

ConaEnd&Iev 2016

CONAEND&IEV2016 - 032

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE ULTRASSOM PHASED ARRAY PARA INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS COM GEOMETRIA COMPLEXA TIPO "BOCA DE LOBO" DE TUBULAÇÕES

Arilson R. Silva¹, Paulo Cesar F. Henriques², Mauro Duque de Araujo³

Copyright 2016, ABENDI, PROMAI.

Trabalho apresentado durante o XXXIV – Congresso Nacional de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção.

19ª IEV – Conferencia Internacional sobre Evaluación de Integridad y Extensión de Vida de Equipos Industriales.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

SINOPSE

Devido à geometria complexa, as juntas do tipo “boca de lobo” são as mais difíceis de serem examinadas por ultrassom. A variação dos ângulos ao redor da junta causa diferentes ângulos de incidência do feixe ultrassônico, portanto, a correta aplicação do ensaio por ultrassom exige a qualificação de procedimentos específicos e experiência por parte dos inspetores.

O exame por phased array apresenta grande vantagem na inspeção destas juntas comparado ao exame por ultrassom convencional, devido a quantidade de feixes angulares utilizados, repetitividade, registro de imagens e utilização de softwares simuladores de feixes ultrassônicos. O exame também apresenta vantagem quando comparado ao exame radiográfico.

Neste trabalho será discutido um caso pratico de qualificação de procedimento de phased array para juntas tipo “boca de lobo” em tubulações e diretrizes para a elaboração destes procedimentos.

Será apresentado a aplicação deste procedimento em campo, em situações em que algumas das juntas apresentavam anéis de reforço e outras não.

1 Técnico Mecânico, API510 Pressure Vessel Inspector 61644, ASNT ACCP UT Level II 176695 / PCN PAUT Level II 322606 / US-N2-IR SEQUI 11763 / CP-N2-TI SNQC 9270 - ARAUJO ENGENHARIA

2 M.Sc em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, US N3 SNQC 0029 – PCF Henriques Engenharia de Inspeção de Equipamentos

3 MSc, Engenheiro Metalúrgico e de Materiais, ASNT NDT Level III AE/ ET/ UT, ASNT ACCP Level III UT N° 156877, SNQC Nível 3 EA, CP N° 12497 – ARAUJO ENGENHARIA

INTRODUÇÃO

A cada dia o avanço da eletrônica e informática gera novas tecnologias de inspeção que tornam mais precisa e eficiente a detecção de descontinuidades em equipamentos de processo.

Um grande avanço do método ultrassônico, por exemplo, foi a técnica de ultrassom Phased Array que aumentou a capacidade de detecção, dimensionamento e registro de descontinuidades, em relação às técnicas de ultrassom convencionais.

Para juntas com geometria variável, tais como as do tipo “boca de lobo”, o ensaio por phased array oferece vantagens adicionais comparado ao ensaio por ultrassom, tais como possibilidade de simulação do feixe sônico em escala real na geometria variável, registro permanente, uso de encoders que registram e aumentam a precisão de localização das descontinuidades e a repetitividade.

Quando comparado ao exame radiográfico, o ensaio por phased array também oferece vantagens e a principal é a detecção das descontinuidades por diferentes ângulos do feixe sônico aumentando a precisão de dimensionamento.

PRINCIPIO

O ensaio por ultrassom convencional em juntas soldadas com geometria complexa, como as tipo “boca de lobo”, foi desenvolvido e implementado no Brasil a partir dos anos 70 para atender a demanda crescente construção e montagem das plataformas marítimas fixas para a Bacia de Campos, no Rio de Janeiro. Isto ocorreu devido à possibilidade de aplicação confiável do ensaio radiográfico, muito utilizado naquela época para inspeção de juntas soldadas, devido complicado posicionamento do filme neste tipo de geometria.

O ensaio ultrassônico, entretanto, para inspeção deste tipo de junta soldada pela técnica convencional requer uma qualificação específica e é muito dependente do inspetor, no que tange a detecção e localização precisa da descontinuidade assim como o seu dimensionamento. Em alguns casos necessita da utilização de mais de três cabeçotes, o que acarreta maior tempo de inspeção.

O ensaio por phased array utiliza múltiplos elementos que são controlados por computador e que geram pulsos em diferentes tempos. Cada elemento consiste em um cristal piezoelétrico individual e acusticamente isolados uns dos outros.

Os softwares mais amigáveis permitem ao inspetor melhor programação dos parâmetros de inspeção. As matrizes podem gerar feixes sônicos com um range de diferentes ângulos (normalmente de 45 a 70 graus com resolução de 1 em 1 grau), que podem ser focalizados, gerando uma variedade de visualizações dependendo de como são programados e configurados.

Normalmente são utilizadas sapatas acrílicas para acoplamento ao componente examinado. Estas sapatas podem ser customizadas, inclusive com a curvatura exata do diâmetro do componente a ser examinado.

Ultra-som Convencional

- Cabeçotes com 45, 60 e 70 graus
- Mapeamento depende muito do inspetor
- Registro manual das discontinuidades

Ultra-som Phased Array

- Muitos elementos (normalmente 16 a 256)
- Controlados por computador
- Inspeção de soldas com múltiplos ângulos com apenas um transdutor
- Foco em múltiplas profundidades
- Gravação de dados em alta resolução

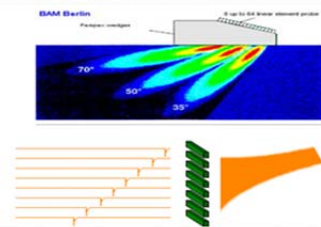
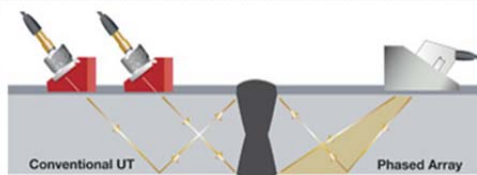


Figura 1 – Comparativo das principais características do ultrassom convencional versus ultrassom phased array. Fonte: Olympus NDT (1)

Quando existem múltiplas discontinuidades próximas entre si, a técnica de ultrassom Phased Array proporciona grande precisão na discriminação e no dimensionamento individualizado das discontinuidades; em cálculos de criticidade utilizando critérios da mecânica da fratura por normas tais como a API-579, os registros em escala real permite a aplicação consistente de critérios de interação.

O correto dimensionamento destas discontinuidades é um fator importante para o cálculo de criticidade das mesmas.

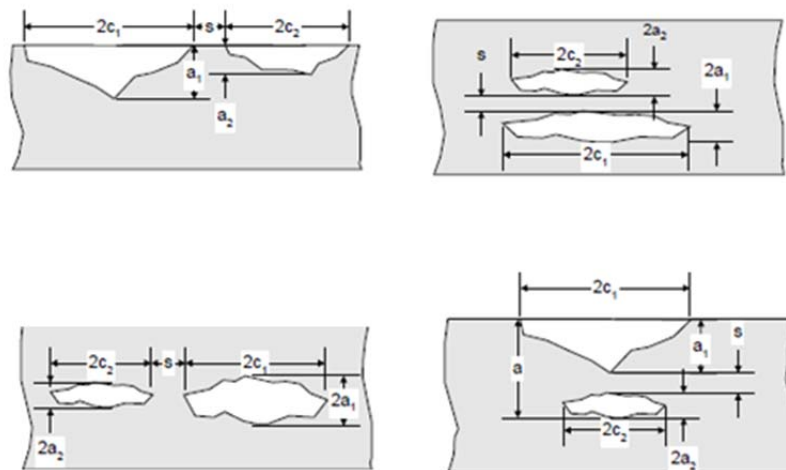


Figura 2 – Dimensões requeridas para o calculo de criticidade de discontinuidades por elementos finitos. Fonte: API-579. (2)

JUNTAS DO TIPO “BOCA DE LOBO”

Como mencionado anteriormente, a inspeção por ultrassom em juntas soldadas com geometria complexa, prescinde de especial habilidade do inspetor, principalmente devido a problemas de acoplamento e dimensionamento de descontinuidades. Para a detecção e precisa localização no metal de solda, necessita que sejam confeccionados desenhos reais da seção da junta em escala natural e traçado do feixe sônico real para cada cabeçote a ser utilizado.

A inspeção deste tipo de junta utilizando a tecnologia phased array, permite maior confiabilidade da inspeção devido à utilização de vários ângulos de incidência, uma precisa localização das descontinuidades devido ao encoder e acurado dimensionamento devido aos recursos dos softwares de dimensionamento e focalização do feixe. Outra ferramenta muito útil para a inspeção deste tipo de junta é a possibilidade de visualização, além da setorial, também a apresentações B e C-Scan. Estas visualizações permitem, ainda, a identificação da descontinuidade (morfologia).

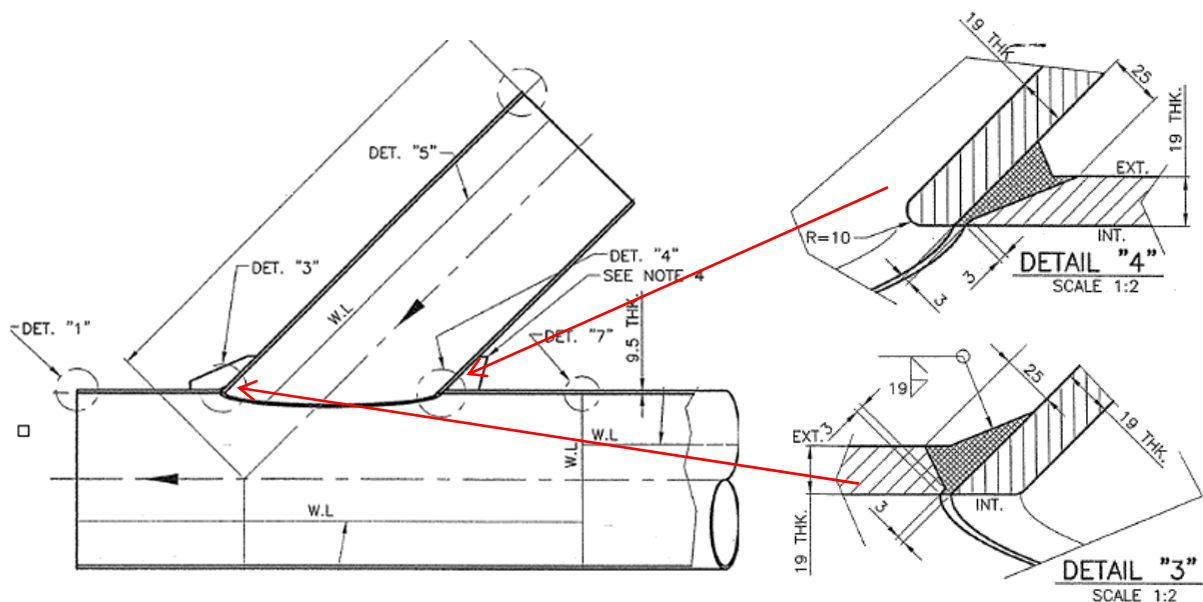


Figura 3 – Detalhes típicos de uma junta do tipo “boca de lobo” – geometria variável

PROCEDIMENTO PARA JUNTAS TIPO “BOCA DE LOBO”

O procedimento por ultrassom phased array para ensaio de soldas de conexões e juntas tipo “boca de lobo” foi desenvolvido para aplicação em materiais do tipo aço carbono e aços com até 6% de elemento de liga, para conexões e tubulações com espessuras entre 4,7 a 30 mm e diâmetros entre 10 a 90”.

Para a qualificação do procedimento foram utilizados corpos de prova com configurações similares às encontradas em campo.

Nestes corpos de prova foram extraídos moldes das soldas nas posições 0°, 45°, 90°, 135°, 180° com uso de massa de modelar e/ou régua de molde.

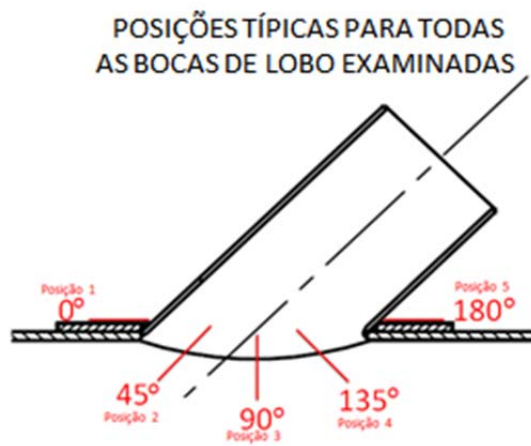


Figura 4 – posições onde foram extraídos moldes da solda e simulados os feixes sônicos



Figura 5 – corpos de prova utilizados para qualificação do procedimento



Posição 1 – 0°



Posição 3 – 90°

Figura 6 – uso de régua para modelamento da solda

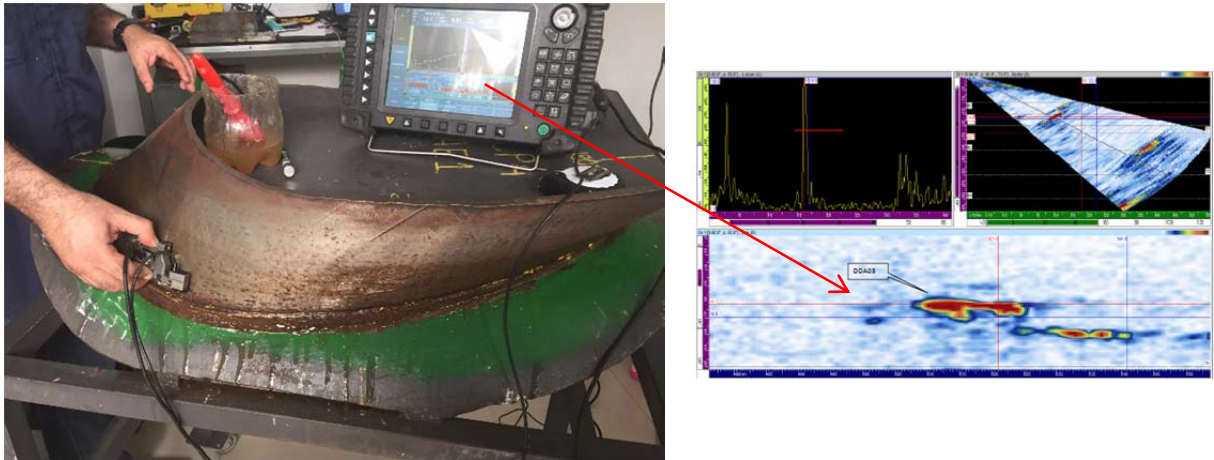
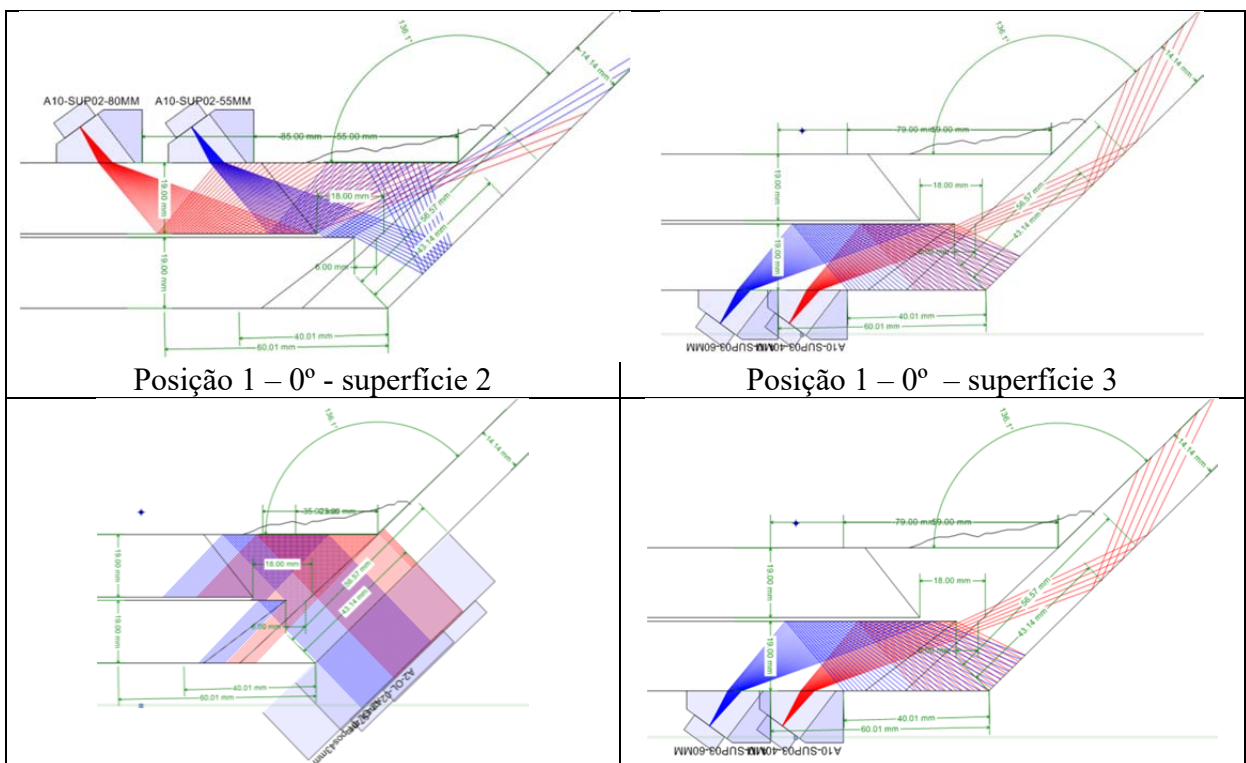


Figura 7 – Varredura sendo executada e descontinuidade encontrada em um dos corpos de prova.

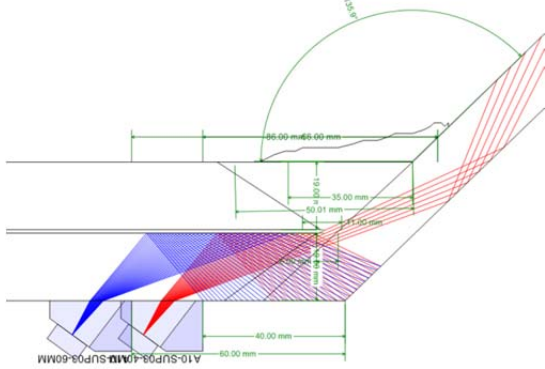
Este modelamento da geometria da junta é essencial para garantir a confiabilidade da fase seguinte, simulação do feixe sônico através de software especializado, pois qualquer variação na geometria da peça x solda gera variação do feixe sônico.

Todas as simulações foram feitas com 2 tipos de transdutores, com objetivo de verificar qual dos dois teriam melhor eficiência na “cobertura” das soldas.

As figuras abaixo ilustram a simulação de uma junta com anel de reforço externo nas 5 posições simuladas (0°, 45°, 90°, 135°, 180°) e as varreduras que foram exigidas pelo procedimento.



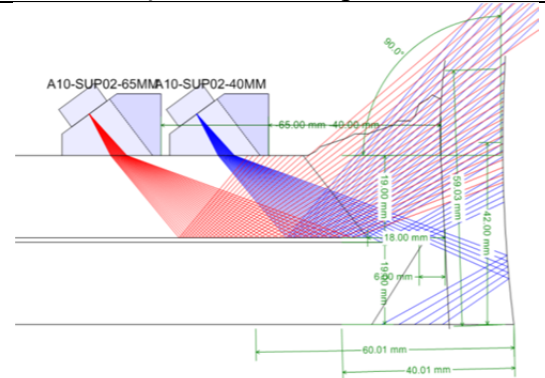
Posição 1 – 0° - superfície 1B



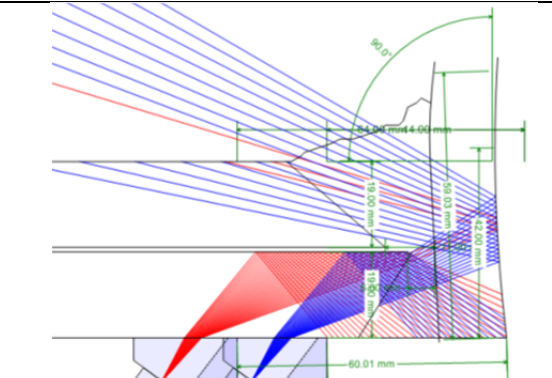
Posição 2 – 45° - superfície 2



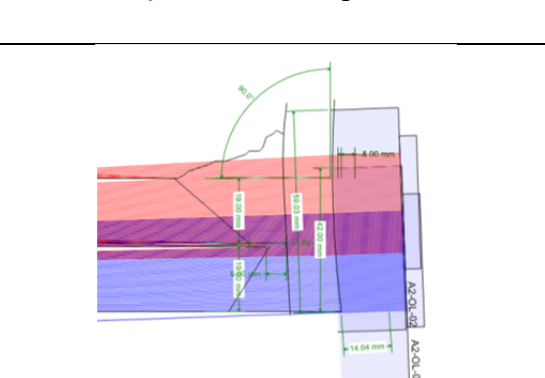
Posição 2 – 45° - superfície 3



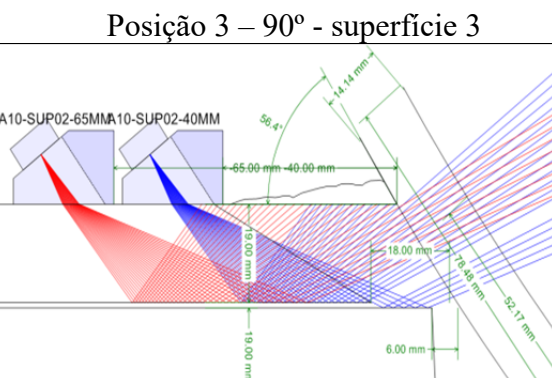
Posição 2 – 45° - superfície 1B



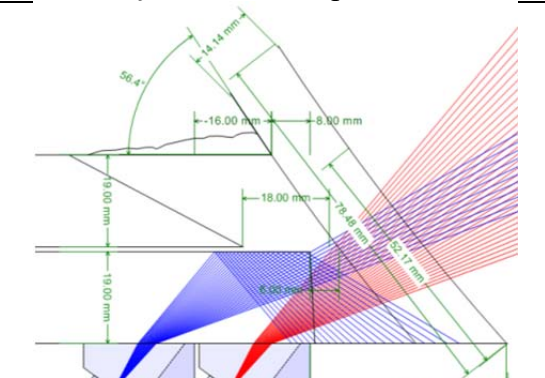
Posição 3 – 90° - superfície 2



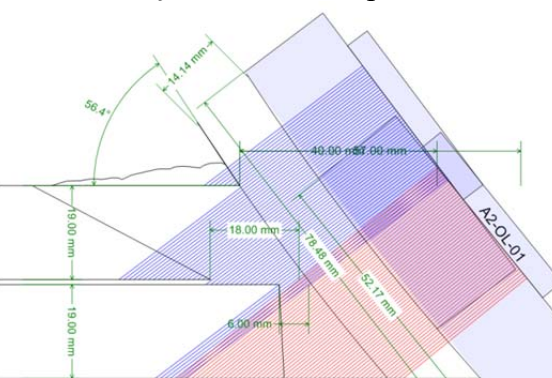
Posição 3 – 90° - superfície 3



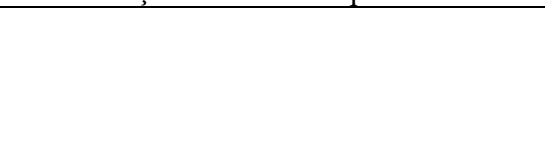
Posição 3 – 90° - superfície 1B



Posição 4 – 135° - superfície 2



Posição 4 – 135° - superfície 3



posição 4 – 135° - superfície 1B



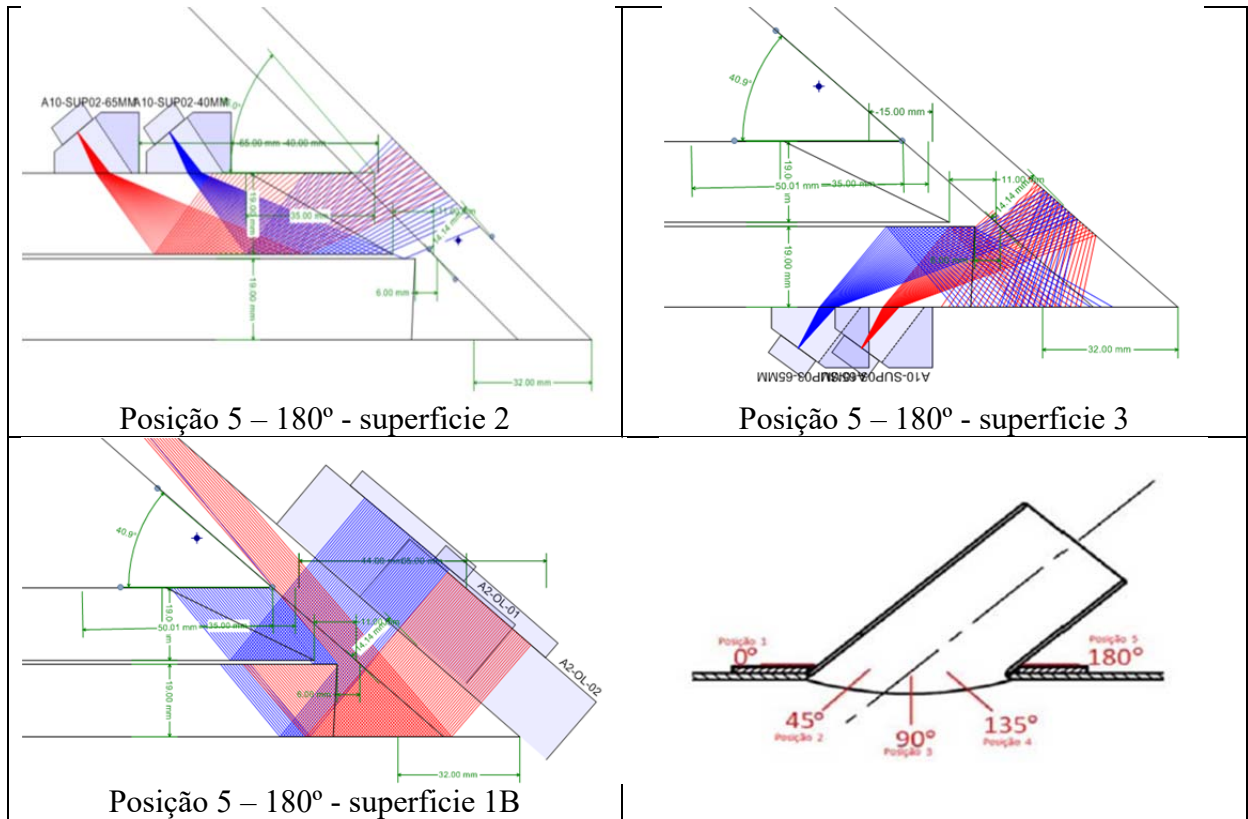
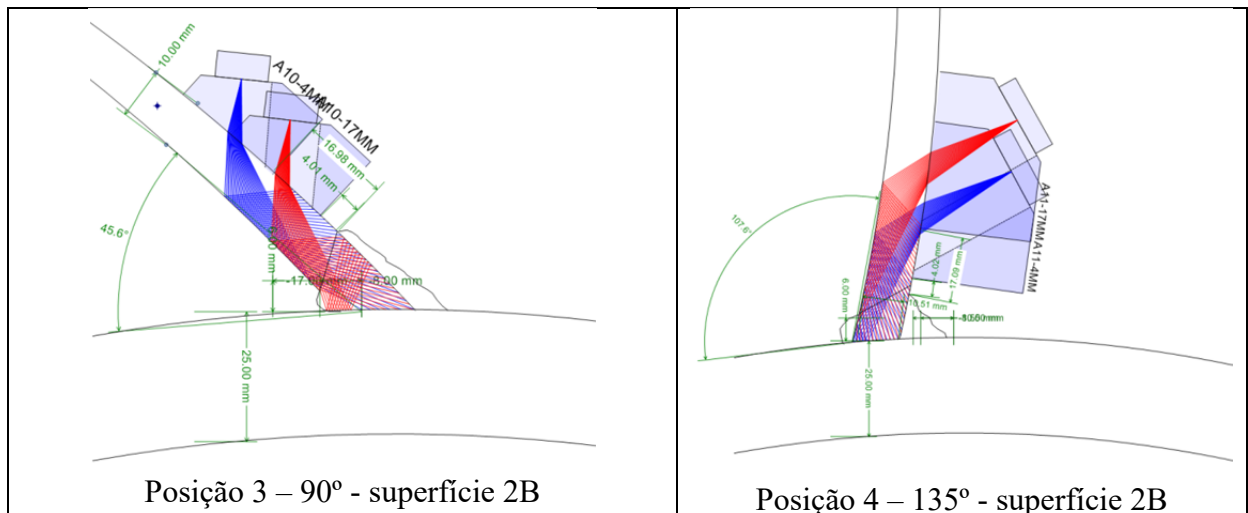


Figura 8 – simulação dos feixes sônicos nas 5 posições em uma junta com anel de reforço.

Para juntas com anel de reforço, conforme ilustrado acima, são necessárias varreduras internas para garantir total cobertura da solda do “casco x pescoço” e varreduras externas para garantir cobertura da solda do “reforço x pescoço”.

Modelagem das soldas e simulações de feixes sônicos também foram feitas para as juntas sem anel de reforço, com os mesmos critérios executados nas juntas com reforço, porem neste caso não é necessária a varredura pelo lado interno (superfície 3). As figuras abaixo ilustram algumas das varias situações simuladas.



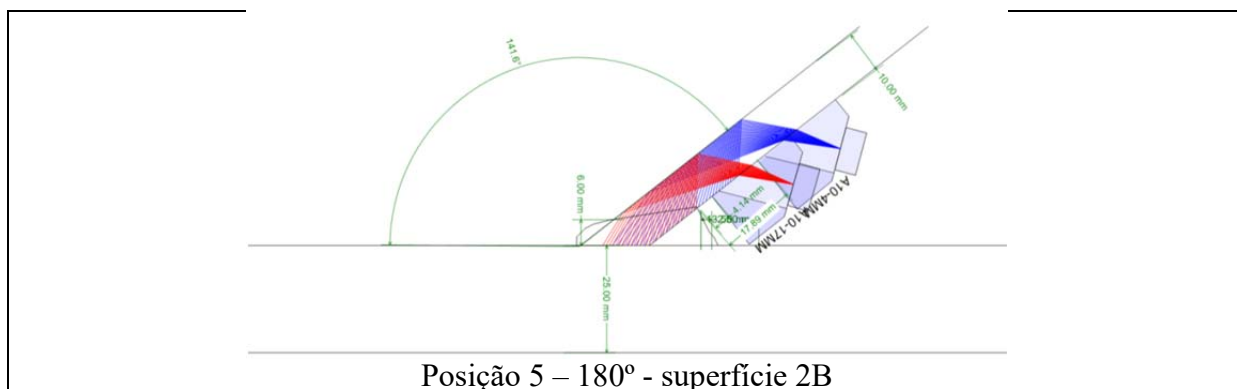


Figura 6– simulação dos feixes sônicos em algumas posições em uma junta sem anel de reforço.

Para a execução desta inspeção, foi necessária a validação do procedimento previamente qualificado, por uma entidade certificadora de terceira parte.

Esta validação foi realizada através da comparação do resultado obtido pelo ultrassom convencional executado em corpos de prova contendo descontinuidades geometria semelhantes as que seriam inspecionadas no campo, com o resultado obtido pela inspeção com ultrassom phased array.

A validação do procedimento foi acompanhada por um inspetor N3 da entidade certificadora externa e foi considerado adequado para sua utilização em campo.

INSPEÇÃO EM CAMPO

Todas as juntas em campo passaram pelo mesmo processo executado durante a qualificação do procedimento: molde da junta com massa ou régua de modelar e simulação de feixe sônico.

As juntas sem anel de reforço foram examinadas exatamente conforme descrito no procedimento, sendo feita inspeção somente pelo lado externo com varreduras através do pescoço e do tubo principal.

A inspeção pelo lado interno foi limitada em muitos casos devido ao diâmetro do tubo principal e da conexão, que não permitia o acesso de pessoas e também por dificuldades relacionadas à preparação de superfície.

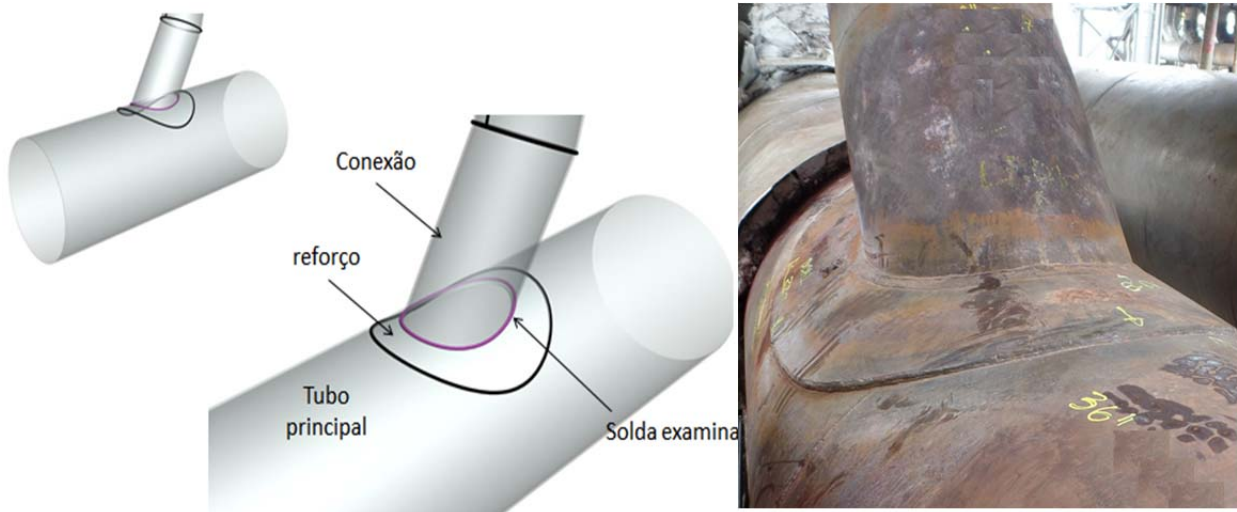


Figura 7 – ilustração do tipo de junta com anel de reforço.

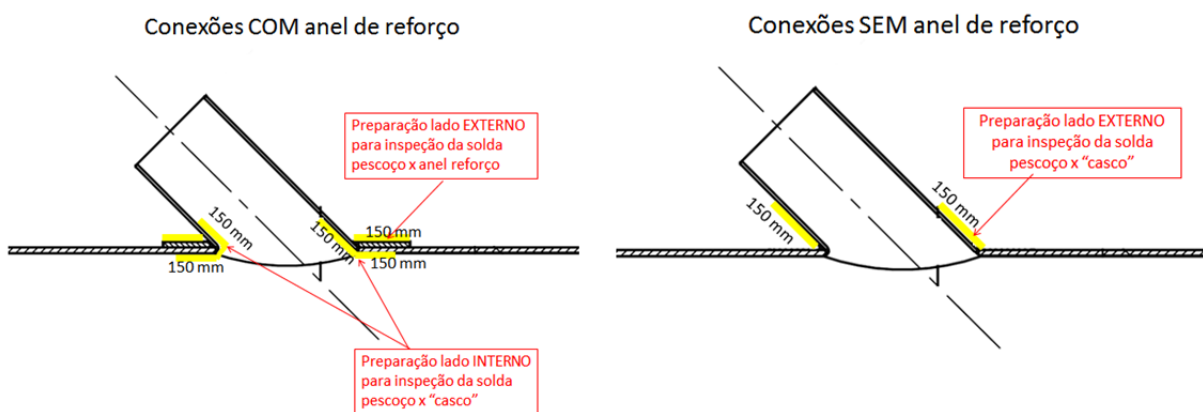
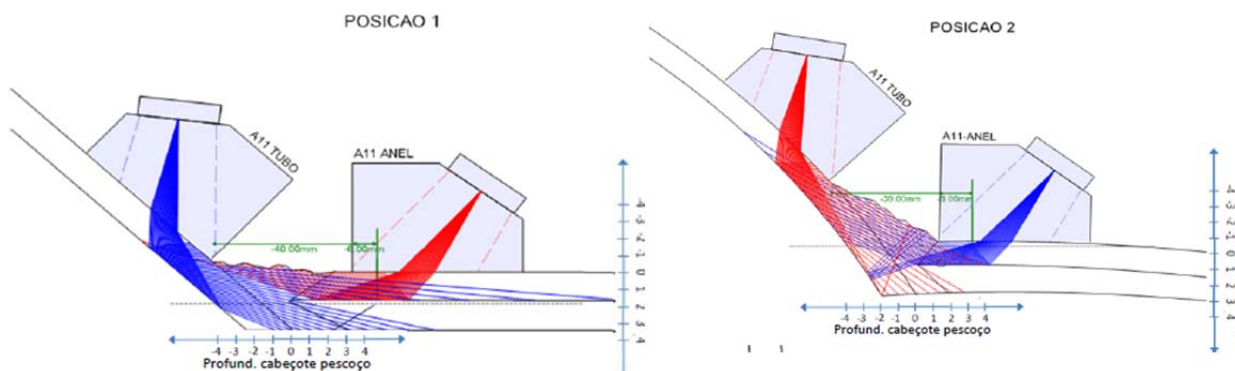


Figura 8 – preparação de superfície necessária para as conexões com ou sem anel de reforço

Foram utilizadas então varreduras adicionais pelo lado externo, pelo pescoço da conexão, com objetivo de inspecionar toda a solda. Estas varreduras não foram suficientes para a cobertura total da solda, como mostram as figuras abaixo, porém mesmo com estas limitações foram detectas trincas com as varreduras executadas, mostrando que o ensaio foi eficiente inclusive nas situações onde não foi possível todas as varreduras previstas.



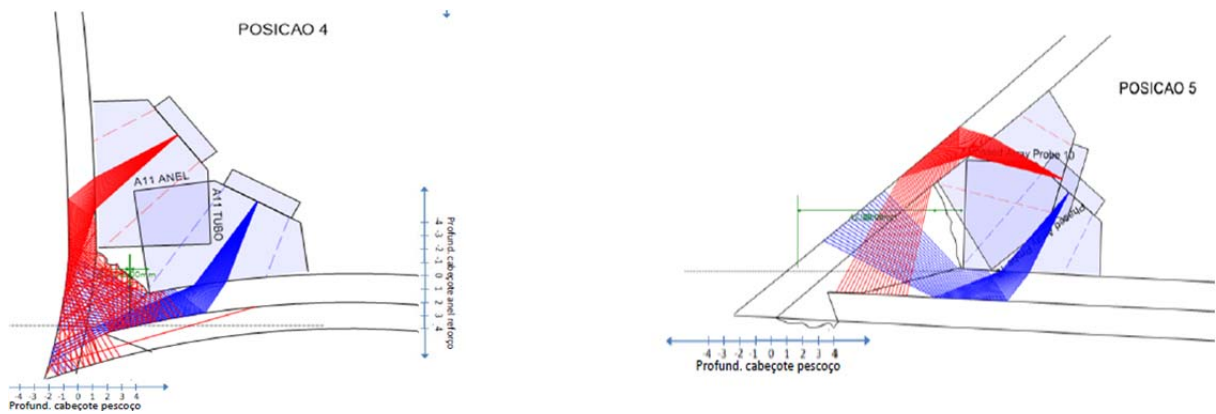


Figura 9 – Simulação de feixe sônico mostrando varredura adicional pelo pescoço, porém há posições que não são examinadas.

Para todas as juntas examinadas, quando encontradas descontinuidades, houve boa correlação entre o ensaio de phased array e as descontinuidades encontradas. Em todos os casos que o ensaio detectou descontinuidades, as soldas foram reparadas e durante o processo de esmerilhamento foi possível revelar as descontinuidades a olho nu ou através do ensaio de líquidos penetrantes.

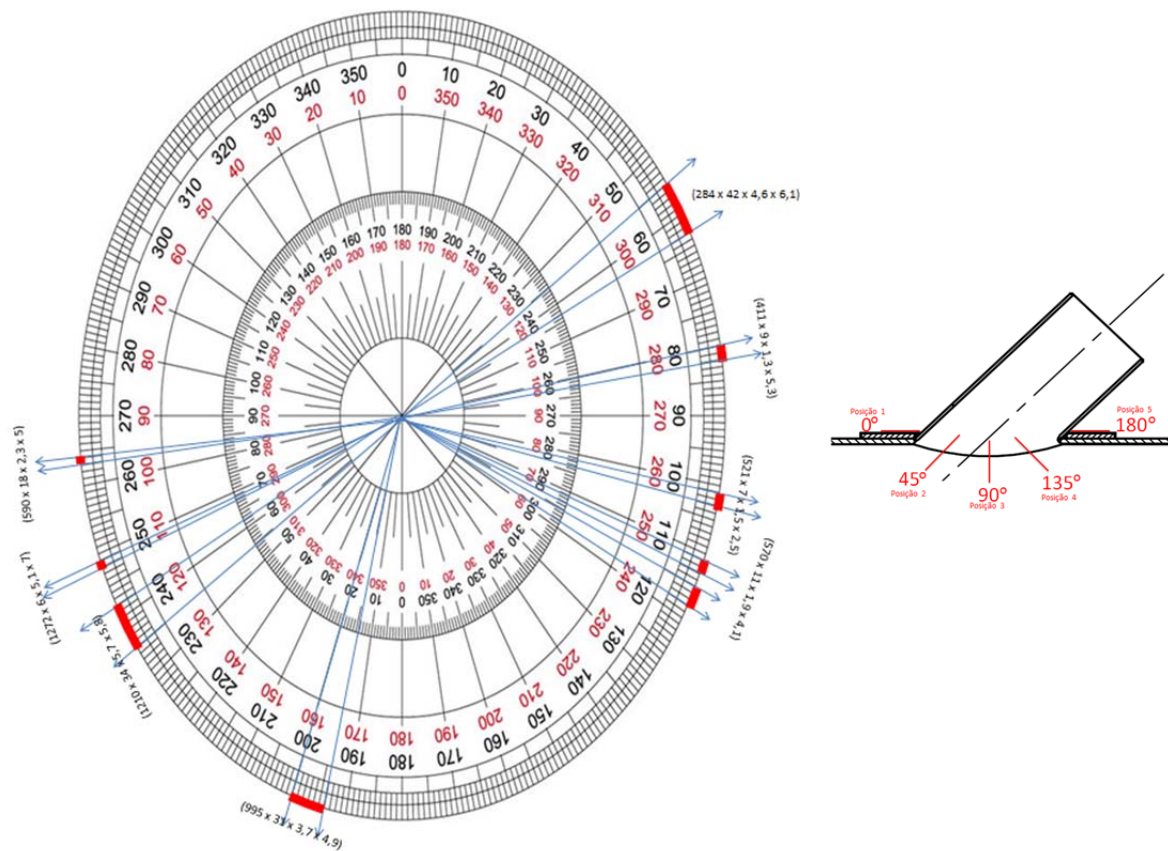


Figura 10 – Mapeamento longitudinal das descontinuidades encontradas em uma junta

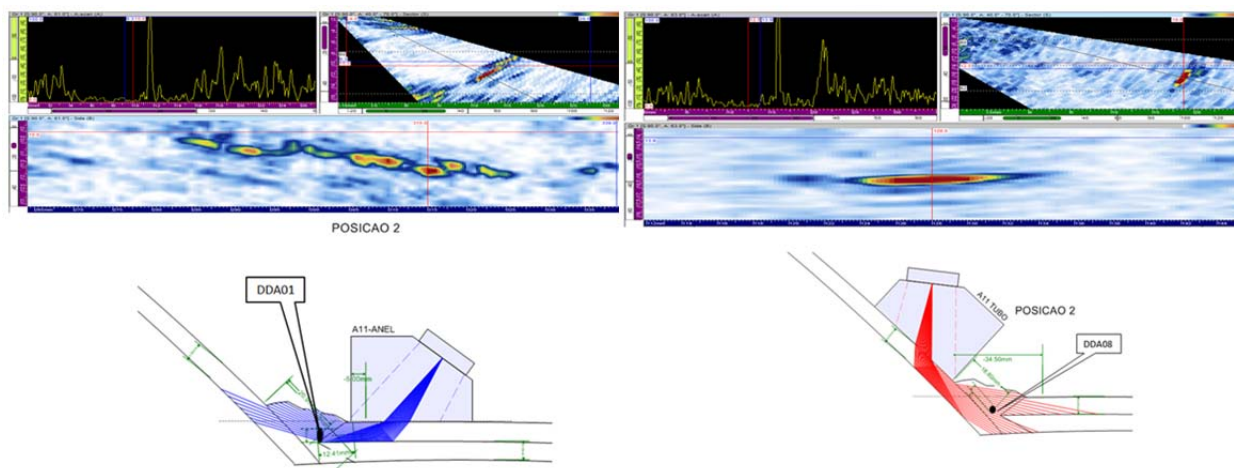


Figura 11 – Exemplos de descontinuidades encontradas.

PROCEDIMENTO QUALIFICADO

O procedimento qualificado demonstrou que detecta todas as descontinuidades existentes nos corpos de prova "validados" utilizados para qualificação de procedimentos de exames por ultrassom de juntas com este tipo de geometria, as quais precisam ser confirmadas por mais de uma varredura, muitas vezes interna e externa.

Porem, para as juntas com anel de reforço, devido a indisponibilidade de acesso para as varreduras pelo lado interno, previstas no procedimento, foram adicionadas varreduras externas. Estas varreduras adicionais não substituem as varreduras internas previstas no procedimento, e apresentam limitações quanto a área examinada e detectabilidade de descontinuidades constantes no procedimento qualificado, não sendo assim possível garantir que todas as regiões atingidas pelo feixe sônico foram adequadamente inspecionadas. As descontinuidades indicadas pelos procedimentos utilizados foram confirmadas durante os reparos.

Esta varredura adicional também foi incluída principalmente para detectar as trincas que estavam sendo observadas nas chapas do pescoço.

A figura abaixo mostra as varreduras previstas e executadas e aquelas previstas no procedimento qualificado e não executadas para juntas com anel de reforço.

Legenda:



Varredura executada



Varredura não executada

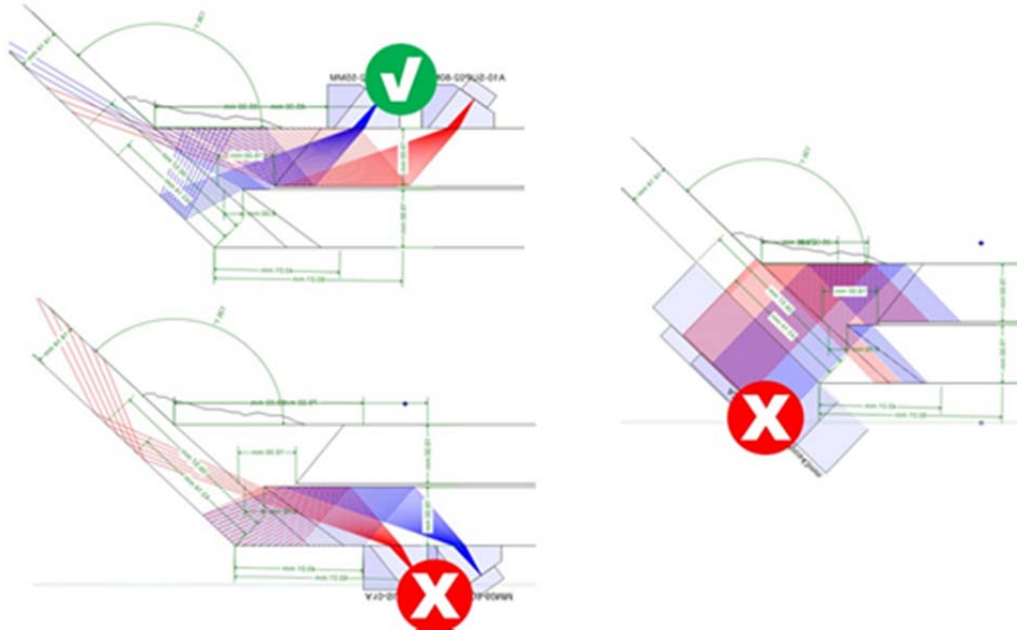


Figura 12 – Varreduras previstas no procedimento. Exemplo para a posição 1.

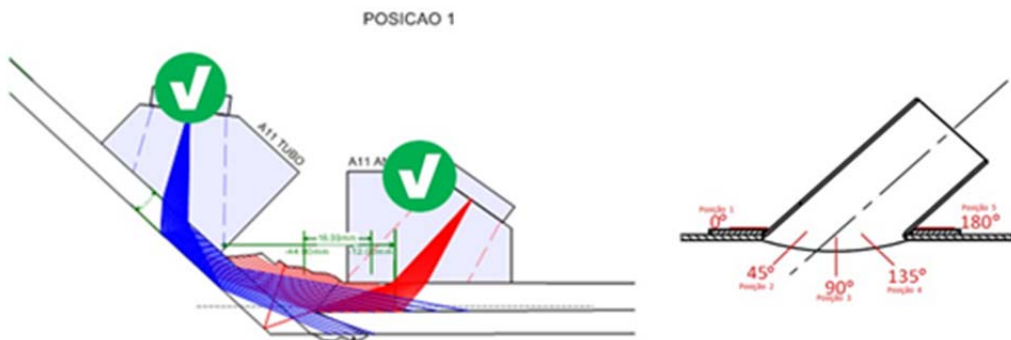


Figura 13 – Varredura adotada em campo – Exemplo para a posição 1.

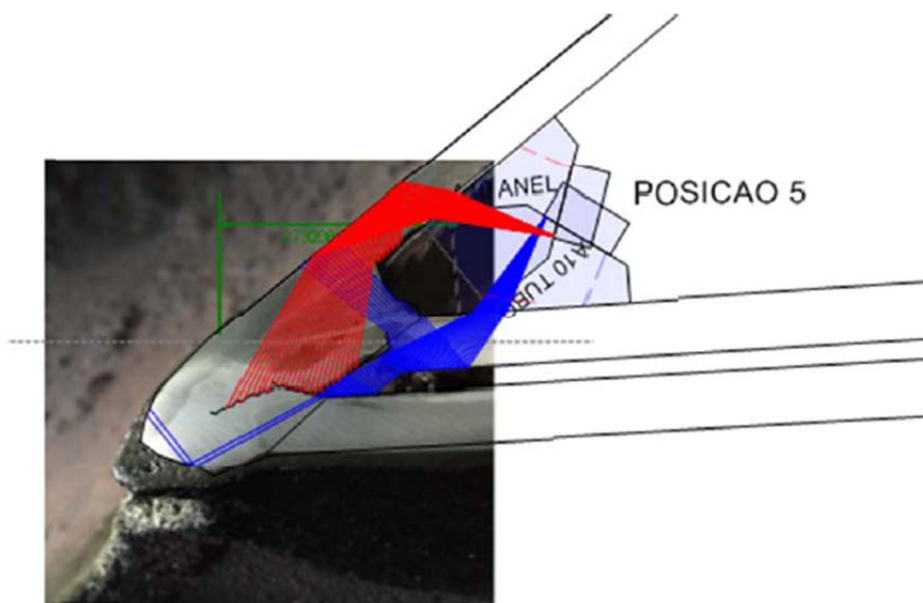


Figura 14– Foto mostrando as limitações para dimensionamento da trinca em junta com anel de reforço inspecionando somente pelo lado externo.

O mesmo ocorreria se houvesse uma trinca na margem da solda do pescoço.

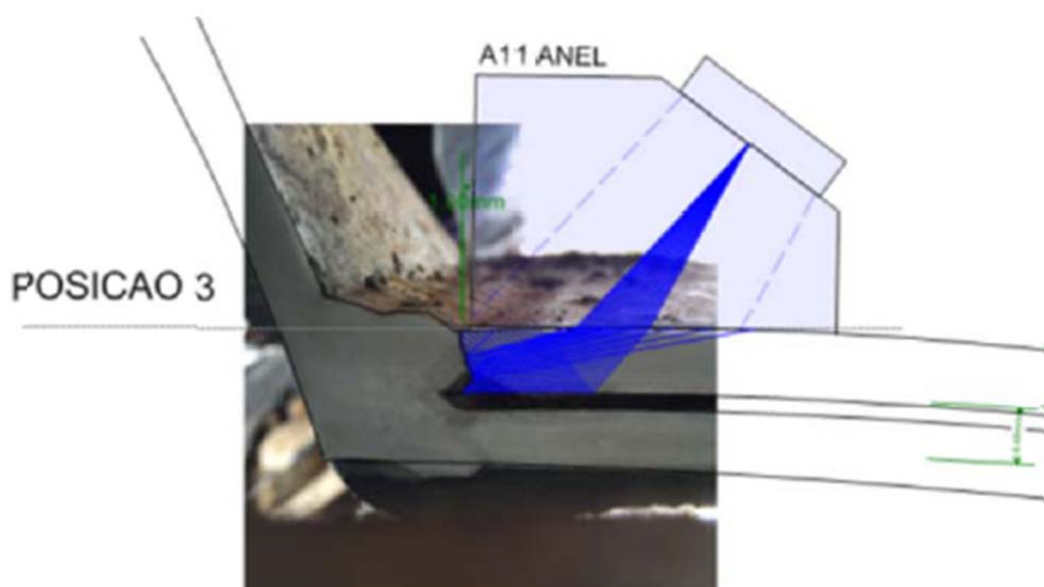


Figura 15– Foto mostrando as limitações para detecção e dimensionamento de trincas na solda, se houvesse uma trinca na margem da solda do pescoço.

DISCUSSÃO

O ensaio por phased array mostrou-se eficiente para detecção e dimensionamento das descontinuidades. Foi comprovada esta correspondência e precisão do que foi indicado no ensaio e o que foi observado em campo em juntas onde as soldas foram esmerilhadas e descontinuidades foram reveladas.

Para os casos das juntas com anel de reforço externo, em que não foi possível execução de todas as varreduras previstas no procedimento, devido a falta de acesso interno, houve limitações quanto a cobertura de 100% do volume da solda. Porém, mesmo com estas limitações foram detectadas trincas com as varreduras executadas, mostrando que o ensaio foi eficiente inclusive nas situações onde não foi possível todas as varreduras previstas.

Outro ganho relacionado ao uso da técnica de phased array foi o registro permanente das descontinuidades encontradas, e o uso destas imagens para comparação quando as descontinuidades foram eliminadas. Além disso, como o trabalho foi feito em diversas juntas durante uma parada de manutenção, houve grande ganho de tempo e possibilidade de outros serviços em paralelo, devido a não necessidade de isolamento de área, que seria necessário caso se fizesse ensaios radiográficos.

CONCLUSÃO

O procedimento qualificado especificamente para este tipo de junta soldada foi validado por um órgão certificador de terceira parte, através da comparação dos resultados obtidos na inspeção de corpos de prova com geometrias semelhantes às juntas de campo, com o ultrassom phased array executado conforme o procedimento qualificado.

O procedimento qualificado por ultrassom phased array para inspeção de juntas do tipo boca de lobo mostra-se muito eficiente para a detecção e dimensionamento de descontinuidades. Existem vantagens em relação ao ultrassom convencional e ao exame radiográfico, tais como a possibilidade de simulação dos feixes sônicos, registros permanentes para acompanhamento futuro e repetitividade.

Em juntas sem anel de reforço somente as varreduras pelo lado externo são suficientes para garantir 100% de cobertura da solda.

Casos em que as juntas tenham anel de reforço externo, o procedimento deve ser seguido utilizando-se varreduras internas e externas. Na impossibilidade de execução da varredura interna procedimentos alternativos com varreduras adicionais podem ser adotados, porém estes terão limitações para cobertura de 100% da junta.

Os principais desafios na aplicação desta metodologia estão na utilização de equipamentos, sondas e softwares com tecnologia avançada e atualizada, no treinamento e formação de mão de obra técnica especializada e uma estrutura de suporte técnico adequado para elaboração de procedimentos, supervisão de campo e interpretação e análise dos resultados.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Olympus NDT
- (2) ASME Section V – Article 4 – Ed 2013– Ultrasonic Examination Methods for Welds
- (3) ASME B31.3 – Process Piping – 2013 edition
- (4) ASME SEC VIII DIV 1 – Ed 2013 - Boiler & Pressure Vessel Code
- (5) NBR 16339:2015 – Ensaio não destrutivo – Ultrassom – Phased array para inspeção de soldas.
- (6) Camerini, C.S.; Henriques, P.C.F.; Goulart, R.A.- “Inspeção Ultra-Sônica em Juntas Complexas de Plataformas Marítimas” – 2º Congresso Brasileiro de Petróleo (IBP).