



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102018012394-7 A2



(22) Data do Depósito: 18/06/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 07/01/2020

(54) **Título:** MÉTODO E SISTEMA PARA INSPEÇÃO DE JUNTAS EM TUBOS COMPÓSITOS E DE REPAROS COMPÓSITOS EM TUBULAÇÕES METÁLICAS

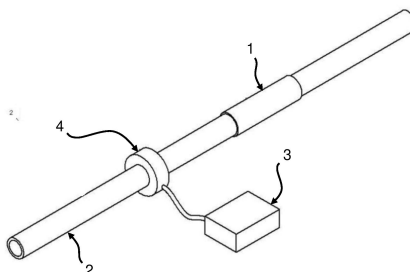
(51) **Int. Cl.:** G01N 29/06.

(52) **CPC:** G01N 29/0645.

(71) **Depositante(es):** PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS.

(72) **Inventor(es):** THOMAS GABRIEL ROSAURO CLARKE; SERGIO DAMASCENO SOARES; RICARDO CALLEGARI JACQUES; LÚCIO DE ABREU CORRÊA; HENRIQUE TORMEN HAAN DE OLIVEIRA; GIOVANNO FERRARI ZUGLIAN; ALBERTO BISOGNIN.

(57) **Resumo:** ?MÉTODO E SISTEMA PARA INSPEÇÃO DE JUNTAS EM TUBOS COMPÓSITOS E DE REPAROS COMPÓSITOS EM TUBULAÇÕES METÁLICAS? A presente invenção está relacionada a técnicas de inspeções em juntas e reparos em tubulações. Nesse cenário, a presente invenção provê um método para inspeção de juntas em tubos compósitos e de reparos compósitos em tubulações metálicas, compreendendo as etapas de (i) emitir uma série de pulsos de ondas acústicas, em diferentes frequências, a partir de um colar de transdutores acústicos (4) posicionado a uma distância predeterminada da junta (5) ou reparo (1) a ser inspecionado, (ii) registrar, em um intervalo de tempo subsequente à emissão, os ecos dos deslocamentos das ondas até o reparo ou junta em cada um dos transdutores do colar de transdutores acústicos (4) na forma de A-Scan e (iii) gerar uma imagem planificada C-Scan, através do método CSM, para cada frequência de emissão de pulsos a partir do colar de transdutores acústicos (4). A invenção ainda provê um sistema para inspeção de juntas em tubos compósitos e de reparos compósitos em tubulações metálicas associado método acima descrito.



## “MÉTODO E SISTEMA PARA INSPEÇÃO DE JUNTAS EM TUBOS COMPÓSITOS E DE REPAROS COMPÓSITOS EM TUBULAÇÕES METÁLICAS”

### CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção está relacionada a técnicas de inspeções de dutos. Mais particularmente, a presente invenção está relacionada a técnicas de inspeções em juntas e reparos em tubulações.

### FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[002] Materiais compósitos estão sendo usados cada vez mais em diversos segmentos industriais. O setor aeroespacial é o que mais utiliza este tipo de material. Porém, indústrias do setor do petróleo, gás e energia acompanham esta tendência, principalmente em função da elevada relação resistência/peso, imunidade à corrosão e possibilidade de aplicação “a frio” desses materiais. Na indústria de petróleo e gás a possibilidade de aplicação de juntas e reparos a frio é muito atrativa por eliminar a necessidade de isolar o ambiente e deixá-lo livre de riscos de combustão e explosão.

[003] Duas classes de aplicações para materiais compostos estão se estabelecendo na indústria do petróleo gás e energia: reparos com materiais compósitos e elementos estruturais inteiramente produzidos em materiais compósitos. A primeira envolve a aplicação de uma camada de material compósito sobre um elemento estrutural metálico, seja para servir como barreira à corrosão ou como reforço estrutural. A segunda classe envolve principalmente tubos e vasos de pressão inteiramente constituídos de materiais compósitos.

[004] Na indústria do petróleo, gás e energia, o histórico de falhas com materiais compósitos relaciona-se predominantemente a

defeitos de montagem ou problemas durante a aplicação de revestimentos no campo. É o caso típico de reparos e revestimentos protetores de compósitos e das uniões entre tubos de materiais compósitos.

[005] Em ambos os casos, as condições de aplicação normalmente não são favoráveis, resultando em uma maior probabilidade de incidência de defeitos como: falhas de adesão (nas interfaces metal-compósito e compósito-compósito); delaminações (falhas de adesão entre as camadas do compósito); inclusões (presença de bolhas e corpos estranhos entre as camadas do compósito) e não homogeneidade na distribuição das fibras no compósito. Podem também haver defeitos na estrutura provenientes do processo de manufatura dos componentes.

[006] Defeitos em revestimentos e reparos protetores podem comprometer a eficácia da proteção ou do reforço estrutural. Se não detectados e corrigidos, defeitos em juntas e uniões de estruturas de tubos compósitos podem evoluir e levar a falhas operacionais, acarretando risco de vazamento de produtos.

[007] O uso de reparos de compósitos em tubulações metálicas têm crescido em campo, porém, a falta de uma ferramenta de inspeção faz com que seu uso seja muito restrito. Assim, no atual estado de emprego destes materiais, é imperioso proceder a inspeção dos revestimentos e reparos aplicados em campo bem como uniões e juntas em estruturas de compósitos.

[008] O atual estado da técnica está repleto das mais variadas técnicas de inspeção de dutos, como pode ser observado nos exemplos abaixo.

[009] O documento EP1523393B1 revela um método de inspeção de solda em dutos através do arranjo de uma série de

transdutores acústico-eletromagnéticos (EMAT) arranjos circunferencialmente com relação à parede interna ou externa da extremidade soldada do duto. Através da indução do arranjo de EMAT para transmitir sequencialmente ou simultaneamente sinais de onda de cisalhamento acústico em diferentes modos e ângulos em direção à solda é possível detectar ondas de cisalhamento.

[0010] Entretanto, a técnica do documento EP1523393B1 não se aplica a juntas em tubulações compósitas/poliméricas e nem a reparos poliméricos/compósitos em tubulações metálicas.

[0011] Os documentos RU2380699C1, RU2278378C1 e US7424910B2 revelam métodos para detectar defeitos entre revestimento polimérico e dutos metálicos. Entretanto, tais técnicas não se aplicam a juntas de tubulações de material compósito ou polimérico, por exemplo.

[0012] Assim, há no estado da técnica a necessidade de um método eficiente que abranja a inspeção de juntas em tubulações compósitas/poliméricas e reparos poliméricos/compósitos em tubulações metálicas, ambos bastante utilizados atualmente na indústria de petróleo e gás.

[0013] Como será mais bem detalhado a seguir, a presente invenção visa a solução do problema do estado da técnica acima descrito de forma prática e eficiente.

### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0014] A presente invenção tem por objetivo principal prover um método e sistema de inspeção não destrutivo que possa ser aplicado tanto a juntas em tubos compósitos como em reparos compósitos em tubulações metálicas.

[0015] De forma a alcançar o objetivo acima descrito, a presente invenção provê um método para inspeção de juntas em

tubos compósitos e de reparos compósitos em tubulações metálicas compreendendo as etapas de (i) emitir uma série de pulsos de ondas acústicas, em diferentes frequências, a partir de um colar de transdutores acústicos posicionado a uma distância predeterminada da junta ou reparo a ser inspecionado, (ii) registrar, em um intervalo de tempo subsequente à emissão, os ecos dos deslocamentos das ondas até o reparo ou junta em cada um dos transdutores do colar de transdutores acústicos na forma de A-Scan e (iii) gerar uma imagem planificada C-Scan, através do método CSM, para cada frequência de emissão de pulsos a partir do colar de transdutores acústicos.

[0016] A presente invenção também provê um sistema para inspeção de juntas em tubos compósitos e de reparos compósitos compreendendo (i) um colar de transdutores acústicos posicionado a uma distância predeterminada da junta ou reparo a ser inspecionado adaptado para emitir uma série de pulsos de ondas acústicas em diferentes frequências, (ii) meios para registrar, em um intervalo de tempo subsequente à emissão, os deslocamentos das ondas em cada um dos transdutores do colar de transdutores acústicos na forma de A-Scan e (iii) meios para gerar uma imagem planificada C-Scan, através do método CSM, para cada frequência de emissão de pulsos a partir do colar de transdutores acústicos.

#### BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[0017] A descrição detalhada apresentada adiante faz referência às figuras anexas e seus respectivos números de referência.

[0018] A **figura 1** ilustra uma vista esquemática do sistema da presente invenção aplicado a um reparo polimérico ou compósito em uma tubulação metálica.

[0019] A **figura 2** ilustra uma vista esquemática do sistema da

presente invenção aplicado a uma junta em uma tubulação polimérica ou compósita.

[0020] A **figura 3** ilustra um gráfico de intensidade *versus* tempo resultado de coleta do eco das ondas mecânicas por meio do sistema da presente invenção, conhecido como A-Scan.

[0021] A **figura 4** ilustra um gráfico de velocidade de fase *versus* frequência mostrando as curvas de dispersão para uma junta de tubo polimérico reforçado com fibra de vidro.

[0022] A **figura 5** ilustra um resultado do tipo C-Scan de posição angular *versus* distância.

[0023] A **figura 6** ilustra as etapas de avaliação da extensão circunferencial de um defeito de acordo com o método da presente invenção.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0024] Preliminarmente, ressalta-se que a descrição que se segue partirá de uma concretização preferencial da invenção. Como ficará evidente para qualquer técnico no assunto, no entanto, a invenção não está limitada a essa concretização particular.

[0025] A **figura 1** ilustra uma vista esquemática do sistema da presente invenção aplicado a um reparo polimérico ou compósito **1** em uma tubulação metálica **2**. A **figura 2**, por sua vez, ilustra uma vista esquemática do sistema da presente invenção aplicado a uma junta **5** rosqueada ou adesivada em uma tubulação polimérica ou compósita **6**.

[0026] O sistema para inspeção de juntas em tubos compósitos e de reparos compósitos em tubulações metálicas, de acordo com uma concretização preferencial da presente invenção, vai compreender um colar de transdutores acústicos **4** posicionado a uma distância predeterminada da junta **5** ou reparo **1** a ser inspecionado.

Preferencialmente, os transdutores empregados no colar de transdutores acústicos **4** são transdutores piezelétricos.

[0027] Preferencialmente, a distância predeterminada é de até 10 metros. Mais preferencialmente, a distância predeterminada é de 1 a 5 metros.

[0028] O colar de transdutores acústicos **4** é adaptado para emitir uma série de pulsos de ondas acústicas em diferentes frequências. Os pulsos são preferencialmente realizados de maneira controlada, seguidos de intervalos de tempo em que são realizados registros dos ecos dos deslocamentos das ondas até o reparo ou junta em cada um dos transdutores. Assim, os registros são realizados em um intervalo de tempo subsequente à emissão, sendo armazenados na forma de A-Scan (**figura 3**).

[0029] Preferencialmente, a série de emissões de pulsos deve ser realizada com diferentes frequências de emissão para atingir uma determinada banda de frequências. Preferencialmente, a banda de frequência atingida varia de 10 kHz até 70 kHz.

[0030] As medidas de todos os elementos transdutores do colar são coletadas e armazenadas na forma de A-Scans para a aplicação dos métodos de localização e avaliação do defeito.

[0031] Os dados na forma de A-Scan são então processados no intuito de retropropagar a ondas captadas de volta para as posições em que foram originadas utilizando o conhecimento prévio das curvas de dispersão do guia de onda utilizado. A **figura 4**, por exemplo, ilustra um gráfico de velocidade de fase *versus* frequência mostrando as curvas de dispersão para uma junta de tubo polimérico reforçado com fibra de vidro.

[0032] Preferencialmente, o método utilizado para processamento dos dados de A-Scan é o *Common Source Method*

(CSM), amplamente difundido no estado da técnica para tratamento de dados em ensaios não destrutivos. A aplicação do CSM resulta em um C-Scan, que é uma imagem planificada das fontes sonoras da tubulação. A **figura 5** ilustra um exemplo de um C-Scan, compreendendo nos eixos posição angular *versus* distância.

[0033] Preferencialmente, uma imagem planificada C-Scan é gerada para cada frequência de emissão de pulsos a partir do colar de transdutores acústicos **4**.

[0034] A análise das imagens de C-Scan geradas permite a identificação de pontos de interesse na área inspecionada. Após a localização de um possível defeito utilizando a imagem C-Scan, as posições longitudinal e circunferencial do defeito na superfície da tubulação são utilizadas para cortar parte dos dados A-Scan nos quais são aplicados dois métodos de avaliação do tamanho do defeito.

[0035] Para avaliação da extensão circunferencial de um possível defeito é utilizado um limiar de comparação e contabilizado quantos dos canais atingem esse limiar e então contabilizado o valor percentual da extensão circunferencial do defeito, conforme ilustrado na **figura 6**.

[0036] Para a avaliação da extensão longitudinal do defeito é necessário utilizar todos os A-Scans nas diferentes frequências de pulso somados e transformados para o domínio em frequência onde a distancia entre mínimos locais dessa curva corresponde inversamente à extensão longitudinal entre reflexões, portanto do defeito. A largura da faixa de frequência utilizada na emissão está vinculada com o tamanho longitudinal de defeito mínimo que poderá ser observado pelo método.

[0037] A presente invenção ainda provê um sistema para inspeção de juntas em tubos compósitos e de reparos compósitos em



tubulações metálicas associado ao método acima descrito. O sistema vai compreender:

(i) um colar de transdutores acústicos **4** posicionado a uma distância predeterminada da junta **5** ou reparo **1** a ser inspecionado adaptado para emitir uma série de pulsos de ondas acústicas em diferentes frequências;

(ii) meios para registrar, em um intervalo de tempo subsequente à emissão, os deslocamentos das ondas em cada um dos transdutores do colar de transdutores acústicos **4** na forma de A-Scan;

(iii) meios para gerar uma imagem planificada C-Scan, através do método CSM, para cada frequência de emissão de pulsos a partir do colar de transdutores acústicos **4**.

[0038] Assim, a presente invenção provê um método e sistema de ensaio não destrutivo bastante simples e práticos, que podem ser aplicados tanto a juntas em tubos compósitos como em reparos compósitos em tubulações metálicas.

[0039] Inúmeras variações incidindo no escopo de proteção do presente pedido são permitidas. Dessa forma, reforça-se o fato de que a presente invenção não está limitada às configurações/concretizações particulares acima descritas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para inspeção de juntas em tubos compósitos e de reparos compósitos em tubulações metálicas, caracterizado por compreender as etapas de:

emitir uma série de pulsos de ondas acústicas, em diferentes frequências, a partir de um colar de transdutores acústicos (4) posicionado a uma distância predeterminada da junta (5) ou reparo (1) a ser inspecionado;

registrar, em um intervalo de tempo subsequente à emissão, os ecos dos deslocamentos das ondas até o reparo ou junta em cada um dos transdutores do colar de transdutores acústicos (4) na forma de A-Scan; e

gerar uma imagem planificada C-Scan, através do método CSM, para cada frequência de emissão de pulsos a partir do colar de transdutores acústicos (4).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a etapa de gerar uma imagem planificada C-Scan compreender processar os dados de A-Scan através da retropropagação das ondas acústicas captadas de volta para as posições em que foram originadas utilizando o conhecimento prévio das curvas de dispersão do guia de onda utilizado.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de avaliação circunferencial de um determinado defeito revelado pelo C-Scan através de um limiar de comparação predeterminado, em que:

contabiliza-se quantos dos canais atingem esse limiar; e

contabiliza-se o valor percentual da extensão circunferencial do defeito em função da quantidade de canais que atingem o limiar.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de avaliação longitudinal de um determinado defeito, em que:

soma-se todos os A-Scans nas diferentes frequências de pulso;

transforma-se o somatório obtido na etapa anterior para o domínio em frequência onde a distância entre mínimos locais dessa curva corresponde inversamente à extensão longitudinal entre reflexões; e

calcula-se o tamanho longitudinal de defeito mínimo com base na largura da faixa de frequência utilizada na emissão.

5. Sistema para inspeção de juntas em tubos compósitos e de reparos compósitos em tubulações metálicas, caracterizado por compreender:

um colar de transdutores acústicos (4) posicionado a uma distância predeterminada da junta (5) ou reparo (1) a ser inspecionado adaptado para emitir uma série de pulsos de ondas acústicas em diferentes frequências;

meios para registrar, em um intervalo de tempo subsequente à emissão, os deslocamentos das ondas em cada um dos transdutores do colar de transdutores acústicos (4) na forma de A-Scan; e

meios para gerar uma imagem planificada C-Scan, através do método CSM, para cada frequência de emissão de pulsos a partir do colar de transdutores acústicos (4).

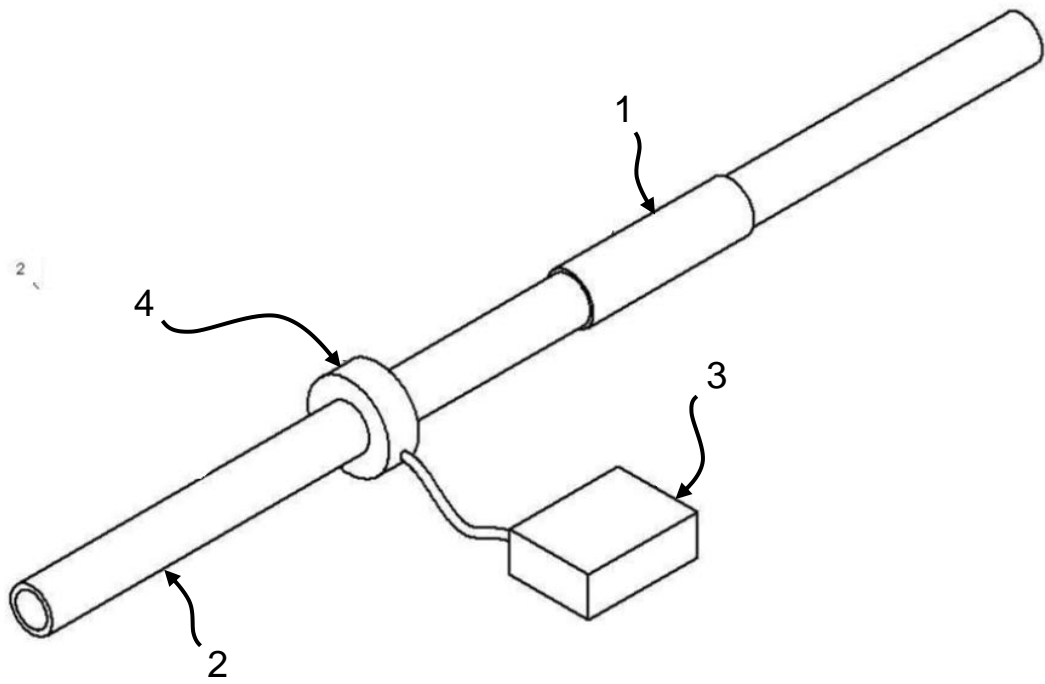


FIG. 1

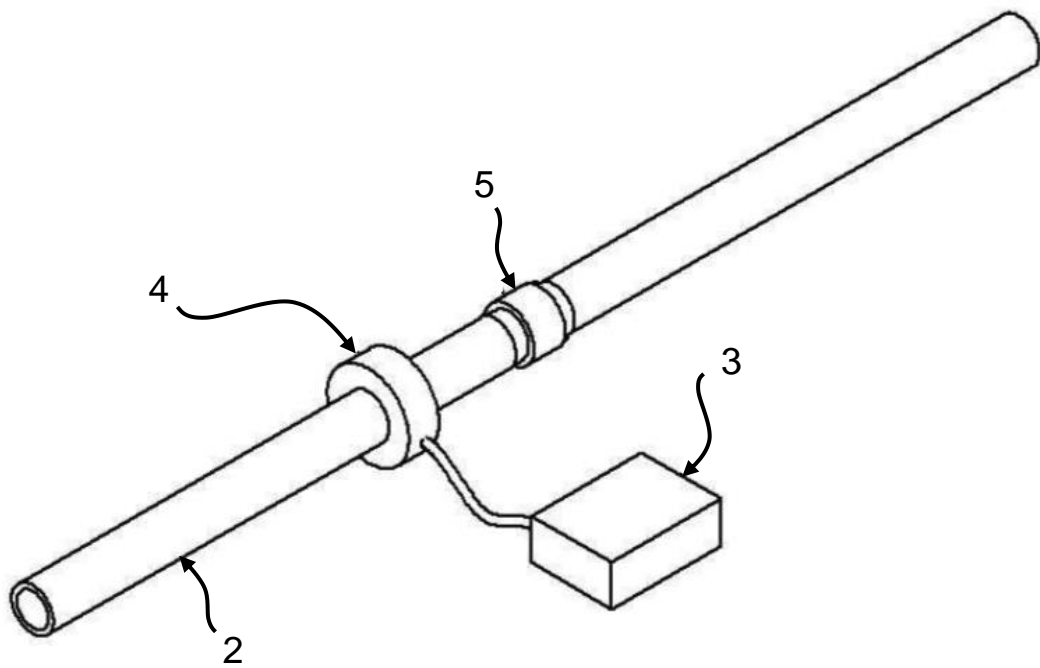


FIG. 2

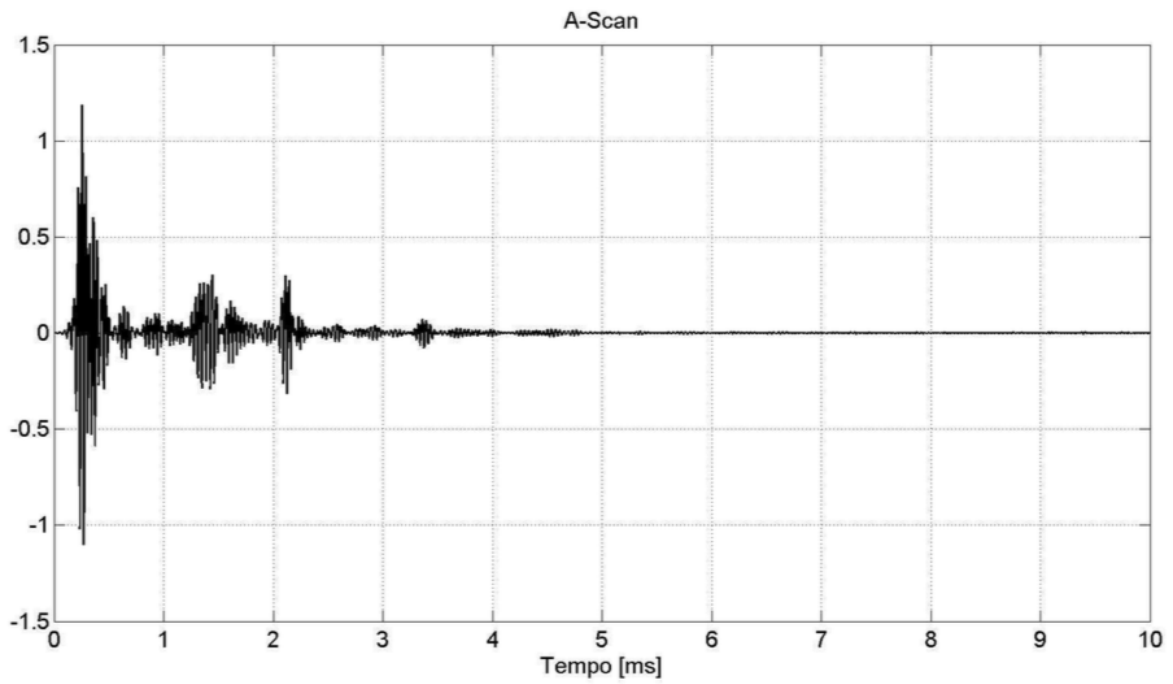


FIG. 3

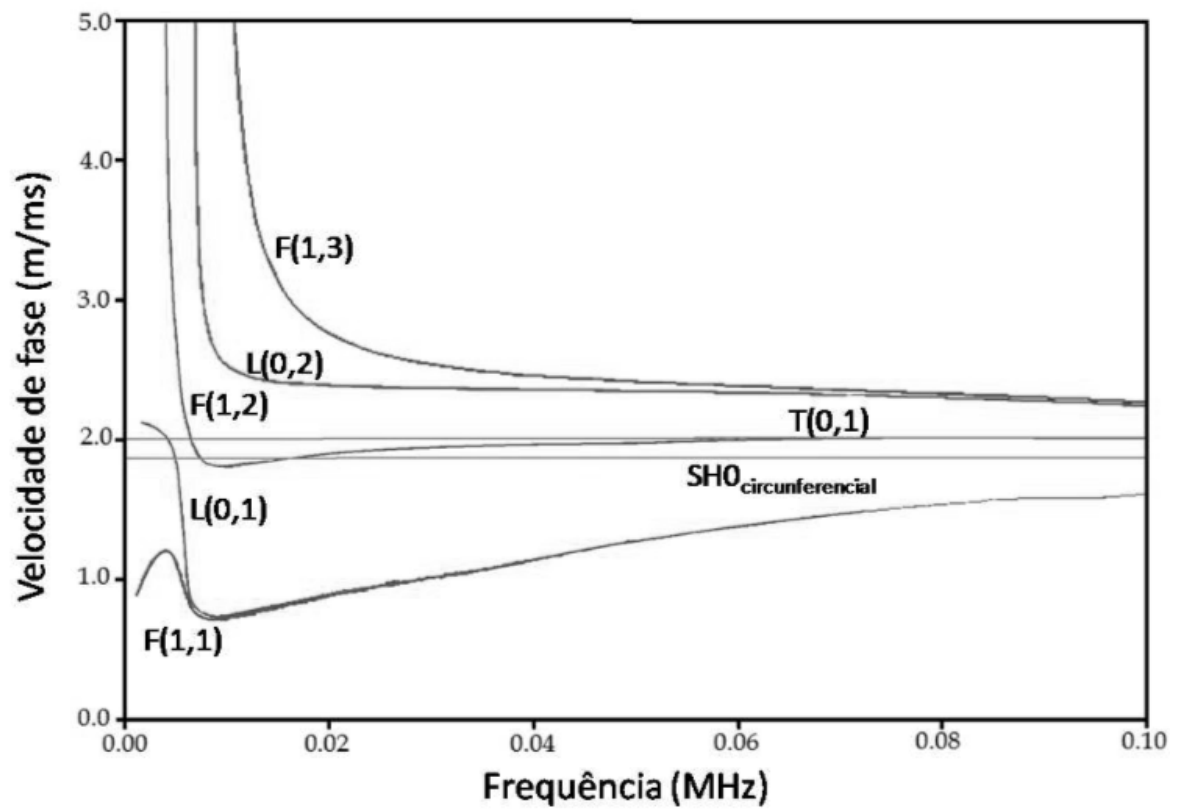


FIG. 4

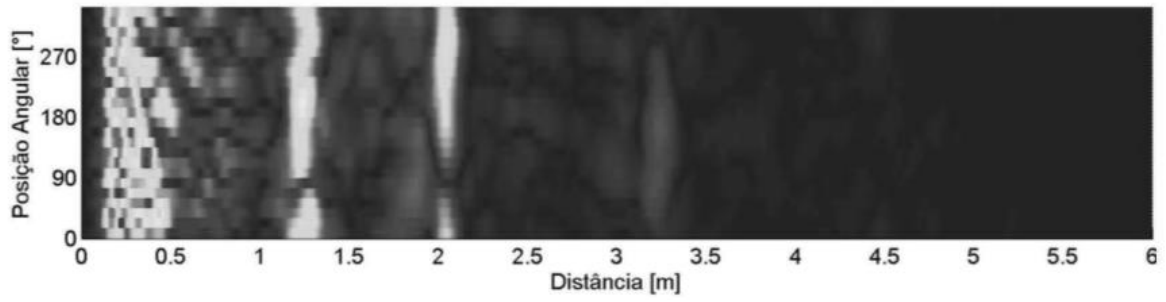


FIG. 5

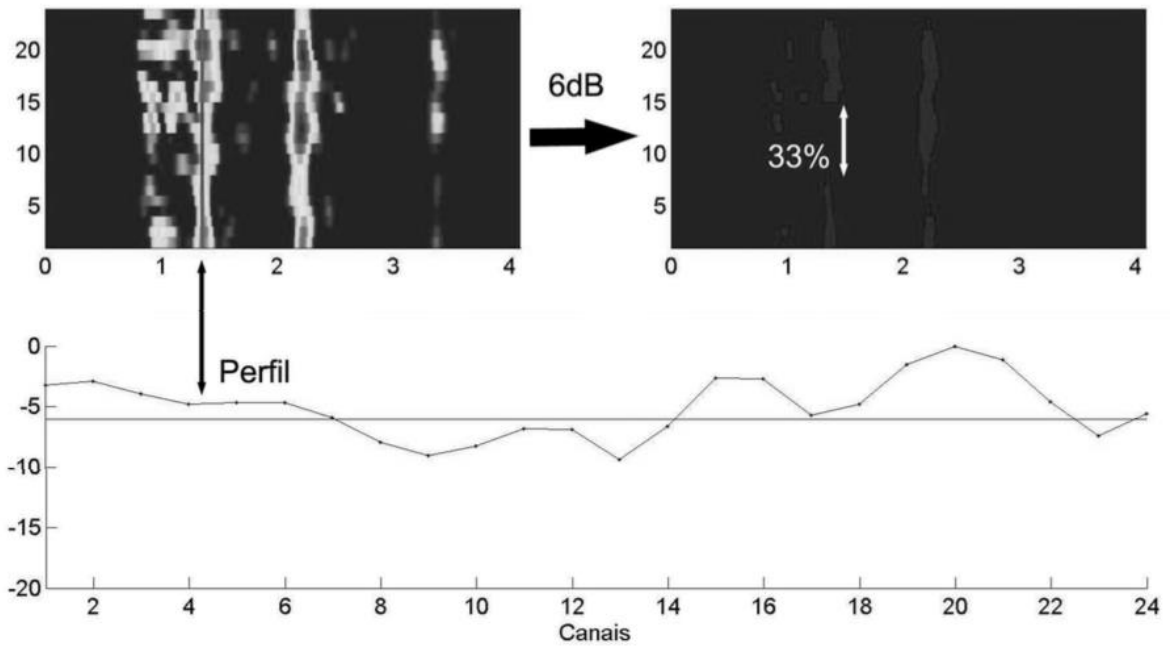


FIG. 6

## RESUMO

### “MÉTODO E SISTEMA PARA INSPEÇÃO DE JUNTAS EM TUBOS COMPÓSITOS E DE REPAROS COMPÓSITOS EM TUBULAÇÕES METÁLICAS”

A presente invenção está relacionada a técnicas de inspeções em juntas e reparos em tubulações. Nesse cenário, a presente invenção provê um método para inspeção de juntas em tubos compósitos e de reparos compósitos em tubulações metálicas, compreendendo as etapas de (i) emitir uma série de pulsos de ondas acústicas, em diferentes frequências, a partir de um colar de transdutores acústicos (4) posicionado a uma distância predeterminada da junta (5) ou reparo (1) a ser inspecionado, (ii) registrar, em um intervalo de tempo subsequente à emissão, os ecos dos deslocamentos das ondas até o reparo ou junta em cada um dos transdutores do colar de transdutores acústicos (4) na forma de A-Scan e (iii) gerar uma imagem planificada C-Scan, através do método CSM, para cada frequência de emissão de pulsos a partir do colar de transdutores acústicos (4). A invenção ainda provê um sistema para inspeção de juntas em tubos compósitos e de reparos compósitos em tubulações metálicas associado método acima descrito.