



República Federativa do Brasil
Ministério de Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 10 2013 020747-0 A2

(22) Data de Depósito: 14/08/2013
(43) Data da Publicação: 21/10/2014
(RPI 2285)



* B R 1 0 2 0 1 3 0 2 0 7 4 7 A 2 *

(51) Int.Cl.:
G01M 3/40
G01N 17/02
G01N 27/02
F16L 55/07

(54) Título: APARELHO DE DETECÇÃO E MÉTODO

(30) Prioridade Unionista: 10/09/2012 EP 12183754,6

(73) Titular(es): WELLSTREAM INTERNATIONAL LIMITED

(72) Inventor(es): GEOFFREY STEPHEN GRAHAM, PHILLIP EDWARD HAELEY, WILLIAM JAMES SHEPHERD

(57) Resumo: APARELHO DE DETECÇÃO E MÉTODO Uma primeira modalidade de um aparelho de detecção disposto de modo a detectar defeitos dentro de um corpo de tubo flexível compreende um gerador de sinal, um receptor, um correlacionador e um processador. O gerador de sinal é disposto de modo a se acoplar ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica, o gerador de sinal sendo disposto de modo a gerar um sinal de teste elétrico e aplicar o sinal de teste entre o primeiro e segundo elementos condutores elétricos, o sinal de teste compreendendo um sinal elétrico modulado por código de pulsos. O receptor é disposto de modo a se acoplar ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos e receber um sinal de retorno elétrico compreendendo um reflexo do sinal de teste. O correlacionador é disposto de modo a correlacionar o sinal de teste com o sinal de retorno e determinar um sinal de correlação. O processador é disposto de modo a detectar uma variação do sinal de correlação, e determinar se uma variação detectada é indicativa de um defeito no tubo. Uma segunda modalidade de um aparelho de detecção disposto de modo a detectar defeitos dentro de um tubo flexível pelo menos parcialmente envolto por água salgada compreende um monitor de impedância e um processador. O monitor de impedância é disposto de modo a medir a impedância entre um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e um eletrodo de água salgada em contato com a água do mar que envolve pelo menos parte do tubo flexível em resposta a um sinal de teste elétrico aplicado ao elemento condutor elétrico em uma primeira e segunda frequências. O processador é disposto de modo a detectar uma variação da impedância medida para um sinal de teste elétrico em uma primeira frequência, e quando uma variação da impedância medida é detectada, determinar se a variação é indicativa de um defeito no tubo, e, caso positivo, determinar a distância a partir do eletrodo de água salgada para um defeito no tubo por meio da comparação das impedâncias medidas na primeira e segunda frequências. Métodos de detecção de defeitos dentro de um corpo de tubo flexível, um aparelho de tubulação e métodos de formação de aparelhos de tubulação são também apresentados. (Figura 3 e Figura 5.

"APARELHO DE DETECÇÃO E MÉTODO"

A presente invenção refere-se a um aparelho de detecção e método. Em particular, a presente invenção se refere a um aparelho de detecção disposto de modo a detectar defeitos dentro de um corpo de tubo flexível, e a um método de detecção de defeitos ou alterações de condição de um corpo de tubo. Modalidades particulares se referem a um tubo flexível compreendendo um corpo de tubo flexível e o aparelho de detecção, a um método de formação de tal tubo flexível, e a um método de operação de tal tubo flexível. Certas modalidades da presente invenção são igualmente dispostas de modo a detectar uma alteração na condição de um corpo de tubo.

Tradicionalmente, um tubo flexível é utilizado para transportar fluidos de produção, tais como óleo e/ou gás e/ou água, de um local para outro. O tubo flexível é particularmente útil com relação a um local submarino (o qual pode ser de águas profundas, de, por exemplo, 1000 metros ou mais) ou a um local ao nível do mar. O tubo pode ter, tipicamente, um diâmetro interno de até aproximadamente 0,6 metros. O tubo flexível é de modo geral formado como um conjunto de um corpo de tubo flexível e de um ou mais encaixes de extremidade. O corpo de tubo é tipicamente formado como uma combinação de materiais em camada que formam um conduto de contenção de pressão. A estrutura de tubo permite grandes deflexões sem provocar cargas de flexão que prejudicam a funcionalidade do tubo ao longo de sua vida útil. O corpo de tubo é de modo geral construído como uma estrutura combinada, incluindo camadas metálicas e poliméricas.

Em muitos desenhos de tubo flexível conhecidos, o corpo de tubo inclui uma ou mais camadas de armadura de pressão. A carga primária sobre tais camadas é formada a partir de forças radiais. As camadas de armadura de pressão, muitas vezes, possuem um perfil em seção transversal específico para entrefechamento de modo a ser capaz de manter e absorver as forças radiais resultantes da pressão externa ou interna sobre o tubo. O perfil em seção transversal dos fios enrolados, que, deste modo, impede a deformação ou o estouro do tubo como resultado da pressão é, por vezes, chamado de perfil resistente à pressão. Quando camadas de armadura de pressão são feitas a partir de componentes de aro que formam fios enrolados helicoidais, as forças radiais originadas da pressão externa ou interna sobre o tubo fazem com que os componentes de aro se expandam ou se contraíam, impondo uma carga de tração sobre os fios.

Em muitos desenhos de tubo flexível conhecidos, o corpo de tubo inclui uma ou mais camadas de armadura de tração. A carga primária sobre tal camada de armadura de tração é uma tensão. Em aplicações de alta pressão, tais como em ambientes de águas profundas ou ultra profundas, a camada de armadura de tração experimenta cargas de alta tensão a partir de uma combinação da carga de tampa de extremidade de pressão interna e o peso auto-suportado do próprio tubo flexível. Isto pode provocar a falência do tubo flexível,

uma vez que tais condições são impostas por longos períodos de tempo.

Um tubo flexível não ligado já foi usado para desenvolvimentos em águas profundas (com menos de 3.300 pés (1.005,84 metros)) e em águas ultra profundas (com mais de 3.300 pés). Tem-se tornado uma demanda crescente que o petróleo seja explorado em profundidades cada vez maiores, onde os fatores ambientais são mais extremos. Por exemplo, em tais ambientes de águas profundas e ultra profundas, a temperatura no leito do oceano aumenta o risco de produção de fluidos que se resfriam a uma temperatura que pode levar a um entupimento do tubo. As maiores profundidades também aumentam a pressão associada ao ambiente no qual o tubo flexível deve operar. Como resultado, se torna a necessidade de altos níveis de desenvolvimento por parte das camadas do corpo de tubo flexível. O tubo flexível pode também ser usado em aplicações de águas rasas (por exemplo, abaixo de aproximadamente 500 metros de profundidade) ou ainda para aplicações ao largo (em terra).

Uma forma de se melhorar a resposta à carga e, por conseguinte, o desempenho das camadas de armadura é fabricar as camadas com materiais mais grossos e fortes e, portanto, mais robustos. Por exemplo, para as camadas de armadura de pressão nas quais as camadas são, muitas vezes, feitas de fios enrolados com enrolamentos adjacentes no entrefechamento das camadas, a fabricação dos fios com materiais mais espessos resulta em um apropriado aumento de resistência. No entanto, uma vez que mais material é usado, o peso do tubo flexível aumenta. Em última instância, o peso do tubo flexível pode se tornar um fator de limitação para o uso do tubo flexível. Além disso, a fabricação do tubo flexível com materiais cada vez mais grossos faz aumentar consideravelmente os custos materiais, o que vem a ser também uma desvantagem.

Quaisquer que sejam as providencias tomadas no sentido de melhorar o desempenho das camadas de armadura dentro de um corpo de tubo, permanece ainda o risco de ocorrerem defeitos dentro de um tubo flexível. Um defeito pode compreender danos a uma parede externa de um corpo de tubo flexível, resultando no ingresso de água salgada na coroa anular no interior do corpo de tubo, de tal forma que a água de mar encha os vãos entre os fios de camada de armadura e os demais elementos estruturais do tubo. Os fios de camada de armadura e os outros elementos estruturais são tipicamente feitos de aço ou outros materiais metálicos, vulneráveis a uma acelerada corrosão ao contato com a água salgada. Caso tal defeito não seja imediatamente detectado, toda a integridade estrutural do corpo de tubo poderá ficar comprometida. A detecção de defeitos, tal como é feita normalmente, requer a inspeção visual do corpo de tubo, o que pode ser perigoso, particularmente em instalações em águas profundas e em águas ultra profundas. Além disso, determinadas alterações na condição de um tubo flexível, tais como dobramento, esmagamento e grandes variações de temperatura, podem levar a defeitos, caso não sejam observadas. Tais altera-

ções de condição, anteriormente, só podiam ser detectáveis, na maioria das vezes, através de uma inspeção visual.

Certas modalidades da presente invenção oferecem a vantagem de um defeito dentro de um corpo de tubo poder ser detectado sem a necessidade de se fazer uma inspeção visual periódica. Defeitos podem, então, ser consertados, ou o corpo de tubo trocado. Defeitos detectáveis incluem um rompimento da parede externa de um tubo flexível e o ingresso de água salgada na coroa anular de um corpo de tubo. Certas modalidades podem ainda prover uma indicação de alterações na condição do corpo de tubo, por exemplo, devido a um esmagamento ou a um dobramento aplicado ao corpo de tubo, ou ainda a uma variação de temperatura ao longo do comprimento do corpo de tubo.

De acordo com um primeiro aspecto da presente invenção, é provido um aparelho de detecção disposto de modo a detectar defeitos dentro de um tubo flexível, o aparelho de detecção compreendendo: um gerador de sinal disposto de modo a se acoplar ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica, o gerador de sinal sendo disposto de modo a gerar um sinal de teste elétrico e aplicar o sinal de teste entre o primeiro e segundo elementos condutores elétricos, o sinal de teste compreendendo um sinal elétrico modulado por código de pulsos; um receptor disposto de modo a se acoplar ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos e receber um sinal de retorno elétrico compreendendo um reflexo do sinal de teste; um correlacionador disposto de modo a correlacionar o sinal de teste com o sinal de retorno e determinar um sinal de correlação; e um processador disposto de modo a detectar uma variação do sinal de correlação, e determinar se uma variação detectada é indicativa de um defeito no tubo.

O tubo pode ser para uso em alta pressão na extração de óleo e gás.

O gerador de sinal pode ser disposto de modo a gerar um sinal de teste compreendendo uma série aleatória ou pseudo aleatória de pulsos. Em particular, o gerador de sinal pode ser disposto de modo a gerar um sinal de teste compreendendo um sinal elétrico contínuo modulado por código de pulsos ou impulsos de um sinal elétrico modulado por código de pulsos.

O processador pode ser disposto de modo a detectar um recurso no sinal de correlação e determinar uma correspondente posição espacial ao longo do corpo de tubo flexível a partir do retardo de correlação correspondente ao recurso a partir da predeterminada velocidade de propagação da linha de transmissão elétrica. O processador pode ser ainda disposto de modo a determinar a magnitude do recurso no sinal de correlação e, determinar uma correspondente magnitude de uma variação local nas características da linha de transmissão elétrica. O processador pode ser ainda disposto de modo a determinar a natu-

reza do evento físico associado ao recurso.

O processador pode ser disposto de modo a gerar um sinal de saída que indica que uma variação de sinal de correlação indicativa de um defeito no corpo de tubo ou uma alteração na condição do corpo de tubo foi detectada. O processador pode ser ainda disposto de modo a gerar um sinal de saída que indica uma correspondente posição espacial ao longo do corpo de tubo flexível para uma variação local na impedância característica da linha de transmissão elétrica.

De acordo com um segundo aspecto da presente invenção, é provido um método de detecção de defeitos dentro de um tubo flexível, o método compreendendo: o acoplamento de um gerador de sinal ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica; a geração, no gerador de sinal, de um sinal de teste elétrico compreendendo um sinal elétrico modulado por código de pulsos; a aplicação do sinal de teste entre o primeiro e segundo elementos condutores elétricos; o acoplamento de um receptor ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos; o recebimento de um sinal de retorno elétrico compreendendo um reflexo do sinal de teste; a correlação do sinal de teste com o sinal de retorno a fim de determinar um sinal de correlação; a detecção de uma variação do sinal de correlação; e a determinação se uma variação detectada é indicativa de um defeito no tubo.

De acordo com um terceiro aspecto da presente invenção, é provido um aparelho de tubulação compreendendo: um corpo de tubo incluindo o primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica; um encaixe de extremidade acoplado a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo; e um aparelho de detecção, de acordo com o primeiro aspecto da presente invenção, acoplado a um encaixe de extremidade acoplado a uma extremidade do corpo de tubo flexível, sendo que o gerador de sinal é acoplado ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos.

Pelo menos um elemento condutor elétrico pode compreender um elemento estrutural metálico do corpo de tubo, eletricamente isolado dentro da estrutura de corpo de tubo. Pelo menos um elemento condutor elétrico pode compreender um elemento de fita condutora adequada (por exemplo, um fio ou cabo metálico) estendido através do corpo de tubo entre uma camada de barreira mais interna e uma camada de barreira mais externa. Um elemento pode compreender a estrutura do tubo, por exemplo, uma camada ou fio de armadura e o outro elemento pode compreender um elemento estrutural eletricamente isolado dos demais elementos estruturais adjacentes.

O aparelho de tubulação pode compreender ainda um segundo aparelho de detec-

ção, o segundo aparelho de detecção compreendendo: um monitor de impedância acoplado e disposto de modo a medir a impedância entre um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo e um eletrodo de água salgada em contato com a água do mar que envolve pelo menos parte do corpo de tubo em
5 resposta a um sinal de teste elétrico aplicado ao elemento condutor elétrico em uma primeira e segunda frequências; e um processador disposto de modo a detectar uma variação da impedância medida para um sinal de teste elétrico em uma primeira frequência, e quando uma variação da impedância medida é detectada, determinar se a variação é indicativa de um defeito no tubo, e, caso positivo, determinar a distância a partir do eletrodo de água salgada para um defeito no tubo por meio da comparação das impedâncias medidas na primeira
10 e segunda frequências.

O primeiro e segundo elementos condutores elétricos que formam a linha de transmissão podem compreender um primeiro e segundo elementos estruturais metálicos do corpo de tubo, e o elemento condutor elétrico acoplado ao monitor de impedância compreende
15 um dentre o primeiro e segundo elementos estruturais metálicos.

De acordo com um quarto aspecto da presente invenção, é provido um método de formação de um aparelho de tubulação, o método compreendendo: a provisão de um corpo de tubo incluindo o primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo e eletricamente isolados um do
20 outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica; e o acoplamento de um encaixe de extremidade a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo; sendo que um aparelho de detecção de acordo com o primeiro aspecto da presente invenção é acoplado a um encaixe de extremidade acoplado a uma extremidade do corpo de tubo, o método compreendendo ainda o acoplamento do gerador de sinal ao primeiro e segundo elementos condutores
25 elétricos.

De acordo com um quinto aspecto da presente invenção, é provido um aparelho de detecção disposto de modo a detectar defeitos dentro de um tubo flexível pelo menos parcialmente envolto por água salgada, o aparelho de detecção compreendendo: um monitor de impedância disposto de modo a medir a impedância entre um elemento condutor elétrico
30 estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e um eletrodo de água salgada separado em contato com a água do mar que envolve pelo menos parte do tubo flexível em resposta a um sinal de teste elétrico aplicado ao elemento condutor elétrico em uma primeira e segunda frequências; e um processador disposto de modo a detectar uma variação da impedância medida para um sinal de teste elétrico em uma primeira
35 frequência, e quando uma variação da impedância medida é detectada, determinar se a variação é indicativa de um defeito no tubo, e, caso positivo, determinar a distância a partir do eletrodo de água salgada para um defeito no tubo por meio da comparação das impedân-

cias medidas na primeira e segunda frequências.

O tubo pode ter uma camada de isolamento elétrico de tal modo que, antes de ocorrer qualquer defeito, não haja nenhuma condução elétrica entre o elemento condutor elétrico e a água do mar.

5 O monitor de impedância pode ser disposto de modo a aplicar sinais de teste elétrico ao elemento condutor elétrico em uma pluralidade de frequências entre 10 Hz e 100 kHz.

O monitor de impedância pode compreender uma fonte de corrente disposta de modo a suprir um sinal de teste elétrico para o elemento condutor elétrico, e um voltímetro disposto de modo a determinar a tensão gerada no elemento condutor elétrico com relação
10 ao eletrodo de água salgada.

O voltímetro pode ser um demodulador síncrono e o monitor de impedância pode compreender ainda um controlador disposto de modo a prover um sinal de controle de frequência para a fonte de corrente e para o demodulador síncrono a fim de garantir que as medições de tensão sejam sincronizadas para a fonte de corrente.

15 De acordo com um sexto aspecto da presente invenção, é provido um método de detecção de defeitos dentro de um tubo flexível pelo menos parcialmente envolto por água salgada, o método compreendendo: o acoplamento de um monitor de impedância entre um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e um eletrodo de água salgada em contato com a água do mar que envolve
20 pelo menos parte do tubo flexível; a geração de um sinal de teste elétrico no monitor de impedância e a aplicação do sinal de teste ao elemento condutor elétrico em uma primeira e segunda frequências; a detecção de uma variação da impedância medida para um sinal de teste elétrico em uma primeira frequência; e a determinação se uma variação de impedância detectada é indicativa de um defeito no tubo, e, caso positivo, a determinação de uma dis-
25 tância a partir do eletrodo de água salgada para um defeito no tubo por meio da comparação das impedâncias medidas na primeira e segunda frequências.

De acordo com um sétimo aspecto da presente invenção, é provido um aparelho de tubulação compreendendo: um corpo de tubo incluindo um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo; um encaixe de
30 extremidade acoplado a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo; um eletrodo de água salgada; e um aparelho de detecção, de acordo com o quinto aspecto da presente invenção, acoplado a um encaixe de extremidade acoplado a uma extremidade do corpo de tubo, sendo que o monitor de impedância é acoplado ao elemento condutor elétrico e ao eletrodo de água salgada.

35 O elemento condutor elétrico pode compreender um elemento estrutural metálico do corpo de tubo. De maneira alternativa, o elemento condutor elétrico pode compreender um outro elemento de fita condutora adequado (por exemplo, um fio ou cabo metálico) es-

tendido através do corpo de tubo entre uma camada de barreira mais interna e uma camada de barreira mais externa.

O aparelho de tubulação pode compreender ainda um segundo aparelho de detecção, o segundo aparelho de detecção compreendendo: um gerador de sinal acoplado a um par de elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica, o gerador de sinal sendo disposto de modo a gerar um sinal de teste elétrico e aplicar o sinal de teste entre o par de elementos condutores elétricos, o sinal de teste compreendendo um sinal elétrico modulado por código de pulsos; um receptor acoplado ao par de elementos condutores elétricos e disposto de modo a receber um sinal de retorno elétrico compreendendo um reflexo do sinal de teste; um correlacionador disposto de modo a correlacionar o sinal de teste com o sinal de retorno e determinar um sinal de correlação; e um processador disposto de modo a detectar uma variação do sinal de correlação, e determinar se uma variação detectada é indicativa de um defeito no tubo.

O par de elementos condutores elétricos pode compreender o primeiro elemento estrutural metálico do corpo de tubo e um segundo elemento estrutural metálico do corpo de tubo.

De acordo com um oitavo aspecto da presente invenção, é provido um método de formação de um aparelho de tubulação, o método compreendendo: a provisão de um corpo de tubo incluindo um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo; a provisão de um eletrodo de água salgada; e o acoplamento de um encaixe de extremidade a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo; sendo que um aparelho de detecção, de acordo com o quinto aspecto da presente invenção, é acoplado a um encaixe de extremidade acoplado a uma extremidade do corpo de tubo, o método compreendendo ainda o acoplamento do monitor de impedância ao elemento condutor elétrico e ao eletrodo de água salgada.

Modalidades da presente invenção são ainda descritas a seguir com referência aos desenhos em anexo, nos quais:

A Figura 1 ilustra um corpo de tubo flexível;

A Figura 2 ilustra um conjunto de coluna de ascensão que incorpora um corpo de tubo flexível;

A Figura 3 ilustra um aparelho de detecção de acordo com uma primeira modalidade da presente invenção;

A Figura 4 ilustra graficamente a saída de um correlacionador que faz parte do aparelho de detecção da Figura 3;

A Figura 5 ilustra um aparelho de detecção de acordo com uma segunda modalidade da presente invenção;

A Figura 6 é um gráfico que ilustra a atenuação de um sinal elétrico com relação à frequência do sinal para três distâncias diferentes;

A Figura 7 ilustra um monitor de impedância que faz parte do aparelho de detecção da Figura 5;

5 A Figura 8 é um fluxograma ilustrando um método de detecção de acordo com a primeira modalidade da presente invenção; e

A Figura 9 é um fluxograma ilustrando um método de detecção de acordo com a segunda modalidade da presente invenção.

Nos desenhos, os numerais de referência similares se referem a peças similares.

10 Em toda a descrição, será feita referência a um tubo flexível. Deve-se entender que um tubo flexível é um conjunto de uma porção de um corpo de tubo e um ou mais encaixes de extremidade em cada um dos quais uma respectiva extremidade do corpo de tubo termina. A Figura 1 ilustra como o corpo de tubo 100 é formado de acordo com uma modalidade da presente invenção a partir de uma combinação de materiais em camada que formam um
15 conduto de contenção de pressão. Embora um número de camadas em particular seja ilustrado na Figura 1, deve-se entender que a presente invenção é amplamente aplicável a estruturas de corpo de tubo coaxiais incluindo duas ou mais camadas fabricadas a partir de uma variedade de materiais possíveis. Deve-se ainda notar que as espessuras de camada são mostradas tão-somente para fins ilustrativos.

20 Tal como ilustrado na Figura 1, um corpo de tubo inclui uma camada de carcaça mais interna opcional 101. A carcaça provê uma construção entrefechada que pode ser usada como a camada mais interna a fim de impedir, total ou parcialmente, a deformação de um forro de pressão interna 102 devido a uma descompressão do tubo, à pressão externa, e à pressão da armadura de tração e às cargas de esmagamento mecânicas. Deve-se apreciar que certas modalidades da presente invenção são aplicáveis às operações de 'furo liso
25 (ou seja, sem uma carcaça) bem como às operações de 'furo rugoso' (com uma carcaça).

O forro de pressão interna 102 atua como uma camada de retenção de fluido e compreende uma camada polimérica que garante a integridade do fluido interno. Deve-se entender que esta camada pode, por si só, compreender um número de subcamadas. Deve-se apreciar que, quando a camada de carcaça opcional é utilizada, o forro de pressão interna será, muitas vezes, referido pelas pessoas versadas na técnica como uma camada de
30 barreira. Em operação, sem tal carcaça (a então chamada operação de furo liso), o forro de pressão interna pode ser referido como um revestimento.

Uma camada de armadura de pressão opcional 103 é uma camada estrutural com
35 um ângulo de assentamento próximo de 90° que aumenta a resistência do tubo flexível às cargas de esmagamento de pressão externa e mecânica. A camada também suporta estruturalmente o forro de pressão interna, e tipicamente consiste de uma construção entrefe-

chada.

O corpo de tubo flexível inclui também uma primeira camada de armadura de tração opcional 105 e uma segunda camada de armadura de tração opcional 106. Cada camada de armadura de tração é uma camada estrutural com um ângulo de assentamento dentre tipicamente 10° e 55°. Cada camada é usada no sentido de sustentar cargas de tração e a pressão interna. As camadas de armadura de tração são, muitas vezes, contra-enroladas em pares.

O corpo de tubo flexível mostrado inclui também camadas opcionais de fita 104 que ajudam a conter as camadas subjacentes e, até certo ponto, impedir o atrito entre camadas adjacentes.

O corpo de tubo flexível tipicamente inclui ainda camadas opcionais de isolamento 107 e um forro externo 108, que compreende uma camada polimérica utilizada para proteger o tubo contra a penetração da água do mar e outros ambientes externos, corrosão, atrito e danos mecânicos.

Cada tubo flexível compreende pelo menos uma porção, por vezes referida como um segmento ou seção de corpo de tubo 100 juntamente com um encaixe de extremidade localizado em uma extremidade ou em ambas as extremidades do tubo flexível. Um encaixe de extremidade provê um dispositivo mecânico que forma a transição entre o corpo de tubo flexível e um conector. As diferentes camadas de tubo, conforme mostradas, por exemplo, na Figura 1, são terminadas no encaixe de extremidade de tal modo a transferir a carga entre o tubo flexível e o conector.

A Figura 2 ilustra um conjunto de coluna de ascensão 200 adequado para o transporte do fluido de produção, tal como óleo e/ou gás e/ou água a partir de um local submarino 201 para uma instalação flutuante 202. Por exemplo, na Figura 2, o local submarino 201 inclui uma linha de fluxo submarino 205. A linha de fluxo flexível 205 compreende um tubo flexível, totalmente ou em parte, assentado sobre o fundo do mar 204 ou enterrado sob o fundo do mar e usado em uma aplicação estática. A instalação flutuante pode ser provida por meio de uma plataforma e/ou bóia ou, tal como ilustrado na Figura 2, um navio. O conjunto de coluna de ascensão 200 é provido como uma coluna de ascensão flexível, ou seja, um tubo flexível 203 que liga o navio à instalação no fundo do mar. O tubo flexível pode estar em segmentos do corpo de tubo flexível com encaixes de extremidade de conexão. A Figura 2 ilustra ainda como porções do tubo flexível podem ser utilizadas como uma linha de fluxo 205 ou conjunto de linhas de fluxo 206. Deve-se apreciar que existem diferentes tipos de colunas de ascensão, como também bem conhecidos por aqueles versados na técnica. As modalidades da presente invenção podem ser usadas com qualquer tipo de coluna de ascensão, tais como a livremente suspensa (coluna de ascensão catenária, livre), a coluna de ascensão restrita até certo ponto (as bóias, as correntes), a coluna de ascensão total-

mente restrita ou encerrada em um tubo (os tubos em I ou em J).

Tal como acima notado, os defeitos em um corpo de tubo flexível podem comprometer a integridade estrutural do corpo de tubo. Em particular, um rompimento ou ruptura de uma camada externa resistente à água do mar pode permitir o ingresso de água salgada para dentro da coroa anular do corpo de tubo entre uma camada de barreira mais interna e a camada externa resistente à água do mar. Com referência à Figura 1, a camada externa resistente à água do mar pode compreender o forro externo polimérico 108, e a camada de barreira mais interna pode compreender o forro de pressão interna 102. A coroa anular do corpo de tubo é ocupada pelos componentes estruturais metálicos, tais como as camadas de armadura de tração 105, 106 da Figura 1. Tais componentes são frequentemente feitos de aço ou outros metais e são suscetíveis a uma rápida corrosão na presença da água do mar. A seguir, serão descritas modalidades da presente invenção que podem detectar um rompimento na camada resistente externa de um corpo de tubo flexível. Certas modalidades podem ainda detectar outras variações de condição em um corpo de tubo flexível, incluindo esmagamento, dobramento e variação de temperatura.

A Figura 3 ilustra um aparelho de detecção de acordo com uma primeira modalidade da presente invenção acoplado a um corpo de tubo flexível. O aparelho de detecção é disposto de modo a detectar uma alteração em um corpo de tubo flexível, a qual pode indicar um defeito (e, em particular, um rompimento, deixando entrar água salgada ou outros fluidos para dentro da coroa anular do corpo de tubo) ou certas formas de alteração de condição, tal como acima descrito. O aparelho de detecção pode ser acoplado a um sistema de alerta disposto de modo a prover um sinal de saída para um operador do tubo flexível alertando o operador sobre danos potenciais ao tubo. O sinal de saída pode, por exemplo, ser um alarme visual ou audível.

A Figura 3 shows um tubo flexível 300, que, tal como descrito acima, pode formar a coluna de ascensão. O tubo é pelo menos parcialmente envolto por água salgada, esquematicamente ilustrado pelo tubo estendido sob o nível da superfície 302 do mar. Tal como descrito acima, um corpo de tubo flexível é construído a partir de múltiplas camadas de uma barreira polimérica, incluindo uma camada externa resistente à água do mar 304 e pelo menos uma primeira e segunda camadas de elementos estruturais metálicos coaxiais indicados nas referências numéricas 306, 308. Os elementos estruturais metálicos, por exemplo, as camadas de armadura de tração 105, 106 da Figura 1, são concebidos de modo a atender basicamente as propriedades mecânicas da estrutura do corpo de tubo. No entanto, desde que pelo menos dois desses componentes metálicos, por exemplo, os fios de armadura de tração individuais ou as camadas de fio de armadura separadas, tal como mostrado na Figura 3, sejam eletricamente isolados entre si por um meio isolante, por exemplo, as camadas de fita 104 da Figura 1, pode-se considerar que esses componentes compreendem o primei-

ro e segundo elementos condutores elétricos 306, 308 estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um corpo de tubo flexível. Deve ser apreciado por uma pessoa apropriadamente versada que os elementos condutores elétricos 306, 308 formam uma linha de transmissão elétrica capaz de transmitir sinais elétricos. Em particular, quando os

5 componentes metálicos selecionados compreendem uma primeira e segunda camadas dentro da estrutura de corpo de tubo, os elementos condutores elétricos 306, 308 formam uma linha de transmissão elétrica coaxial.

A pessoa versada na técnica poderá apreciar que um par de elementos condutores elétricos 306, 308 isolados um do outro e estendidos pelo menos parcialmente ao longo do

10 comprimento de um tubo flexível irá transmitir sinais elétricos de alta frequência, os quais são aplicados a uma primeira extremidade do tubo, tal como é o caso para qualquer linha de transmissão elétrica. Os sinais elétricos são supridos por um gerador de sinal eletricamente acoplado a ambos os elementos, de tal modo que o sinal elétrico seja aplicado entre os elementos 306, 308. Em altas frequências, as linhas de transmissão possuem propriedades

15 ressonantes associadas ao seu comprimento, diâmetro, construção, além das propriedades dielétricas de um isolante entre os elementos condutores, as quais podem ser caracterizadas pela impedância e pela velocidade de propagação de sinal (geralmente expressadas como uma fração da velocidade da luz, c).

Uma característica notável das linhas de transmissão elétrica é que, a menos que a

20 extremidade seja corretamente terminada com uma impedância correspondente, a energia elétrica será refletida ao longo da linha na direção da fonte. Para um tubo flexível, tipicamente, os elementos condutores elétricos 306, 308 não são eletricamente acoplados em nenhuma extremidade do tubo flexível. Mesmo que um acoplamento elétrico seja provido em uma extremidade submarina do tubo, será improvável que o acoplamento elétrico tenha uma

25 impedância que corresponda à impedância característica da linha de transmissão. A energia elétrica refletida pode ser recebida em um receptor. A pessoa versada na técnica poderá apreciar que o gerador de sinal e o receptor podem ser combinados, sob a forma de um transceptor. A energia elétrica é também refletida pelas variações na impedância característica ao longo do comprimento da linha. Em termos específicos, os reflexos parciais do sinal

30 de teste elétrico suprido são gerados sempre que haja uma alteração na impedância característica ao longo do comprimento de uma linha de transmissão. No exemplo de um corpo de tubo flexível, quando a água do mar entra na coroa anular do corpo de tubo devido a um rompimento intermediário ao longo do corpo de tubo, a água do mar afetará diretamente a impedância da linha de transmissão naquele ponto, uma vez que a água salgada começa a

35 saturar o vão ou o material dielétrico entre os elementos condutores elétricos.

Os reflexos obtidos a partir de um sinal de teste elétrico introduzido em uma linha de transmissão podem ser analisados a fim de determinar falhas na linha de transmissão.

Tipicamente, um reflexo forte é recebido após um retardo de propagação conhecido correspondente ao sinal de teste elétrico que se propaga na extremidade oposta da linha de transmissão e que é refletido a partir da impedância não correspondente na extremidade oposta. Outros reflexos retornados a partir das variações de impedância originadas ao longo da linha de transmissão, por exemplo, por uma falha estrutural, podem ser analisados. Ao se conhecer a velocidade de propagação elétrica de uma linha de transmissão, o tempo para o reflexo ser retornado poderá ser usado no sentido de determinar a localização da variação de impedância. Tipicamente, o sinal de teste elétrico introduzido é um pulso de alta energia, muito estreito introduzido em uma extremidade da linha de transmissão. Pode-se observar que o pulso refletido retorna ao longo da linha de transmissão. O tempo de retorno de pulso indica a distância até a linha de transmissão onde a falha se apresenta (com base na velocidade de propagação e, portanto, o tempo que o sinal leva para percorrer até a variação de impedância e retornar). A amplitude do pulso pode ser usada a fim de dar uma indicação da seriedade da falha, e a polaridade do reflexo determina se a falha tende para um circuito aberto, ou para um curto circuito. Esta técnica é convencionalmente referida como Refletometria no Domínio do Tempo (TDR). Deve-se apreciar que, no caso de um corpo de tubo, o ingresso de água salgada irá fazer com que a linha de transmissão tenda para um curto circuito.

De acordo com a primeira modalidade da presente invenção, o gerador de sinal e o receptor são combinados de modo a formar um transceptor 310 que é acoplado pelos fios 312, 314 ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos 306, 308 dentro do corpo de tubo 300. O transceptor 310 é acoplado a um correlacionador 316 disposto de modo a correlacionar um sinal de teste elétrico transmitido e um sinal de retorno elétrico refletido recebido. O correlacionador 316 provê um sinal de correlação que é suprido para um processador 318 para análise. O transceptor 310, o correlacionador 316 e o processador 318 podem ser referidos como um refletômetro de domínio de tempo (TDR) 320. Deve-se apreciar que nas modalidades alternativas da presente invenção, o gerador de sinal (ou um transmissor) e o receptor podem ser separados.

O sinal de teste elétrico aplicado entre os elementos condutores 306, 308 pelo transceptor 310 é disposto de modo a variar ao longo do tempo. Um sinal de teste elétrico aplicado variável no tempo permite ao correlacionador 316 gerar um sinal de correlação que indica o grau de correlação com o sinal de retorno elétrico em uma faixa de retardos de correlação que diretamente correspondem à distância ao longo do corpo de tubo (estritamente, os retardos de correlação correspondem a duas vezes a distância ao longo do corpo de tubo até uma falha dar origem a um reflexo de sinal). Consequentemente, múltiplos reflexos do sinal de teste elétrico, tanto a partir da extremidade distante do corpo de tubo como também das variações de impedância ao longo do corpo de tubo, poderão ser determinados. O sinal

de teste pode ser um sinal de pulsos de alta frequência. Em termos específicos, o sinal de teste compreende um sinal modulado por código de pulsos. Nas modalidades particulares da presente invenção, o sinal de teste elétrico compreende um sinal contínuo codificado pseudo aleatório. No entanto, deve-se apreciar que o sinal de teste pode ser descontínuo, por exemplo, um sinal chirp ou de impulso pseudo aleatório no qual um código pseudo aleatório é transmitido por um curto período de tempo de acordo com uma frequência de repetição de pulso e um ciclo de serviço. Além disso, o sinal de teste pode não ser pseudo aleatório: ele pode ser verdadeiramente aleatório ou poderá ser um padrão de sinal predeterminado (que pode ser repetido). Tal sinal de teste pode ser considerado como um sinal de teste de espectro alargado. No evento de repetição do sinal de teste, é desejável que o intervalo de repetição seja mais longo que o retardo de propagação máximo para o sinal de teste ser refletido a partir da extremidade oposta do corpo de tubo. O sinal de teste elétrico pode ser gerado pelo transceptor 310 sob o controle do processador 318.

Deve-se entender que as variações de impedância dentro de uma linha de transmissão formada a partir dos elementos condutores elétricos estendidos ao longo de um corpo de tubo flexível podem ser devidas a um rompimento da camada externa resistente à água do mar do corpo de tubo. O ingresso da água do mar no corpo de tubo é responsável pelo acoplamento elétrico dos elementos condutores no ponto do rompimento, provocando uma alteração na impedância característica da linha de transmissão no ponto do rompimento, resultando em um reflexo de sinal que pode ser identificado no sinal de correlação como um pico ou outro recurso discernível no sinal de correlação. O pico pode ser adicional a um reflexo esperado a partir da extremidade oposta da linha de transmissão. Deve-se apreciar que tal alteração na impedância característica pode também ser devida a um rompimento de uma camada de barreira, fazendo com que o fluido de produção entre na coroa anular do corpo de tubo. O processador 318 é disposto de modo a determinar a posição de uma variação de impedância detectada a partir do retardo de correlação do pico detectado, e da magnitude da impedância alterada (indicativa da seriedade do rompimento) a partir do tamanho do pico. Tal como acima notado, outros fatores podem dar surgimento a uma alteração na impedância, por exemplo, um dano físico aos elementos condutores elétricos devido ao esmagamento ou dobramento do corpo de tubo, ou a uma importante variação de temperatura. Tais fatores podem aumentar a suscetibilidade de um corpo de tubo sofrer danos, incluindo um rompimento, sendo assim, portanto, desejável ser capaz de se detectar tal alteração de condição.

Deve-se apreciar que, uma vez que um sinal variável no tempo, tal como um sinal de teste de código pseudo aleatório, pode ser correlacionado e processado desta maneira, múltiplos reflexos (e, por conseguinte, múltiplas alterações de condição ou defeitos ao longo do corpo de tubo) poderão ser detectados. Além disso, a localização de tal defeito de altera-

ção de condição pode ser determinada, permitindo que uma inspeção visual e, quando necessário, a realização de uma manutenção. Com vantagem, a primeira modalidade da presente invenção permite que a condição de um corpo de tubo seja continuamente monitorada, quer por meio da aplicação de um sinal de teste elétrico contínuo aos elementos condutores, ou por meio da aplicação de um sinal de teste de pulsos descontínuo a intervalos regulares. Além disso, o uso de um sinal variável no tempo é particularmente vantajoso em comparação com o uso de um pulso de alta energia, tal como usado no refletômetro TDR convencional para cabos coaxiais, uma vez que a energia de pico introduzida no corpo de tubo é consideravelmente mais baixa, o que vem a ser intrinsecamente mais seguro em um ambiente petroquímico.

Um sinal de teste de acordo com uma modalidade da presente invenção será descrito a seguir. O sinal de teste aplicado à linha de transmissão compreende uma série de sequências binárias aparentemente aleatórias; um código pseudo aleatório (PRC). Um código PRC vem a ser uma sequência de valores binários que é escolhida de modo que a sua sequência binária não se repita por todo o período do código, e o comprimento do código é selecionado de modo a ser suficientemente longo que, para um período de interesse, não haja nenhuma repetição. Embora cada sequência de bits seja aparentemente aleatória, o código PRC é gerado por um algoritmo computacional que usa informações determinísticas pré-carregadas. Sendo assim, embora dentro da sequência binária, o sinal parece ser aleatório, e a sequência em si pode ser repetida a intervalos regulares. Normalmente, os códigos PRC são gerados usando um registrador de deslocamento com um feedback apropriado. Em uma modalidade adequada, o código PRC é gerado em um código embutido dentro de uma Matriz de Portas Programáveis em Campo (Field Programmable Gate Array) (FPGA). O sinal recebido é correlacionado contra o sinal transmitido. À medida que as sequências são regularmente repetidas, os resultados originados de auto-correlações sequenciais podem ser comparados por um microprocessador a fim de examinar alterações na linha de transmissão. Uma sequência binária pseudo aleatória de 1024 bits pode ser usada com uma frequência máxima de 10 MHz ou 20 MHz. A sequência binária é agregada ao longo de um mínimo de 216 repetições. O sinal resultante é apresentado à estrutura de tubulação a tipicamente $6 V_{p-p}$ para uma estrutura de linha de transmissão tendo uma típica impedância característica de 36Ω .

Deve ser entendido por uma pessoa versada que uma seleção cuidadosa das propriedades do sinal de teste elétrico pseudo aleatório pode afetar a sensibilidade do aparelho de detecção, e ao mesmo tempo afetar também as demandas de energia do aparelho. Deve-se apreciar que a resolução requerida para a determinação da posição de um defeito em um corpo de tubo (que pode ter mais de 1 km de comprimento) pode ser relativamente baixa. Por exemplo, poderá ser suficiente identificar a posição de um defeito em dentro de 5 m,

permitindo uma inspeção visual ou manual no sentido de identificar a sua localização exata. Uma taxa de pulso de 50 MHz a 100 MHz irá prover uma resolução de detecção da ordem de 50 cm (dependendo da impedância característica da linha de transmissão antes de uma falha ocorrer e a sua velocidade de propagação).

5 A saída do sinal de correlação output a partir do correlacionador 316 é analisada no processador 318, o qual será alternativamente referido como um analisador de sinais. Um exemplo de uma saída de sinal de correlação a partir do correlacionador 316 é mostrado na Figura 4, que ilustra o sinal de correlação como uma matriz bidimensional que traça o grau de correlação contra amostras de correlação. As amostras de correlação são representati-
10 vas do retardo de tempo entre o sinal de teste elétrico transmitido e o sinal de retorno elétrico recebido. Sendo conhecida a velocidade de propagação, as amostras de correlação se tornam também representativas da distância ao longo da linha de transmissão para a varia-
15 ção de impedância, dando origem a um reflexo (levando também em consideração que o sinal elétrico deve atravessar a distância para a anomalia duas vezes). A distância ao longo da linha de transmissão é de modo geral igual à distância ao longo do corpo de tubo, embo-
ra a mesma possa variar, por exemplo, quando um ou ambos os elementos condutores compreende um único fio de armadura de tração que se enrola em torno do corpo de tubo. A Figura 4 traça um fator de correlação (a magnitude de correlação) contra amostras de corre-
20 lação, fator esse que se refere à distância em metros. Pode-se observar que existe um signifi-
cativo pico de correlação correspondente a uma anomalia que aparece a aproximadamente 280 m. O processador 318 pode ser ainda disposto de modo a determinar se um pico de correlação é superior a um limite predeterminado antes da provisão de um sinal de saída que indica que um defeito foi detectado (e opcionalmente dando a localização e a magnitude do defeito).

25 Em uma outra modalidade, em vez de usar os componentes estruturais de um corpo de tubo para formar uma linha de transmissão, um ou ambos os elementos condutores elétricos podem ser substituídos por um elemento de fita condutora elétrica separado. O elemento de fita pode ter a forma de um cabo sensor, um fio condutor, ou qualquer outra estrutura condutora elétrica ao longo doada adequada. Com vantagem, isto permite que a
30 presente invenção seja usada em tubos flexíveis sem camadas metálicas ou componentes estruturais. Além disso, o elemento de fita pode ser usado em corpos de tubo nos quais não é possível isolar eletricamente dois componentes estruturais condutores elétricos. O desem-
penho de um elemento de fita condutora elétrica separado pode ser otimizado para os fins específicos do sistema de detecção no isolamento da especificação mecânica dos compo-
35 nentes estruturais de um corpo de tubo. O elemento ou elementos de fita podem ser coloca-
dos dentro de uma camada de tração de um corpo de tubo, ou em outra camada adequada, com a fita tape eletricamente isolada dos fios metálicos estruturais circundantes. O isola-

mento do elemento de fita é de preferência permeável à água ou a outros fluidos. Isto pode ser obtido ao se usar um isolamento ou tecido permeável similar ou ao se colocar seções de polímero isolantes em ambos os lados do elemento de fita de modo que as fitas de entre camadas separem o elemento de fita das camadas subjacentes ou sobrepostas e as seções poliméricas dos fios estruturais adjacentes. O isolamento é de preferência configurado e posicionado de tal modo que, no evento de um rompimento de uma camada externa resistente à água do mar, o isolamento que circunda o elemento de fita seja saturado pela água salgada. Para um corpo de tubo não metálico, nenhum isolamento se faz necessário, desde que os elementos de fita fiquem espaçados entre si dentro da coroa anular do tubo. Com vantagem, o uso de um ou dois elementos de fita separados na primeira modalidade da presente invenção pode reduzir as necessárias modificações para que os encaixes de extremidade de tubo acoplem o tubo ao sistema de detecção.

O padrão industrial menos preferido para as linhas de transmissão é de 50 ohms, e o aparelho de detecção de acordo com as modalidades da presente invenção é projetado em torno deste valor, de modo a permitir o uso de um condutor padrão nos cabos e conectores para se acoplar aos elementos condutores elétricos estendidos ao longo do tubo para formar a linha de transmissão. No entanto, uma estrutura de tubo tem tipicamente uma impedância característica em torno de 35Ω ou menor. Sendo assim, a fim de combinar o aparelho de detecção ao tubo se faz necessário um adaptador de impedância no encaixe de extremidade de tubo. Com vantagem, o uso de elementos de fita separados, tais como cabos sensores ou fios, estendidos ao longo do tubo de modo a formar a linha de transmissão, em vez do uso dos elementos estruturais do tubo, permite um controle maior sobre a impedância característica da linha de transmissão. Em certas modalidades, a seleção criteriosa dos elementos de fita permite que a linha de transmissão de tubo venha a apresentar uma impedância característica compatível com a do aparelho de detecção, por exemplo, 50Ω , removendo a necessidade de um adaptador.

Como uma outra alternativa, em vez de um elemento de fita condutora elétrica separado, um ou mais fios de armadura de tração ou camadas podem ser galvanizados, por exemplo, com um revestimento de cobre, a fim de baixar a resistência do fio de armadura. As propriedades da linha de transmissão dos fios de armadura de tração podem, portanto, ser estritamente controladas sem causar impacto sobre as propriedades estruturais dos fios de armadura. Além disso, o isolamento dentro da linha de transmissão pode ser feito a partir de um material permeável a fluidos, porém disposto de modo a bloquear seletivamente certos fluidos, por exemplo, o H_2S , que pode ser desejável em determinadas modalidades.

Deve-se apreciar que, no evento de um rompimento de uma camada externa resistente à água do mar, a coroa anular do corpo de tubo começará a se encher de água. A consequência disto é que, embora a impedância de toda a linha de transmissão seja afeta-

da, não mais ocorrerá uma intensa variação de impedância no ponto do rompimento original. Consequentemente, certas modalidades da presente invenção podem, de preferência, monitorar continuamente um corpo de tubo para a indicação de um possível defeito e registrar os reflexos de sinal observados, incluindo o registro da magnitude de um reflexo e sua posição, de tal modo que essa indicação de defeito não seja perdida, uma vez que as porções circundantes da linha de transmissão assumem a mesma impedância reduzida.

A seguir, com referência ao fluxograma da Figura 8, um método de detecção de acordo com a primeira modalidade da presente invenção será descrito abaixo. Na etapa 600, o aparelho de detecção ilustrado na Figura 3 é acoplado a um elemento condutor elétrico dentro do corpo de tubo e a um eletrodo de água salgada. Na etapa 602, um sinal de teste elétrico tal como descrito acima é acoplado entre os elementos condutores elétricos. Na etapa 604, um sinal de retorno elétrico é recebido. Na etapa 606, o sinal de teste e o sinal de retorno são correlacionados de modo a prover um sinal de correlação. Na etapa 608, o sinal de correlação é processado de modo a detectar variações que podem ser indicativas de um defeito no corpo de tubo ou outra alteração de condição. Na etapa 610, a magnitude de uma variação, em particular a magnitude de um pico recém surgido no sinal de correlação, é determinada de modo a prover uma indicação da severidade de um defeito ou uma alteração na condição de corpo de tubo. Na etapa 612, a localização de uma anomalia detectada pode ser determinada. Deve-se apreciar que, na prática, o método da Figura 8 não é um processo linear e, em certas modalidades, o sinal de teste pode ser continuamente ou quase continuamente aplicado aos elementos condutores elétricos. Consequentemente, um sinal de retorno pode ser continuamente recebido e o sinal de correlação pode ser continuamente gerado e processado.

A Figura 5 ilustra um aparelho de detecção de acordo com uma segunda modalidade da presente invenção. Quanto à primeira modalidade da presente invenção, o aparelho de detecção é disposto de modo a detectar uma alteração em um corpo de tubo flexível que pode ser indicativa de um defeito (em particular, um rompimento que irá permitir que a água do mar ou outros fluidos entrem na coroa anular do corpo de tubo). O aparelho de detecção pode ser acoplado a um sistema de alerta disposto de modo a prover um sinal de saída para um operador do tubo flexível que avisa ao operador sobre um dano potencial ao tubo. O sinal de saída pode, por exemplo, ser um alarme visual ou audível.

Certos aspectos da segunda modalidade da presente invenção são similares ou idênticos aos aspectos da primeira modalidade da presente invenção e, sendo assim, sua descrição não será repetida. Em particular, a construção de um corpo de tubo flexível que pode ser acoplado ao aparelho de detecção pode ser igual. Tal como descrito a seguir, o aparelho de detecção ilustrado na Figura 5 precisa se acoplar somente a um único elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um corpo

de tubo. O elemento condutor elétrico pode compreender um componente estrutural metálico, tal como um único fio de armadura de tração ou camadas de fio de armadura de tração, ou um elemento de fita separado, tal como acima descrito.

5 A camada externa resistente à água do mar de um corpo de tubo flexível pode ser feita de um material polimérico com conhecidas propriedades de isolamento elétrico. A água do mar tem conhecidas propriedades de condução elétrica, embora esta propriedade possa variar de local para local, por exemplo, devido a uma variação na salinidade da água do mar; por conseguinte, a segunda modalidade da presente invenção pode precisar de uma calibração antes do uso a fim de se adaptar às condições locais. Um rompimento físico sob
10 a forma de uma abertura na camada externa resistente à água do mar de um tubo flexível permite um caminho condutor entre a água do mar e a estrutura interna de aço do corpo de tubo. De acordo com a segunda modalidade da presente invenção, uma medição de impedância elétrica feita entre a água do mar que envolve um tubo flexível e a estrutura metálica interna do corpo de tubo provê um meio de indicação da presença de um rompimento. Em
15 termos específicos, no evento de a impedância medida cair, pode-se inferir que um rompimento ocorreu e a água do mar fica em contato com a estrutura metálica interna do corpo de tubo.

Com referência à Figura 5, é mostrado um corpo de tubo flexível 400, o qual, conforme acima descrito, pode compreender uma coluna de ascensão. O corpo de tubo é pelo
20 menos parcialmente envolto por água salgada, esquematicamente ilustrado pelo corpo de tubo estendido abaixo do nível de superfície do mar 402. Tal como descrito acima, tal corpo de tubo flexível é feito a partir de múltiplas camadas de barreira de polímero, incluindo uma camada externa resistente à água do mar 404 e pelo menos uma camada de elementos estruturais metálicos 406, por exemplo, as camadas de armadura de tração 105, 106 da
25 Figura 1. Um eletrodo de água salgada 408 fica em contato com a água do mar em proximidade com o corpo de tubo 400. Um monitor de impedância 410 é acoplado ao eletrodo de água salgada 408 e ainda a um componente estrutural metálico 406 do corpo de tubo 400 ou a elemento de fita separado dentro do corpo de tubo. O monitor de impedância 410 provê uma medição da impedância entre o eletrodo de água salgada 408 e o corpo de tubo 400. A
30 medição de impedância é suprida para um processador 412 que é disposto de modo a detectar uma queda de impedância, por exemplo, de aproximadamente $1\text{ M}\Omega$ (aproximadamente igual à impedância de uma camada de barreira polimérica) até aproximadamente $5\ \Omega$ (a impedância aproximada da água do mar). Em uma modalidade, o monitor de impedância 412 é disposto de modo a medir impedâncias na faixa de 0 a $10\text{ k}\Omega$. Uma impedância acima
35 de $10\text{ k}\Omega$ é registrada como o $10\text{ k}\Omega$ máximo, devido ao fato de o sistema de medição saturar nesse valor. Com vantagem, isto registra de maneira precisa a ausência de uma camada de barreira polimérica e ao mesmo tempo permite uma resolução maior de medição em va-

lores mais baixos de impedância. Quando existe algum caminho de condutividade de água salgada entre a estrutura do corpo de tubo e o eletrodo de água salgada, a impedância medida fica bem abaixo de 10 k Ω . O processador 412 é ainda disposto de modo a determinar se esta queda de impedância é indicativa de um rompimento da camada externa de resistência à água do mar do corpo de tubo, por exemplo, por meio da determinação se a magnitude da queda de impedância excede um limite predeterminado ou não. O processador 412 é disposto de modo a prover um sinal de saída apropriado, tal como descrito acima com relação ao processador 318 da Figura 3.

Diferentemente da condição de fluxo de elétrons predominante nos metais, a condução elétrica na água do mar é dependente da mobilidade de íons, e isto resulta em uma significativa variação na condutividade observada com a frequência da excitação de medição aplicada. Isto é mostrado esquematicamente na Figura 6, que mostra uma atenuação relativa de um sinal de corrente alternada aplicado em várias baixas frequências e entre os eletrodos espaçados a 10 m, 100 m, e 1 Km. A segunda modalidade da presente invenção faz uso dos dados de atenuação da Figura 6 por meio da aplicação de uma ágil excitação de frequência do monitor de impedância 410, comparando os resultados obtidos em várias frequências, e a partir dessa informação determina um local aproximado do rompimento. Em certas modalidades, a frequência de excitação do monitor de impedância é da faixa de 10 Hz a 1 kHz. Em outras modalidades, a frequência de excitação máxima do monitor de impedância pode ser de 100 kHz. Deve ser apreciado por uma pessoa versada que o sistema de detecção da Figura 5 pode também operar usando os sinais de teste de corrente DC a fim de determinar se existe um defeito no tubo através da condução da água salgada detectada para o eletrodo de água salgada. No entanto, deve-se entender que isto não permitirá a detecção do local do defeito. Além disso, haveria complicações adicionais a superar devido a desvios eletroquímicos, polarização e interferência com o sistema de proteção catódica do tubo (descrito abaixo).

O monitor de impedância é mostrado em mais detalhes na Figura 7. Um primeiro eletrodo 500 é acoplado à Terra, e um segundo eletrodo 502 é acoplado entre uma fonte de corrente Howland 504 e um demodulador síncrono 506. Deve-se apreciar que o primeiro eletrodo pode ser o eletrodo de água salgada 408 e o segundo eletrodo pode ficar dentro do corpo de tubo. Em termos específicos, o eletrodo de água salgada pode ser o trabalho em metal (isto é, a "Terra") do vaso de suporte ou plataforma de perfuração. O monitor de impedância pode operar tanto em um modo de tensão como em um modo de fonte de corrente. Na Figura 7, uma fonte de corrente Howland 504 é usada, uma vez que a mesma provê uma linearidade maior de resposta. A fonte de corrente Howland 504 é mostrada conectada ao segundo eletrodo. A fonte de corrente Howland 504 supre uma corrente para o corpo de tubo em resposta a um sinal de entrada suprido por um filtro síncrono 508. A corrente pode

ser uma corrente AC. Em uma modalidade, de preferência, o sinal pode ser uma corrente AC de forma de onda sinusoidal. Outras formas de onda, por exemplo, uma onda quadrada, podem ser usadas; no entanto, a sinusoidal é preferida, uma vez que, nesse caso, não há harmônicas presentes, as quais poderão interferir com a operação do sistema de medição em faixas dependentes da frequência. Ou seja, o sinal de teste elétrico aplicado pode ser uma corrente AC. Em outras modalidades, uma fonte de tensão pode ser usada. O filtro síncrono 508 provê um sinal de acordo com o controle de um sinal de controle pulsado a partir do controlador 510, o qual, adicionalmente supre o mesmo sinal de controle para o demodulador síncrono 506. O demodulador síncrono 506 é disposto de modo a analisar a tensão gerada através do limite de isolamento do corpo de tubo e da água salgada em cada frequência. O demodulador síncrono 506 supre um sinal de saída para o controlador 510, o qual é indicativo da tensão do segundo eletrodo 502 com relação à Terra. No evento de um rompimento da barreira polimérica, a tensão do segundo eletrodo 502 é dependente da corrente aplicada e da impedância da água do mar entre os eletrodos 500, 502 indicada pelo símbolo de resistor 512. O controlador 510 é disposto de modo a gerar um sinal de saída indicativa da impedância entre os eletrodos 500, 502 por meio da comparação da corrente suprida e da tensão medida. O sinal de saída é provido para o processador 412, o qual é disposto de modo a determinar se um rompimento é detectado.

No evento de um rompimento (esquemáticamente mostrado na referência numérica 414 na Figura 5) ser detectado através de uma mudança de etapa na impedância, o processador 412 é disposto de modo a instruir o monitor de impedância para realizar medições de impedância em uma faixa de frequências de excitação (por exemplo, 10 Hz, 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz e 1 kHz), as quais, por meio de uma referência cruzada com o gráfico da Figura 6 (ou por meio da referência a tabela de pesquisa dentro do processador 412), permitem uma estimativa da posição do rompimento a ser determinado. A precisão deste cálculo é dependente de um número de fatores, incluindo o tamanho do rompimento, a salinidade e a temperatura da água salgada, a atitude do corpo de tubo (por exemplo, vertical para horizontal) e a condutividade elétrica da estrutura interna de aço.

A seguir, com referência ao fluxograma da Figura 9, um método de detecção de acordo com a segunda modalidade da presente invenção será agora descrito. Na etapa 700, o aparelho de detecção ilustrado na Figura 3 é acoplado a um elemento condutor elétrico dentro do corpo de tubo e a um eletrodo de água salgada. Na etapa 702, a impedância entre os eletrodos é medida em uma primeira frequência. Na etapa 704, é feita uma determinação se um rompimento foi detectado por meio de uma magnitude de qualquer queda de impedância detectada. Na etapa 706, quando um rompimento é detectado, a impedância é medida em uma faixa de frequências. Na etapa 708, dados de frequência e impedância são usados no sentido de determinar o local de um rompimento. Quando, por outro lado, na etapa

704, é determinado que nenhum rompimento foi detectado, o processo volta para a etapa 702.

Com vantagem, as modalidades da presente invenção acima descritas não interferem com os sistemas de proteção catódica ativos acoplados aos corpos de tubo quando uma corrente AC é usada. Os sinais de corrente AC, quando aplicados aos elementos condutores elétricos ou aos elementos de fita separados dentro do corpo de tubo, não têm nenhum efeito sobre um sistema de proteção catódica de corrente DC.

Com a disposição acima descrita, os defeitos, incluindo rompimentos de uma camada externa resistente à água do mar de um corpo de tubo, e outras variações da condição de um corpo de tubo flexível, podem ser detectados em um tempo oportuno, permitindo que uma inspeção mais detalhada, e, se necessário, uma manutenção, aconteça.

Ficará evidente para uma pessoa versada na técnica que os recursos descritos com relação a qualquer uma das modalidades acima descritas podem ser aplicáveis de forma intercambiável entre as diferentes modalidades. As modalidades acima descritas são exemplos que ilustram vários recursos da presente invenção. Ficará ainda aparente que os aparelhos de detecção e os métodos descritos com relação à Figura 3 e à Figura 5 podem ser usados em combinação. Por exemplo, o aparelho de detecção da Figura 5 pode ser usado no sentido de detectar um rompimento em uma camada de barreira externa resistente à água do mar antes de implementar o aparelho de detecção da Figura 3 no sentido de determinar a localização do rompimento (deste modo minimizando o uso do sistema intensivo com mais dados da Figura 3). De maneira alternativa, o aparelho de detecção da Figura 3 pode ser usado no sentido de detectar um rompimento em uma camada de barreira externa resistente à água do mar antes de implementar o aparelho de detecção da Figura 5 no sentido de determinar a localização do rompimento. Como uma outra alternativa, ambos os aparelhos podem ser usados de forma simultânea, ou alternadamente, a fim de prover redundância, no evento de falha de um dos aparelhos, e maior confiança de que um rompimento de água do mar foi corretamente detectado e localizado. No evento de ambos os aparelhos de detecção serem aplicados a um único tubo flexível, os elementos condutores elétricos podem ser separados para cada aparelho ou os mesmos podem se sobrepor.

Por toda a descrição e nas reivindicações do presente relatório descritivo, as palavras “compreender” e “conter” e suas variações significam “incluindo, mas não limitado a”, e não têm a intenção de (e de fato não vêm a) excluir outros elementos, aditivos, componentes, inteiros ou etapas. Por toda a descrição e nas reivindicações do presente relatório descritivo, o singular abrange o plural, a menos que o contexto determine de outra forma. Em particular, quando o artigo indefinido é usado, o relatório descritivo deve ser entendido como contemplando uma pluralidade, bem como uma singularidade, a menos que o contexto exija de outra forma.

Os recursos, os inteiros, as características, os compostos, os elementos ou grupos químicos descritos em conjunto com um aspecto em particular, uma modalidade ou exemplo da presente invenção devem ser entendidos como aplicáveis a qualquer outro aspecto, modalidade ou exemplo descrito no presente documento, a menos que incompatíveis com os mesmos. Todos os recursos descritos no presente relatório descritivo (incluindo quaisquer reivindicações, resumo e desenhos em anexo), e/ou todas as etapas de qualquer método ou processo então apresentado, podem ser combinados em qualquer combinação, exceto as combinações nas quais pelo menos alguns de tais recursos e/ou etapas são mutuamente exclusivos. A presente invenção não se restringe aos detalhes de nenhuma das modalidades acima. A presente invenção abrange qualquer recurso novo, ou qualquer combinação nova, dentre os recursos descritos no presente relatório descritivo (incluindo quaisquer reivindicações, resumo e desenhos em anexo), ou a qualquer etapa nova, ou qualquer nova combinação, dentre as etapas de qualquer método ou processo então apresentado.

Chama-se a atenção do leitor para todos os papéis e documentos que tenham sido depositados simultaneamente a ou anterior a este relatório descritivo com relação ao presente pedido de patente e os quais se encontram abertos à inspeção pública juntamente com o presente relatório descritivo, e cujos conteúdos de todos esses papéis e documentos são incorporados ao presente documento a título de referência.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho de detecção disposto de modo a detectar defeitos dentro de um tubo flexível, o aparelho de detecção sendo **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender:

5 - um gerador de sinal disposto de modo a se acoplar ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica, o gerador de sinal sendo disposto de modo a gerar um sinal de teste elétrico e aplicar o sinal de teste entre o primeiro e segundo elementos condutores elétricos, o sinal de teste compreendendo um sinal elétrico modulado por código de pulsos;

10 - um receptor disposto de modo a se acoplar ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos e receber um sinal de retorno elétrico compreendendo um reflexo do sinal de teste; um correlacionador disposto de modo a correlacionar o sinal de teste com o sinal de retorno e determinar um sinal de correlação; e

15 - um processador disposto de modo a detectar uma variação do sinal de correlação, e determinar se uma variação detectada é indicativa de um defeito no tubo.

2. Aparelho de detecção, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o gerador de sinal é disposto de modo a gerar um sinal de teste compreendendo uma série aleatória ou pseudo aleatória de pulsos.

20 3. Aparelho de detecção, de acordo com a reivindicação 1 ou reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o gerador de sinal é disposto de modo a gerar um sinal de teste compreendendo um sinal elétrico contínuo modulado por código de pulsos.

4. Aparelho de detecção, de acordo com a reivindicação 1 ou reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o gerador de sinal é disposto de modo a gerar um sinal de teste compreendendo impulsos de um sinal elétrico modulado por código de pulsos.

25 5. Aparelho de detecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o processador é disposto de modo a detectar um recurso do sinal de correlação e determinar uma correspondente posição espacial ao longo do tubo flexível a partir do retardo de correlação correspondente ao recurso e uma predeterminada velocidade de propagação para a linha de transmissão elétrica.

30 6. Aparelho de detecção, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o processador é ainda disposto de modo a determinar a magnitude do recurso no sinal de correlação e determinar uma correspondente magnitude de uma variação local da impedância característica da linha de transmissão elétrica.

35 7. Aparelho de detecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o processador é disposto de modo a gerar um sinal de saída que indica que uma variação de sinal de correlação indicativa de um defeito no tubo ou uma alteração na condição do tubo flexível foi detectada.

8. Aparelho de detecção, de acordo com a reivindicação 7 ou reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o processador é ainda disposto de modo a gerar um sinal de saída que indica uma correspondente posição espacial ao longo do tubo flexível para uma variação local na impedância característica da linha de transmissão elétrica.

5 9. Método de detecção de defeitos dentro de um tubo flexível, o método sendo **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender as etapas de:

- acoplar um gerador de sinal ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica;

10 - gerar, no gerador de sinal, um sinal de teste elétrico compreendendo um sinal elétrico modulado por código de pulsos;

- aplicar o sinal de teste entre o primeiro e segundo elementos condutores elétricos;

- acoplar um receptor ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos;

- receber um sinal de retorno elétrico compreendendo um reflexo do sinal de teste;

15 - correlacionar o sinal de teste com o sinal de retorno a fim de determinar um sinal de correlação;

- detectar uma variação do sinal de correlação; e

- determinar se uma variação detectada é indicativa de um defeito no tubo.

10. Aparelho de tubulação, **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender:

20 - um corpo de tubo incluindo o primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica;

- um encaixe de extremidade acoplado a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo; e

25 - um aparelho de detecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8 acoplado a um encaixe de extremidade acoplado a uma extremidade do corpo de tubo, sendo que o gerador de sinal é acoplado ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos.

30 11. Aparelho de tubulação, de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que pelo menos um elemento condutor elétrico compreende um elemento estrutural metálico do corpo de tubo.

12. Aparelho de tubulação, de acordo com a reivindicação 10 ou reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que pelo menos um elemento condutor elétrico compreende um elemento de fita estendido ao longo do corpo de tubo entre uma camada de barreira mais interna e uma camada de barreira mais externa.

35 13. Aparelho de tubulação, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender ainda um segundo aparelho de detecção, o segundo aparelho de detecção compreendendo:

- um monitor de impedância acoplado e disposto de modo a medir a impedância entre um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo e um eletrodo de água salgada em contato com a água do mar que envolve pelo menos parte do corpo de tubo em resposta a um sinal de teste elétrico aplicado ao elemento condutor elétrico em uma primeira e segunda frequências; e

- um processador disposto de modo a detectar uma variação da impedância medida para um sinal de teste elétrico em uma primeira frequência, e quando uma variação da impedância medida é detectada, determinar quando a variação é indicativa de um defeito no tubo, e, caso positivo, determinar a distância a partir do eletrodo de água salgada para um defeito no tubo por meio da comparação das impedâncias medidas na primeira e segunda frequências.

14. Aparelho de tubulação, de acordo com a reivindicação 13 quando dependente da reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro e segundo elementos condutores elétricos que formam a linha de transmissão compreendem um primeiro e segundo elementos estruturais metálicos do corpo de tubo, e o elemento condutor elétrico acoplado ao monitor de impedância compreende um dentre o primeiro e segundo elementos estruturais metálicos.

15. Método de formação de um aparelho de tubulação, o método sendo **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender as etapas de:

- prover um corpo de tubo incluindo o primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica; e

- acoplar um encaixe de extremidade a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo;

- sendo que o aparelho de detecção de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8 é acoplado a um encaixe de extremidade acoplado a uma extremidade do corpo de tubo, o método compreendendo ainda a etapa de acoplar o gerador de sinal ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos.

16. Aparelho de detecção disposto de modo a detectar defeitos dentro de um tubo flexível pelo menos parcialmente envolto por água salgada, o aparelho de detecção sendo **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender:

- um monitor de impedância disposto de modo a medir a impedância entre um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e um eletrodo de água salgada em contato com a água do mar que envolve pelo menos parte do tubo flexível em resposta a um sinal de teste elétrico aplicado ao elemento condutor elétrico em uma primeira e segunda frequências; e

- um processador disposto de modo a detectar uma variação da impedância medida

para um sinal de teste elétrico em uma primeira frequência, e quando uma variação da impedância medida é detectada, determinar quando a variação é indicativa de um defeito no tubo, e, caso positivo, determinar a distância a partir do eletrodo de água salgada para um defeito no tubo por meio da comparação das impedâncias medidas na primeira e segunda frequências.

17. Aparelho de detecção, de acordo com a reivindicação 16, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o monitor de impedância é disposto de modo a aplicar sinais de teste elétrico ao elemento condutor elétrico em uma pluralidade de frequências entre 10 Hz e 100 kHz.

18. Aparelho de detecção, de acordo com a reivindicação 16 ou reivindicação 17, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o monitor de impedância compreende uma fonte de corrente disposta de modo a suprir um sinal de teste elétrico para o elemento condutor elétrico, e um voltímetro disposto de modo a determinar a tensão gerada no elemento condutor elétrico com relação ao eletrodo de água salgada.

19. Aparelho de detecção, de acordo com a reivindicação 18, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o voltímetro é um demodulador síncrono e o monitor de impedância compreende ainda um controlador disposto de modo a prover um sinal de controle de frequência para a fonte de corrente e para o demodulador síncrono.

20. Método de detecção de defeitos dentro de um tubo flexível pelo menos parcialmente envolto por água salgada, o método sendo **CHARACTERIZADO** pelo fato de compreender as etapas de:

- acoplar um monitor de impedância entre um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e um eletrodo de água salgada em contato com a água do mar que envolve pelo menos parte do tubo flexível;

- gerar um sinal de teste elétrico no monitor de impedância e aplicar o sinal de teste ao elemento condutor elétrico em uma primeira e segunda frequências;

- detectar uma variação da impedância medida para um sinal de teste elétrico em uma primeira frequência; e

- determinar se uma variação de impedância detectada é indicativa de um defeito no tubo, e, caso positivo, determinar uma distância a partir do eletrodo de água salgada para um defeito no tubo por meio da comparação das impedâncias medidas na primeira e segunda frequências.

21. Aparelho de tubulação, **CHARACTERIZADO** pelo fato de compreender:

- um corpo de tubo incluindo um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo;

- um encaixe de extremidade acoplado a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo;

- um eletrodo de água salgada; e

- um aparelho de detecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 16 a 19, acoplado a um encaixe de extremidade acoplado a uma extremidade do corpo de tubo, sendo que o monitor de impedância é acoplado ao primeiro elemento condutor elétrico e ao eletrodo de água salgada.

5 22. Aparelho de tubulação, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o elemento condutor elétrico compreende um elemento estrutural metálico do corpo de tubo.

10 23. Aparelho de tubulação, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o elemento condutor elétrico compreende um elemento de fita estendido através do corpo de tubo entre uma camada de barreira mais interna e uma camada de barreira mais externa.

24. Aparelho de tubulação, de acordo com qualquer uma das reivindicações 21 a 23, **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender ainda um segundo aparelho de detecção, o segundo aparelho de detecção compreendendo:

15 - um gerador de sinal acoplado a um par de elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica, o gerador de sinal sendo disposto de modo a gerar um sinal de teste elétrico e aplicar o sinal de teste entre o par de elementos condutores elétricos, o sinal de teste compreendendo um sinal elétrico
20 modulado por código de pulsos;

- um receptor acoplado ao par de elementos condutores elétricos e disposto de modo a receber um sinal de retorno elétrico compreendendo um reflexo do sinal de teste;

- um correlacionador disposto de modo a correlacionar o sinal de teste com o sinal de retorno e determinar um sinal de correlação; e

25 - um processador disposto de modo a detectar uma variação do sinal de correlação, e determinar se uma variação detectada é indicativa de um defeito no tubo.

30 25. Aparelho de tubulação, de acordo com a reivindicação 24 quando dependente da reivindicação 22, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o par de elementos condutores elétricos compreende o primeiro elemento estrutural metálico do corpo de tubo e um segundo elemento estrutural metálico do corpo de tubo.

26. Método de formação de um aparelho de tubulação, o método sendo **CARACTERIZADO** pelo fato de compreender as etapas de:

- prover um corpo de tubo incluindo um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo;

35 - prover um eletrodo de água salgada; e

- acoplar um encaixe de extremidade a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo;

- sendo que um aparelho de detecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 16 a 19, é acoplado a um encaixe de extremidade acoplado a uma extremidade do corpo de tubo, o método compreendendo ainda a etapa de acoplar o monitor de impedância ao elemento condutor elétrico e ao eletrodo de água salgada.

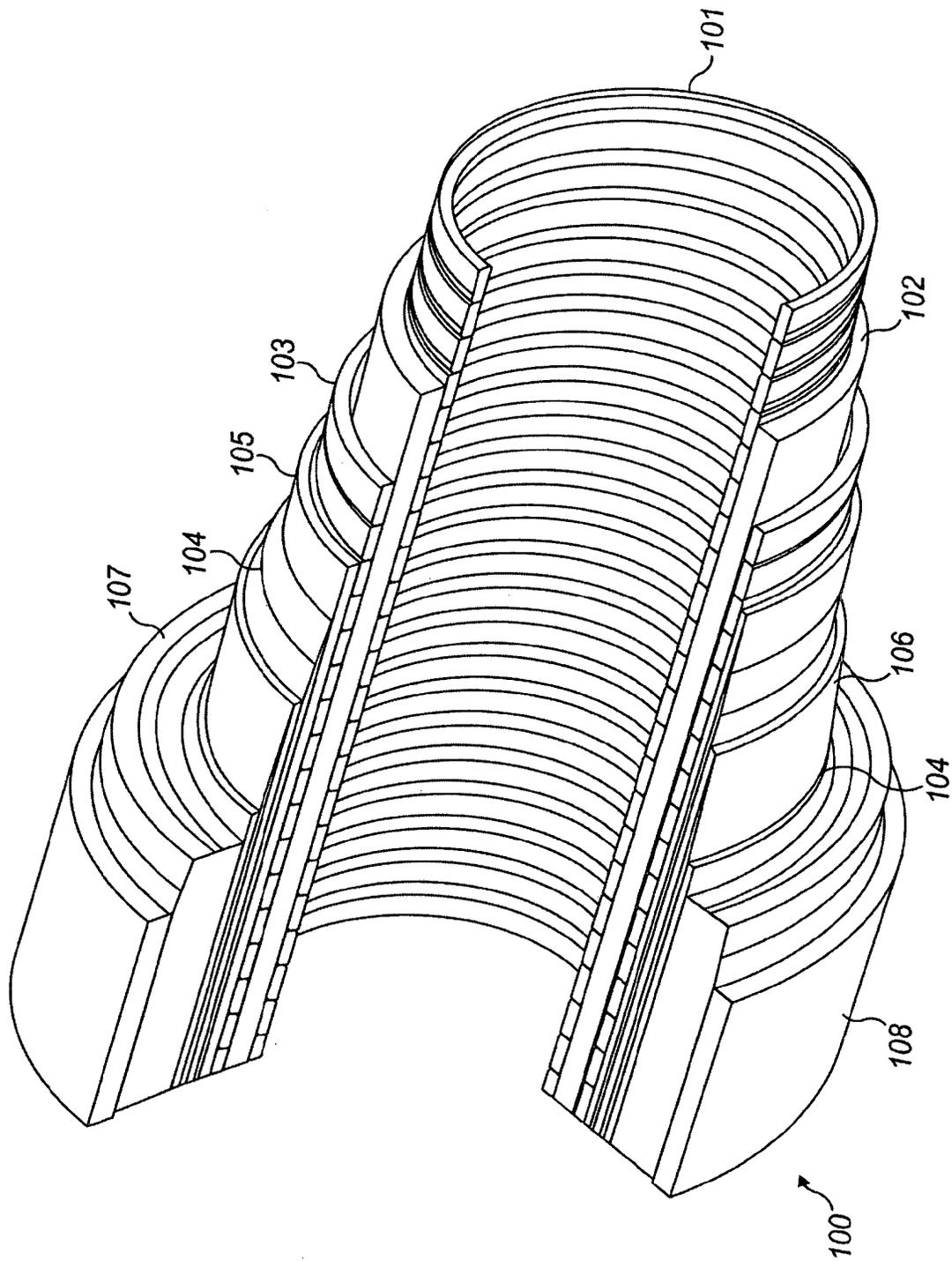


FIG. 1

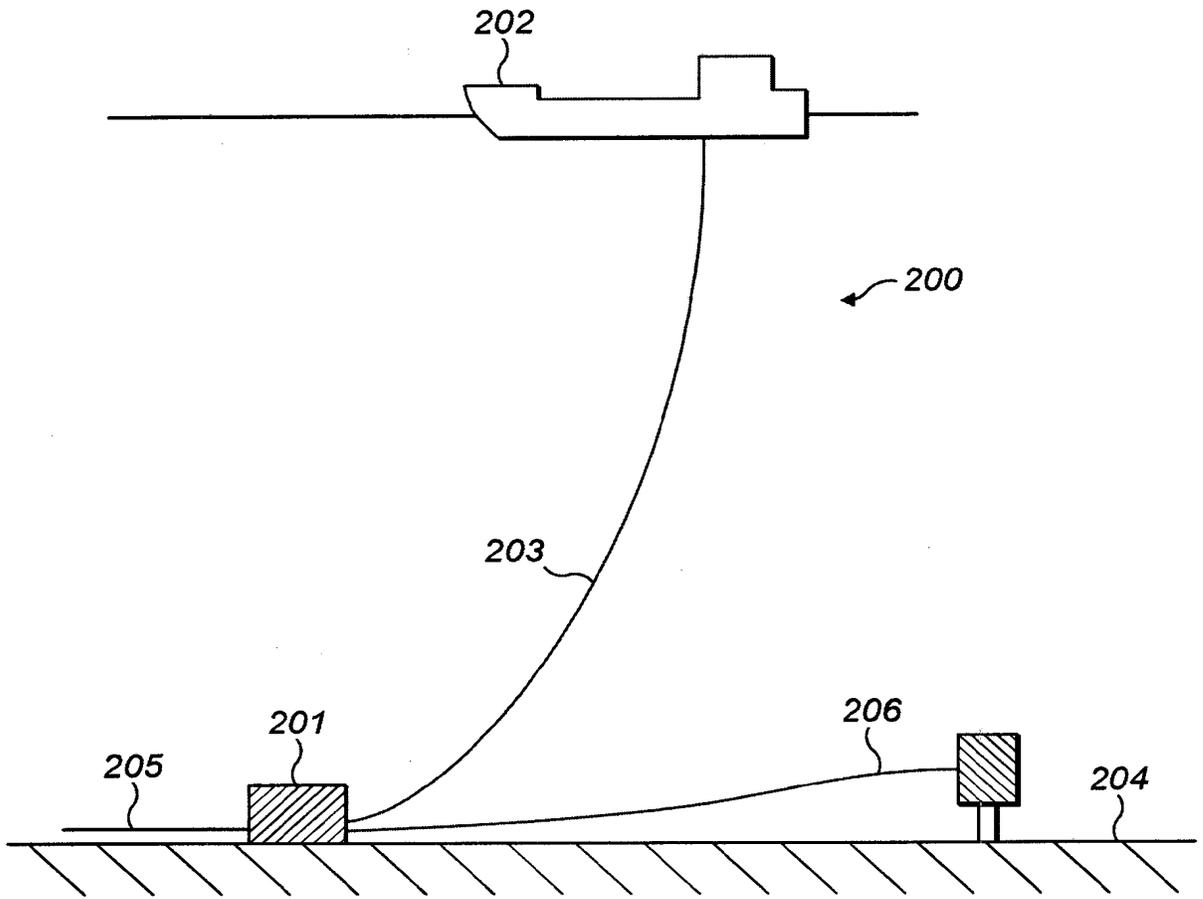


FIG. 2

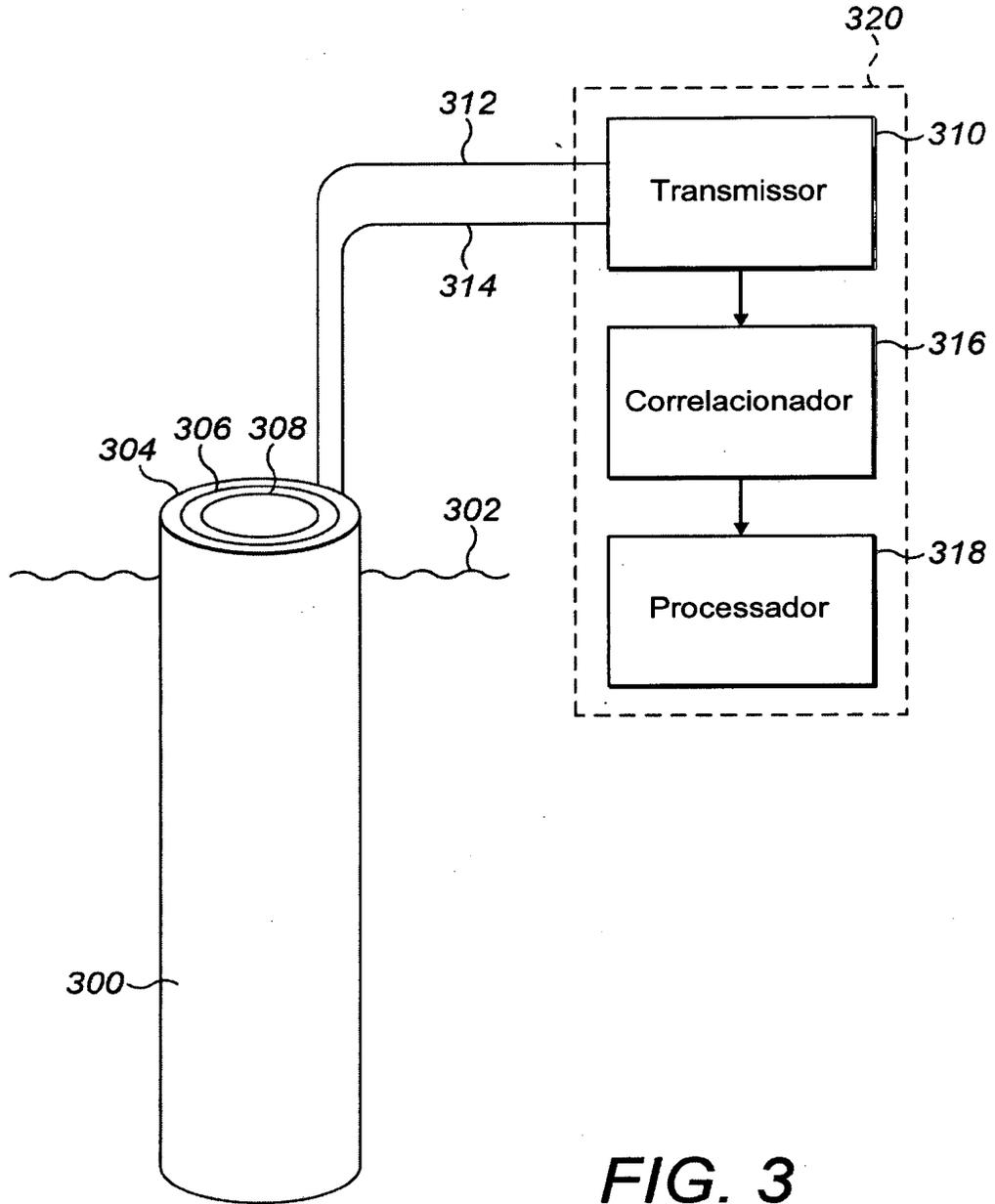


FIG. 3

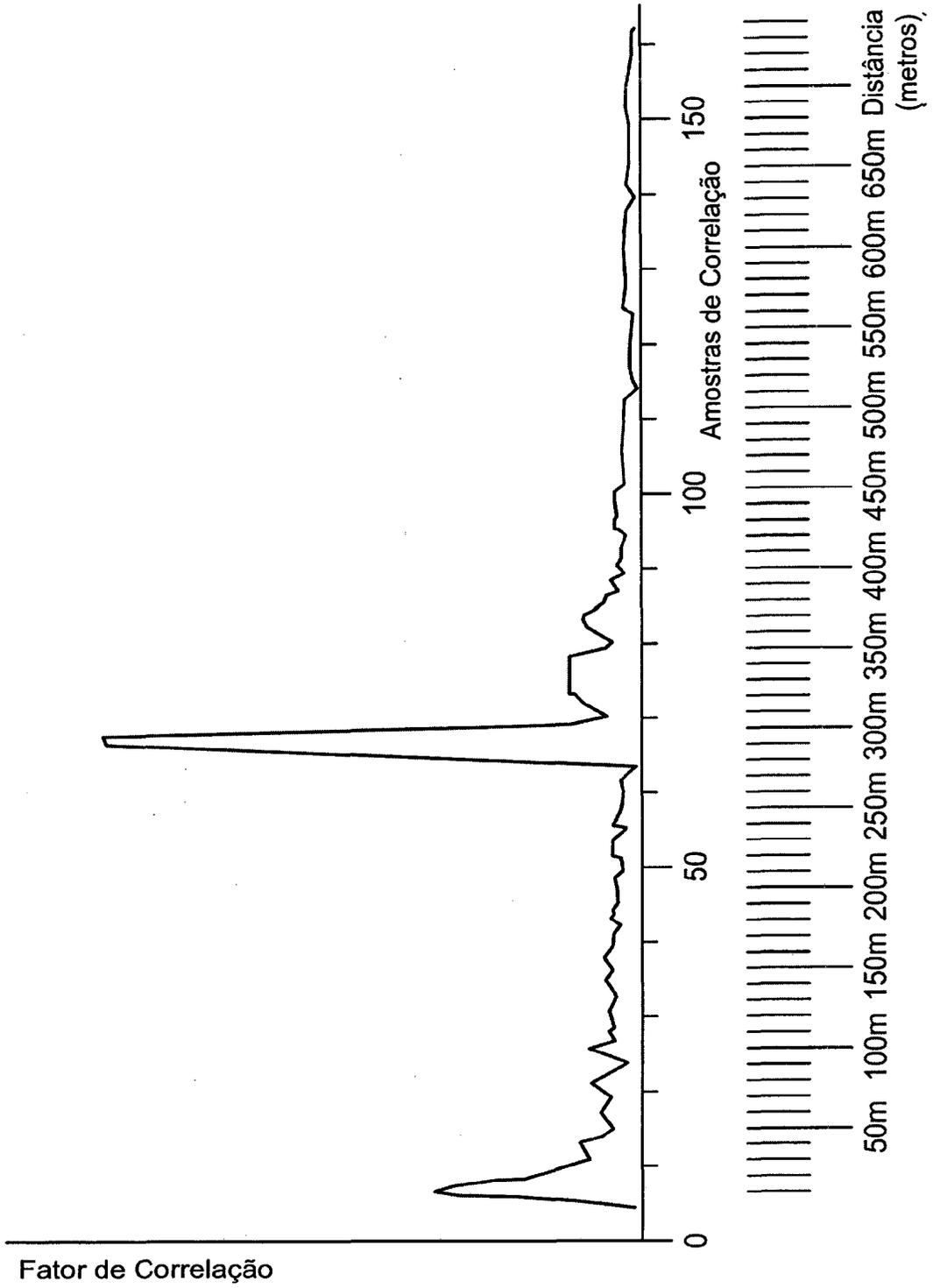


FIG. 4

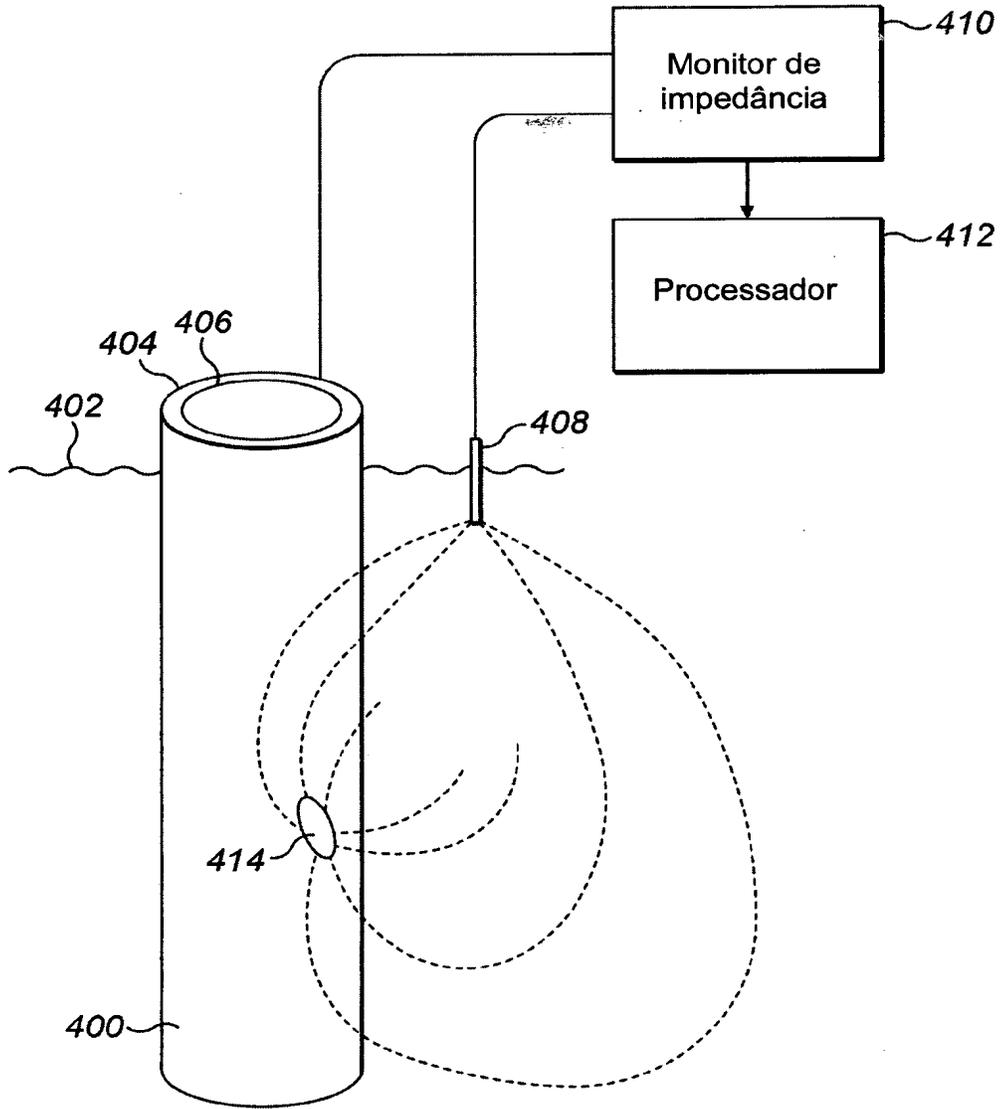
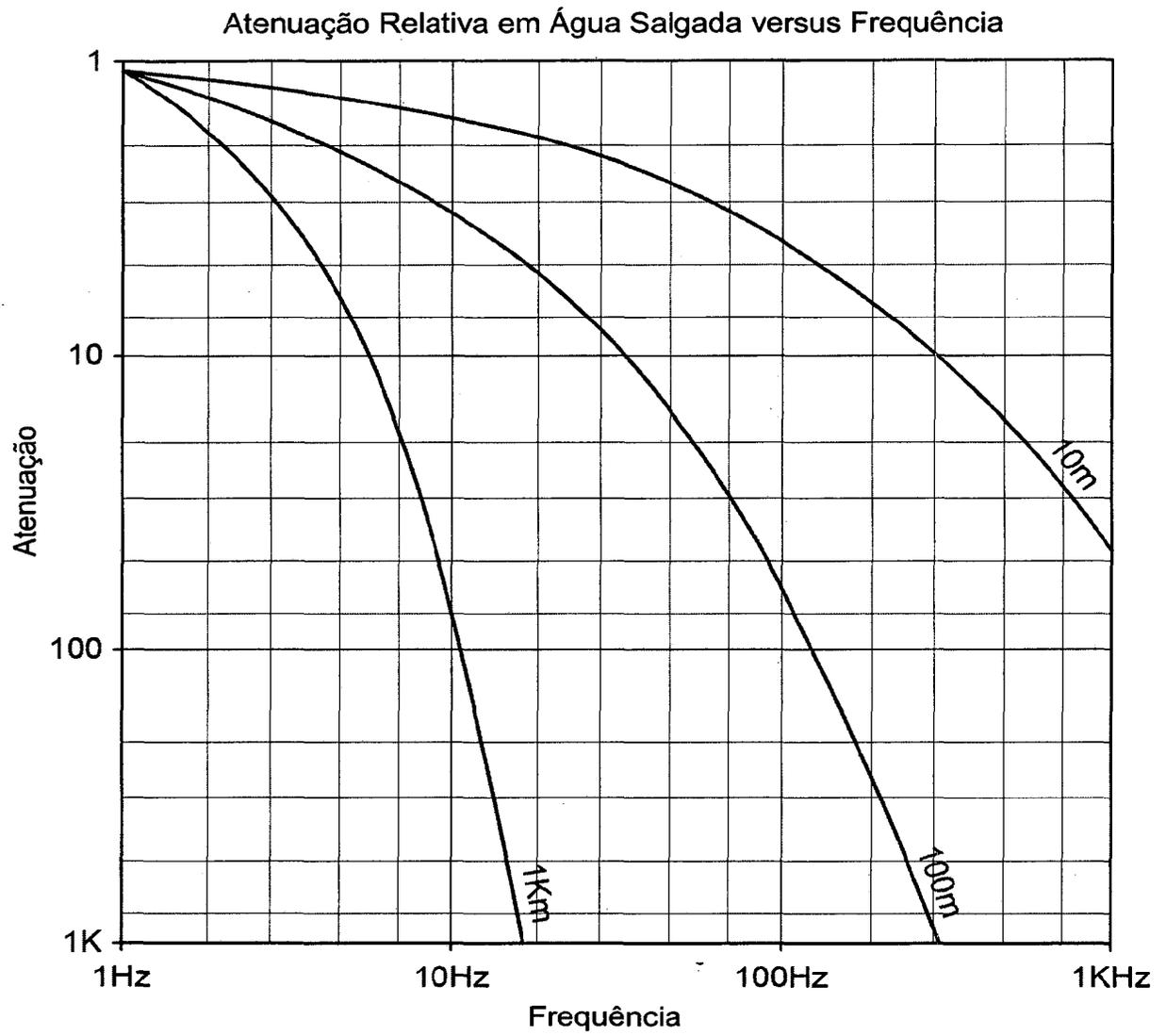


FIG. 5

**FIG. 6**

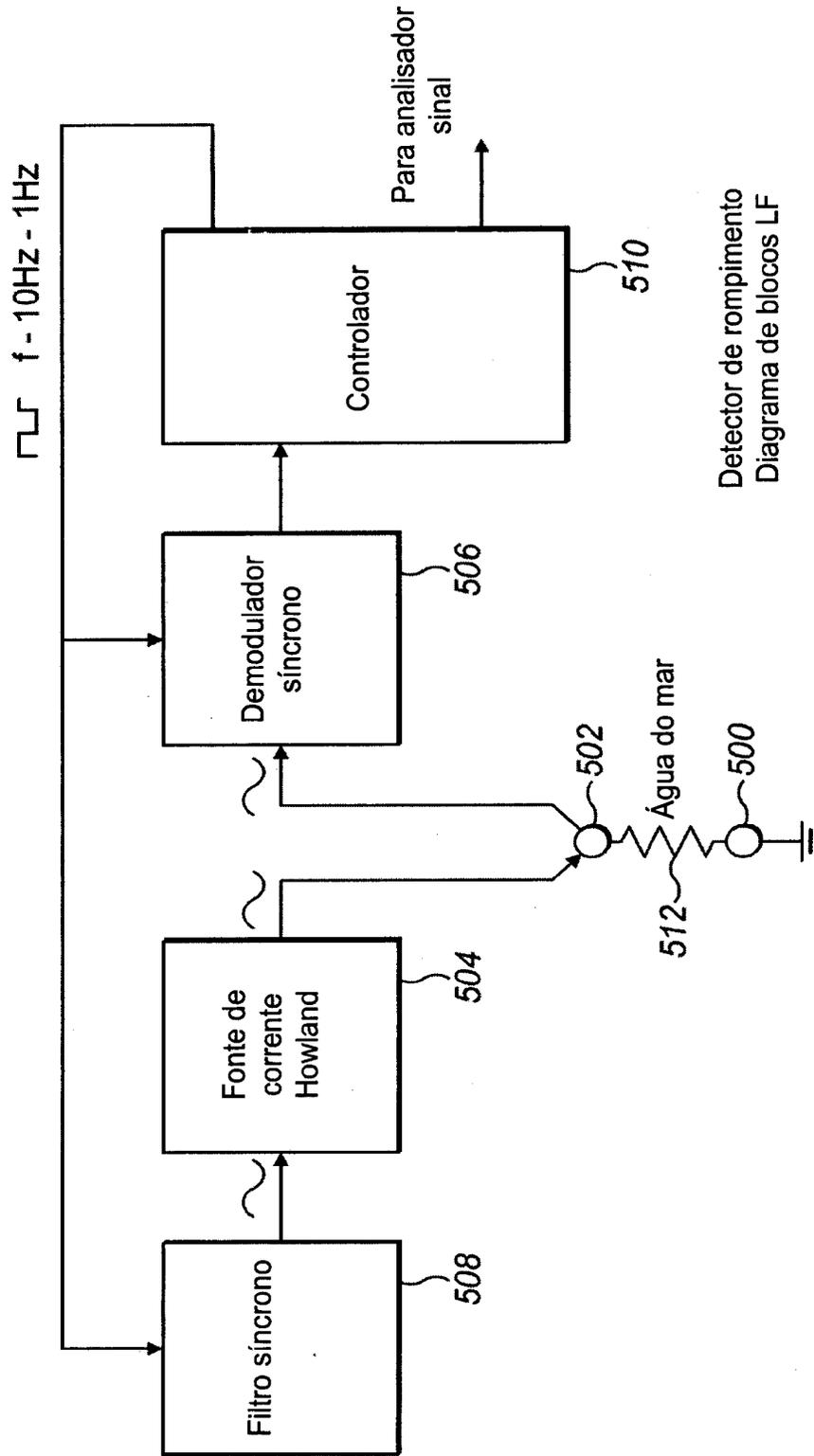
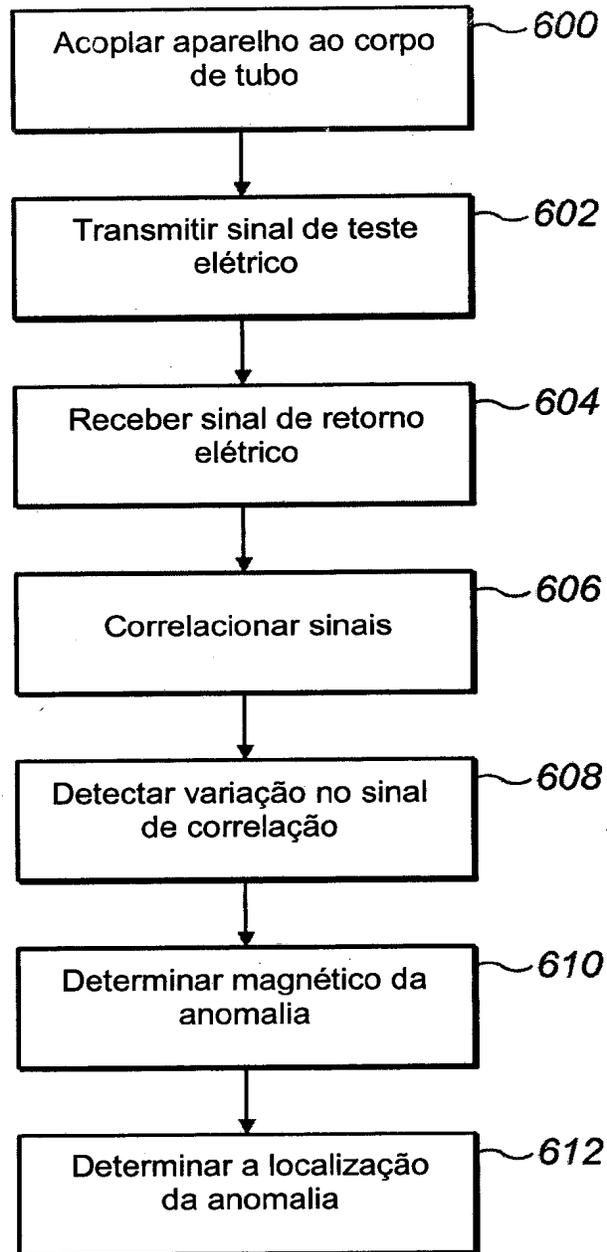
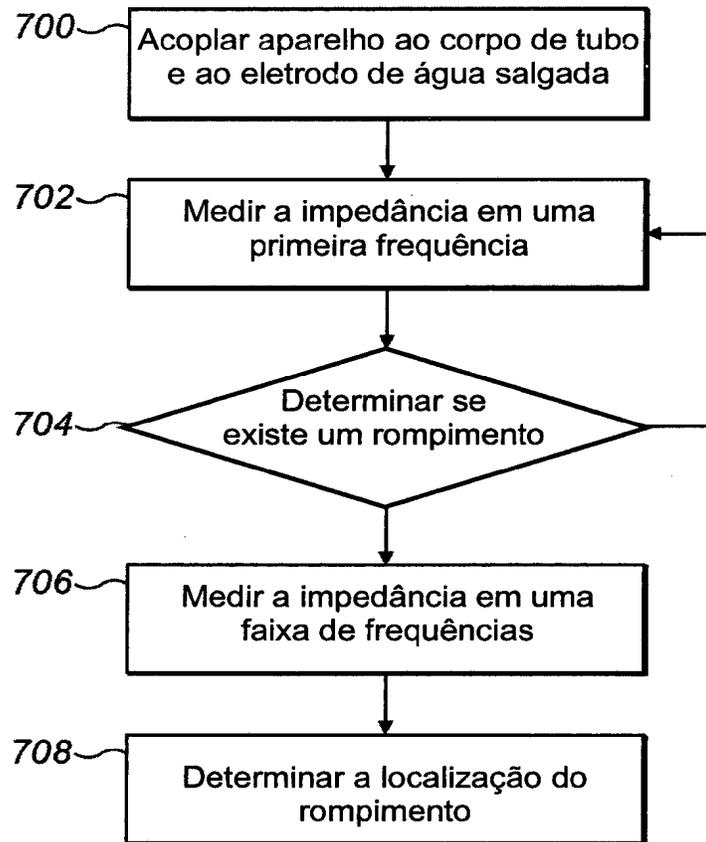


FIG. 7

**FIG. 8**

**FIG. 9**

RESUMO

"APARELHO DE DETECÇÃO E MÉTODO"

Uma primeira modalidade de um aparelho de detecção disposto de modo a detectar defeitos dentro de um corpo de tubo flexível compreende um gerador de sinal, um receptor, um correlacionador e um processador. O gerador de sinal é disposto de modo a se acoplar ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos estendidos pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e eletricamente isolados um do outro de modo a formar uma linha de transmissão elétrica, o gerador de sinal sendo disposto de modo a gerar um sinal de teste elétrico e aplicar o sinal de teste entre o primeiro e segundo elementos condutores elétricos, o sinal de teste compreendendo um sinal elétrico modulado por código de pulsos. O receptor é disposto de modo a se acoplar ao primeiro e segundo elementos condutores elétricos e receber um sinal de retorno elétrico compreendendo um reflexo do sinal de teste. O correlacionador é disposto de modo a correlacionar o sinal de teste com o sinal de retorno e determinar um sinal de correlação. O processador é disposto de modo a detectar uma variação do sinal de correlação, e determinar se uma variação detectada é indicativa de um defeito no tubo. Uma segunda modalidade de um aparelho de detecção disposto de modo a detectar defeitos dentro de um tubo flexível pelo menos parcialmente envolto por água salgada compreende um monitor de impedância e um processador. O monitor de impedância é disposto de modo a medir a impedância entre um elemento condutor elétrico estendido pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um tubo flexível e um eletrodo de água salgada em contato com a água do mar que envolve pelo menos parte do tubo flexível em resposta a um sinal de teste elétrico aplicado ao elemento condutor elétrico em uma primeira e segunda frequências. O processador é disposto de modo a detectar uma variação da impedância medida para um sinal de teste elétrico em uma primeira frequência, e quando uma variação da impedância medida é detectada, determinar se a variação é indicativa de um defeito no tubo, e, caso positivo, determinar a distância a partir do eletrodo de água salgada para um defeito no tubo por meio da comparação das impedâncias medidas na primeira e segunda frequências. Métodos de detecção de defeitos dentro de um corpo de tubo flexível, um aparelho de tubulação e métodos de formação de aparelhos de tubulação são também apresentados.

(Figura 3 e Figura 5.