

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS COMO  
MÉTODO DE MONITORAMENTO DE GUINDASTES PORTUÁRIOS “SHIP  
TO SHORE”**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**WAGNER ALVES COSTA**

RIO GRANDE, RS

2023

**WAGNER ALVES COSTA**

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS COMO  
MÉTODO DE MONITORAMENTO DE GUINDASTES PORTUÁRIOS “SHIP  
TO SHORE”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Mecânica.

Orientador: Prof . Dr Jorge Luis Braz Medeiros

RIO GRANDE, RS

2023

## Ficha Catalográfica

C837a Costa, Wagner Alves.  
Aplicação de técnicas de ensaios não destrutivos como método de monitoramento de guindastes portuários “*Ship to Shore*” / Wagner Alves Costa. – 2023.  
64 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Rio Grande/RS, 2023.

Orientador: Dr. Jorge Luis Braz Medeiros.

1. Guindastes 2. Ensaio Não Destrutivo 3. *Ship to Shore*  
I. Medeiros, Jorge Luis Braz II. Título.

CDU 621

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**  
**PPMec**

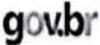


Ata nº 11/2023 da Defesa de Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Aos dezoito dias do mês de agosto de dois mil e vinte e três, foi instalada a Banca de Defesa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, às dez horas e trinta minutos, online via web conferência, a que se submeteu o mestrando **WAGNER ALVES COSTA**, nacionalidade brasileira, dissertação ligada a Linha de Pesquisa Engenharia de soldagem e materiais, com o seguinte título: **APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS COMO MÉTODO DE MONITORAMENTO DE GUINDASTES PORTUÁRIOS SHIP TO SHORE**, sob orientação do Prof. Dr. Jorge Luis Braz Medeiros e coorientação do Prof. Dr. Elton Gimenez Rossini. Referendada pela Câmara Assessora do Curso, os seguintes Professores Doutores: Jorge Luis Braz Medeiros, Luciano Volcanoglo Biehl, e o convidado José de Souza sob a presidência do Professor Jorge Luis Braz Medeiros. Analisando o trabalho, os Professores da Banca Examinadora o consideraram:

1. Jorge Luis Braz Medeiros: APROVADO
2. Luciano Volcanoglo Biehl: APROVADO
3. José de Souza: APROVADO

Foi concedido um prazo de 30 dias para o candidato efetuar as correções sugeridas pela Comissão Examinadora (anexo) e apresentar o trabalho em sua redação definitiva, sob pena de não expedição do Diploma. A ata foi lavrada e vai assinada pelos membros da Comissão.

Assinaturas:

1. \_\_\_\_\_  
 CPF: 588.871.210-87  
 Documento assinado digitalmente  
 JORGE LUIS BRAZ MEDEIROS  
 Data: 22/08/2023 11:50:14-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>
2. \_\_\_\_\_  
 CPF: 575.195.100-00  
 Documento assinado digitalmente  
 LUCIANO VOLCANOGLO BIEHL  
 Data: 21/08/2023 11:21:05-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>
3. \_\_\_\_\_  
 CPF: 914.626.140-00  
 Documento assinado digitalmente  
 JOSE DE SOUZA  
 Data: 21/08/2023 17:41:30-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Wagner Alves Costa: \_\_\_\_\_

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha esposa Marcia e aos meus filhos Thiago e Guilherme que são o sentido da minha vida e a razão de todo o meu esforço.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder força, saúde, determinação todo o tempo e ter me concedido mais esta conquista.

À minha família pela compreensão nos momentos que estive ausente.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Jorge Luis Braz Medeiros pelo incentivo, motivação, ensinamento, amizade e sobretudo pela incansável dedicação na elaboração do trabalho.

A todos os mestres que colaboraram para minha formação, em especial o prof. Dr Luciano Volcanoglo Biehl e o Coorientador Prof. Dr. Elton Gimenez Rossini.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de cursar a Pós-graduação em Engenharia Mecânica.

Por fim, a Wilson Sons/Tecon Rio Grande, pelo apoio na jornada de desenvolvimento deste trabalho e em especial ao Cláudia do Nascimento Nunes, estudante de engenharia Mecânica e estagiária no terminal de contêiner.

## **APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS COMO MÉTODO DE MONITORAMENTO DE GUINDASTES PORTUÁRIOS “SHIP TO SHORE”**

### **RESUMO**

Os avanços tecnológicos das últimas décadas têm contribuído de forma extraordinária em todas as movimentações de mercadorias nas diferentes partes do mundo. Os custos envolvidos podem viabilizar ou não estas operações sendo de elevado valor o controle dos equipamentos envolvidos nos transportes portuários. A área de manutenção tem entre uma de suas maiores atribuições a capacidade de redução de problemas nos equipamentos, sendo requisito fundamental uma gestão adequada de suas condições. Neste trabalho foram estudados os efeitos da aplicação de ensaios não destrutivos em guindastes portuários, buscando uma metodologia para um monitoramento que garanta a integridade desses importantes equipamentos. As técnicas utilizadas possibilitaram a verificação dos efeitos dos processos de fabricação e de recuperação dos equipamentos. Conclui-se que a efetividade de três ensaios não destrutivos em elemento crítico de fratura (FCM), com suas características, procedimentos e particularidades garante um monitoramento eficiente desses guindastes portuários, quanto a sua integridade física que possibilitam a tomada de decisões quanto ao planejamento da sua manutenção.

**Palavras-chave: Guindastes; Ensaio Não Destrutivo; Ship to Shore.**

## **APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TESTING TECHNIQUES AS A METHOD FOR MONITORING PORT CRANES "SHIP TO SHORE"**

### **ABSTRACT**

Technological advances in recent decades have made an extraordinary contribution to all the movement of goods in different parts of the world. The costs involved make these operations viable or not, with the control of the equipment involved in port transport being of high value. One of the main attributions of the maintenance area is the capacity to reduce problems in equipment, being a fundamental requirement an adequate management of its conditions. In this work, the effects of applying non-destructive tests on port bridges were trained, seeking a methodology for monitoring that guarantees the integrity of this important equipment. The techniques used made it possible to verify the effects of the manufacturing processes and equipment recovery. It is concluded that the effectiveness of three non-destructive tests on a critical fracture element (FCM), with their characteristics, procedures and particularities, guarantee an efficient monitoring of these port guidelines, regarding their physical integrity, which enable decision-making regarding the planning of the its maintenance.

**Keywords: Cranes; Non-destructive Testing; Ship to Shore.**

**LISTA DE FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Princípio do Funcionamento do Ensaio de Ultrassom                              | 20 |
| Figura 2 - Vista geral lateral e Superior de um STS                                       | 25 |
| Figura 3 - Ship to Shore Crane  | 28 |
| Figura 4 - Análise de custos globais de sinistros de guindastes de cais (2014-2018)<br>29 |    |
| Figura 5 - Fluxograma da Metodologia de escolha local de aplicação dos END                | 30 |
| Figura 6 - Ship to Shore 08   | 31 |
| Figura 7 - Upper Diagonal - Ponto "A" e "B"   | 32 |
| Figura 8 - Cordão de solda aparentemente quebrado   | 33 |
| Figura 9 - Fissuras no cordão de Solda.   | 34 |
| Figura 10 - Superfície limpa para aplicação de LP   | 35 |
| Figura 11 - Aplicação Líquido Penetrante  | 36 |
| Figura 12 - Revelador utilizado no ensaio   | 36 |
| Figura 13 - Superfície após remoção do Líquido Penetrante                                 | 37 |
| Figura 14 - Aplicação das linhas de campo Magnético                                       | 38 |
| Figura 15 - Upper Diagonal - Área de solda a ser examinada                                | 39 |
| Figura 16 - Realização END de Ultrassom   | 40 |
| Figura 17 - Imperfeições com óxido em junta soldada                                       | 41 |
| Figura 18 - Trinca na região soldada revelada por líquido penetrante                      | 43 |
| Figura 19 - Trincas longitudinais reveladas por END de Líquido Penetrante                 | 44 |
| Figura 20 - Trincas reveladas por Ensaio por Partícula Magnética                          | 44 |
| Figura 21 - Aparecimento de trincas e poros nas juntas soldadas testadas.                 | 45 |
| Figura 22 - Comprimento da trinca após o teste de líquido penetrantes                     | 46 |
| Figura 23 - Trinca Revelada no ensaio de ultrassom  | 47 |
| Figura 24 - Teste de ultrassom  | 47 |
| Figura 25 - Montagem de Andaimos para acesso ao local de análise                          | 50 |

## LISTA DE ABREVIATURA

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ANTAQ** - Agência Nacional de Transportes Aquaviário

**CSCMP** - Council of Supply Chain Management Professionals

**END** - Ensaio Não Destrutivos

**FCM** - Fracture Critical Member

**LP** - Líquido Penetrante

**NBR** - Norma Brasileira

**NDT** - Non Destructive Testing

**PCM**- Planejamento e controle de manutenção

**PEMA** - Por Equipment Manufacturers Associations

**PM** - Partícula Magnética

**RTG** - Rubber Tyred Gantry

**STS** - Ship to Shore

**TOF** - Time of Flight

## LISTA DE SÍMBOLOS

**°C** - Graus Centígrados

**MhZ** - Megahertz

**T** - Tonelada

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>   | <b>12</b> |
| <b>2 OBJETIVOS</b>  | <b>14</b> |
| 2.1 Objetivo Geral  | 14        |
| 2.2 Objetivo Específico                                       | 14        |
| <b>3 ESTADO DA ARTE</b>                                       | <b>15</b> |
| 3.1 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END)                             | 15        |
| 3.1.1 Ensaio Não Destrutivo por Inspeção Visual               | 16        |
| 3.1.2 Ensaio Não Destrutivo Por Líquido Penetrante (LP)       | 16        |
| 3.1.3 Ensaio Não Destrutivo Por Partícula Magnética (PM)      | 18        |
| 3.1.4 Ensaio Não Destrutivo Por Ultrassom                     | 19        |
| 3.2 DESCONTINUIDADES EM JUNTAS SOLDADAS                       | 20        |
| 3.3 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL DOS SHIP TO SHORE (STS)            | 21        |
| 3.3.1 A Logística   | 21        |
| 3.3.2 O Container   | 22        |
| 3.3.3 O Ship to Shore   | 23        |
| 3.4 PORT EQUIPMENTS MANUFACTURES ASSOCIATION - PEMA           | 25        |
| 3.4.1 Pontos FCM (Fracture Critical Members)                  | 26        |
| 3.5 INTERNATIONAL TRANSPORT AND LOGISTICS INSURANCE - TT Club | 29        |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b>                                  | <b>29</b> |
| 4.1 Ship To Shore de Estudo                                   | 30        |
| 4.1.1 Pontos de Aplicação dos Ensaios Não Destrutivos         | 31        |
| 4.2 Ensaios Não Destrutivos                                   | 32        |
| 4.2.1 Inspeção Visual   | 33        |
| 4.2.1.1 Inspeção Visual no Ponto “A”                          | 33        |
| 4.2.1.2 Inspeção Visual no Ponto “B”                          | 33        |
| 4.2.2 Ensaio Não Destrutivo Por Líquido Penetrante            | 34        |
| 4.2.3 Ensaio Não Destrutivo Por Partícula Magnética (PM)      | 37        |
| 4.2.4 Ensaio Não Destrutivo de Ultrassom                      | 38        |
| <b>5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>                   | <b>40</b> |
| 5.1 Ensaio de Inspeção Visual                                 | 41        |
| 5.2 Ensaio por Líquido Penetrante                             | 42        |
| 5.3 Ensaio Por Partícula Magnética                            | 44        |
| 5.4 Ensaio de Ultrassom                                       | 46        |
| <b>6 CONCLUSÕES</b>   | <b>47</b> |
| <b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                 | <b>48</b> |
| <b>8 DIFICULDADES ENCONTRADAS</b>                             | <b>49</b> |
| <b>9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>                     | <b>51</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b>  | <b>52</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| Referências Nominais                                    | 52        |
| Referências Por Estrato                                 | 54        |
| Referências por Data dos Artigos                        | 55        |
| <b>ANEXOS</b>   | <b>55</b> |
| Anexo I - Relatório Final Ensaio Por Líquido Penetrante | 55        |
| Anexo II - Relatório de Ensaio de Partícula Magnética   | 59        |
| Anexo III - Ensaio de Ultrassom                         | 62        |

## 1 INTRODUÇÃO

A movimentação de cargas no setor portuário Brasileiro vem crescendo nos últimos anos e somente no primeiro trimestre de 2020, segundo o boletim informativo aquaviário da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), essa movimentação alcançou um crescimento de 7,9%, significando um aumento de 20,9 milhões de toneladas em cargas movimentadas.

Tal fator exige por parte dos equipamentos portuários planos de manutenção para a minimização de riscos, tanto no que tange ao fator econômico envolvido durante uma movimentação bem como na questão de segurança, fator este muito relevante ao setor portuário mundial.

O presente trabalho situa-se no terminal da Wilson Sons na unidade Tecon Rio Grande S. A., localizado na cidade de Rio Grande - Rio Grande do Sul S.A, que se destaca como um dos terminais mais eficientes na movimentação de carga da América Latina, com um parque de equipamentos amplo e diversificado, movimenta mensalmente, em média, 50.000 contêineres em sua unidade. Atualmente o terminal possui 9 guindastes portuários denominados “Ship to Shore” (STS) dos quais, cinco são de fabricação da companhia ZPMC, construídos na China e quatro de fabricação IMPSA, construídos na Argentina para movimentação de cargas por meio de transporte marítimo.

As empresas que atuam na área portuária trabalham com equipamentos que possuem por principal função a elevação de carga o que gera nos componentes esforços cíclicos (cabos de aço, pinos de travamento etc) bem como esforços alternados usualmente apresentados nas estruturas dos equipamentos. Além disso, nem sempre os fabricantes de Ship To Shore (STS) fornecem informações precisas quanto aos meios de conservação dos equipamentos, que podem ser falhos, dependendo da variação de uso dos guindastes e falhas podem ocorrer muito antes das expectativas apontadas pelos próprios fabricantes. A partir destas condições inerentes ao processo, trincas, originadas por fadiga, fluência anisotrópica e outros esforços podem comprometer as estruturas ocasionando falhas catastróficas, elevando os custos operacionais e colocando a segurança dos operadores em risco.

Para orientar sobre as melhores práticas de manutenção em equipamentos portuários, em 2004 foi criado o PEMA (Port Equipment Manufacturers Association) por lideranças de fabricantes de equipamentos portuários com o objetivo de criar

uma plataforma para representar a indústria portuária como um todo. É uma associação internacional sem fins lucrativos e um importante órgão que disponibiliza diretrizes para melhores práticas e padrões na indústria portuária em diversos setores, possuindo diversos documentos orientativos para boas práticas de manutenção e segurança em portos.

Baseado em orientações do PEMA, o presente trabalho tem como objetivo o estudo da aplicabilidade de três técnicas de ensaios não destrutivos (END), a saber: Ensaio por Líquido Penetrante (LP), Ensaio de Partículas Magnéticas (PM) e Ensaio de Ultrassom que possibilitem o monitoramento de STS a fim de desenvolver uma metodologia adequada de aplicação desses ensaios com foco no monitoramento para conservação e manutenção desses guindastes.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Monitorar com Ensaios Não Destrutivos defeitos superficiais, sub superficiais e internos na estrutura de guindastes portuárias, assim como, indicar metodologia que auxiliem a implementação de planos mais robustos de manutenção preventiva e preditiva na área portuária, auxiliando na gestão do ativo das companhias portuárias.

### **2.2 Objetivo Específico**

Através da metodologia de Ensaios Não Destrutivos por Inspeção visual, por Líquido Penetrante, Partícula Magnética e Ultrassom em pontos estruturais específicos de um guindaste portuário de fabricação Chinesa pela empresa ZPMC construído em 2016, localizado no terminal de contêiner Tecon Rio Grande S.A do grupo Wilson Sons denominado Ship to Shore 08 (STS 8):

- Identificar possíveis defeitos estruturais;
- Indicar a melhor metodologia para o auxílio de implementação de planos mais robustos de manutenção preventiva e preditiva;
- Reduzir tempos de parada de manutenção e custos de anomalias;
- Ter maior confiabilidade e segurança dos STS Crane na operação;

## **3 ESTADO DA ARTE**

### **3.1 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END)**

Os Ensaio Não Destrutivos (END) são ensaios usados para inspecionar e avaliar materiais, componentes ou montagens sem destruir sua capacidade de aplicação ou utilização. Por meio de um conjunto de técnicas, com os END's é possível identificar trincas, vazios, inclusões, descontinuidades e outros defeitos nos materiais, bem como identificar subcomponentes com defeitos de montagem ou de fabricação.

Os ENDS são utilizados para garantir a integridade e a confiabilidade do produto, controlar os processos de fabricação, reduzir os custos de produção e manter um nível de qualidade adequado e uniforme. Sem eles, a segurança e a confiabilidade dos componentes podem ser seriamente comprometidas, isso torna os ensaios não destrutivos fundamentais para ajudar a prevenir falhas catastróficas, como acidentes de aviões e locomotivas, vazamentos e explosões de oleodutos, falhas de reatores nucleares e naufrágios de navios.

#### **3.1.1 Ensaio Não Destrutivo por Inspeção Visual**

O Ensaio Não Destrutivo de Inspeção Visual é um ensaio prático que consiste na observação de defeitos perceptíveis sem o auxílio de instrumentos. Com esta técnica é possível detectar macrotrincas, rechupes, defeitos corrosivos entre outros. Esta técnica é considerada primária e geralmente se encontra associada com outras para aumentar a confiabilidade dos resultados.

Segundo PEMA (2014), [...]utilidade das inspeções visuais por si só para detectar fissuras perigosas é limitada porque a inspeção visual não detectará falhas no interior do material, como pode ser detectado pelo exame ultrassônico e, as fissuras superficiais podem não se tornar visíveis até atingirem um tamanho crítico de fratura.

### 3.1.2 Ensaio Não Destrutivo Por Líquido Penetrante (LP)

O ensaio de líquido penetrante é um ensaio não destrutivo utilizado para detecção de defeitos superficiais. É um ensaio que permite a descoberta e o rastreamento de defeitos e descontinuidades superficiais que não são visíveis a olho nu, como trincas e poros. Pode ser utilizado em materiais ferrosos e não ferrosos. É um método que desenvolveu-se principalmente por conta da indústria aeronáutica, pós 1942, que utilizavam ligas não ferrosas e com isso surgiu a necessidade de um método que atendesse a esse requisito, já que não era possível utilizar ensaio de ultrassom em ligas não ferrosas (ANDREUCCI, 2018, p 04).

É possível aplicar o ensaio de líquido penetrante em uma grande variedade de materiais desde que o mesmo não seja poroso ou com uma superfície muito irregular. A técnica do ensaio por líquido penetrante consiste em destacar os defeitos da superfície do material por meio da aplicação de um líquido, na superfície da área onde deseja-se fazer a análise, para que o fluido penetre nos defeitos (poros e trincas). Após algum tempo, o excesso de líquido é removido e é aplicado o revelador, com a finalidade de “revelar” os defeitos superficiais que ficam desenhados em destaque na peça.

Para que o ensaio seja executado de forma adequada, para que não ocorram erros, a superfície da peça a ser analisada deve ser primeiramente bem limpa e seca. A superfície não pode estar contaminada com produtos químicos, água, ferrugem, graxa ou com algum outro contaminante que possa interferir na qualidade do ensaio, com o risco de alterar os resultados da análise. Segundo Andreucci (2018, p 4) [...]uma escova manual ou rotativa é adequada para superfícies metálicas”.

Após a limpeza superficial da peça, aplica-se o líquido penetrante, de modo que se forme uma camada uniforme na superfície, a fim de penetrar nas irregularidades apresentadas na superfície e após algum tempo, retira-se o excesso de líquido penetrante com produtos adequados, de acordo com o tipo líquido penetrante usado. A superfície deve ficar totalmente limpa, tomando o cuidado para não remover o líquido penetrante das irregularidades.

As imperfeições são reveladas, segundo Andreucci (2018, p.5), através da aplicação de um revelador sobre a superfície semelhante a um talco branco, que

pode ser aplicado seco ou em suspensão em algum líquido, agindo absorvendo o líquido penetrante das descontinuidades e revelando as imperfeições.

Após a aplicação do revelador, linhas contínuas e/ou pontos poderão ser observados na superfície, caso a superfície apresente defeitos como trincas. Nessa etapa, para avaliação da peça, é importante que algumas recomendações sejam seguidas como, ter boas condições de iluminação caso o penetrante seja do tipo visível ou ter fonte de luz ultravioleta em área escura caso o penetrante seja do tipo fluorescente. A Norma Brasileira NBR NM 334, afirma que: “Os parâmetros de processamento, tais como limpeza inicial, tempo de penetração e técnica de remoção do excesso, são determinadas pelos materiais penetrantes utilizados, pela natureza da peça a ser examinada (forma, tamanho, condições superficiais e composição da liga) e tipo de descontinuidade a ser detectada”. Ainda segundo a Norma Brasileira NM 334, a limpeza final da superfície é necessária, quando os resíduos do penetrante e revelador podem reagir com outros materiais, dando origem a corrosões.

Apesar da simplicidade de execução desse método, ele apresenta uma boa exatidão dos defeitos apresentados, apresenta baixo custo de execução, já que os produtos e equipamentos utilizados são de fácil acesso e simples. Pode ser aplicado em peças de diferentes tamanhos e formatos, e como cita Andreucci (2018), “O método pode revelar descontinuidades (trincas) extremamente finas (da ordem de 0,001 mm de abertura”. Apesar de ter grandes vantagens na hora da aplicação, existem algumas restrições quanto ao uso do método, que só detecta descontinuidades superficiais, a superfície a ser aplicado o método não poder ser muito porosa e há uma faixa de aplicação do método quanto a temperatura, que varia de 5°C a 52°C.

### **3.1.3 Ensaio Não Destrutivo Por Partícula Magnética (PM)**

O ensaio por partículas magnéticas (PM) é um ensaio não destrutivo que só pode ser usado em materiais ferromagnéticos, pois seu princípio físico usa o magnetismo para detectar falhas e descontinuidades superficiais e subsuperficiais com raiz na superfície.

Existem variações quanto ao método de aplicação do ensaio, porém todos os métodos são baseados nas linhas de campo magnético presentes em um material.

O campo magnético em um material que está magnetizado, possui uma orientação e, as linhas de um campo magnético correm orientadas em uma certa direção e quando essas linhas do campo magnético ao encontrar uma descontinuidade no material (ponto onde não há magnetização), contornam a barreira, gerando uma distorção no campo. À essa barreira, denominamos campo de fuga.

Nos campos de fuga, ou nas descontinuidades apresentadas pelo pelo material que está sendo testado, há a presença de polos magnéticos. Quando pequenas partículas ferromagnéticas são depositadas sobre o material, são atraídas para esses campos, devido a presença desses polos, e assim é possível observar que as partículas se encontram onde há alguma descontinuidade.

Esse ensaio pode ser aplicado em todos os tipos de materiais que possam ser magnetizados e se ter acesso à superfície onde se quer fazer a análise. Esses são os únicos requisitos necessários para realizar o ensaio que tem um baixo custo e é de fácil aplicação.

Para a execução desse ensaio são necessários alguns equipamentos e materiais consumíveis, sendo que há variação destes quanto ao método aplicado, que pode ser por via úmida ou seca .

O ensaio, independente do método a ser usado, passa por algumas etapas básicas que são: Preparação e limpeza da superfície, magnetização da peça, aplicação de partículas magnéticas, inspeção e limpeza da peça e desmagnetização da peça (ZOLIN, 2011, p. 18 e 19).

Para começar o ensaio, é mandatário que a superfície a ser testada seja limpa adequadamente, ficando livre de contaminantes como graxa, incrustações, óxido ou outros que possam interferir no resultado.

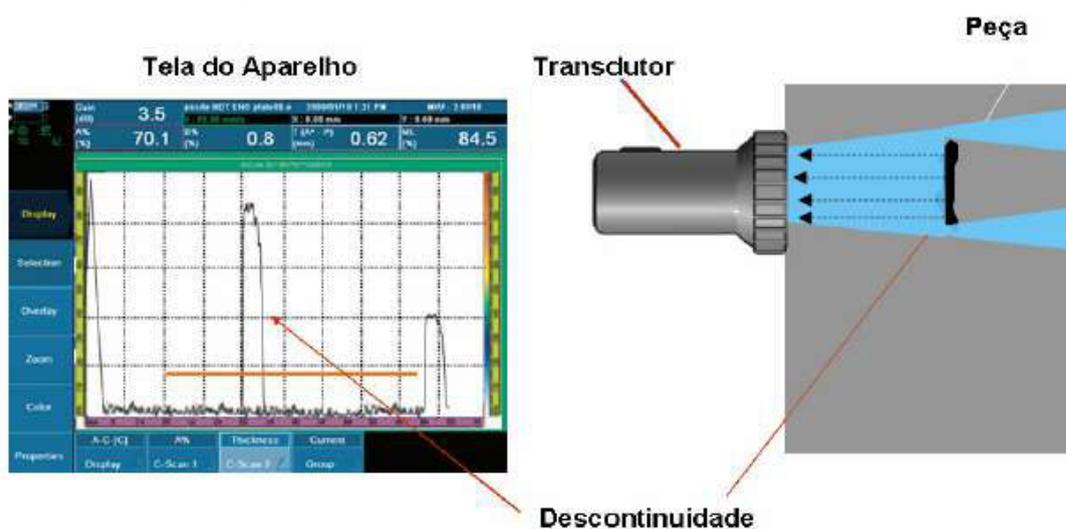
### **3.1.4 Ensaio Não Destrutivo Por Ultrassom**

O Som, após ser produzido, tem a capacidade de espalhar-se por um ambiente, pode ainda espalhar-se, refletir ou ainda reverberar nas paredes do ambiente. O ensaio de ultrassom é um ensaio não destrutivo feito através da energia sonora com uma certa frequência, com o objetivo de detectar e avaliar falhas ou descontinuidades internas em materiais.

As ondas ultrassônicas (de alta frequência), produzidas por um aparelho são lançadas pelo transdutor, que lança um pulso, transmitindo uma onda sonora, que se

propaga através do material, atravessando-o, e encontrando assim as descontinuidades no interior do material. Ao passar por uma descontinuidade, o feixe de onda é refletido de volta para o mesmo transdutor, que passa a informação para o equipamento, gerando um sinal, que é mostrado no visor do aparelho.

Figura 1 - Princípio do Funcionamento do Ensaio de Ultrassom



Fonte: Andreucci (2014)

O ensaio ultrassônico pode ser aplicado em materiais ferrosos e não ferrosos, e é capaz de detectar descontinuidades internas em variados tipos de materiais e formas. Segundo Andreucci (2014), “[...]o exame ultrassônico, assim como todo exame não destrutivo, visa diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças de responsabilidades”

### 3.2 DESCONTINUIDADES EM JUNTAS SOLDADAS

Qualquer processo de fabricação está sujeito a falhas e inspeção, com juntas soldadas não é diferente. Para garantir a confiabilidade de processos soldados é necessário que se faça inspeções para garantir um bom processo, qualidade e segurança da fabricação.

Juntas soldadas podem apresentar diversos tipos de falhas ou descontinuidades que se caracterizam pela falta de homogeneidade das

características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda (MODENESI, 2001).

É possível definir ao menos quatro tipos de descontinuidades em soldas: as descontinuidades dimensionais e estruturais, descontinuidades ligadas a propriedades metalúrgicas da solda e descontinuidades ligadas ao metal base.

A porosidade em soldas é um tipo de descontinuidade ligada à estrutura da solda que ocorre quando gases retidos que são gerados por reações químicas ou por profundidade (pressão) inadequada, tipo de revestimento do eletrodo e estabilidade do arco (LIU et al 1994 apud PESSOA, 2007, p 48).

A falta de fusão em solda é um fator relevante para a formação de trincas. Segundo Modenesi (2001), esta descontinuidade é um concentrador de tensões, podendo facilitar a iniciação de trincas, além de reduzir a seção efetiva da solda para resistir a esforços mecânicos. Este tipo de descontinuidade pode ocorrer por diversos fatores e segundo Pereira (2020) Uma diminuição da corrente utilizada no processo de soldadura pode originar uma deficiente fusão do material de base, particularmente na zona de ligação (linha de fusão).

As trincas em soldas podem não ser necessariamente oriundas de defeito do processo da soldagem. Como citado por Modenesi, trincas resultam da atuação de tensão de tração (tensões transientes, residuais ou externas) sobre um material incapaz de resistir a elas, em geral, devido algum problema de fragilização (MODENESI, 2001, p. 5)

### **3.3 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL DOS SHIP TO SHORE (STS)**

#### **3.3.1 A Logística**

Para contextualizar o Ship to Shore e a sua importância histórica para o desenvolvimento econômico mundial, é preciso começar citando a definição da logística, para entender o seu papel para além da carga e descarga de navios.

Segundo a Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), a gestão de logística pode ser definida como:

“As atividades de gerenciamento de logística normalmente incluem gerenciamento de transporte de entrada e saída, gerenciamento de frota, armazenamento, manuseio de materiais, atendimento de pedidos, projeto de rede logística, gerenciamento de estoque, planejamento de oferta/demanda e gerenciamento de provedores de serviços logísticos terceirizados. [...]Está envolvido em todos os níveis de planejamento e execução – estratégico, operacional e tático. A gestão logística é uma função integradora, que coordena e otimiza todas as atividades logísticas, bem como integra as atividades logísticas com outras funções, incluindo marketing, vendas, fabricação, finanças e tecnologia da informação. (CSCMP - Terms and Glossary, 2013, p.117)”.

Com a crescente demanda de mercado internacional, competitividade de mercado, globalização econômica e um progressivo aprimoramento nos padrões de consumo, ocorreu uma crescente necessidade de reorganização nos modelos de gestão empresarial para padronizar a nível internacional modelos de qualidade, produtividade e custo entre as organizações, fazendo da logística um diferencial competitivo (ZAGO et al, 2008, p.21, apud COSTA, 2017, p. 24).

Nesse sentido, o transporte pode ser considerado fator essencial para a economia de um país. Colavite e Konishi (2015) citam que “O crescimento de um país ou região, neste contexto, está relacionado, dentre outros, a fatores como a facilidade de mobilidade da população, sua acessibilidade às diversas áreas, assim como à existência ou não de entraves ao escoamento da produção do país”.(apud COSTA, 2017, p.11).

Por fim, segundo Bittar (2019) “A logística internacional também pode ser entendida como um processo metódico de coordenação, planejamento e controle da armazenagem e movimentação de bens e serviços, do remetente ao destinatário localizado em outro país” (apud ANJOS et al, 2022, p. 56).

### **3.3.2 O Container**

Nesse contexto da logística de armazenagem e movimentação de bens e serviços, podemos citar um dos instrumentos mais importantes para que esses suprimentos sejam armazenados, estocados e transportados.

O container é um dos principais elementos que permite que suprimentos sejam transportados tanto por meio marítimo, ferroviário ou rodoviário.

De acordo com CARLO et al (2013) “A globalização ocorrida nas últimas décadas, não só aumentou a complexidade das redes de cadeia de suprimentos, mas também os desafios logísticos, tendo o container uma participação efetiva na construção de soluções para esse cenário desafiador” (apud COSTA, 2017, p. 24)

Com isso, podemos afirmar que os containers estão diretamente envolvidos no gerenciamento da logística como um todo, pois eles são capazes de transportar diversos tipos de mercadorias, inclusive, mercadorias perecíveis, sendo eles de exportação ou importação, com segurança e por mais de um tipo de modal de transporte atendendo às demandas de movimentações de bens e suprimentos, nacional e internacional.

Containers são caixas padronizadas de metal, com a finalidade de acomodar mercadorias, insumos, matéria prima ou outros produtos para o armazenamento ou transporte seguro dentro de navios, caminhões e trens. Por ser um equipamento de grande porte, eles podem ser manuseados por máquinas de grande porte, que também possuem um padronismo para manusear o container. Apesar de serem padronizados, há uma variedade de tipos de containers que atendem a diferentes necessidades de cada tipo de mercadoria, eles foram criados como uma alternativa a caixas de madeiras e barris que eram usados para acondicionar e transportar cargas. Esse método para transportar cargas dentro de navios demandava grande mão de obra, além de um elevado tempo para serem descarregados.

A criação do container possibilitou transportar mercadorias com mais segurança e rapidez, além de diminuir a mão de obra envolvida diretamente para carregar e descarregar navios e caminhões. Enfatizando essa ideia, Hijjar (2006) comenta que:

“O aumento da utilização de contêineres tem sido um dos principais fatores de estímulo ao transporte intermodal de cargas em todo o mundo. Através de sua utilização, a carga sai de sua origem e segue até seu destino final, podendo utilizar diferentes modais de transporte sem precisar ser manuseada ou fracionada. O uso de contêiner aumenta a eficiência no transbordo de carga, reduzindo o tempo gasto para a troca de modais de transporte. (apud COSTA, 2017, p.25)”.

Com toda a evolução no transporte de cargas, cresceu também a preocupação com a infraestrutura de terminais e máquinas disponíveis para que a cadeia de suprimentos não seja prejudicada, quanto ao tempo e qualidade, de forma a não prejudicar a qualidade para o cliente final.

Segundo boletim do 4º trimestre de 2022 da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), houve uma movimentação de 2,9 Milhões de Twenty Foot Equivalent Unit (TEU) só nos portos Brasileiros. Essa quantidade de movimentações portuárias implica diretamente na necessidade de melhorias contínuas de desenvolvimento nos terminais portuários para que o crescimento dessas movimentações seja viável, além de garantir qualidade, segurança e agilidade nas movimentações.

### **3.3.3 O Ship to Shore**

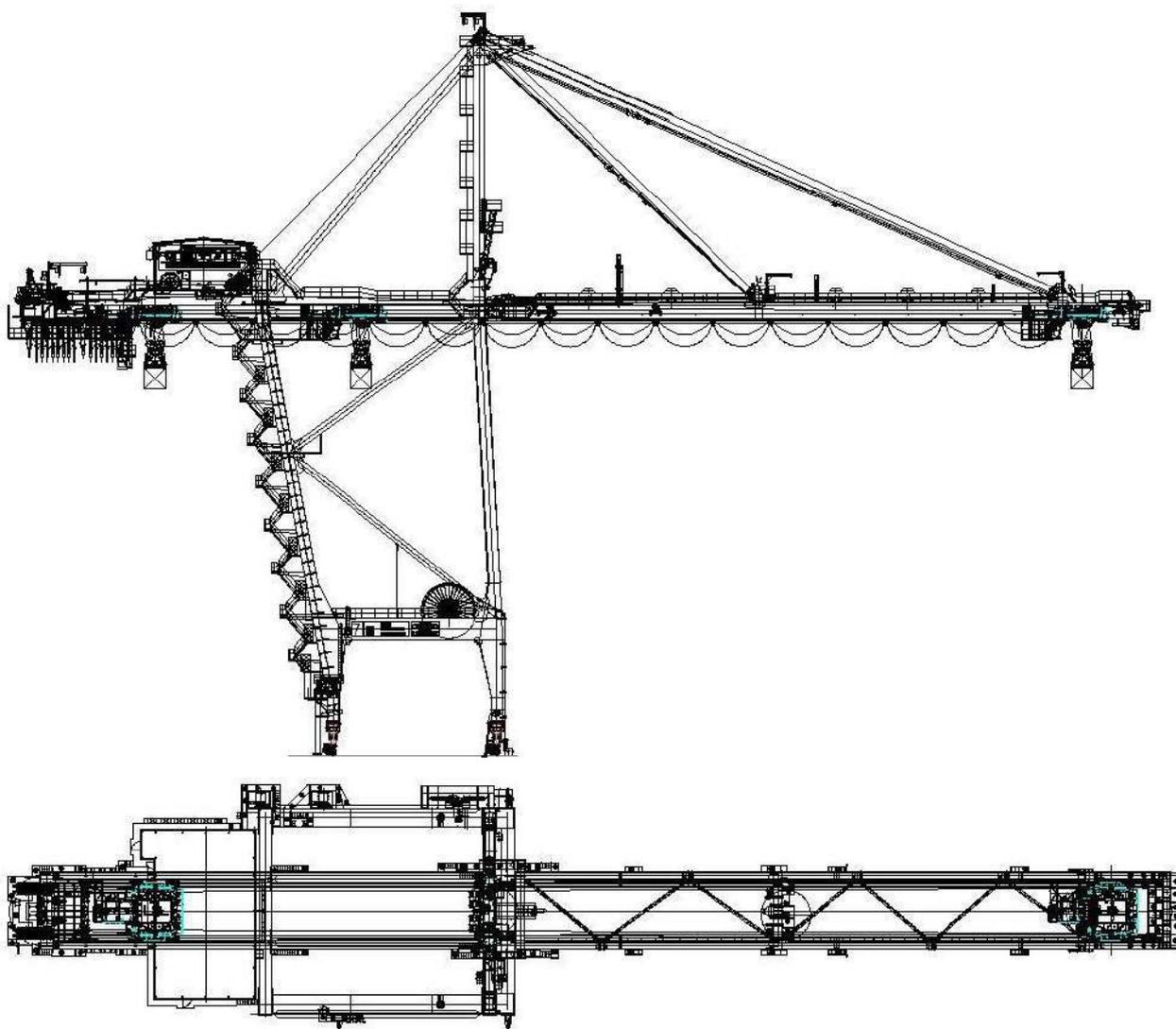
O transporte de cargas por containers em grandes navios vem crescendo desde a sua criação, e com isso nasceu também a necessidade de equipamentos mais robustos para a carga e descarga dos mesmos. Lima et al (2019) introduz dizendo que:

[...]o surgimento dos grandes navios especializados na movimentação de contêineres obrigou os terminais portuários a buscar recursos tecnológicos que suprissem essa nova demanda, visualizando principalmente a redução do tempo de execução da tarefa, minimizando custos e aumentando o nível de serviço prestado para os clientes.

Dentro de um terminal de containers, há diversos tipos de equipamentos disponíveis para cada tipo de operação. “Podem ser máquinas de pequeno, médio ou grande porte, utilizadas nas interfaces de movimentação entre modais ou na armazenagem de cargas em pátios, depósitos ou armazéns nos diversos terminais especializados nas áreas do Porto Organizado (FEMAR, 2001 apud LIMA et al, 2011).

E dentre esses diversos tipos de equipamentos, os guindastes do tipo Portainer ou Ship to Shore (STS), são equipamentos de extrema importância para garantir a eficiência, qualidade e segurança nas cargas e descargas de navios, pois estão diretamente ligados à operação de carregar e descarregar os navios.

Figura 2 - Vista geral lateral e Superior de um STS



Fonte: Manual de Manutenção Ship to Shore ZPMC

Os Portêineres ou Ship to Shore Cranes (STS) são equipamentos de grande porte responsáveis por movimentar contêineres entre navios e o cais e vice-versa. São estruturas montadas sobre trilhos em formato de pórticos que podem se deslocar paralelamente ao cais onde estão instalados e possuem uma lança móvel, que pode ser içada ou baixada de acordo com a necessidade, para o posicionamento de navios. Lima et al (2019) define um STS como “uma estrutura em formato de portal, com uma lança elevatória horizontal que se posiciona sobre o navio para a movimentação de contêineres”.

### 3.4 PORT EQUIPAMENTS MANUFACTURES ASSOCIATION - PEMA

Port Equipment Manufactures Association (PEMA), foi criada no início de 2004 por lideranças de fabricantes de equipamentos portuários com o objetivo de criar uma plataforma para representar a indústria portuária como um todo. É uma associação internacional sem fins lucrativos e um importante órgão que disponibiliza diretrizes para melhores práticas e padrões na indústria portuária em diversos setores. Atualmente, PEMA dispõe de diversos parceiros e membros para o fornecimento de soluções tecnológicas.

Visto a dificuldade, na época da sua criação, de acesso a documentos que unificasse uma norma de inspeção e regulamentação em equipamentos portuários, o PEMA nasceu com a proposta de unificação de normas e orientações em um manual de fácil acesso e entendimento para instruir os interessados. Hoje o PEMA possui diversos documentos sobre orientações práticas para segurança e manutenção de equipamentos portuários, e um desses documentos chamado *Practical Structure Examination of Containers Handling Cranes in Ports and Terminals*, traz informações a sobre a examinação estrutural de Ship to Shore (STS) e Rubber Tyre Gantry Crane (RTG), onde é possível extrair informações sobre as orientações para manutenção e identificação de partes estruturais críticas dos guindastes.

Os componentes estruturais em um Ship to Shore Crane estão sujeitos a esforços cíclicos o que por consequência vem a diminuir a resistência a uma fratura frágil. Segundo PEMA (2014) “Quase todas as falhas em componentes estruturais de guindastes são devidas à fadiga”. PEMA também afirma que a fadiga é um tipo falha causada por esforços repetidos e variáveis que pode ocorrer com cargas abaixo do seu limite de resistência estática em estruturas de aço que estão sujeitas a cargas variadas ou repetidas.

#### 3.4.1 Pontos FCM (Fracture Critical Members)

O PEMA define uma série de pontos em que se fazem necessários ensaios não destrutivos. Tais pontos são definidos como críticos do ponto de vista estrutural do equipamento. Os pontos FCM (Fracture Critical Members), são pontos onde é necessário dar uma atenção especial no monitoramento e manutenção, pois são

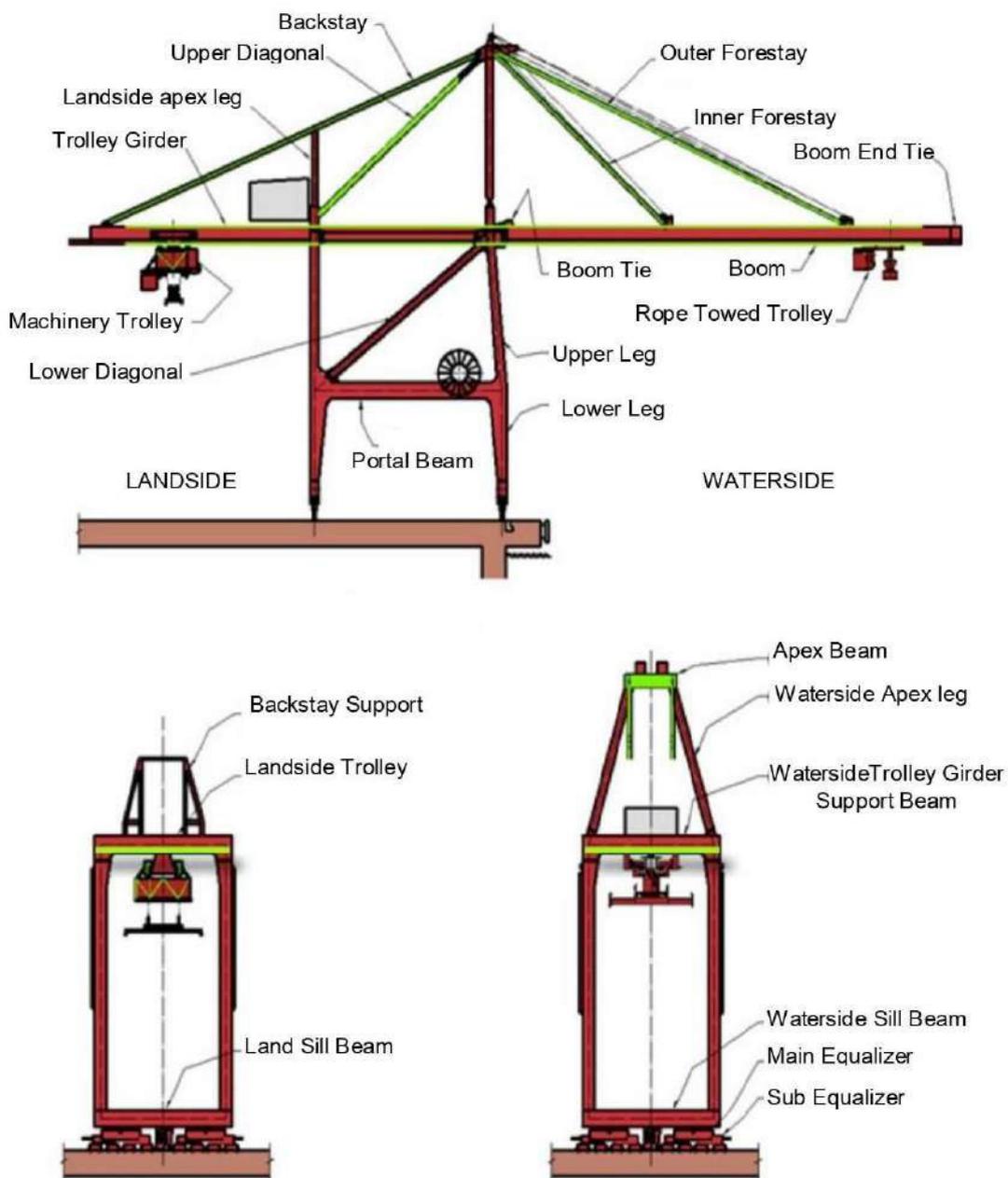
pontos estruturais, e alguma falha em algum desses pontos pode vir a causar prejuízos na produção e até colocar em risco operadores e colaboradores envolvidos na operação. E ainda segundo PEMA “Os componentes estruturais de guindaste de maior risco são os FCMs que sofrem graves danos por fadiga, especialmente em locais com tensões significativas concentrações”. (PEMA, 2014, p. 09 tradução nossa).

A norma ASTM E1823-13 define a fadiga como “o processo de mudança localizada, permanente e progressiva na estrutura, que ocorre no material sujeito a flutuações de tensões e deformações que pode culminar em trincas ou completa fratura depois de um número suficiente de flutuações” . Podemos dizer que a fadiga ocorre devido a ciclos alternados de tensão.

Os Guindastes portuários são operados num intenso regime de carregamento cíclico, o que leva esses guindastes a exaustão plástica da sua estrutura (Pustovoi and Reshchenko (2013), Nemchuk (2018) apud OLEKSIY NEMCHUK, 2019, p. 246. tradução nossa). Portanto, essas estruturas estão sujeitas a degradação considerável que se revela em primeiro lugar numa diminuição da resistência à fratura frágil (OLEKSIY NEMCHUK, 2019, p. 246 tradução nossa).

A figura abaixo destaca em verde as partes do guindaste chamadas de *Fracture Critical Member (FCM)*, que segundo o PEMA, são membros que sofrem maiores tensões e que possuem um estado crítico de fratura, usualmente são compostos por uniões soldadas e mudanças abruptas na secção de vigas e sua criticidade está correlacionada ao risco de colapso da estrutura caso alguma falha em um destes membros venha a ocorrer.

Figura 3 - Ship to Shore Crane



Fonte: Port Equipment Manufacturers Association - PEMA

Segundo o PEMA dois fatores implicam na existência de fratura por fadiga:

1 - O número e a amplitude de tensões através de determinado ponto em um membro estrutura determina a probabilidade do crescimento trincas, também chamado de avaria por fadiga. Maiores ciclos de tensão e maiores amplitudes de tensão em cada ciclo aumentam a avaria e a probabilidade de falha. Para muitos

membros em guindastes a carga varia diretamente em relação a magnitude e posição da carga movimentada.

2 - Concentrações de tensão, que incrementam a amplitude da tensão local aumentando o crescimento de trincas. Concentrações de tensões são locais nos membros estruturais onde há descontinuidades na geometria. Tensões locais são expressivamente maiores nestes pontos do que ao longo da secção. Concentrações de tensões são tipicamente encontradas ao redor de descontinuidades como conexões, especialmente uniões soldadas. (PEMA, 2014, p. 09 tradução nossa).

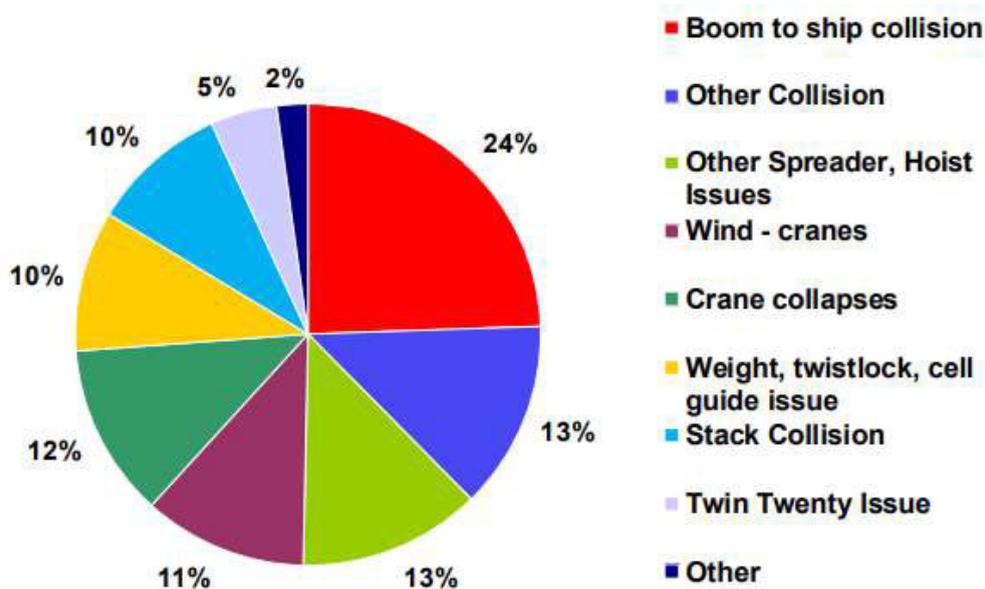
### 3.5 INTERNATIONAL TRANSPORT AND LOGISTICS INSURANCE - TT Club

O TT Club é um dos maiores fornecedores de transportes e logísticas internacionais, além de líder de seguros e serviços relacionados à gestão de risco portuária. Sua composição é feita por operadores de embarcações e terminais portuários englobando toda a cadeia de logística de movimentação de carga.

Fundado em 1968 com mais de 2000 operações seguradas, incluindo mais de 400 portos, o TT Club fornece informações de suma importância para o PEMA compondo o manual de melhores práticas fornecendo dados de sinistros e tipos de acidentes em todo o mundo.

Analisando os dados mundiais referentes aos sinistros, o TT Club indicou as principais causas de avarias em guindaste portuário.

Figura 4 - Análise de custos globais de sinistros de guindastes de cais (2014-2018)

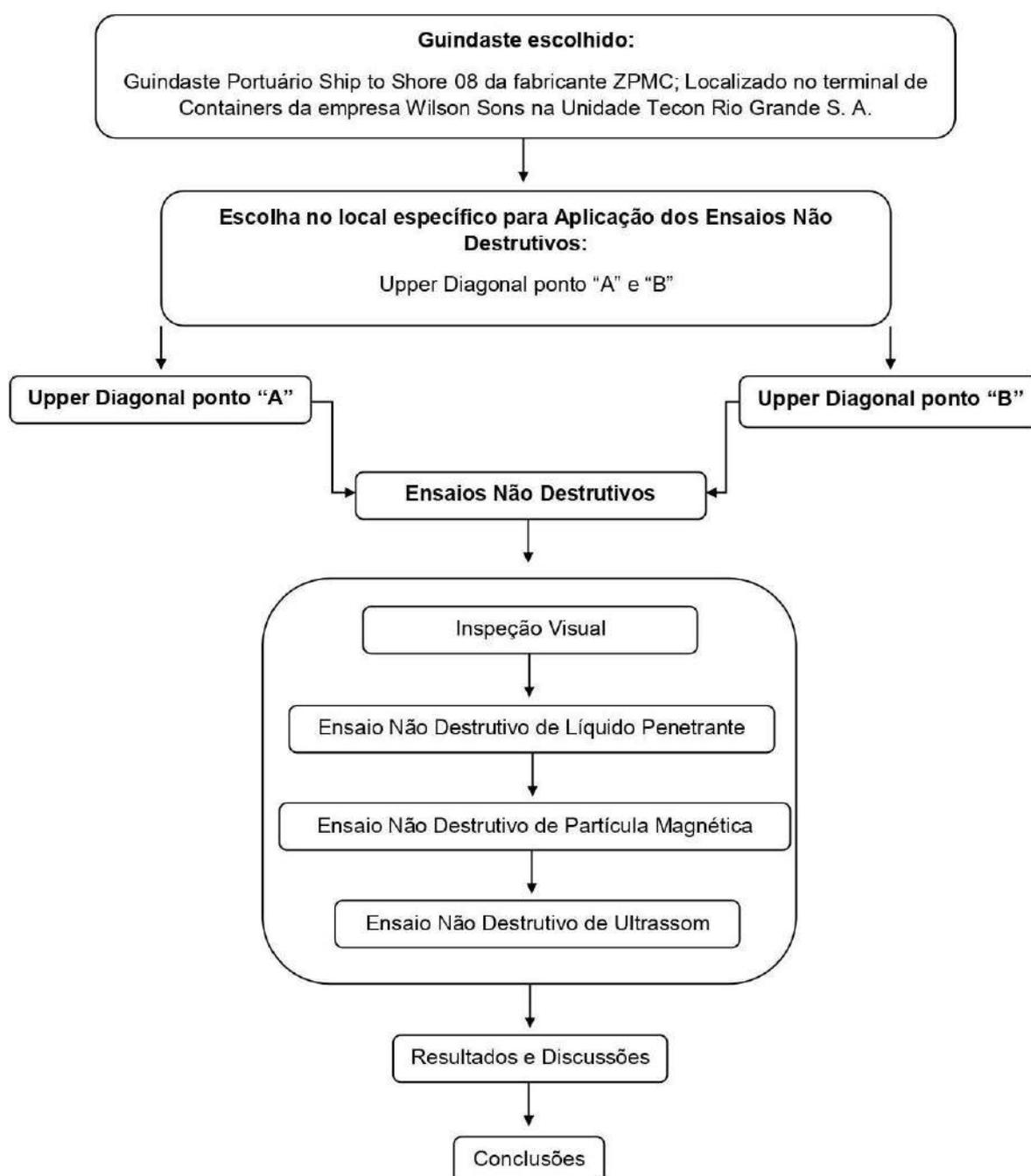


Fonte: PEMA ( Port Equipment Manufacture Associantion)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi aplicado no Ship To Shore localizado no terminal de contêineres da empresa Wilson Sons na Unidade Tecon Rio Grande S.A. O fluxograma abaixo demonstra o caminho tomado para a execução dos testes de Ensaios Não Destrutivos.

Figura 5 - Fluxograma da Metodologia de escolha local de aplicação dos END



Fonte: Próprio Autor

#### 4.1 Ship To Shore de Estudo

O guindaste portuário Ship to Shore 08, que é um equipamento portuário fabricado em 2016 por uma das maiores construtoras de guindaste do mundo chamada ZPMC - Shanghai Zhenhua Heavy Industries CO.LTD, localizada na China, é um guindaste específico para movimentação de contêineres que podem ser de 20ft ou 40ft, podendo chegar a uma capacidade de 100t de acordo com o projeto do terminal.

Figura 6 - Ship to Shore 08



Fonte: Próprio Autor

#### 4.1.1 Pontos de Aplicação dos Ensaios Não Destrutivos

Inicialmente foi definido o Guindaste a ser inspecionado e devido a complexidade da instalação e ao tipo de carga aplicada, os ensaios foram aplicados no seguinte componente: Upper Diagonal Esquerdo ponto “A” e ponto “B”.

Figura 7 - Upper Diagonal - Ponto “A” e “B”



Fonte: Próprio Autor

A escolha do local dos ensaios não destrutivos, levou em consideração um ponto estrutural do guindaste FCM (Facture Critical Member), que o PEMA aponta como sendo crítico para fratura. Segundo consta no documento intitulado *Practical Structure Examination of Containers Handling Cranes in Ports and Terminals*, várias falhas ou quase falhas catastróficas têm mostrado que a Upper Diagonal são fontes significativas de falhas perigosas por fadiga. As conexões finais desses membros em particular devem ser regularmente examinadas (PEMA, 2014, p. 20 tradução nossa). Tais pontos sofrem constantes variações em suas amplitudes de tensão e também são característicos por abruptas mudanças de geometria. Esses pontos devem ser objetos de ensaios, principalmente onde há estas mudanças. Além disso, a escolha do Upper Diagonal foi definida pela possibilidade de aplicar todos os ensaios não destrutivos propostos em um ponto FCM.

## 4.2 Ensaios Não Destrutivos

A partir de estudos dos históricos dos equipamentos e componentes, determinou-se que as inspeções deveriam ser realizadas considerando-se a engenharia de superfície e as condições do substrato. Considerando estes parâmetros foram definidos os seguintes ensaios não destrutivos: Inspeção Visual, Líquido Penetrante, Partícula Magnética e Ultrassom.

### 4.2.1 Inspeção Visual

A Análise de inspeção visual consistiu em observar os pontos “A” e “B” do upper Diagonal de perto pelo método direto, sem ajuda de instrumentos, a fim de se observar qualquer evidência que apontasse para alguma falha mecânica.

#### 4.2.1.1 Inspeção Visual no Ponto “A”

Durante a análise de inspeção visual, foi observado um cordão de solda aparentemente quebrado na extremidade do tubulão de travamento do equipamento, na ligação do tubulão com o Top Cross.

Figura 8 - Cordão de solda aparentemente quebrado

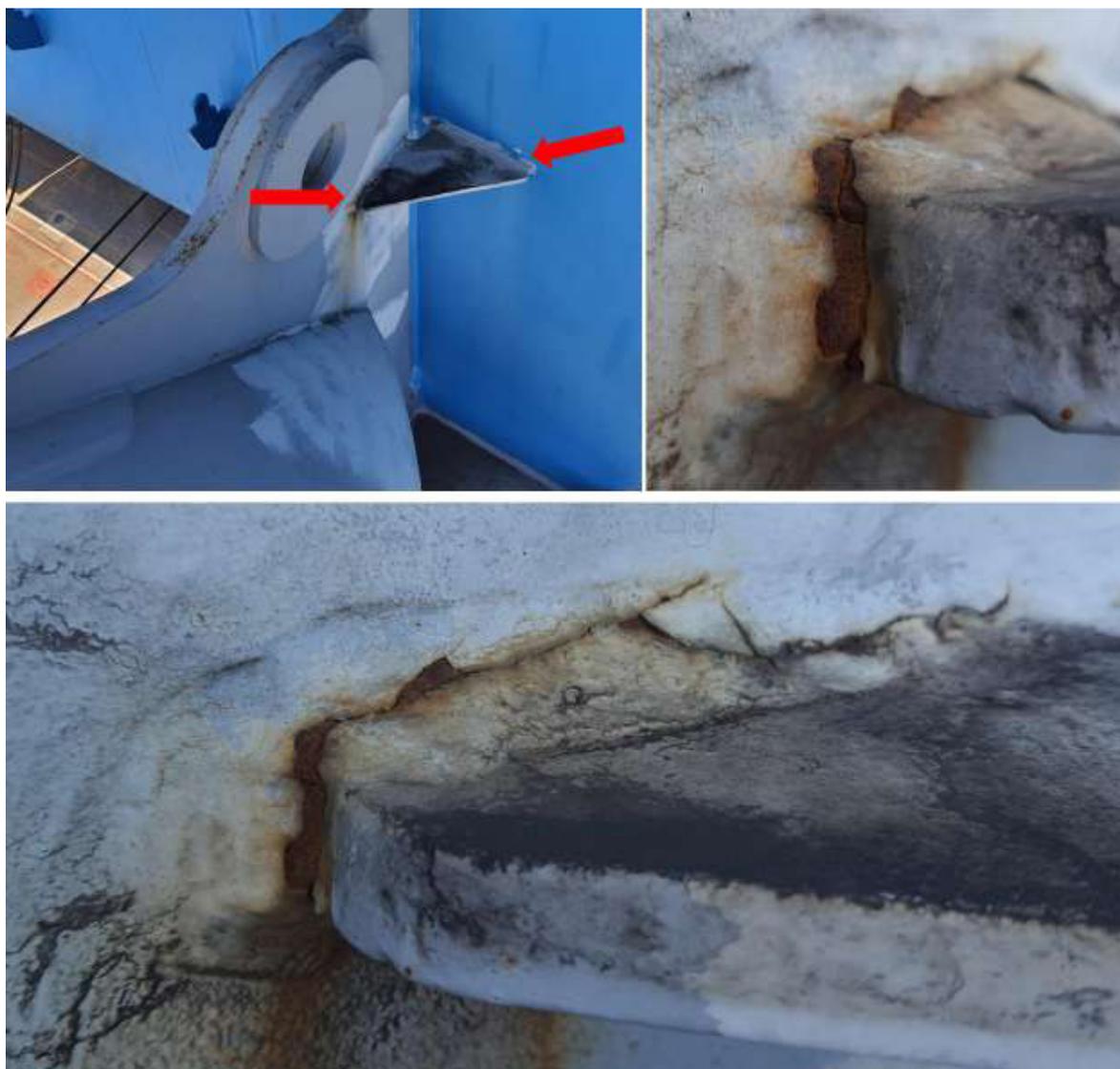


Fonte: Próprio Autor

#### 4.2.1.2 Inspeção Visual no Ponto “B”

Na Inspeção visual no ponto B, observou-se fissuras no cordão de solda na extremidade do tubulão de travamento do equipamento, na ligação do tubulão com a viga transversal terra.

Figura 9 - Fissuras no cordão de Solda.



Fonte: Próprio Autor.

#### 4.2.2 Ensaio Não Destrutivo Por Líquido Penetrante

O ensaio de Líquido Penetrante foi executado conforme a norma ASME V art 6 para Líquidos Penetrantes.

Primeiramente foi executada a limpeza da superfície com jateamento de areia e após, uma escova rotativa foi utilizada.

Figura 10 - Superfície limpa para aplicação de LP



Fonte: Próprio Autor

Foi aplicado o líquido penetrante por aspersion e aguardou-se um tempo para que a líquido pudesse agir.

Figura 11 - Aplicação Líquido Penetrante



Fonte: Próprio Autor

Após aguardar um determinado tempo, o líquido penetrante foi adequadamente removido com água e aplicado o revelador. O revelador utilizado foi em formato aerosol do tipo não aquoso modelo D70 da fabricante Metal-Check.

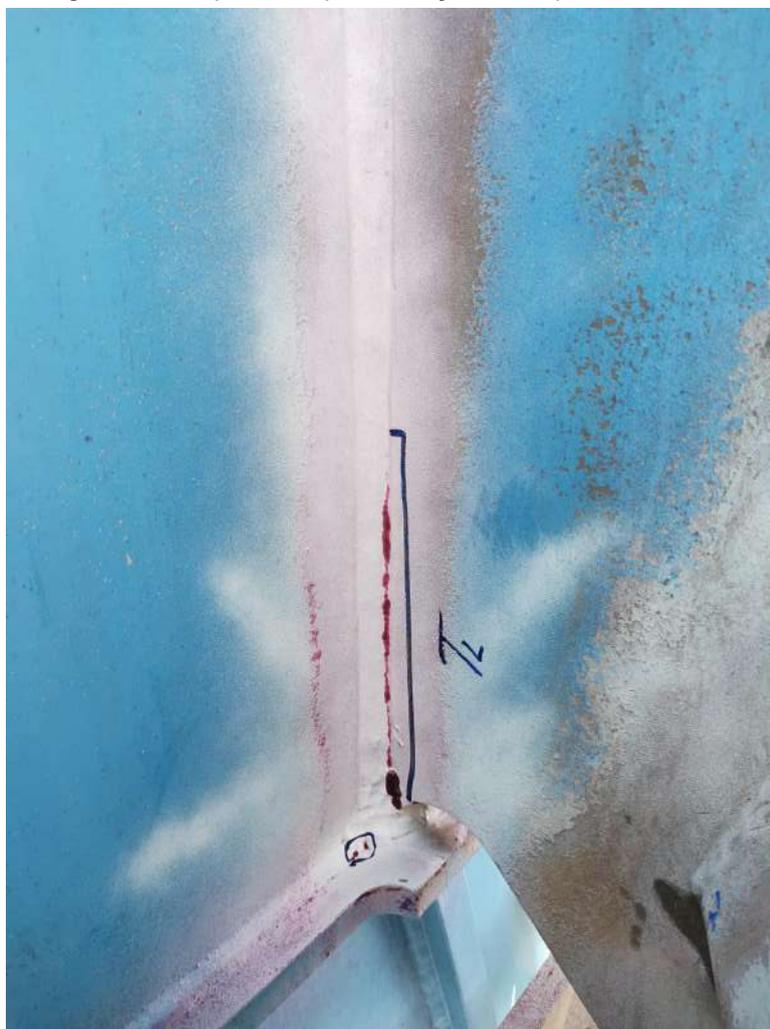
Figura 12 - Revelador utilizado no ensaio



Fonte: Próprio Autor

Após a remoção do líquido penetrante já foi possível observar uma grande trinca no local.

Figura 13 - Superfície após remoção do Líquido Penetrante



Fonte: Próprio autor

Para a remoção dos resíduos finais e limpeza final da peça foi utilizado solvente, também da fabricante Metal-Check VP30.

#### 4.2.3 Ensaio Não Destrutivo Por Partícula Magnética (PM)

O procedimento de partículas magnéticas baseou-se na norma ASME seção V art 7 de ensaio por Partícula Magnética, foi dividido nas seguintes etapas:

- Limpeza da superfície para garantir que toda poeira, graxa, tinta ou outro resíduo seja retirado, deixando a superfície escovada para os testes;

- Aplicação das linhas de campo magnético com a técnica de magnetização longitudinal utilizando com a máquina Yoke de pernas articuladas de corrente alternada modelo HMM6 110/220V da fabricante Metal-Check;
- Aplicação das partículas magnéticas por via úmida colorida.
- Inspeção visual e observação das linhas de acúmulo das partículas, indicando alguma descontinuidade e porosidade.

Figura 14 - Aplicação das linhas de campo Magnético



Fonte: Próprio Autor

#### 4.2.4 Ensaio Não Destrutivo de Ultrassom

Para início do ensaio, foi feita a limpeza e a escovação da superfície a ser analisada. Toda a área foi escovada para os testes, o metal base informado pelo fabricante de guindastes é um ASTM A709 GR 50.

Figura 15 - Upper Diagonal - Área de solda a ser examinada



Fonte: Próprio Autor

Após, aplicou-se o acoplante do tipo carboxi metil celulose na área para então posicionar o aparelho e dar início ao Ensaio Não Destrutivo. O transdutor usado foi MWB de feixe angular  $70^\circ$  de 4MHz. O método utilizado foi o de Pulso Eco, o mais convencional nos aparelhos de Ultrasom, no qual foi emitido pulsos sônicos através do cabeçote em contato com o material em intervalos de tempos regulares.

A Norma utilizada para os testes foi a AWS D1.2015 (American Welding Society), na qual contém os procedimentos e requisitos para estruturas de aço soldada.

Figura 16 - Realização END de Ultrassom



Fonte: Próprio Autor

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base nos ensaios não destrutivos realizados nos pontos “A” e “B”, podemos observar que em todos os testes feitos, foi constatada a presença de poros e de trincas nas uniões soldadas. Esses resultados reforçam que as orientações dadas pelo PEMA sobre o monitoramento dos pontos FCM, que devem ser constantemente monitoradas. “A melhor maneira de reduzir a probabilidade de uma falha perigosa é fazer inspeções completas dos FCMs em intervalos calculados com base na taxa provável de crescimento de fissuras” (PEMA, 2014, p 10 tradução nossa).

### 5.1 Ensaio de Inspeção Visual

A técnica simples de inspeção visual demonstrou eficiência, nesse caso, por permitir observar imperfeições nas juntas soldadas.

Figura 17 - Imperfeições com óxido em junta soldada



Fonte: Próprio Autor

Nesse caso, este ensaio demonstrou eficiência, pois as trincas apresentava-se externamente sendo possível a observação sem instrumento, mas esse não pode ser o único ensaio empregado para a análise de estruturas soldadas.

Este é um ensaio básico, que permite a observação de defeitos externos e deve ser usado em conjunto com outros ensaios para atestar a qualidade das soldas pois, como também é citado pelo PEMA, a inspeção visual não detecta falhas no interior do material e as trincas superficiais podem não ser percebidas até atingirem um tamanho crítico. (PEMA, 2014, p. 10).

## **5.2 Ensaio por Líquido Penetrante**

O ensaio por líquido penetrante se mostrou eficaz ao identificar trinca longitudinal na região soldada.

Na figura podem ser visualizadas parte das análises realizadas pela técnica de líquidos penetrantes. Verifica-se a presença de trincas longitudinais no sentido da região de solda. A presença destas trincas podem indicar um número excessivo de ciclos e um aumento na faixa de tensões como cita Pema : “Quanto maior a faixa de tensão – a diferença entre a tensão mínima e máxima – maior será a taxa de crescimento de trincas por ciclo de carga. [...] Quanto mais ciclos, mais as fissuras crescerão. A influência do número de ciclos na confiabilidade é linear (PEMA, 2014)

Mesmo apresentando baixo valor de carbono equivalente os efeitos atmosféricos podem ter contribuído para a nucleação e propagação trincas detectadas.

Figura 18 - Trinca na região soldada revelada por líquido penetrante



Fonte: Próprio Autor

Na figura 18 podem ser visualizadas parte das análises realizadas pela técnica de líquidos penetrantes. Verifica-se a presença de trincas longitudinais no sentido da região de solda. A presença destas trincas indicam efeitos da intensidade da fonte originando crescimento anormal de grãos e taxa de resfriamento elevado. Mesmo apresentando baixo valor de carbono equivalente os efeitos atmosféricos podem ter contribuído para a nucleação e propagação trincas detectadas.

Figura 19 - Trincas longitudinais reveladas por END de Líquido Penetrante



Fonte: Próprio Autor

### 5.3 Ensaio Por Partícula Magnética

No ensaio de partícula magnética, todas as soldas foram reprovadas por apresentarem trinca longitudinal. A magnetização foi realizada no sentido longitudinal e não foram detectadas variações significativas nos testes aplicados.

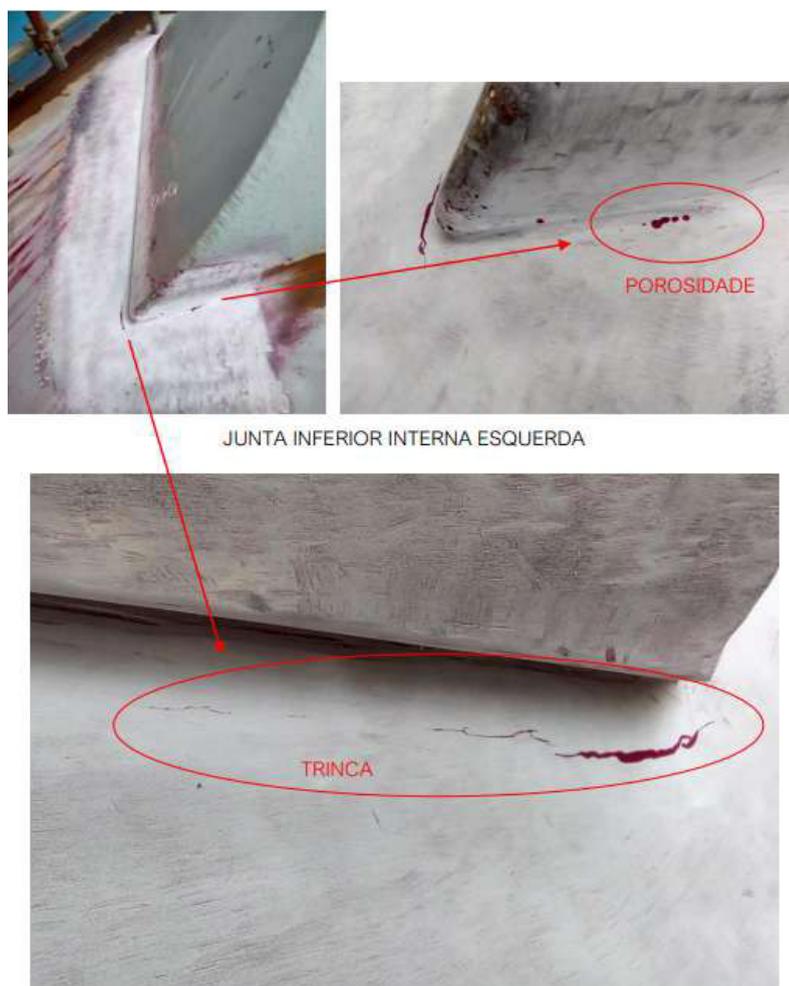
Na investigação de defeitos subsuperficiais ocorreram dificuldade de detecção pelas características das regiões inspecionadas. Houve dificuldade também, na detecção de trincas em algumas áreas com maior espessura.

Figura 20 - Trincas reveladas por Ensaio por Partícula Magnética



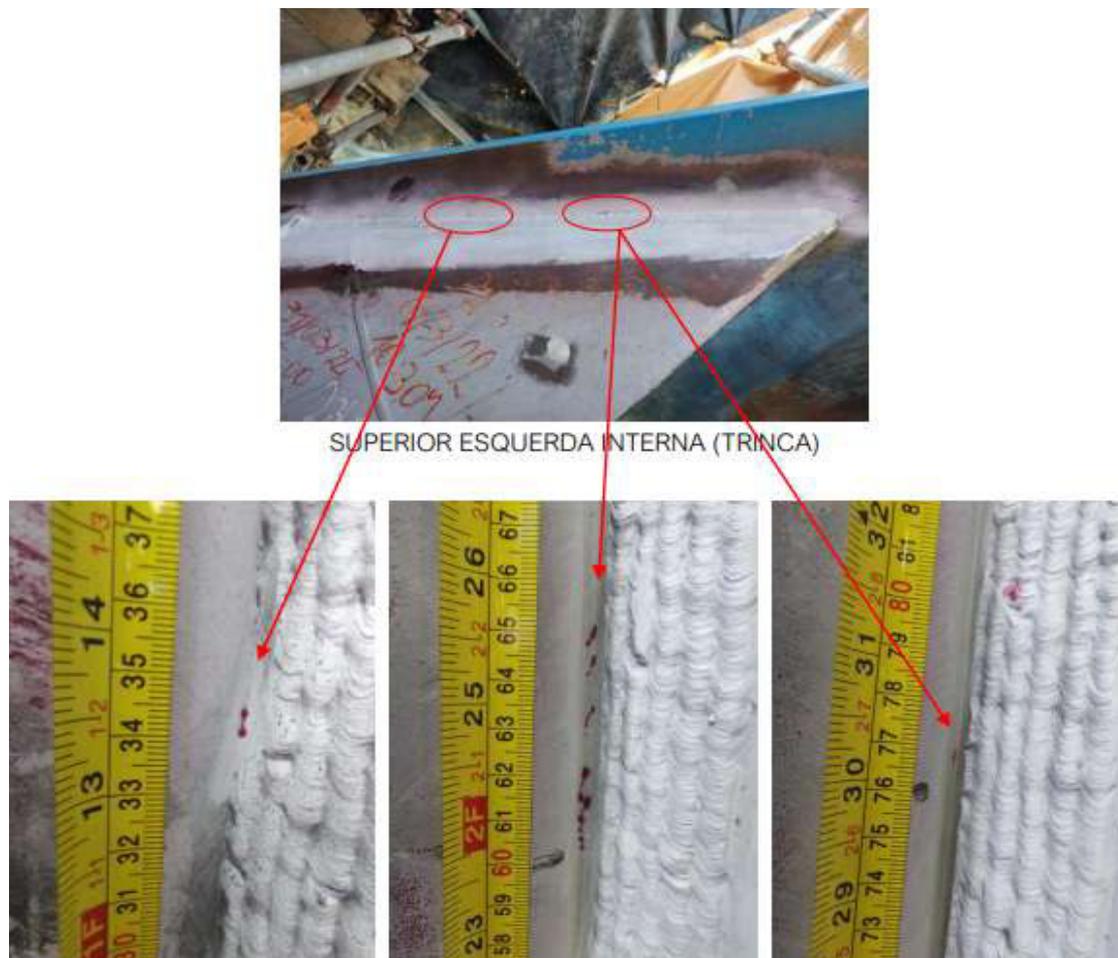
Fonte: próprio Autor

Figura 21 - Aparecimento de trincas e poros nas juntas soldadas testadas.



Fonte: Próprio autor

Figura 22 - Comprimento da trinca após o teste de líquido penetrantes



Fonte: Próprio Autor

## 5.4 Ensaio de Ultrassom

No ensaio de ultrassom, foi identificado grande trinca na diagonal lado esquerdo e superior com profundidade de 8 a 13 mm.

Figura 23 - Trinca Revelada no ensaio de ultrassom



Fonte: Próprio Autor

Testes de Ultrassom indicando trincas com maior precisão, podendo definir o comprimento e profundidade das trincas, indicando uma possível falha no processo de soldagem na fabricação do guindaste.

Figura 24 - Teste de ultrassom



Fonte: Próprio Autor

## 6 CONCLUSÕES

- Ao final deste estudo concluiu-se que os resultados obtidos, demonstram que a aplicação de Ensaios Não Destrutivos é uma metodologia eficaz capaz de monitorar as condições mecânicas de guindastes portuários, pois todos os testes foram capazes de detectar falhas nos componentes;
- Pode-se dizer que todas as técnicas aqui aplicadas são eficazes para detecção de falhas na estrutura do STS, desde que sejam aplicadas seguindo corretamente as orientações de cada norma;
- As técnicas ENDS possibilitam um controle maior sobre o estado de conservação dos STS dando uma maior confiabilidade e segurança dos STS nas operações.
- Nos ensaios de líquido penetrante realizado em 100% da Upper diagonal pontos A e B apresentaram trincas no metal de base e porosidade na solda;
- Nos ensaios por Partícula Magnética foram identificadas a presença de poros nas soldas, indicando que espaços vazios formados pela presença de gás durante a soldagem e solidificação conforme figura
- Nos ensaios de ultrassom realizados conforme item 5.4 demonstrou que todas as regiões inspecionadas da junta de penetração parcial apresentaram trincas variando de 08 mm a 17 mm de profundidade. Além disso, indicaram possíveis falhas nas soldas por falta de fusão ou falta de penetração total nas juntas soldadas, sinalizando que no processo de fabricação os procedimentos adequados de soldagem não foram seguidos.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O presente trabalho foi desenvolvido na Unidade Tecon Rio Grande do grupo Wilson Sons e foi apresentado no grupo de integridade mecânica do grupo servindo de base para um plano de manutenção preventiva e preditiva para o terminal portuário de Salvador do mesmo grupo;
- A partir dos resultados obtidos, sugeriu-se que o monitoramento por Ensaios Não Destrutivos seja ampliado para outros equipamentos do terminal de contêineres Tecon Rio Grande, como Reach Stackers e empilhadeiras de diferentes tamanhos. Sendo assim, os ENDS mais uma ferramenta para o monitoramento e manutenção dos equipamentos;
- Todos os testes realizados no guindaste Ship to Shore 08 foram submetidos ao fabricante;
- O Terminal Tecon RG tem mais dois STS com as mesmas características, modelo e ano de fabricação. Os mesmos testes foram efetuados nos dois equipamentos citados, mesmo pontos especificados neste trabalho e não foram encontradas anomalias.
- Após a identificação das trincas citadas neste trabalho, foi contratado uma empresa qualificada para efetuar o reparo na qual identificou um número próximo de trinta trincas somando as duas Uper do STS 08;
- Todos os custos de reparo foram pagos pela empresa ZPMC fabricante do guindaste;
- Baseado nos resultados, concluiu-se que o fabricante falhou nos processos de fabricação, inspeção e qualidade, colocando em risco a estrutura do guindaste podendo causar na ausência de identificação das trincas uma falha catastrófica;
- Com base nos testes e relatórios efetuados e resultados obtidos, o presente trabalho pode ser submetido ao PEMA, contribuindo para um aprimoramento dos manuais de boas práticas e procedimentos em guindastes portuários.

## 8 DIFICULDADES ENCONTRADAS

As principais dificuldades encontradas na realização dos Ensaios Não Destrutivos nos equipamentos portuários, e que de certa forma justificam a ausência desses procedimentos nos terminais portuários brasileiros, são as seguintes:

1 - Difícil acesso nos pontos a serem inspecionados por conta da altura do posicionamento dos pontos, que se localizava a aproximadamente 40m de altura, e com isso a necessidade de montagem (andaimes) de estruturas para acesso ao ponto de análise.

Figura 25 - Montagem de Andaimes para acesso ao local de análise



Fonte: Próprio Autor

Além da dificuldade de acesso, há também um elevado investimento para a montagem dessas estruturas;

2 - Parada do equipamento por períodos elevados;

3 - Investimento alto em estrutura para inspeção e profissionais treinados para execução;

4 - Ausência de estruturas e processo de planejamento de manutenção portuária;

5 - Manuais de fabricantes deficitários, com periodicidade dos testes que devem ser realizados inconsistentes. E, apesar do Pema possuir um manual

informativo sobre os pontos estruturais Críticos (FCM), não há indicação da metodologia a ser utilizada para manutenção dos pontos FCM.

## **9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A partir desse estudo realizado, há margem para estudo complementar sobre a viabilidade financeira para aplicação dos ensaios não destrutivos nos elementos FCM e o estudo da técnica dos elementos finitos para os pontos FCM, para estimar o tempo de vida útil de um equipamento.

## REFERÊNCIAS

### Referências Nominais

Agência de Transportes Aquaviários ANTAQ - **Boletim Aquaviário 4º Trimestre de 2022** - Agência Nacional de Transportes Aquaviários, Brasília, 2023.

ANDREUCCI, R. **Ensaio por Ultrassom**. São Paulo: Abendi, 2018.

ANDREUCCI, R. **Líquidos penetrantes**. São Paulo: Abendi, 2018.

ANDREUCCI, R. **Partícula Magnética**. São Paulo: Abendi, 2007.

ARAUJO, Leonardo Sales; DE ALMEIDA, Luiz Henrique; DE MIRANDA BATISTA, Eduardo. **FAILURE ANALYSIS OF A SHIP-TO-SHORE GANTRY CRANE**, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 334: ensaios não destrutivos: líquidos penetrantes: detecção de descontinuidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASTM E1823 - 13 **Standard Terminology Relating to Fatigue and Fracture Testing**. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/E1823.htm>. Acesso em 28 de agosto de 2023.

BITTAR, A. **Redes Logísticas e Logística Internacional**. 1. Ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2019.

BRITO, M. (2003). **Manutenção: Manual Pedagógico PRONACI**. AEP – Associação Empresarial de Portugal, Porto.

CALENZANI, Dayvson Mulinari; COSTA, Lucas Gomes Reis. **Avaliação de desempenho dos ensaios não destrutivos por líquido penetrante e partícula magnética em juntas soldadas**. 2022.

COSTA, Marcos Paulo do Couto et al. **Transporte ferroviário de cargas: desafios e oportunidades para o aumento da participação no transporte de container na região sudeste brasileira**. 2017.

CSCMP. **CSCMP supply Chain management Definitions and glossary**. 2013.

DE CARVALHO, José Mexia Crespo; CARDOSO, Eduardo Gomes. **Logística**. Sílabo, 2002.

DOS ANJOS, Fabricio Nunes Oliveira; GABRIEL, Victor Nunes; SILVA, Thames Richard. **Falta de contêineres na cadeia logística no transporte internacional**. Revista Conecta, v. 5, n. 2, p. 53-65, 2022.

DWIVEDI, Sandeep Kumar; VISHWAKARMA, Manish; SONI, Akhilesh. **Advances And Researches on non destructive testing: A review**. Materials Today: Proceedings, v. 5, n. 2, p. 3690-3698, 2018.

LADECKI, B.; BADURA, S.; MATACHOWSKI, F. **Strength Analysis of a Gantry Crane of A Coating Structure**. Mechanics and Control, 2012.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem E introdução aos processos de soldagem**. Belo Horizonte, 2000.

NETO, Mário de Souza Nogueira et al. **Equipamentos Portuários de Movimentação de Contêineres: Portêiner e Guindaste Móvel Sobre Pneus**. 2011.

OLEKSIY NEMCHUK, M. H. V. P. O. N. **Role of in-service conditions in operational degradation of mechanical properties of portal cranes steel**. Procedia Structural Integrity, 2019.

PEMA. Pema: Sobre o PEMA. PEMA, 2023. PEMA. Disponível em: <<https://www.pema.org/about/>>

PEREIRA, Bruno Domingues. **Inspeção de juntas soldadas**. 2020.

PESSOA, Ezequiel Caires Pereira. **Estudo da variação da porosidade ao longo do cordão em soldas subaquáticas molhadas**. 2007

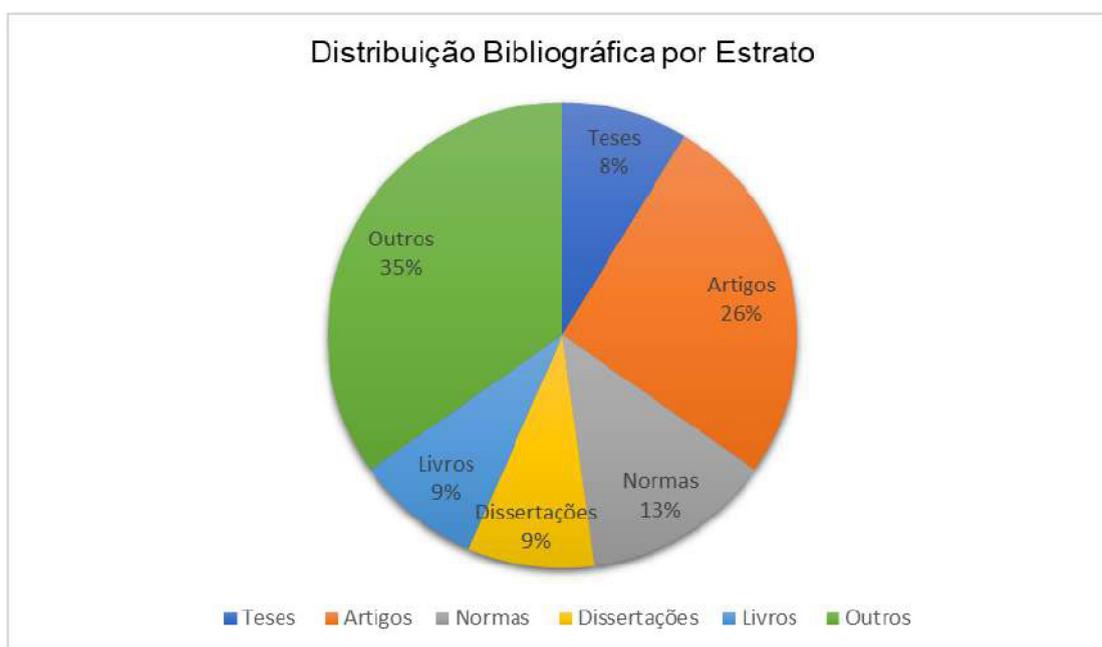
Waeyenbergh, G. e Pintelon, L. (2002). **A Framework for Maintenance Concept Development**. *International Journal of Production Economics*, Vol. 77, pp. 299-313.

Disponível

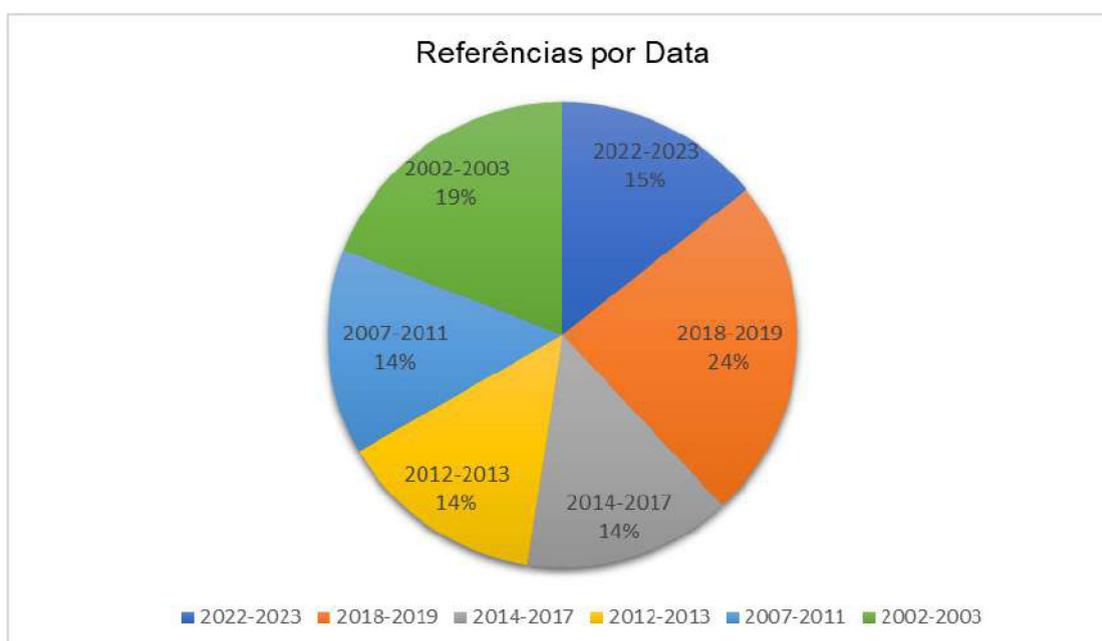
em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527301001566>>

ZOLIN, I. **Ensaio mecânicos e análises de falhas**. Santa Maria, 2011.

### Referências Por Estrato



### Referências por Data dos Artigos



## ANEXOS

## Anexo I - Relatório Final Ensaio Por Líquido Penetrante

|   |  |                  |
|---|--|------------------|
| <b>Relatório de Ensaio por Líquido Penetrante</b> |  | Folha: 1/4       |
|   |  | Data: 06/12/2021 |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Cliente/Obra:</b><br>WILSON SONS                       | <b>Equipamento:</b><br>PORTAINER – PP 08       |   |
| <b>Material:</b><br>AÇO CARBONO                           | <b>Desenho(s):</b><br>N/A                      | <b>Rev.:</b><br>-----                         |
| <b>Local Inspeção:</b><br>CAIS DO TEÇON - RIO GRANDE / RS | <b>Identificação das Juntas:</b><br>N/A        | <b>Processo Soldagem:</b><br>GMAW             |
| <b>Norma de referência:</b><br>ASME V                     | <b>Procedimento:</b><br>CZP 001                | <b>Rev.:</b><br>02                            |
| <b>Metal de Base:</b><br>AÇO CARBONO                      | <b>Metal de Adição Conf.:</b><br>N/A           | <b>Espessura:</b><br>50,0                     |
| <b>Condição superficial:</b><br>ESCOVADA                  | <b>Equip. de iluminação (lux):</b><br>1000 LUX | <b>Sistemática de Rastreabilidade:</b><br>N/A |

|                        | SOLVENTE (LIMPEZA) | PENETRANTE | REMOVEDOR | REVELADOR  |
|------------------------|--------------------|------------|-----------|------------|
| <b>Fabricante</b>      | METAL-CHEK         | METAL-CHEK | Água      | METAL-CHEK |
| <b>Ref. Comercial</b>  | E-59               | VP30       | -         | D-70       |
| <b>Nº Lote</b>         | LT-20-0973         | LT-18-1040 | -         | LT-19-0338 |
| <b>Data Fabricação</b> | 11/2020            | 07/2020    | -         | 03/2020    |

| SOLDA / PEÇA                                 | DESCONTINUIDADES |         |      |        |       | OBSERVAÇÕES |
|--|------------------|---------|------|--------|-------|-------------|
|  | Nº               | TIPO    | COTA | COMPR. | LAUDO |             |
| Junta Diagonal externo lado esquerdo (Mar)   | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |
| Junta Diagonal interno lado esquerdo (Mar)   | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |
| Junta Diagonal externo lado direito (Mar)    | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |
| Junta Diagonal interno lado direito (Mar)    | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |
| Junta Diagonal superior esquerdo (Mar)       | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |
| Junta Diagonal superior direito (Mar)        | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |
| Junta Diagonal externo lado esquerdo (Terra) | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |
| Junta Diagonal externo lado direito (Terra)  | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |
| Junta Diagonal interno lado esquerdo (Terra) | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |
| Junta Diagonal interno lado direito (Terra)  | -                | TL - PO | -    | -      | R     |             |

OBSERVAÇÕES

Foi executado o ensaio de Líquido Penetrante em 100% das soldas citadas acima. Estão REPROVADAS.

## LEGENDA

A – Aprovado  
R – Reprovado  
REC - Recomendação de exame Complementar

TL - Trinca longitudinal  
TT - Trinca transversal  
TR - Trinca ramificada  
FF - Falta de fusão

FP - Falta de penetração  
PO - Poro ou porosidade  
MO - Mordedura  
SP - Sobreposição

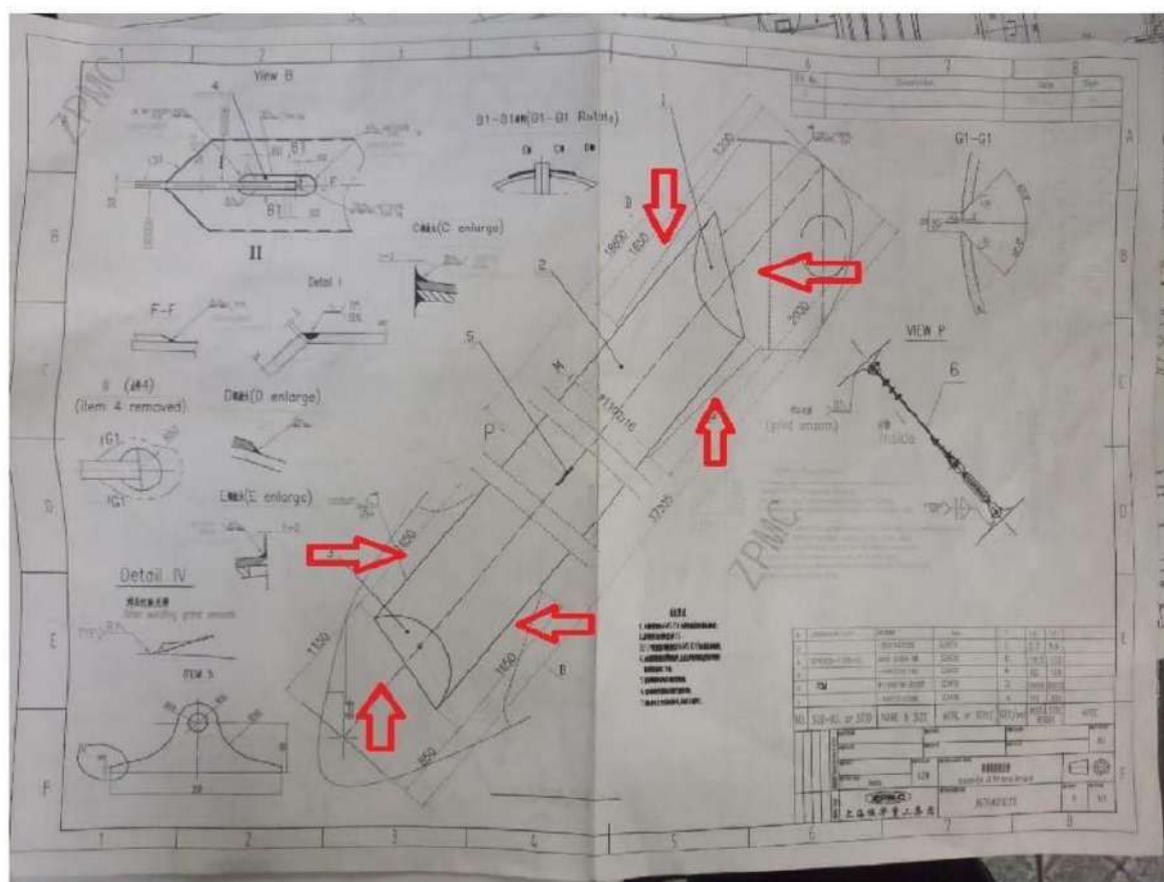
|                    |                                   |   |   |
|--------------------|-----------------------------------|---|---|
| <b>LAUDO FINAL</b> | <input type="checkbox"/> APROVADO | <input checked="" type="checkbox"/> REPROVADO | <input type="checkbox"/> EXAME COMPLEMENTAR |
| <b>INSPETOR</b>    | <b>RESPONSÁVEL TÉCNICO</b>        | <b>CLIENTE / FISCALIZAÇÃO</b>                 |   |
|                    |                                   |   |   |

## Relatório de Ensaio por Líquido penetrante

Folha : 2/4

Data: 06/12/2021

### DESENHO



LAUDO FINAL

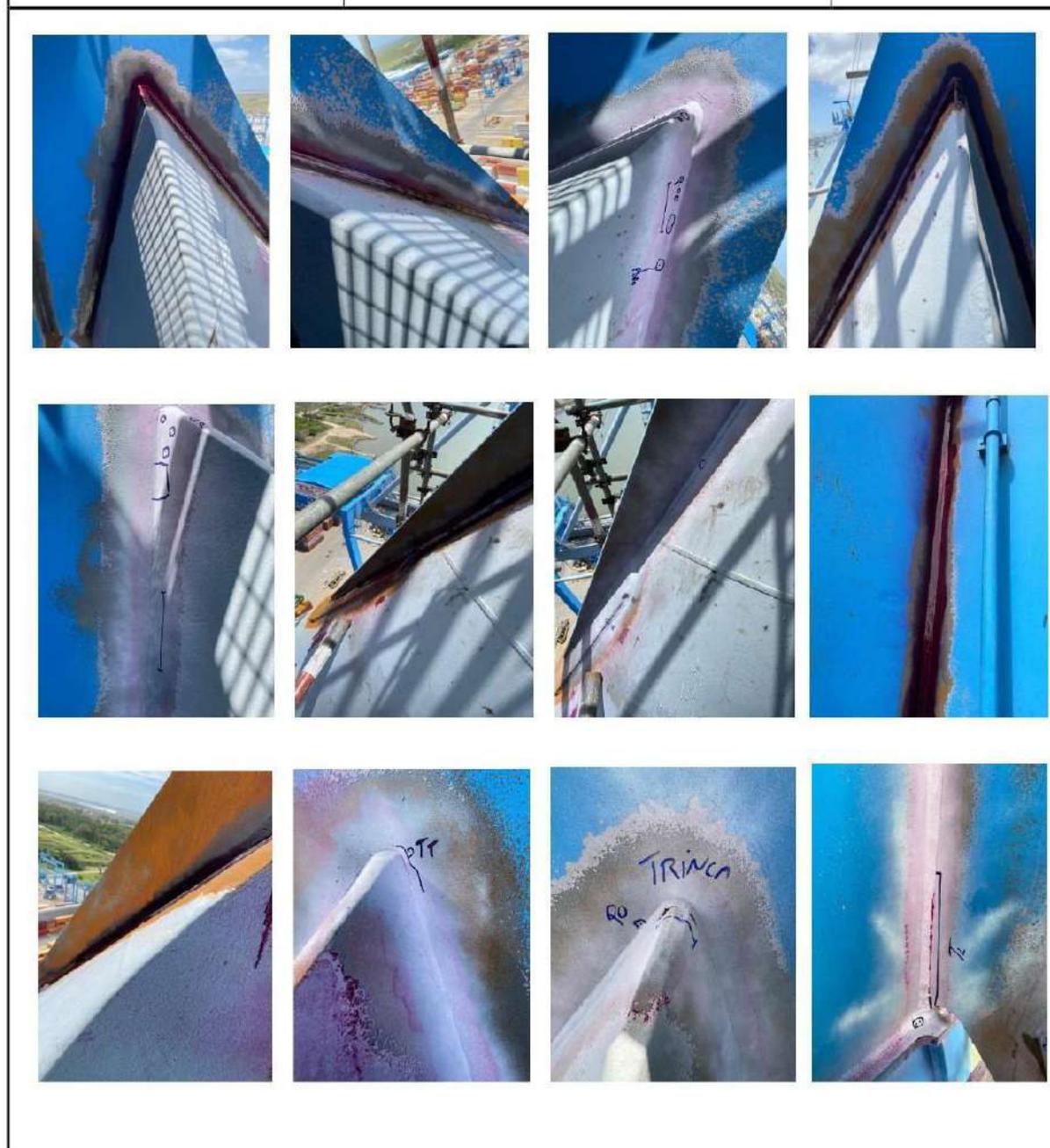
 APROVADO REPROVADO EXAME COMPLEMENTAR

INSPEÇÃO

RESPONSÁVEL TÉCNICO

CLIENTE / FISCALIZAÇÃO

|  |   |                  |
|--|---|------------------|
|  | <b>Relatório de Ensaio por<br/>Líquido penetrante</b> | Folha: 3/4       |
|  |   | Data: 06/12/2021 |
|  |   | <b>FOTOS</b>     |



|             |                                   |   |   |
|-------------|-----------------------------------|---|---|
| LAUDO FINAL | <input type="checkbox"/> APROVADO | <input checked="" type="checkbox"/> REPROVADO | <input type="checkbox"/> EXAME COMPLEMENTAR |
|-------------|-----------------------------------|---|---|

| INSPEÇÃO | RESPONSÁVEL TÉCNICO | CLIENTE / FISCALIZAÇÃO |
|----------|---------------------|------------------------|
|          |                     |                        |

|  |   |                  |
|--|---|------------------|
|  | <b>Relatório de Ensaio por<br/>Líquido penetrante</b> |                  |
|  |   | Folha : 4/4      |
|  |   | Data: 06/12/2021 |



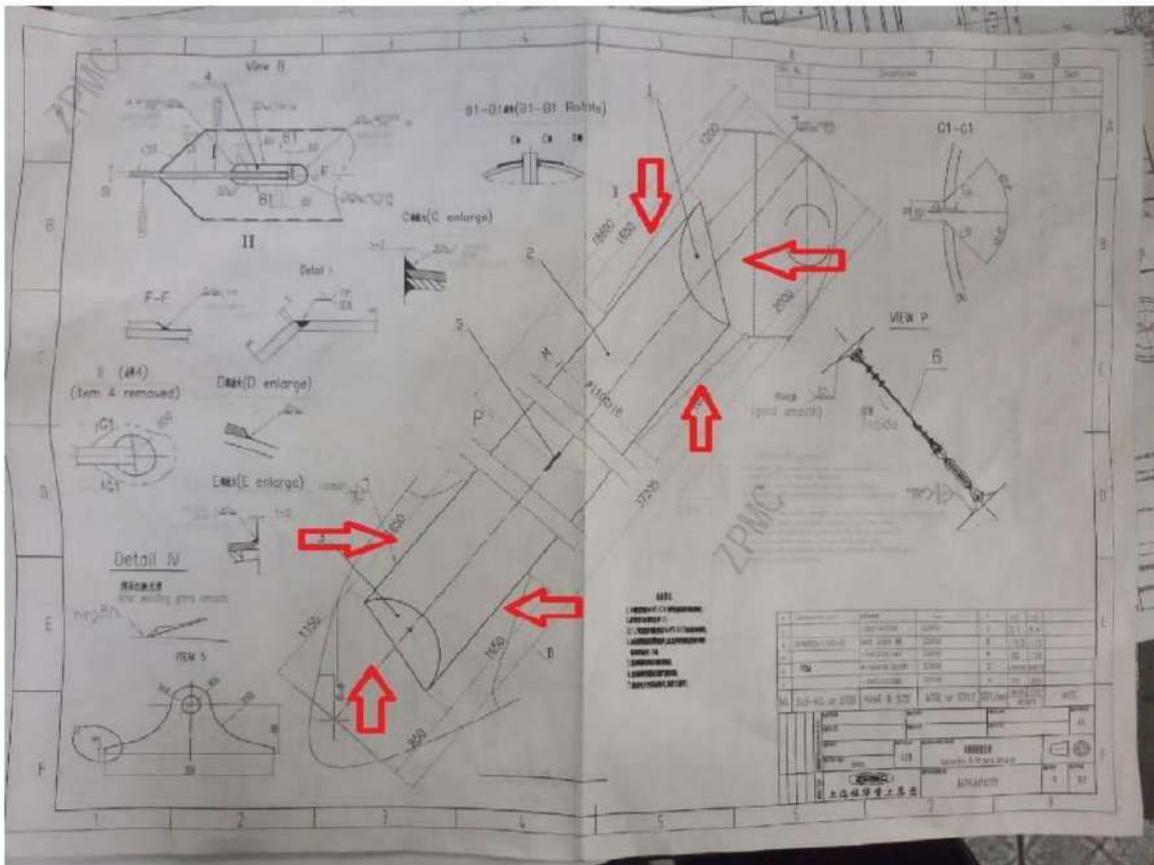
|             |                                   |   |   |
|-------------|-----------------------------------|---|---|
| LAUDO FINAL | <input type="checkbox"/> APROVADO | <input checked="" type="checkbox"/> REPROVADO | <input type="checkbox"/> EXAME COMPLEMENTAR |
|-------------|-----------------------------------|---|---|

|                              |                     |                        |
|------------------------------|---------------------|------------------------|
| INSPECTOR <i>[Signature]</i> | RESPONSÁVEL TÉCNICO | CLIENTE / FISCALIZAÇÃO |
|                              |                     |                        |

## Anexo II - Relatório de Ensaio de Partícula Magnética

|  |                                  | Relatório de Ensaio Não Destrutivo  |  | Folha: 01/03                                  |       |   |
|--|----------------------------------|---|--|---|-------|---|
|  |                                  |   |  | PARTÍCULAS MAGNÉTICAS                         |       | Data:<br>06/12/2021                         |
| Cliente/Obra:<br>WILSON SONS   | Obra/Contrato:<br>N/A            | Subgrupo:<br>N/A  | Material:<br>AÇO CARBONO   |   |       |   |
| Objeto:<br>PORTAINER – PP 08   |                                  | Desenho(s)<br>----  | Rev.:<br>----  |   |       |   |
| Local Inspeção:<br>CAIS DO TÊCON – RIO GRANDE / RS   | Identificação das Juntas:<br>N/A | Processo:<br>SAW  |  |   |       |   |
| Norma de referência<br>ASME V  | Procedimento nº.:<br>CZP 004     | Rev.:<br>3  |  |   |       |   |
| Metal de Base<br>AÇO CARBONO   | Metal de Adição<br>---           | Espessura:<br>50,0mm / 16,0mm   |  |   |       |   |
| Condição superficial:<br>ESCOVADA  |                                  | Sistemática de Rastreabilidade:<br>N/A  |  |   |       |   |
| Técnica De Magnetização:<br><b>Longitudinal</b>  |                                  | Aparelho:<br>Yoke de Pernas Articuladas   | Corrente:<br>Corrente alternada  |   |       |   |
| <b>PARTÍCULAS</b>  | Fabricante: Metal-chek           | Ref. Comercial: RW 222  | Cor: Vermelha  |   |       |   |
|  | Data Fabricação: 12/2019         | <input type="checkbox"/> via seca <input checked="" type="checkbox"/> via úmida | <input checked="" type="checkbox"/> colorida <input type="checkbox"/> fluorescente |   |       |   |
|  | N.º lote: LT-19-0201             | Concentração: 10g/l   | Resultado decantação 2,0ml   |   |       |   |
| <b>ADITIVO</b>   | Fabricante: Metal-chek           | Ref. Comercial: BC502   | Concentração: 30ml/l   |   |       |   |
| <b>CONTRASTE</b>   | Fabricante: Metal-chek           | Ref. Comercial: Super Magna 104   | Espessura: 0,025mm   |   |       |   |
| CODIGO DA PEÇA/DESCRIÇÃO   | DESCONTINUIDADES                 |   |  |   |       | OBSERVAÇÕES                                 |
|  | Nº DES                           | TIPO  | COTA   | COMPR.  | LAUDO |   |
| Junta diagonal externo lado esquerdo (Mar)   | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| Junta diagonal interno lado esquerdo (Mar)   | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| Junta diagonal externo lado direito (Mar)  | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| Junta diagonal interno lado direito (Mar)  | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| Junta diagonal superior lado esquerdo (Mar)  | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| Junta diagonal superior lado direito (Mar)   | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| Junta diagonal externo lado esquerdo (Terra)   | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| Junta diagonal externo lado direito (Terra)  | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| Junta diagonal interno lado esquerdo (Terra)   | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| Junta diagonal interno lado direito (Terra)  | -                                | TL  | -  | -   | R     | -   |
| CROQUI/ OBSERVAÇÕES  |                                  |   |  |   |       |   |
| Foi inspecionado por Partícula Magnética em 100% das soldas citadas acima. As soldas estão REPROVADAS. |                                  |   |  |   |       |   |
| LEGENDA  |                                  |   |  |   |       |   |
| A – Aprovado   |                                  | TL - Trinca longitudinal  |  | FP - Falta de penetração                      |       |   |
| R – Reprovado  |                                  | TT - Trinca transversal   |  | PO - Poro ou porosidade                       |       |   |
| REC - Recomendação de exame Complementar   |                                  | TR - Trinca ramificada  |  | MO – Mordedura                                |       |   |
|  |                                  | FF - Falta de fusão   |  | SP – Sobreposição                             |       |   |
| LAUDO FINAL  |                                  | <input type="checkbox"/> APROVADO   |  | <input checked="" type="checkbox"/> REPROVADO |       | <input type="checkbox"/> EXAME COMPLEMENTAR |
| INSPETOR   |                                  | RESPONSÁVEL TÉCNICO   |  | CLIENTE / FISCALIZAÇÃO                        |       |   |
| Data:  |                                  | Data:   |  | Data: ____/____/____                          |       |   |

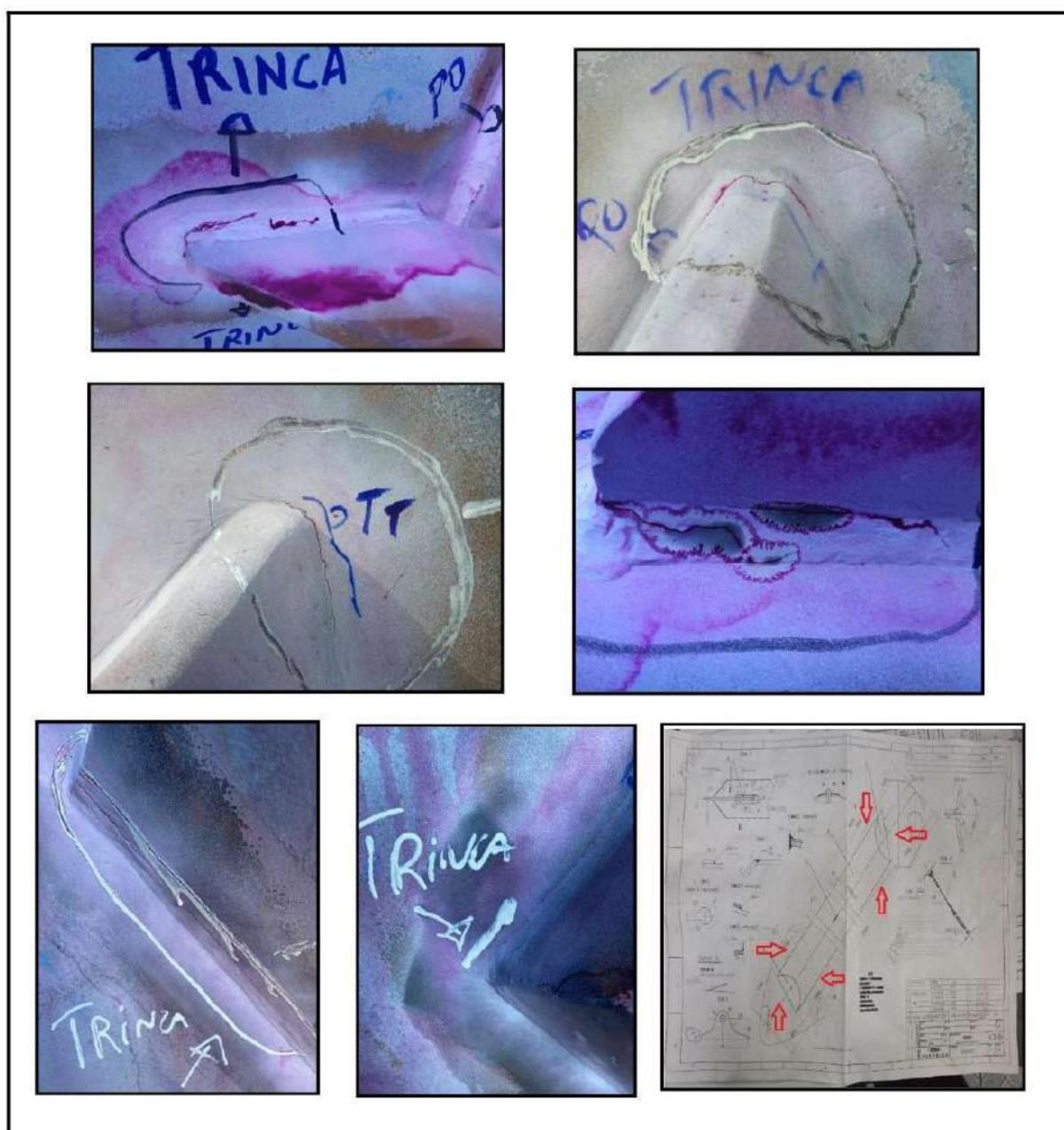
|   |                     |
|---|---------------------|
| Relatório de Ensaio Não Destrutivo<br><b>PARTÍCULAS MAGNÉTICAS</b><br><br><b>DESENHOS</b> | Folha:02/03         |
|   | Data:<br>06/12/2021 |



LAUDO FINAL     
  APROVADO     
  REPROVADO     
  EXAME COMPLEMENTAR

|   |  |                        |
|---|--|------------------------|
| INSPETOR<br> | RESPONSÁVEL TÉCNICO<br> | CLIENTE / FISCALIZAÇÃO |
| Data: _____   | Data: _____  | Data: ____/____/____   |

|  |  |                     |
|--|--|---------------------|
|  | Relatório de Ensaio Não Destrutivo<br><b>PARTÍCULAS MAGNÉTICAS</b> | Folha: 03/03        |
|  |  | Data:<br>06/12/2021 |
|  |  | <b>FOTOS</b>        |



|             |                                   |   |   |
|-------------|-----------------------------------|---|---|
| LAUDO FINAL | <input type="checkbox"/> APROVADO | <input checked="" type="checkbox"/> REPROVADO | <input type="checkbox"/> EXAME COMPLEMENTAR |
|-------------|-----------------------------------|---|---|

|                     |                     |                        |
|---------------------|---------------------|------------------------|
| <del>INSPEÇÃO</del> | RESPONSÁVEL TÉCNICO | CLIENTE / FISCALIZAÇÃO |
| Data: .....         | Data: .....         | Data: ____/____/____   |

## Anexo III - Ensaio de Ultrassom

|   |  |                    |                  |
|---|--|--------------------|------------------|
| <b>Relatório de Ensaio Não Destrutivo<br/>ULTRASSOM - Norma AWS</b> |  | Folha Nº<br>1 de 2 | Data: 06/12/2021 |
|---|--|--------------------|------------------|

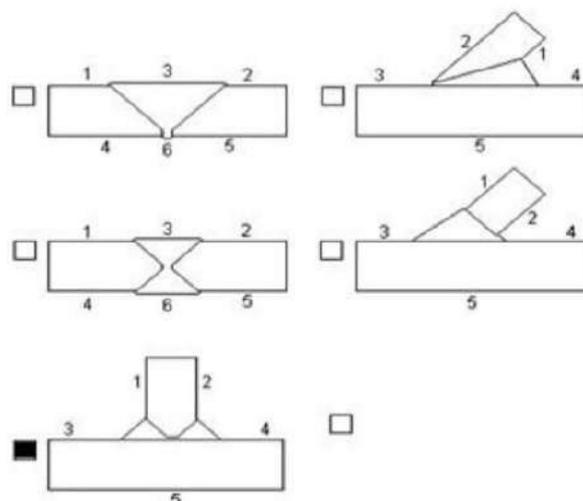
|  |                                |
|--|--------------------------------|
| Cliente: Wilson Sons                             | Contrato / Obra: N/I           |
| Local do ensaio: Cais do Tecon – Rio Grande / RS | Equipamento: Portainer – PP 08 |

|  |  |                                   |
|--|--|-----------------------------------|
| Norma de Referência: AWS D 1.1 Rev. 2015 | Procedimento Nº :CZP 018                   | Rev. 2                            |
| Metal Base: AC                           | Número Desenho: J676AO1011                 | Espessura: 16 mm                  |
| Aparelho /Nº série: USMGO GE 12126025    | Bloco de Referência: CZE-316 / furo Ø1,5mm | Acoplante: Carboxi metil celulose |

| Pos.\Cabeçote | SE  | Norm. | 45° | 60° | 70° |
|---------------|-----|-------|-----|-----|-----|
| 1             | X   | ---   | --- | --- | X   |
| ---           | --- | ---   | --- | --- | --- |
| ---           | --- | ---   | --- | --- | --- |
| ---           | --- | ---   | --- | --- | --- |

| Cabeçote | Ângulo nominal | Ângulo real | Número de série |
|----------|----------------|-------------|-----------------|
| MWB 70   | 70             | 70          | 56929           |
| MMEB4H   | 0              | 0           | 9729            |
| ---      | ---            | ---         | ---             |
| ---      | ---            | ---         | ---             |

| Cabeçote | Ganho Referência "b" | Ganho Varredura |
|----------|----------------------|-----------------|
| MWB 70   | 57                   | 77              |
| MSEB4    | 34                   | 54              |
| ---      | ---                  | ---             |
| ---      | ---                  | ---             |



| Viga UPPER             | Descontinuidades |       |                  |                 |                     |            |           |            |         |       |
|------------------------|------------------|-------|------------------|-----------------|---------------------|------------|-----------|------------|---------|-------|
|                        | Nº               | Cabeç | Ganho Indic. "a" | Fator Aten. "c" | Classif. Indic. "d" | Local (mm) | Comp (mm) | Prof. (mm) | Superf. | LAUDO |
| Diagonal lado esquerdo | 1                | 70    | 57.1             | 2.5             | - 2                 | *1         | 1340      | *2         | 1       | R     |
| Diagonal superior      | 1                | 70    | 60.0             | 0.0             | + 3                 | *1         | 900       | 9          | 1       | R     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |
| -                      | -                | -     | -                | -               | -                   | -          | -         | -          | -       | -     |

|  |                          |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|
| <b>LEGENDA</b>                           |                          |                          |
| A - Aprovado                             | TL - Trinca longitudinal | FP - Falta de penetração |
| R - Reprovado                            | TT - Trinca transversal  | IE - Inclusão de escória |
| REC - Recomendação de exame complementar | FF - Falta de fusão      | PO - Poro ou porosidade  |

| INSPETOR        | CONTROLE DA QUALIDADE | FISCALIZAÇÃO  |
|-----------------|-----------------------|---------------|
| Assinatura      | Assinatura            | Assinatura    |
| Identificação   | Identificação         | Identificação |
| Data 06/12/2021 | Data 06/12/2021       | Data          |

|  |   |                    |                  |
|--|---|--------------------|------------------|
|  | <b>Relatório de Ensaio Não Destrutivo<br/>ULTRASSOM - Norma AWS</b> | Folha Nº<br>2 de 2 | Data: 06/12/2021 |
|  |   |                    |                  |

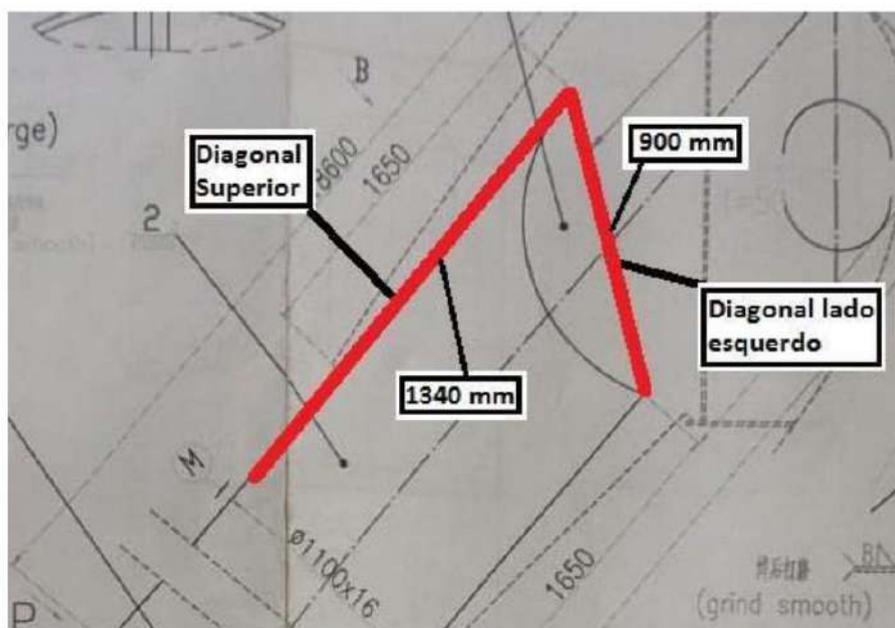
## CROQUI:

Obs\* - Foi acordado com o cliente que seria realizada inspeção com transdutores "MWB 4 Mhz" conforme item 6.5 do procedimento CZP 018 Rev 2.

1\* - Local conforme desenho abaixo em anexo, entretanto a indicação estendeu-se de forma intermitente ao longo das extensões acima relatadas.

2\* - Profundidade tem uma variação entre 8 a 13 mm.

Ps\* possível característica das indicações por falta de fusão.



| INSPETOR        | CONTROLE DA QUALIDADE | FISCALIZAÇÃO  |
|-----------------|-----------------------|---------------|
| Assinatura      | Assinatura            | Assinatura    |
| Identificação   | Identificação         | Identificação |
| Data 06/12/2021 | Data 06/12/2021       | Data          |