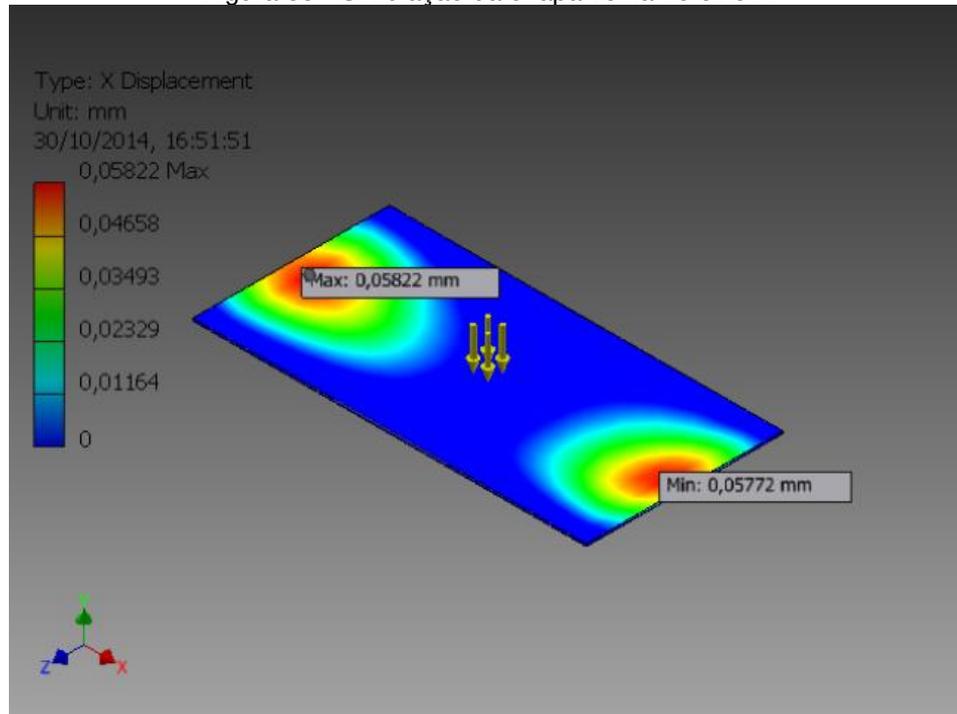
Figura 32 - Simulação da chapa nova com sua respectiva deformação



Fonte: COELHO, Luan. 2014

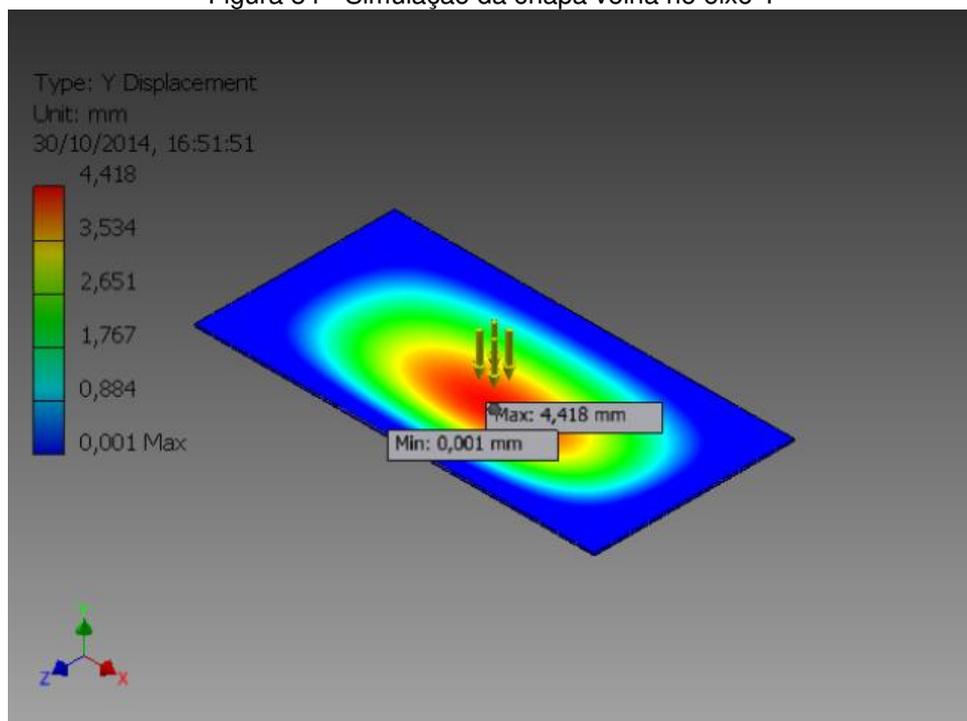
Na figura 33, figura 34 e figura 35 temos a simulação de esforços na chapa velha considerando os eixos X, Y e Z com suas respectivas deformações considerando uma área de 1 metro x 0,5 metros que é equivalente a estrutura entre as cantoneiras para analisar a deformação na chapa.

Figura 33 - Simulação da chapa velha no eixo X



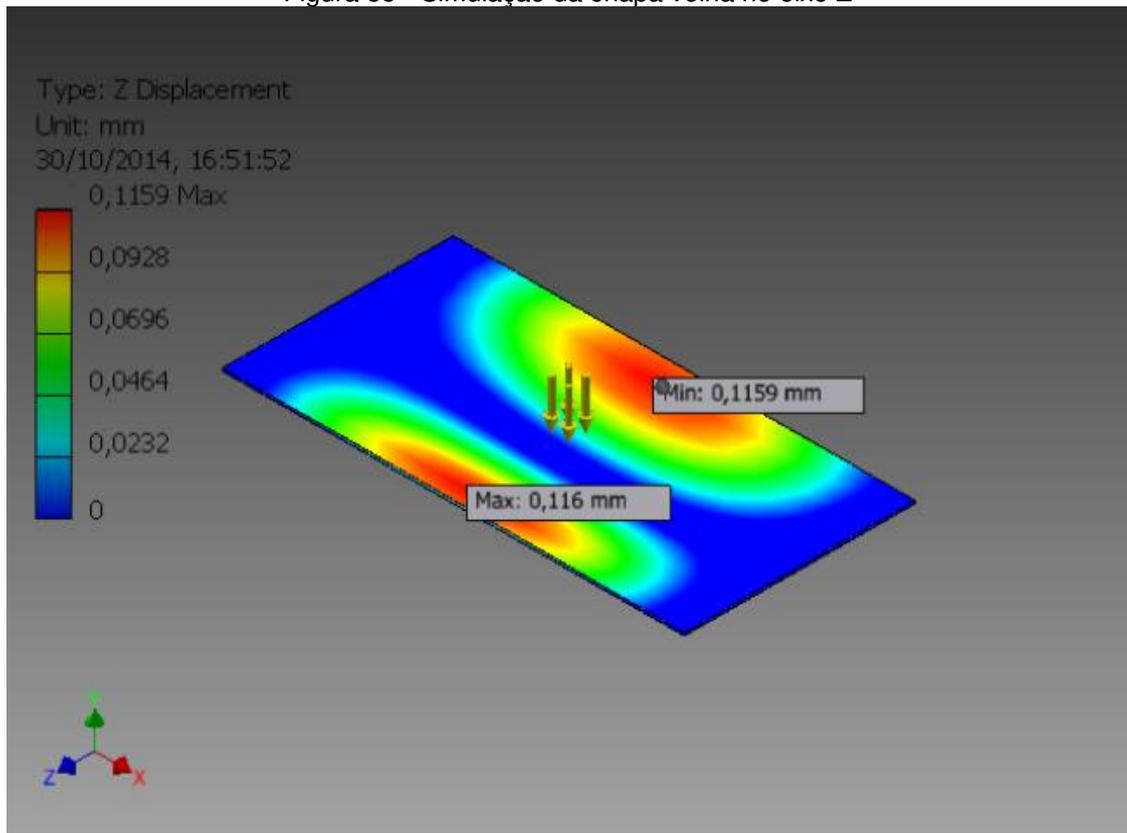
Fonte: COELHO, Luan. 2014

Figura 34 - Simulação da chapa velha no eixo Y



Fonte: COELHO, Luan. 2014

Figura 35 - Simulação da chapa velha no eixo Z

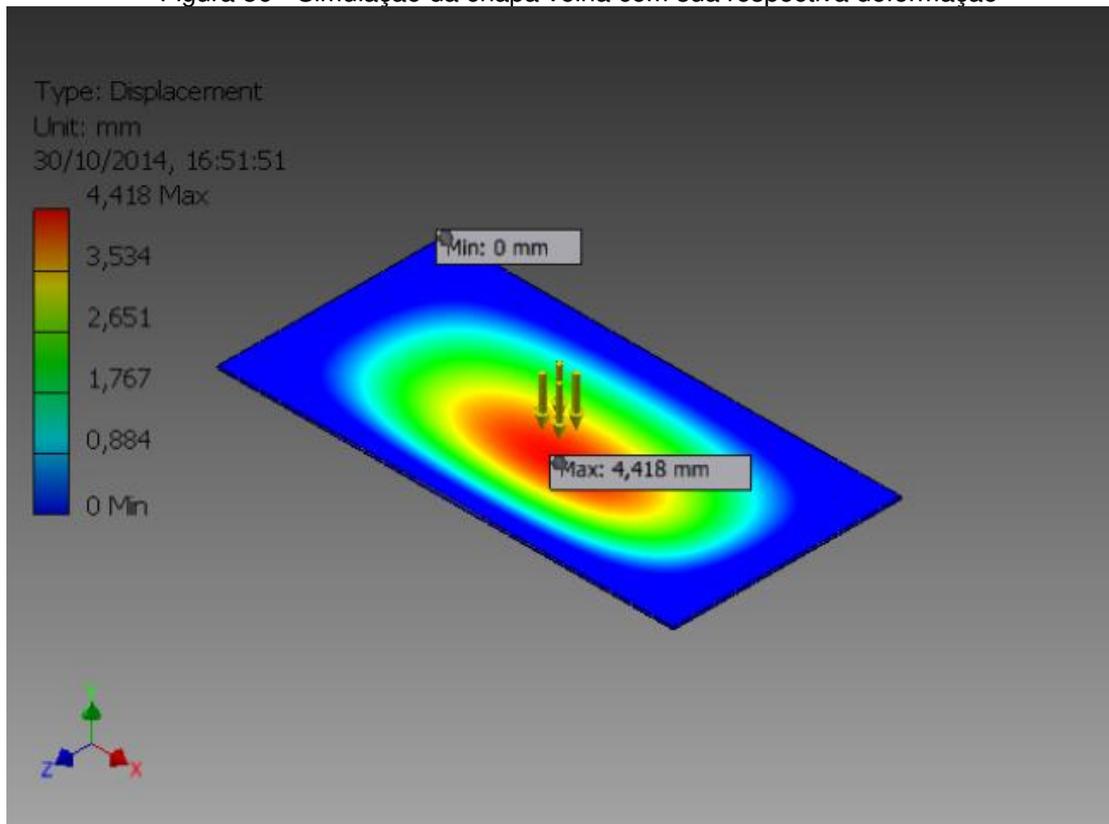


Fonte: COELHO, Luan. 2014

Na figura 36, temos a deformação de aproximadamente 4,418 milímetros no seu ponto máximo. Consideramos uma deformação acentuada gerada pela pequena espessura da chapa considerada de 5,9 milímetros (após o desgaste).

Se levarmos em conta que em certas ocasiões temos um carregamento bem maior que 3 toneladas (quando considera-se um caminhão carregado com uma determinada carga), teremos uma deformação muito maior, o que poderia ocasionar uma possível deformação originando uma fratura, podendo causar um acidente de pequenas à grandes dimensões.

Figura 36 - Simulação da chapa velha com sua respectiva deformação



Fonte: COELHO, Luan. 2014

## 7. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos testes de ultrassom, nas condições impostas pela metodologia do presente trabalho, nos possibilitaram as seguintes conclusões:

- Trocas de uma média de 70% das chapas aferidas com certeza;
- Qualidade e segurança aos tripulantes e aos passageiros que utilizam o Ferry Boat Cidade de Pinheiro no transporte marítimo;
- Redução de custo a longo prazo, visto que com uma estrutura em bom estado e sem sinais de corrosão a embarcação ficará um tempo maior sem precisar sofrer paradas de longos períodos para troca de chapas, o que possibilita um maior tempo de trabalho gerando um lucro maior para a empresa;
- Diminuição das paradas para manutenção corretiva por trinca de chapas (os ferrys enfrentam um mar muito agitado durante as travessias, o que tem influência direta nos esforços gerados nas chapas da estrutura caso as mesmas não estejam nos padrões da norma);
- Após a troca e estruturação das chapas é utilizada a manutenção preventiva, utilizando a pintura como principal meio de proteção contra a corrosão;
- Através da simulação no inventor percebemos a real necessidade da troca das chapas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MARINHA DO BRASIL. **Normas da autoridade marítima para embarcações empregadas em mar aberto**. NORMAM-01/DPC.
2. MARINHA DO BRASIL. **Normas da autoridade marítima para embarcações empregadas em mar aberto**. NORMAM-02/DPC
3. ANDREUCCI. **Ensaio por Ultrassom, aplicação industrial**. ABENDE, edição Janeiro, 2011.
4. SIMONSEN-SENAI. **Ensaio por Ultrassom. Apostila**
5. **Non Destructive Testing Handbook**. 3 rd ed. Columbus: American Society of Non Destructive Testing, v. 7, 2007
6. [http://www.tenax.com.br/dados/produtos/tabelasprodutos/Chapas/produtos\\_AST\\_MA131DH36.html](http://www.tenax.com.br/dados/produtos/tabelasprodutos/Chapas/produtos_AST_MA131DH36.html) acesso em 29/11/2016
7. D'ORAZIO, T., LEO, M., DISTANTE, A.; GUARAGNELLA, C.; PIANESE, V. and CAVACCINI, G. 2006. **Automatic Ultrasonic Inspector for Internal Defect Detection in Composite Materials ScienceDirect**.
8. ASM Handbook. **Nondestructive Evaluation and Quality Control**. Vol. 17. 1989.
9. ASM Handbook. **Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection**. 2003. Vol.13A.
10. SANTI, J. L. **Ultra-som Técnica e Aplicação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996. 1ª Ed.
11. TEBALDI, A., COELHO, L. S., JUNIOR, V. L. 2006. **Deteção de falhas em estruturas inteligentes usando otimização por nuvem de partículas: fundamentos e estudo de casos**. Sociedade Brasileira de Automática. Campinas, SP. Vol. 17.
12. GENTIL, Vicente. 2007. **Corrosão**. 3ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro. Páginas 228 à 234 e 250.
13. NESVIJSKI, E. G. 2000. **Some Aspects of Ultrasonic Testing of Composites**. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria.
14. FORSBERGH, Jr, P. W. Encyclopedia of Physics. 1956. **Piezoelectricity, electrostriction and ferroelectricity**. Berlin. Vol. 17. s/n. pp. 264-392.
15. TEBALDI, A., COELHO, L. S., JUNIOR, V. L. 2006. **Deteção de falhas em estruturas inteligentes usando otimização por nuvem de partículas: fundamentos e estudo de casos**. Sociedade Brasileira de Automática. Campinas, SP. Vol. 17.
16. VEIGA, J. L. B. C., CARVALHO, A. A., SILVA, I. C., REBELLO, J. M. A., 2003. **Automação da Análise do Ensaio Ultra-Sônico**. Pulso-Eco. Rio de Janeiro.
17. NORTON, ROBERT L.. **PROJETO DE MÁQUINAS**. BOOKMAN EDITORA LTDA. 4º EDIÇÃO – 2013

## APÊNDICE A – PONTOS AFERIDOS E ESPESSURAS

Chapeamento do Convés Principal				
Point	Original	Medida	Diminuição (mm)	Porcentagem
CH 1 –P1	9,525	7,0	2,525	26,50 %
CH 1 –P2	9,525	6,9	2,625	27,55%
CH 1 –P3	9,525	7,0	2,525	26,50 %
CH 1 –P4	9,525	6,8	2,725	28,60%
CH 1 –P5	9,525	7,0	2,525	26,50 %
CH 2 –P1	9,525	7,4	2,125	22,30%
CH 2 –P2	9,525	7,8	1,725	18,11%
CH 2 –P3	9,525	7,7	1,825	19,16%
CH 2 –P4	9,525	7,5	2,025	21,25%
CH 2 –P5	9,525	7,7	1,825	19,16%
CH 3 –P1	9,525	7,3	2,225	23,35%
CH 3 –P2	9,525	7,5	2,025	21,25%
CH 3 –P3	9,525	7,4	2,125	22,30%
CH 3 –P4	9,525	7,2	2,325	24,40%
CH 3 –P5	9,525	7,1	2,425	25,45%
CH 4 –P1	9,525	7,2	2,325	24,40%
CH 4 –P2	9,525	7,2	2,325	24,40%
CH 4 –P3	9,525	7,2	2,325	24,40%
CH 4 –P4	9,525	7,1	2,425	25,45%
CH 4 –P5	9,525	7,2	2,325	24,40%
CH 5 –P1	9,525	8,0	1,525	16,01%
CH 5 –P2	9,525	7,9	1,625	17,06%
CH 5 –P3	9,525	7,9	1,625	17,06%
CH 5 –P4	9,525	8,0	1,525	16,01%
CH 5 –P5	9,525	7,9	1,625	17,06%
CH 6 –P1	9,525	6,0	3,525	37,00%
CH 6 –P2	9,525	6,2	3,325	34,90%
CH 6 –P3	9,525	6,3	3,225	33,85%
CH 6 –P4	9,525	6,1	3,425	35,95%
CH 6 –P5	9,525	6,2	3,325	34,90%
CH 7 –P1	9,525	6,6	2,925	30,70%
CH 7 –P2	9,525	6,7	2,825	29,65%
CH 7 –P3	9,525	6,9	2,625	27,55%
CH 7 –P4	9,525	6,8	2,725	28,60%
CH 7 –P5	9,525	7,0	2,525	26,50%
CH 8 –P1	9,525	5,9	3,625	38,05%
CH 8 –P2	9,525	5,9	3,625	38,05%
CH 8 –P3	9,525	6,0	3,525	37,00%
CH 8 –P4	9,525	6,0	3,525	37,00%
CH 8 –P5	9,525	5,9	3,625	38,05%
CH 9 –P1	9,525	6,7	2,825	29,65%
CH 9 –P2	9,525	6,8	2,725	28,60%

CH 9 –P3	9,525	6,9	3,625	27,55%
CH 9 –P4	9,525	6,9	3,625	27,55%
CH 9 –P5	9,525	6,8	2,725	28,60%
CH 10 –P1	9,525	5,9	3,625	38,05%
CH 10 –P2	9,525	6,0	3,525	37,00%
CH 10 –P3	9,525	6,1	3,425	35,95%
CH 10 –P4	9,525	6,0	3,525	37,00%
CH 10 –P5	9,525	5,9	3,625	38,05%
CH 11 –P1	9,525	6,0	3,525	37,00%
CH 11 –P2	9,525	6,2	3,325	34,90%
CH 11 –P3	9,525	6,3	3,225	33,85%
CH 11 –P4	9,525	6,2	3,225	34,90%
CH 11 –P5	9,525	6,0	3,525	37,00%
CH 12 –P1	9,525	9,8	---	---
CH 12 –P2	9,525	9,4	0,125	1,31%
CH 12 –P3	9,525	9,8	---	---
CH 12 –P4	9,525	9,5	0,025	0,26%
CH 12 –P5	9,525	9,6	---	---
CH 13 –P1	9,525	8,8	0,725	7,61%
CH 13 –P2	9,525	8,8	0,725	7,61%
CH 13 –P3	9,525	8,8	0,725	7,61%
CH 13 –P4	9,525	8,8	0,725	7,61%
CH 13 –P5	9,525	8,8	0,725	7,61%
CH 14 –P1	9,525	9,8	---	---
CH 14 –P2	9,525	9,5	0,025	0,26%
CH 14 –P3	9,525	9,5	0,025	0,26%
CH 14 –P4	9,525	9,5	0,025	0,26%
CH 14 –P5	9,525	9,5	0,025	0,26%

Fonte: COELHO, Luan. 2014