



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

(21) BR 102014019592-0 A2



* B R 1 0 2 0 1 4 0 1 9 5 9 2 A

(22) Data do Depósito: 07/08/2014

(43) Data da Publicação: 17/11/2015
(RPI 2341)

(54) Título: APARELHO E MÉTODO PARA FORMAÇÃO DE IMAGENS DE ASPECTOS ESTRUTURAIS ABAIXO DA SUPERFÍCIE DE UM OBJETO

(51) Int. Cl.: G01S 15/89; G01N 29/04

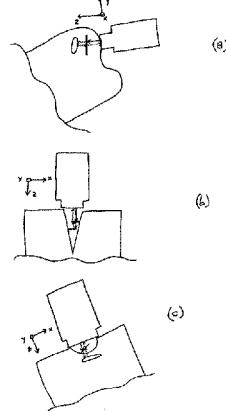
(30) Prioridade Unionista: 13/08/2013 GB 1314483.7, 31/07/2014 GB 1413618.8

(73) Titular(es): DOLPHITECH AS

(72) Inventor(es): ESKIL SKOGLUND, ARNT-BØRRE SALBERG

(74) Procurador(es): KASZNAR LEONARDOS PROPRIEDADE INTELECTUAL

(57) Resumo: APARELHO E MÉTODO PARA FORMAÇÃO DE IMAGENS DE ASPECTOS ESTRUTURAIS ABAIXO DA SUPERFÍCIE DE UM OBJETO. Um aparelho para formação de imagens de aspectos estruturais abaixo da superfície de um objeto, compreendendo o aparelho: uma unidade transmissora configurada para transmitir um pulso sonoro no objeto; sendo a unidade receptora configurada para receber reflexões de pulsos sonoros transmitidos pela unidade transmissora a partir do objeto; uma unidade processadora de sinal configurada para analisar um ou mais sinais recebidos pela unidade receptora, a partir do objeto; reconhecer, no um ou mais sinais, uma reflexão provocada por um primeiro aspecto estrutural e uma reflexão que foi provocada por um segundo aspecto estrutural que está localizado, no objeto, pelo menos parcialmente atrás do primeiro aspecto estrutural; e associar cada reflexão reconhecida a uma profundidade relativa no objeto no qual a reflexão ocorreu; e uma unidade de geração de imagem configurada para gerar uma imagem que inclui uma representação do primeiro e do segundo aspectos estruturais, dependendo das reflexões reconhecidas e de suas profundidades relativas.



“APARELHO E MÉTODO PARA FORMAÇÃO DE IMAGENS DE ASPECTOS ESTRUTURAIS ABAIXO DA SUPERFÍCIE DE UM OBJETO”

[0001] Esta invenção refere-se a um aparelho para formação de imagem de aspectos estruturais abaixo da superfície de um objeto. O aparelho pode ser particularmente útil para a formação de imagem de defeitos de material de subsuperfície, tais como deslaminação, decomposição e descamação.

[0002] O ultrassom é uma onda oscilante de pressão sonora que pode ser utilizada para detectar objetos e medir distâncias. Uma onda sonora transmitida é refletida e refratada quando ela encontra materiais com diferentes propriedades de impedância acústica. Se estas reflexões e refrações forem detectadas e analisadas, os dados resultantes podem ser utilizados para descrever o ambiente através do qual se deslocou.

[0003] O ultrassom pode ser usado para detectar e decodificar símbolos de matrizes legíveis por máquina. Os símbolos de matrizes podem ser diretamente marcados em um componente fazendo-se uma marca durável e legível sobre a sua superfície. Normalmente isto é conseguido fazendo-se o que é em essência um defeito controlado sobre a superfície do componente, por exemplo, utilizando-se um laser ou “dot-peening”. Os símbolos de matriz podem ser difíceis de serem lidos oticamente e frequentemente ficam cobertos por um revestimento como uma tinta ao longo do tempo. Os símbolos de matriz, entretanto, de fato têm frequentemente propriedades de impedância acústica diferentes das do substrato que os cerca. A U.S. 5.773.811 descreve um sistema de formação de imagem por ultrassom para ler símbolos de matriz que pode ser utilizados para formar uma imagem de um objeto em uma profundidade específica. Uma desvantagem deste sistema é que o escaner varredor tem que ser fisicamente deslocado ao longo da superfície do componente para ler os símbolos de matriz. A U.S. 8.453.928 descreve um

sistema alternativo que utiliza um arranjo de matriz para ler os sinais de ultrassom refletidos, de forma que o símbolo de matriz possa ser lido enquanto se mantém o transdutor estacionário sobre a superfície do componente.

[0004] O ultrassom pode também ser utilizado para identificar outras características estruturais em um objeto. Por exemplo, o ultrassom pode ser utilizado para testes não destrutivos detectando-se o tamanho e a posição das falhas em um objeto. O sistema de formação de imagem por ultrassom da US 5.773.811 é descrito como adequado para a identificação de falhas de material no curso de procedimentos de inspeção não destrutivos. O sistema é predominantemente destinado à formação de imagens de símbolos de matriz, e assim ele é projetado para procurar uma “superfície” abaixo de quaisquer camadas de tinta ou de outros revestimentos nos quais os símbolos de matriz foram marcados. Ele é, portanto, projetado para operar em profundidades específicas, que podem ser controladas por comutação do sinal recebido. O sistema de ultrassom da U.S. 5.773.811 também utiliza um saco de gel para acoplar a energia do ultrassom ao substrato, o que pode tornar difícil a determinação de forma precisa da profundidade dos aspectos abaixo da superfície do substrato.

[0005] Desta forma, há necessidade de um aparelho aprimorado para a formação de imagens de aspectos estruturais abaixo da superfície de um objeto.

[0006] De acordo com um primeiro modo de realização da presente invenção é provido um aparelho para formação de imagens de aspectos estruturais abaixo da superfície de um objeto, compreendendo o aparelho uma unidade transmissora configurada para transmitir um pulso sonoro no objeto, uma unidade receptora configurada para receber reflexões de pulsos sonoros transmitidas pela unidade transmissora a partir de um objeto, uma unidade processadora de sinal, configurada para: analisar um ou mais sinais recebidos

pela unidade receptora a partir do objeto; reconhecer, no um ou mais sinais, uma reflexão que foi provocada por um primeiro aspecto estrutural e uma reflexão que foi provocada por um segundo aspecto estrutural que está localizada, no objeto, pelo menos parcialmente atrás do primeiro aspecto estrutural; e associar cada reflexão reconhecida com uma profundidade relativa no objeto no qual a reflexão ocorreu, e uma unidade de geração de imagem configurada para gerar uma imagem que inclui uma representação do primeiro e do segundo aspecto estruturais, dependendo das reflexões reconhecidas e das suas profundidades relativas.

[0007] A unidade receptora pode ser configurada para receber um sinal que compreende reflexões múltiplas de um único pulso sonoro transmitido.

[0008] A unidade receptora pode ser configurada para receber as múltiplas reflexões quando em uma posição estacionária em relação ao objeto.

[0009] O aparelho pode ser configurado para comutar um sinal recebido pela unidade receptora de uma forma tal que o sinal passado para a unidade processadora de sinal para análise compreende as múltiplas reflexões.

[00010] O aparelho pode ser configurado para aplicar uma comutação de tempo ajustável ao sinal recebido.

[00011] O aparelho pode ser configurado de uma forma tal que o comutador de tempo é ajustável pelo usuário.

[00012] O aparelho pode compreender uma unidade de geração de pulso configurada para formar um pulso que tem uma forma específica, para transmissão como um pulso sonoro pela unidade transmissora.

[00013] O processador de sinal pode compreender um filtro adaptado configurado para reconhecer um pulso que tenha uma forma específica no sinal recebido.

[00014] O aparelho pode ter uma pluralidade de formas de pulso

disponíveis para ele, a unidade de geração de pulso pode ser configurada para avaliar uma forma de pulso disponível contra um critério de desempenho e para selecionar aquela forma de pulso como candidata à transmissão dependendo daquela avaliação.

[00015] O aparelho pode ser configurado de forma tal que uma forma específica pode ser selecionada pelo usuário.

[00016] O processador de sinal pode ser configurado para associar cada reflexão reconhecida com uma profundidade relativa, que é determinada dependendo do tempo que a reflexão reconhecida levou para se deslocar do aspecto estrutural que provocou a reflexão até a unidade receptora.

[00017] O processador de sinal pode ser configurado para associar cada reflexão reconhecida com uma amplitude máxima e para ajustar aquela amplitude máxima dependendo da profundidade relativa associada àquela reflexão.

[00018] A unidade transmissora pode ser configurada para transmitir uma série de pulsos sonoros para o objeto e sendo a unidade de geração de imagem configurada para gerar uma imagem, para cada pulso sonoro da série, dependendo das reflexões daquele pulso sonoro que são reconhecidos pela unidade processadora de sinal.

[00019] O aparelho de geração de imagem pode ser configurado para gerar uma imagem, para um pulso sonoro em uma série, dependendo de uma imagem gerada por um pulso sonoro que o precedeu na série.

[00020] O aparelho de geração de imagem pode ser configurado para gerar uma imagem na qual um primeiro e um segundo aspecto estruturais estão representadas em posições na imagem que reflete as suas profundidades relativas abaixo da superfície do objeto.

[00021] O aparelho pode compreender um dispositivo manual que compreende pelo menos as unidades transmissora e receptora.

[00022] O aparelho pode compreender um visor integrado para exibir a

imagem ou pode ser configurado para gerar a imagem para um dispositivo manual.

[00023] A unidade de geração de imagem pode ser configurada para identificar uma reflexão que tenha uma amplitude máxima que está abaixo de um valor de limite e atribuir a um pixel na imagem que corresponde à reflexão identificada um valor predeterminado ao invés da amplitude máxima da reflexão.

[00024] A unidade de geração de imagem pode ser configurada atribuir ao pixel um valor predeterminado que é maior do que a amplitude máxima da reflexão.

[00025] O aparelho pode compreender um meio de acoplamento seco.

[00026] O aparelho pode compreender um arranjo de matriz para transmitir e receber pulsos sonoros.

[00027] De acordo com um segundo modo de realização da invenção, é provido um método para:

[00028] Formação de imagem de aspectos estruturais abaixo da superfície de um objeto compreendendo: a transmissão de um pulso sonoro no objeto; a recepção, a partir do objeto, de reflexões dos pulsos sonoros transmitidos no objeto; o reconhecimento, em um ou mais dos sinais recebidos a partir do objeto, uma reflexão de um pulso de tempo transmitida, que foi provocada pelo primeiro aspecto estrutural e uma reflexão de um pulso de tempo transmitido, que foi provocado por um segundo aspecto estrutural que está localizada, no objeto, pelo menos parcialmente atrás do primeiro aspecto estrutural; a associação de cada reflexão reconhecida com uma primeira profundidade relativa no objeto no qual a reflexão ocorreu; e a geração de uma imagem que inclui uma representação do primeiro e do segundo aspectos estruturais dependendo das reflexões reconhecidas e de suas profundidades relativas.

[00029] A presente invenção será agora descrita a título de exemplo

tendo por referência os desenhos que a acompanham. Nos desenhos:

a figura 1 mostra um exemplo de um aparelho para formação de imagem e um objeto;

as figuras de 2a até c mostram diferentes exemplos de um aparelho para formação de imagem e um objeto;

a figura 3 mostra um exemplo dos blocos funcionais compreendidos em um aparelho para formação de imagem;

as figuras de 4a até c mostram exemplos de um sinal de ultrassom e um correspondente filtro adaptado;

as figuras 5a e b mostram exemplos de imagens de um objeto;

a figura 6 mostra um exemplo de um aparelho para formação de imagem;

a figura 7 mostra um exemplo dos blocos funcionais implementados por um FPGA;

a figura 8 mostra um exemplo de aparelho para formação de imagem; e,

a figura 9 mostra um exemplo das etapas envolvidas em um método de formação de imagem.

[00030] Um aparelho para formação de imagem de aspectos estruturais abaixo da superfície de um objeto é mostrado na Figura 1. O aparelho, mostrado no todo em 101, compreende uma unidade transmissora 102, uma unidade receptora 103, uma unidade processadora de sinal 104 e uma unidade de geração de imagem 105. Em um exemplo as unidades transmissora e receptora podem ser implementadas por um único transdutor de ultrassom. As unidades transmissoras e receptoras são mostradas próximas uma da outra na Figura 1 apenas para facilitar a ilustração. Em uma realização na prática de um transdutor é provável que as unidades transmissora e receptora sejam implementadas como camadas uma em cima da outra. A unidade transmissora é adequadamente configurada para transmitir um pulso sonoro que tem uma

forma específica no objeto cuja imagem será formada 106. A unidade receptora é adequadamente configurada para receber reflexões de pulsos sonoros transmitidos a partir do objeto.

[00031] Há dois aspectos estruturais de subsuperfície 107, 108 no objeto. Um dos aspectos estruturais 108 está localizado parcialmente atrás do outro aspecto 107. De modo geral, um segundo aspecto estrutural está localizado mais longe, ao longo do caminho do pulso transmitido, do que o primeiro aspecto estrutural. Outra forma de olhar isto é a em que ambas as características ficam em uma linha reta normal a um plano que faz contato com a superfície do objeto; o segundo aspecto estrutural 108 fica localizado mais afastado, ao logo da linha reta a partir do plano, do que o primeiro aspecto estrutural 107. Exemplos de cenários são ilustrados nas Figuras de 2a até c. Nestes exemplos o aparelho tem uma base plana que pode ser considerada como aproximada a “plano”, e os pulsos sonoros são transmitidos em uma direção normal àquela superfície, de forma que seus caminhos podem ser considerados aproximados à “linha reta”. (Na prática, a base do aparelho não precisa ser plana, e nem os pulsos necessariamente transmitidos em uma direção normal à base do aparelho, mas é uma comparação útil para a visualização do arranjo).

[00032] As Figuras de 2a até c também incluem exemplos nos quais os aspectos estruturais não estão necessariamente dentro do corpo sólido do objeto. Os aspectos podem estar contidos dentro de um furo, depressão ou outra seção oca. Considera-se que estes aspectos estão “no” objeto e “abaixo” da sua superfície para os fins desta descrição, porque elas ficam sobre os caminhos dos pulsos sonoros quando eles se deslocam a partir do aparelho ao longo do objeto. É mais provável que este modelo de reflexão e propagação ocorra em seções sólidas do objeto por duas razões: (i) o ultrassom é fortemente atenuado pelo ar; e (ii) as fronteiras ar-objeto tendem a mostrar uma grande desassociação de impedância, de forma que a maior parte do

ultrassom que encontra esta fronteira será refletida.

[00033] Os aspectos estruturais que estão localizados atrás das outras características são geralmente “invisíveis” para os sistemas de formação de imagem existentes. A unidade processadora de sinal 104, entretanto, é configurada para reconhecer as reflexões provocadas por ambas os aspectos estruturais 107 e 108 nos sinais recebidos pela unidade receptora 103. A unidade processadora de sinal é também configurada para associar cada reflexão reconhecida a uma profundidade relativa, que representa a profundidade no objeto na qual a reflexão ocorreu, isto é a profundidade do aspecto estrutural que provocou a reflexão. Esta informação permite à unidade de geração de imagem 105 gerar uma imagem que representa ambos os primeiros e os segundos aspectos estruturais. A imagem pode ser exibida para um operador, permitindo que as características de subsuperfície sejam detectadas e avaliadas. Isto permite ao operador ver “dentro” do objeto e pode prover informações valiosas sobre os defeitos do material da subsuperfície tais como deslaminação, decomposição e descamação.

[00034] Há várias maneiras pelas quais o aparelho pode ser configurado para identificar reflexões a partir de aspectos estruturais que estão obscurecidas por outros aspectos mais próximos da superfície. Uma opção é utilizar os diferentes pulsos sonoros transmitidos para colher informações sobre cada aspecto estrutural. Estes pulsos sonoros podem ser diferentes uns dos outros porque eles são transmitidos em diferentes instantes do tempo e/ou porque eles têm diferentes características de forma ou de frequência. Os pulsos sonoros podem ser transmitidos em um mesmo local sobre a superfície do objeto ou em diferentes locais. Isto pode ser conseguido deslocando-se o aparelho para um local diferente ou ativando-se um transmissor diferente no aparelho. Se a mudança de local alterar suficientemente o caminho da transmissão de um pulso, sonoro pode evitar que um aspecto estrutural, em um local diferente, tenha ficado ocultando um

aspecto localizado mais para dentro do objeto. Outra opção é utilizar o mesmo pulso sonoro transmitido para colher informações sobre as diferentes características estruturais. Esta opção utiliza diferentes reflexões do mesmo pulso e é descrita em mais detalhes abaixo. O aparelho pode implementar qualquer uma, ou todas, as opções descritas acima e pode combinar os dados colhidos utilizando-se qualquer uma destas opções para gerar uma imagem da subsuperfície do objeto. A imagem pode ser atualizada e melhorada em uma base quadro-a-quadro quando mais informações são colhidas sobre os aspectos estruturais da subsuperfície.

[00035] Em um modo de realização o aparelho utiliza o mesmo pulso sonoro transmitido para colher informações sobre os aspectos estruturais que estão posicionadas uma em cima da outra por aspectos da estrutura do material abaixo da superfície do objeto. As reflexões são provocadas por desassociações de impedância entre as diferentes camadas do objeto, por exemplo, uma fronteira de material na junção de duas camadas de uma estrutura laminada. Frequentemente, apenas uma parte do pulso transmitido será refletida e a remanescente continuará a propagar através do objeto (conforme mostrado nas Figuras de 2a até c). O remanescente pode então ser total ou parcialmente refletido quando ele encontra outras características na estrutura do material.

[00036] É provável que sinal recebido pela unidade receptora em um único local sobre a superfície do objeto contenha duas ou mais reflexões sucessivas do mesmo pulso transmitido. Cada reflexão representa um diferente aspecto estrutural. Os dispositivos de formação de imagem pré-existentes tendem a descartar estas últimas reflexões porque elas não são de interesse. Um aparelho para capturar códigos de matriz, por exemplo, estará tipicamente interessado apenas em uma reflexão: a reflexão para fora do símbolo de matriz. Ao detectar defeitos de subsuperfície, é preferível capturar múltiplas reflexões do mesmo pulso transmitido; isto permite a identificação

de defeitos de subsuperfície localizados abaixo de outros aspectos estruturais no objeto.

[00037] A unidade processadora de sinal é adequadamente configurada para analisar o sinal recebido para encontrar seções do sinal que representam reflexões ou ecos do pulso transmitido. Os pulsos preferencialmente têm uma forma conhecida de forma que o processador de sinal é capaz de identificar suas reflexões. A unidade processadora de sinal é adequadamente configurada para reconhecer duas ou mais reflexões de um único pulso transmitido no sinal recebido. A unidade processadora de sinal é também configurada para associar o pulso refletido com uma profundidade relativa, que pode ser, por exemplo, a profundidade do aspecto estrutural relativo ao transmissor e/ou receptor, a profundidade de um aspecto estrutural relativo à superfície do objeto, ou a profundidade do aspecto relativo a outro aspecto estrutural no objeto. Normalmente a profundidade relativa será determinada a partir do tempo de deslocamento da reflexão (isto é, o tempo que a reflexão levou para retornar para o aparelho) e assim representa a distância entre o aspecto estrutural e a unidade receptora.

[00038] Exemplos dos blocos funcionais compreendidos em um modo de realização do aparelho são mostrados na Figura 3.

[00039] Neste exemplo, o transmissor e o receptor são implementados por um transdutor de ultrassom 301, que compreende um arranjo de matriz de elementos de transdutor 312. Os elementos de transdutor transmitem e/ou recebem ondas de ultrassom. O arranjo de matriz pode compreender certo número de eletrodos paralelos e alongados arranjados em um padrão de intersecção; as interseções formam os elementos de transdutor. Os eletrodos transmissores são conectados ao módulo transmissor 302, que fornece um padrão de pulso com uma forma específica para um eletrodo específico. O controle de transmissão 304 seleciona os eletrodos transmissores a serem ativados. O número de eletrodos transmissores que são ativados em um dado

instante pode ser variado. Os eletrodos transmissores podem por sua vez ser ativados, ou individualmente ou em grupos. Adequadamente o controle do transmissor faz com que os eletrodos transmissores transmitam uma série de pulsos sonoros para dentro do objeto, permitindo que a imagem gerada seja continuamente atualizada. Os eletrodos transmissores podem ainda ser controlados para transmitir os pulsos utilizando uma frequência específica. A frequência pode estar entre 100kHz e 30MHz, preferencialmente, ela fica entre 1 e 15MHz e mais preferencialmente ela fica entre 2 e 10MHz.

[00040] Os eletrodos do receptor captam ondas sonoras que são emitidas a partir do objeto. Estas ondas sonoras são reflexões dos pulsos sonoros que foram transmitidos dentro do objeto. O módulo de receptor recebe e amplifica estes sinais. Os sinais são amostrados por um conversor de analógico-para-digital. O controle de receptor controla adequadamente os eletrodos do receptor para receber, após os eletrodos transmissores terem transmitido. O aparelho pode alternativamente transmitir e receber. Em um modo de realização os eletrodos podem ser capazes tanto de transmitir quanto de receber, e neste caso, os controles de receptor e transmissor ligarão os eletrodos entre os seus estados de transmissão e recepção. Há preferencialmente algum atraso entre os pulsos sonoros que estão sendo transmitidos e as suas reflexões que estão sendo recebidas no aparelho. O aparelho pode incluir uma camada de acoplamento seca para prover a atraso necessário para que os eletrodos sejam trocados de transmissores para receptores. Qualquer atraso pode ser compensado quando as profundidades relativas são calculadas. A camada de acoplagem seca preferencialmente provê baixo amortecimento das ondas sonoras transmitidas.

[00041] Cada elemento de transdutor pode corresponder a um pixel na imagem. Em outros termos, cada pixel pode representar o sinal recebido em um dos elementos de transdutor. Isto não precisa ser uma correspondência um-para-um. Um único elemento de transdutor pode corresponder a mais de

um pixel e vice-versa. Cada imagem pode representar os sinais recebidos de um pulso. Deve ser entendido que “um” pulso será usualmente transmitido por muitos diferentes elementos de transdutor. Estas versões do “um” pulso podem ainda ser transmitidas em diferentes tempos, por exemplo, o arranjo de matriz poderia ser configurado para acionar uma “onda” de elementos de transdutor pelo acionamento de cada linha do arranjo por sua vez. Esta coleção de pulsos transmitidos pode ainda ser considerada como representando “um” pulso, mas, uma vez que ela é as reflexões daquele pulso que são utilizadas para gerar uma única imagem da amostra. O mesmo é verdadeiro para cada pulso em uma série de pulsos usada para gerar uma corrente de vídeo de imagens da amostra.

[00042] O módulo de seleção de pulsos 303 seleciona a forma de pulso a ser transmitida. Ele pode compreender um gerador de pulso 313, que fornece ao módulo transmissor um padrão de pulso eletrônico que será convertido em pulsos ultrassônicos pelo transdutor. O módulo de seleção de pulsos pode ter acesso a uma pluralidade de formas de pulsos predefinidas armazenadas em memória 314. O módulo de seleção de pulsos pode selecionar a forma de pulso a ser transmitida automaticamente ou com base em uma entrada do usuário. A forma do pulso pode ser selecionada dependendo do tipo do aspecto estrutural cuja imagem está sendo formada, sua profundidade, tipo de material, etc. Em geral, a forma do pulso deve ser selecionada para otimizar a informação que pode ser colhida pelo processador de sinal 305 e/ou melhorada pelo módulo de aprimoramento da imagem 310 para prover para o operador uma qualidade de imagem do objeto.

[00043] Em um exemplo um filtro adaptado que o processador de sinal utiliza para reconhecer as reflexões de um pulso transmitido pode ser selecionado para corresponder à forma do pulso selecionada. Exemplos de um sinal de ultrassom $s(n)$ e de um correspondente filtro adaptado $p(n)$ são mostrados nas Figuras 4a e b, respectivamente. O sinal de ultrassom $s(n)$ é

uma reflexão de um pulso transmitido contra o ar.

[00044] O objetivo é selecionar a forma do pulso e o correspondente filtro adaptado que alcançarão uma estimativa precisa do tempo de deslocamento do pulso refletido, uma vez que este indica a profundidade do aspecto estrutural que refletiu o pulso. Os valores absolutos da série de tempo filtrada (isto é o absoluto do sinal de saída do filtro adaptado) para o sinal de ultrassom $s(n)$ e correspondente filtro adaptado $p(n)$ são mostrados na Figura 4c. O processador de sinal estima o tempo de deslocamento como o instante no tempo em que a amplitude da série de tempo filtrada está em um máximo. Neste exemplo, a estimativa de tempo de deslocamento está em um instante de tempo 64. Se o sinal contiver muito ruído, entretanto, isto pode fazer com que outros instantes de tempo produzam um valor maior. O sinal de saída ideal do filtro, para formar a estimativa mais precisa do tempo de deslocamento, seria uma função delta em que todas as amostras tenham uma amplitude zero além do instante de tempo 64 (para este caso). Uma vez que isto não pode ser realizado na prática, o objetivo é selecionar as formas dos pulsos e conjugar filtros para conseguir uma boa margem entre a amplitude do lobo principal a amplitude de quaisquer lobos laterais.

[00045] O aparelho pode determinar uma forma ótima do pulso pela obtenção de uma reflexão de cada pulso transmitido contra um material específico (que em um exemplo, pode ser o ar), filtrá-lo utilizando o filtro adaptado apropriado, e determinar como as diferentes formas dos pulsos desempenharam de acordo com os seguintes critérios:

- A razão entre as amplitudes do lobo principal e do lobo lateral (ver a Figura 4c). Este critério não considera a razão entre sinal ruído (SNR) e não arrisca selecionar as formas do pulso que poderiam ser perdidas no ruído no receptor.
- A diferença entre as amplitudes do lobo principal e dos lobos laterais, normalizada com a raiz medial dos quadrados (RMS) dos

coeficientes de filtro adaptado. Este critério pode penalizar sinais com uma baixa SNR.

- A SNR, isto é, a amplitude do lobo principal dividida pela RMS dos coeficientes de filtro.

- A largura de banda do sinal. Este critério é baseado no fato de que o sinal de saída filtrado dos sinais tende a se aproximar de uma função delta quando a largura de banda aumenta. A largura de banda é calculada utilizando-se uma aproximação de derivação de ranhura de suavização do sinal de ultrassom.

- A variância do tempo de deslocamento estimado. Esta é diretamente relacionada com a largura de banda do sinal.

- A amplitude do lobo principal dividida pela média da amplitude de todos os lobos laterais. Este critério também arrisca a seleção de formas de pulsos com uma baixa SNR.

[00046] O operador pode ser capaz de escolher entre as formas de pulsos que são determinadas para serem ótimas pelo aparelho.

[00047] O processador de sinal é configurado para extrair informações relevantes a partir dos sinais de ultrassom recebidos. O sinal é adequadamente tempo comutado de forma que o processador de sinal só processa as reflexões a partir das profundidades de interesse. A comutação de tempo pode ser ajustável, preferencialmente por um usuário, de forma que o operador pode focar nas profundidades em que ele está interessado. A faixa de profundidades é preferencialmente de 0 até 20mm, e mais preferencialmente, de 0 até 15mm.

[00048] O processador de sinal é preferencialmente capaz de reconhecer múltiplos picos em cada sinal recebido. Ele pode determinar que uma reflexão foi recebida toda vez que o sinal de saída do filtro adaptado ultrapassa um limite predeterminado.. Ele pode identificar uma amplitude máxima para cada reflexão reconhecida.

[00049] Em alguns modos de realização, o aparelho pode ser

configurado para acumular e calcular a média de um número de amostras sucessivas na amostra entrante (por exemplo, de 2 até 4) para suavização e redução do ruído antes de a filtragem ser realizada. O processador de sinal é configurado para filtrar os sinais recebidos utilizando um filtro adaptado, conforme acima descrito, para determinar com precisão quando o pulso sonoro refletido foi recebido no aparelho. O processador de sinal então executa da extração de características para capturar a amplitude máxima do sinal filtrado e o tempo no qual aquela amplitude máxima ocorre. O processador de sinal pode ainda extrair informações de fase e energia.

[00050] Em um modo de realização o aparelho pode amplificar o sinal filtrado antes de extrair os valores da amplitude máxima e do tempo de deslocamento. Isto pode ser feito pelo processador de sinal. As etapas de amplificação podem ainda ser controladas por um diferente processador ou FPGA. Em um exemplo o ganho de tempo corrigido é uma amplificação analógica. Isto pode compensar por qualquer redução na amplitude que for provocada pela viagem do pulso refletido de volta para o receptor. Uma forma de fazer isto é aplicando um ganho de tempo corrigido a cada uma das amplitudes máximas. A amplitude com a qual um pulso sonoro é refletido por um material é dependente das qualidades daquele material (por exemplo, sua impedância acústica). O ganho de tempo corrigido pode (pelo menos parcialmente) restaurar as amplitudes máximas para o valor que teriam se o pulso tivesse sido de fato transmitido. A imagem resultante deve então refletir mais precisamente as propriedades do material do aspecto estrutural que refletiu o pulso. A imagem resultante deve ainda refletir com mais precisão quaisquer diferenças entre as propriedades do material das características estruturais no objeto. O processador de sinal pode ser configurado para ajustar o sinal filtrado por um fator que é dependente do seu tempo de deslocamento.

[00051] O módulo de construção de imagem pode construir certo número de imagens diferentes do objeto utilizando a informação colhida pelo

processador de sinal. Quaisquer das características extraídas pelo processador de sinal a partir do sinal recebido podem ser utilizadas para gerar uma imagem. Tipicamente, as imagens representam a profundidade associada com uma reflexão recebida em um dado ponto sobre a superfície do objeto e a energia ou amplitude daquela reflexão. Uma vez que o processador de sinal pode identificar múltiplas reflexões de um dado pulso sonoro em um ponto específico sobre a superfície do objeto, a imagem mostrará os aspectos de subsuperfície estruturais localizados imediatamente abaixo uma da outra da perspectiva de um operador. O módulo de construção de imagem pode associar cada pixel em uma imagem com um local específico sobre a superfície do receptor, de forma que cada pixel representa uma reflexão que foi recebida no local associado com o pixel.

[00052] O módulo de construção de imagem pode ser capaz de gerar uma imagem a partir de informação colhida utilizando um único pulso transmitido. O módulo de construção de imagem pode atualizar aquela imagem com informação colhida de pulsos sucessivos. O módulo de construção de imagem pode gerar um quadro calculando a média das informações para aquele quadro com um ou mais quadros anteriores de forma a reduzir ruídos espúrios. Isto pode se feito calculando-se a média dos valores relevantes que formam a imagem.

[00053] O módulo de aprimoramento da imagem 310 aprimora as imagens geradas para reduzir os ruídos e melhorar a clareza. O módulo de processamento de imagens pode processar uma imagem diferentemente dependendo do tipo de imagem. (Alguns exemplos são mostrados nas Figuras 5a e b e descritos abaixo.) O módulo de aprimoramento da imagem pode realizar um ou mais dos seguintes:

- Cálculo da média de tempo. O cálculo da media do quadro atual e do anterior pode ser realizado por computação da média de dois ou mais quadros sucessivos para cada ponto para reduzir os ruídos espúrios.

- Compensação do Segundo Plano. A imagem do segundo plano é adquirida durante a calibragem pela transmissão de um pulso sonoro no ar. Todos os picos do pulso refletido em direção ao ar são convertidos para a faixa de [0, 1]. Esta é uma compensação digital e a maioria dos valores será convertida para 1 ou quase 1. A câmera de ultrassom (por exemplo, o transdutor de ultrassom no exemplo da Figura 3) tem inherentemente algumas variações de desempenho ao longo da sua superfície que afetarão os valores de tempo e amplitude extraídos pelo processador de sinal. Para compensá-las, as imagens formadas durante uma operação normal são divididas pela imagem do segundo plano.

- Estimação do Envelope de Sinal. Uma representação analítica do sinal de segundo plano compensado pode ser criada como a soma do próprio sinal e uma unidade imaginária vezes a transformação de Hilbert do sinal. O sinal analítico é um sinal complexo, a partir do qual o envelope de um sinal pode ser extraído como a magnitude do sinal analítico e utilizado em processamentos posteriores.

- Geração de máscara de amplitude baixa. Este processo pode ser utilizado particularmente para a geração de imagens em 3D. Uma máscara cobrindo pixels que têm valores de amplitude menores do que um limite é criada. (Este limite pode ser menor do que o valor limite para a criação de limite descrita abaixo). Um filtro, tal como um filtro máximo de 3x3 é então utilizado sobre a máscara resultante para fechar pequenos furos.

- Limits: Um percentual de limite pode ser especificado de forma que valores de amplitude baixos não obstruam a imagem. Em alguns modos de realização isto pode ser estabelecido pelo operador. Um valor de limite é calculado a partir do percentual e da faixa total de valores de amplitude. As partes da imagem, que têm um valor de amplitude menor do que este limite são truncadas e estabelecidas como valor de limite. Uma percentagem de limite de zero significa que nenhuma limitação é realizada. O

propósito desta limitação é obter uma visualização mais clara das áreas em que a amplitude é baixa.

- Normalização: Os valores são normalizados para a faixa de 0-255 para conseguir uma boa separação de cores quando exibidas. A normalização pode ser realizada pela normalização do percentil. Assim neste esquema, um percentil baixo ou alto pode ser especificado, no qual os valores que pertencem ao percentil mais baixo são estabelecidos em 0, os valores que pertencem ao percentil alto são estabelecidos em 255, e a faixa é escalada para cobrir de [0, 255]. Outra opção é estabelecer o foco da cor diretamente pela especificação de dois parâmetros, FatordeIníciodeFocodeCor e FatordeFimdeFocodeCor, que mostram os pontos de começo e de fim da faixa. Os valores abaixo de começo são estabelecidos em 0, os valores acima do fator final são estabelecidos em 255 e a faixa entre é escalada para cobrir de [0, 255].

- Filtragem. As imagens podem ser filtradas para reduzir ruídos espúrios. Deve-se tomar cuidado para que a suavização resultante não obscureça muito as bordas. O filtro mais apropriado dependerá da aplicação. Alguns dos tipos de filtro apropriados incluem a média, mediana, Gaussiana, similaridade bilateral e máxima.

- Geração de matriz de cores. Uma matriz de cores é criada, a qual especifica valores da faixa do nível cinza da tabela de cores para áreas de baixa amplitude e valores da faixa de cores para as áreas remanescentes de altas amplitudes. Uma máscara para as áreas da faixa cinza pode ser formada a partir de uma versão erodida da máscara de baixa amplitude. (A erosão vai ampliar a máscara por um pixel ao longo da borda entre cinza e de cores, e é feita para reduzir o efeito de arco-íris que a visualização, caso contrário, criaria ao longo das bordas em que o valor do pixel vai da faixa de nível para a faixa de cores)

[00054] Alguns exemplos de imagens geradas por um aparelho, de acordo com um modo de realização, são mostrados nas Figuras 5a e b. O A-

scan 501 é um gráfico direto de amplitude contra profundidade para um local específico sobre a superfície do objeto. A profundidade é calculada a partir da informação do tempo de deslocamento. Os picos representam as características estruturais que refletiram os pulsos sonoros. Os fios cruzados 503, 504 designam o local em x,y que é representado pelo A-scan. A barra deslizante horizontal 502 estabelece a percentagem limite.

[00055] A imagem 505 é uma representação bidimensional de uma imagem formada a partir de reflexões recebidas ao longo do arranjo de matriz, é similar a que pode ser gerada por um sistema de formação de imagem símbolos de matriz. Ela efetivamente mostra uma camada de subsuperfície do objeto. O exemplo na Figura 5a representa o tempo de deslocamento, isto é, a cada pixel é alocada uma cor, de acordo com a profundidade relativa, associada com a maior reflexão recebida no correspondente local sobre a superfície do objeto. Outras características extraídas podem também ter sua imagem formada, por exemplo, amplitude ou energia do sinal.

[00056] O B-scan é compreendido por duas imagens separadas bidimensionais que representam uma vista vertical (y, z) 506 e uma vista horizontal (x, z) 507. A imagem das vistas horizontal e vertical “dentro” do objeto. Os fios cruzados 503, 504 determinam onde é tomada o “pedaço” ao longo da vista em plano 505. Estas vistas representam a energia do som refletida em diferentes profundidades no objeto. As portas superior e inferior 508, 509 são utilizadas para estabelecer os limites superior e inferior para a comutação de tempo nos sinais de entrada. O operador pode ser capaz de obter um contraste de cor maior entre as características estruturais de interesse ajustando as portas para focalizar na profundidade de interesse. O operador pode ainda selecionar apenas uma área de certa profundidade para inspecionar pelo ajuste das portas.

[00057] A Figura 5b mostra um C-scan 510, que é uma imagem em 3D. O operador pode ser capaz de girar e dar um zoom-in na imagem em 3D.

O operador pode selecionar uma camada de subsuperfície de uma espessura específica para visualizar em D ajustando as portas de tempo 508, 509.

[00058] Pode-se observar a partir das Figuras 5a e b que as imagens dão ao operador uma boa ideia do tamanho, da profundidade e da posição de quaisquer dos aspectos estruturais da subsuperfície. A vista em plano dá ao operador uma visão geral do que está abaixo da superfície. O operador pode usar fios cruzados 503, 504 para examinar fatias específicas horizontais e verticais ao longo do objeto. O A-scan indica características localizadas abaixo de um ponto específico sobre a superfície do objeto. Finalmente, o C-scan dá para o operador uma representação amistosa para o usuário de como o objeto é abaixo da sua superfície.

[00059] Um exemplo em um aparelho de formação de imagem sonora é ilustrado na Figura 6. O aparelho compreende um dispositivo manual, mostrado como um todo em 601, que é conectado por meio de uma conexão USB 602 com um PC 603. A conexão pode também ser sem fios. O dispositivo manual compreende uma unidade transmissora 605, uma unidade receptora 606, uma FPGA 607 e um conector USB 608. A conexão USB conecta o dispositivo manual a um PC 603. As unidades funcionais compreendidas dentro do FPGA são mostradas em mais detalhes na Figura 7. A série temporal ao longo da parte de baixo da figura mostra a transformação dos dados recebidos quando eles estão processados.

[00060] Um exemplo de um dispositivo manual para formação de imagem abaixo da superfície de um objeto é mostrado na Figura 8. O dispositivo 801 pode ter um visor integrado, mas, neste exemplo ele gera imagens para um tablet 802. O dispositivo tem um arranjo de matriz 803 para transmitir e receber sinais de ultrassom. O aparelho manual compreende uma camada de acoplamento seca 804 para acoplar os sinais de ultrassom no objeto. A camada de acoplamento seca também apresenta um atraso que deixa um tempo para que o transdutor troque entre a transmissão e a recepção. Isto

cria várias vantagens em relação aos outros sistemas de formação de imagem, que tendem a utilizar líquidos para a acoplagem dos sinais de ultrassom. Estes podem ser impraticáveis em um ambiente industrial. Se o acoplador líquido estiver contido em uma bexiga, como é algumas vezes utilizado, isto torna difícil obter medições precisas da profundidade, o que não é ideal para aplicações em testes não destrutivos.

[00061] O arranjo de matriz 803 é bidimensional e assim não há necessidade de deslocá-lo ao longo do objeto para formar uma imagem. Um arranjo de matriz típico pode ser de 30mm por 30mm, mas o tamanho e a forma do arranjo de matriz podem ser modificados para se adequarem a uma aplicação. O dispositivo pode ser diretamente mantido contra o objeto por um operador. Normalmente, o operador já terá uma boa ideia de onde o objeto pode ter falhas de subsuperfície ou defeitos de material; por exemplo, um componente pode ter sofrido um impacto ou pode compreender um ou mais furos de perfuração ou rebite que podem provocar concentrações de tensões. O dispositivo processa adequadamente os pulsos refletidos em tempo real de forma que o operador pode simplesmente colocar o dispositivo sobre uma área de interesse.

[00062] O dispositivo manual também compreende um dial 805 que o operador pode usar para mudar a forma do pulso e o correspondente filtro. A forma de pulso mais apropriada pode depender do tipo de aspecto estrutural cuja imagem está sendo formada e de onde ela está localizada no objeto. O operador visualiza o objeto em diferentes profundidades ajustando a comutação de tempo por meio do visor (ver também a Figura 5a, descrita acima). Ter o aparelho uma saída para um dispositivo manual, tal com um tablete 802, ou um visor integrado, é vantajoso porque o operador pode prontamente remover o transdutor sobre o objeto, ou modificar as calibragens do aparelho, dependendo do que ele está vendo no visor e obter resultados instantâneos. Em outros arranjos, o operador pode ter que caminhar entre um

visor não manual (tal como um PC) e o objeto para continuar a escanear toda vez que uma nova configuração ou local sobre o objeto for ser testada.

[00063] Um exemplo de um método que pode ser executado para gerar uma imagem de subsuperfície de objeto é mostrado na Figura 9. O método compreende a transmissão de um pulso sonoro (etapa 901) e recepção daquele pulso transmitido (etapa 902). A amplitude máxima e a profundidade relativa são identificadas para cada reflexão (etapa 903). A informação colhida é então utilizada para gerar uma imagem da subsuperfície do objeto (etapa 904).

[00064] O aparelho e os métodos aqui descritos são particularmente adequados para detectar a decomposição e a descamação em materiais compostos, tais como o polímero reforçado com fibras de carbono (CFRP). Este é importante para a manutenção de equipamentos aéreos. Ele pode também ser utilizado para detectar descamação ao redor de furos de rebite, que podem agir como concentradores de tensão. O aparelho é particularmente adequado para uma aplicação em que se deseje formar imagens de uma área pequena de um componente muito maior. O aparelho tem um peso leve, é portátil e de fácil utilização. Pode ser facilmente carregado na mão por um operador e ser colocado onde for necessário sobre o objeto.

[00065] Os blocos funcionais indicados nas figuras representam as diferentes funções que o aparelho é configurado para realizar, eles não se destinam a definir uma divisão estrita entre os componentes físicos no aparelho. O desempenho de algumas funções pode ser dividido em um número de diferentes componentes físicos. Um componente específico pode realizar certo número de funções diferentes. As funções podem ser realizadas em hardware ou software ou em apenas um dispositivo físico ou ele pode compreender certo número de dispositivos separados. Por exemplo, parte do processamento de sinal e da geração de imagem pode ser realizada em um dispositivo portátil, manual e parte pode ser realizada em um dispositivo separado tal como um PC, PDA, telefone ou tablete. Em alguns exemplos, a

totalidade da geração de imagens pode ser realizada em um dispositivo separado.

[00066] O requerente apresenta aqui isoladamente cada característica individual descrita e quaisquer combinações de duas ou mais destas características, na medida em que estas características ou combinações possam ser levadas a efeito com base na presente especificação como um todo à luz do conhecimento geral comum de um especialista na técnica, independentemente de se estas características ou combinações de características resolvam quaisquer problemas aqui apresentados, e sem limitações ao escopo das reivindicações. O requerente indica que aspectos da presente invenção podem consistir em qualquer destas características individuais ou combinações de características. Tendo em conta a descrição acima, ficará evidente para os especialistas na técnica que várias modificações podem ser feitas dentro do escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para formação de imagens de aspectos estruturais abaixo da superfície de um objeto, sendo o aparelho caracterizado pelo fato de que compreende:

unidade transmissora configurada para transmitir um pulso sonoro no objeto;

unidade receptora configurada para receber reflexões dos pulsos sonoros transmitidos pela unidade transmissora a partir do objeto;

unidade processadora de sinal configurada para analisar um ou mais sinais recebidos pela unidade receptora a partir do objeto; reconhecer, no um ou mais sinais, uma reflexão que foi provocada por um primeiro aspecto estrutural que está localizado, no objeto, pelo menos parcialmente atrás do primeiro aspecto estrutural; e associar cada reflexão reconhecida com uma profundidade relativa no objeto no qual a reflexão ocorreu; a

unidade de geração de imagem configurada para gerar uma imagem que inclui uma representação da primeira e da segunda características estruturais dependendo das reflexões reconhecidas e das suas profundidades relativas.

2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a unidade receptora ser configurada para receber um sinal que compreende múltiplas reflexões de um único pulso sonoro transmitido.

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de a unidade receptora ser configurada para receber as múltiplas reflexões quando em uma posição estacionária em relação ao objeto.

4. Aparelho, de acordo com as reivindicações 2 ou 3, caracterizado pelo fato de ser configurado para comutar um sinal recebido pela unidade receptora de uma forma tal que o sinal passado para a unidade processadora de sinal para análise compreende as múltiplas reflexões.

5. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações

anteriores, caracterizado pelo fato de ser configurado para aplicar uma comutação de tempo ajustável ao sinal recebido.

6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de ser configurado de uma forma tal que a comutação de tempo é ajustável pelo usuário.

7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o aparelho compreender uma unidade de geração de pulso configurada para formar um pulso que tem uma forma específica para transmissão como pulso sonoro pela unidade transmissora.

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de o processador de sinal compreender um filtro adaptado configurado para reconhecer um pulso que tem uma forma específica no sinal recebido.

9. Aparelho de acordo com as reivindicações 7 ou 8, caracterizado pelo fato de o aparelho ter uma pluralidade de formas de pulso específicas disponíveis para ele, sendo a unidade de geração de pulso configurada para avaliar uma forma de pulso disponível contra um critério de desempenho, e selecionar aquela forma de pulso como uma candidata à transmissão dependendo daquela avaliação.

10. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 7 a 9, caracterizado pelo fato de ser configurado de uma forma tal que a forma específica pode ser selecionada pelo usuário.

11. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de o processador de sinal ser configurado para associar cada reflexão reconhecida a uma profundidade relativa que é determinada dependendo de um tempo que a reflexão reconhecida levou para se deslocar de um aspecto estrutural que provocou a reflexão até a unidade receptora.

12. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações

anteriores, caracterizado pelo fato de o processador de sinal ser configurado para associar cada reflexão conhecida a uma amplitude máxima e para ajustar aquela amplitude máxima dependendo da profundidade relativa associada com aquela reflexão.

13. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de a unidade transmissora ser configurada para transmitir uma série de pulsos sonoros para dentro do objeto e de a unidade de geração de imagem ser configurada para gerar uma imagem, para cada pulso sonoro da série, dependendo das reflexões daqueles pulsos sonoros que são reconhecidos pela unidade processadora de sinal.

14. Aparelho, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de o aparelho de geração de imagem ser configurado para gerar uma imagem, para um pulso sonoro da série, dependendo de uma imagem gerada para um pulso sonoro que o precedeu na série.

15. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de o aparelho de geração de imagem ser configurado para gerar uma imagem na qual o primeiro e o segundo aspectos estruturais são representados em posições na imagem que refletem as suas profundidades relativas abaixo da superfície do objeto.

16. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de o aparelho compreender um dispositivo manual que compreende pelo menos as unidades transmissora e receptora.

17. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de o aparelho compreender um visor integrado para exibir a imagem ou ser configurado para gerar a imagem para um dispositivo manual.

18. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de a unidade de geração de imagem ser configurada para:

identificar uma reflexão que tem uma amplitude máxima que fica abaixo de um valor limite, e

atribuir a um pixel na imagem que corresponde à reflexão identificada, um valor predeterminado ao invés de uma amplitude máxima da reflexão.

19. Aparelho, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de a unidade de geração de imagem ser configurada para atribuir ao pixel um valor predeterminado que é maior do que a amplitude máxima da reflexão.

20. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de o aparelho compreender um meio de acoplamento seco.

21. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de compreender um arranjo de matriz para transmitir e receber pulsos sonoros.

22. Método para formação de imagens de aspectos estruturais abaixo da superfície, caracterizado pelo fato de a superfície de um objeto compreender:

a transmissão de um pulso sonoro no objeto;

a recepção, a partir do objeto, de reflexões de pulsos sonoros transmitidos no objeto;

o reconhecimento, em um ou mais sinais recebidos a partir do objeto, da reflexão de um pulso de tempo transmitido que foi provocado por um primeiro aspecto estrutural, e uma reflexão de um pulso de tempo transmitido que foi provocada por um segundo aspecto estrutural que fica localizado, no objeto, pelo menos parcialmente atrás de um primeiro aspecto estrutural;

a associação de cada reflexão reconhecida a uma profundidade relativa no objeto no qual a reflexão ocorreu; e

a geração de uma imagem que inclui uma representação do primeiro e do segundo aspectos estruturais dependendo das reflexões reconhecidas e de suas profundidades relativas.

23. Aparelho, caracterizado pelo fato de ter substancialmente a forma aqui descrita tendo por referência os desenhos anexos.

24. Método, caracterizado pelo fato de ser substancialmente da forma aqui descrita tendo por referência os desenhos anexos.

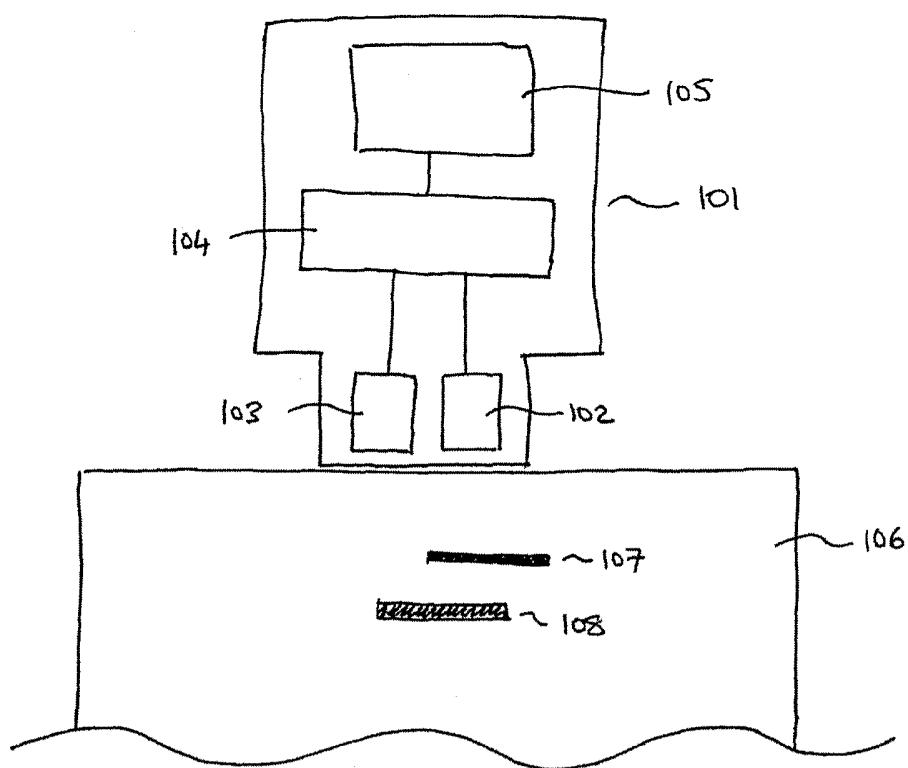


Figura 1

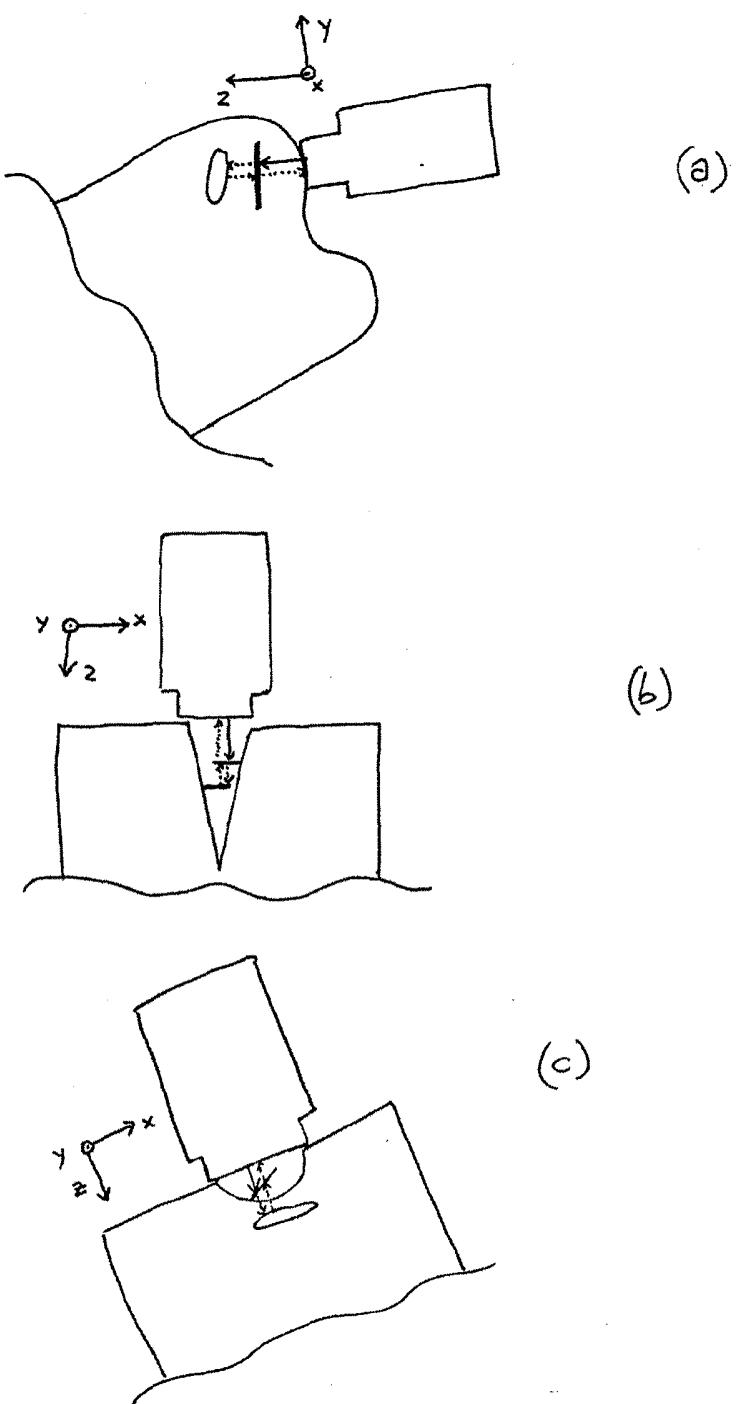


Figura 2

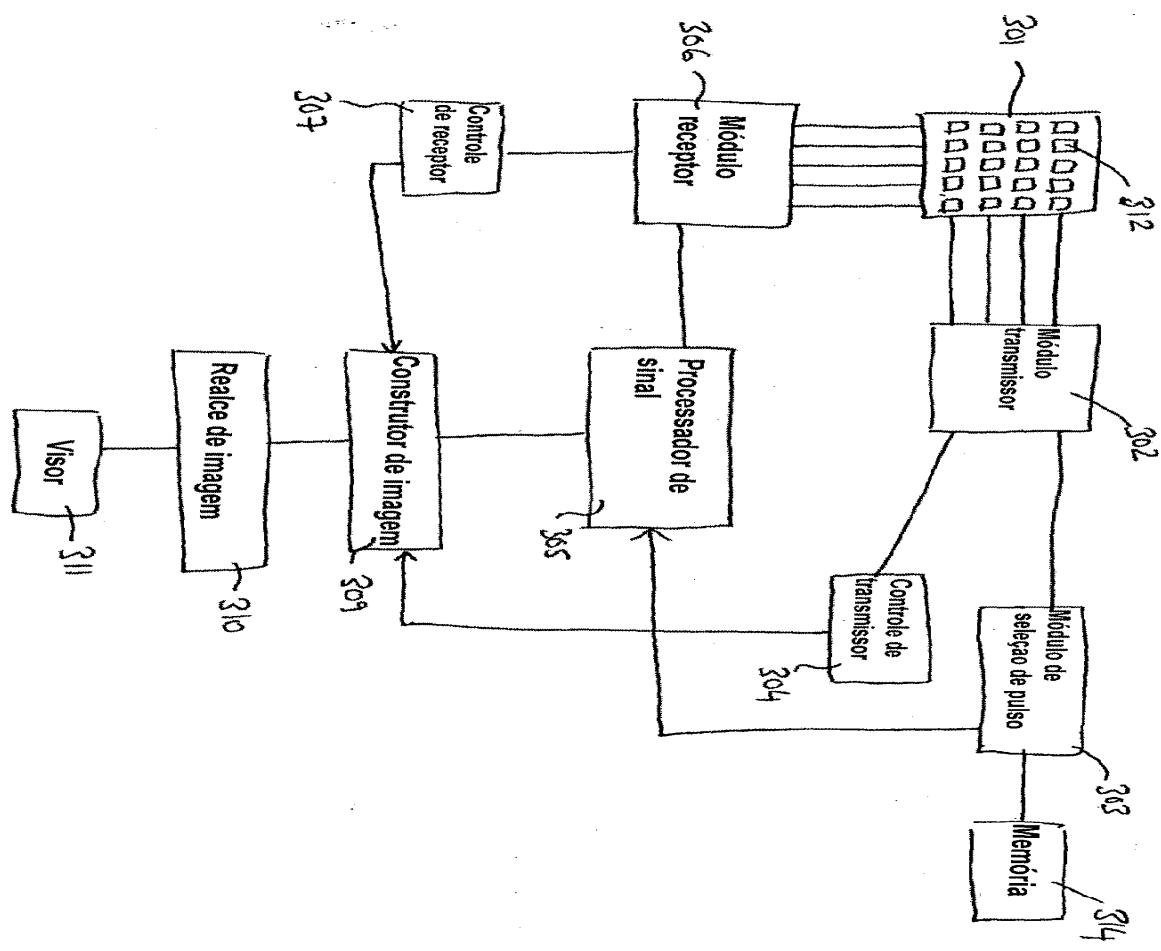


Figura 3

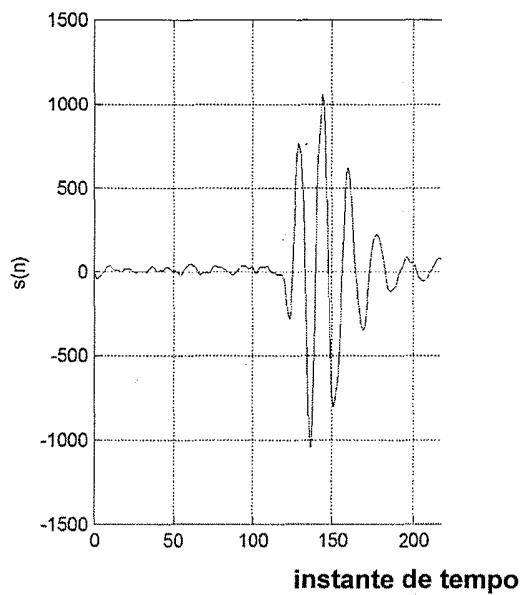


Figura 4a: Sinal de pulso típico.

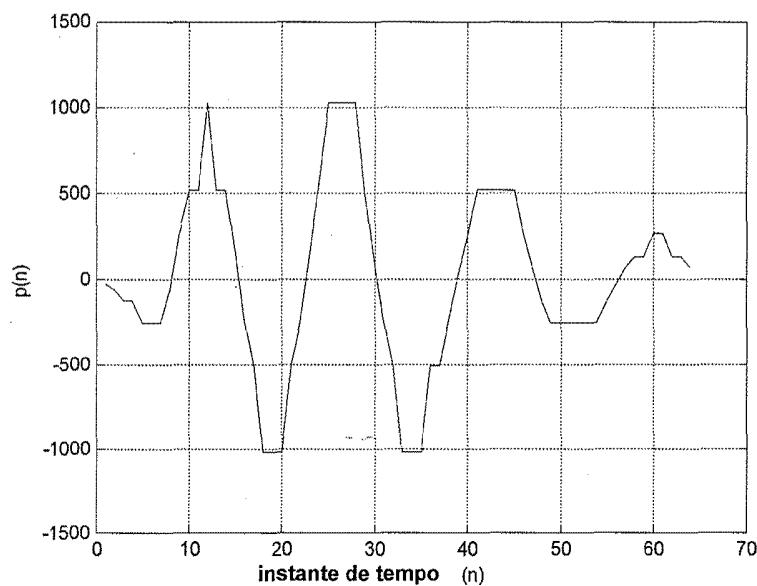


Figura 4b: Filtro adaptado correspondente ao pulso na Figura 1.
Os coeficientes de filtro estão em forma energia-de-dois.

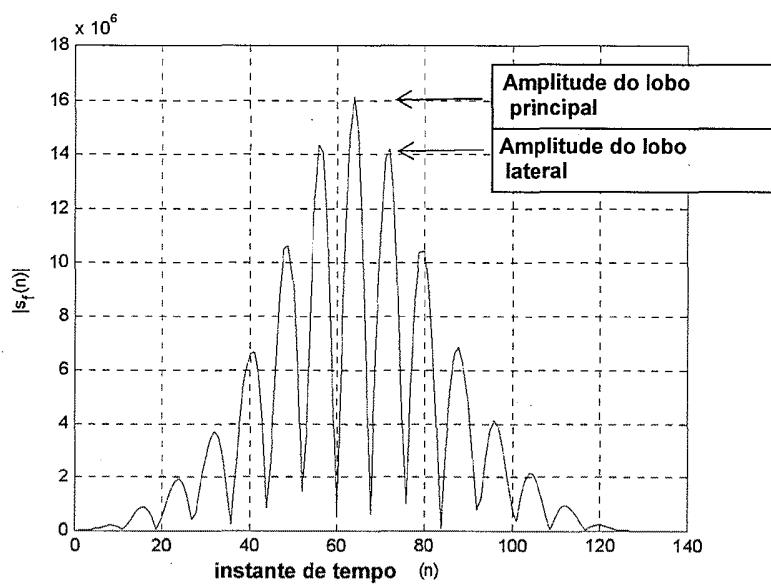
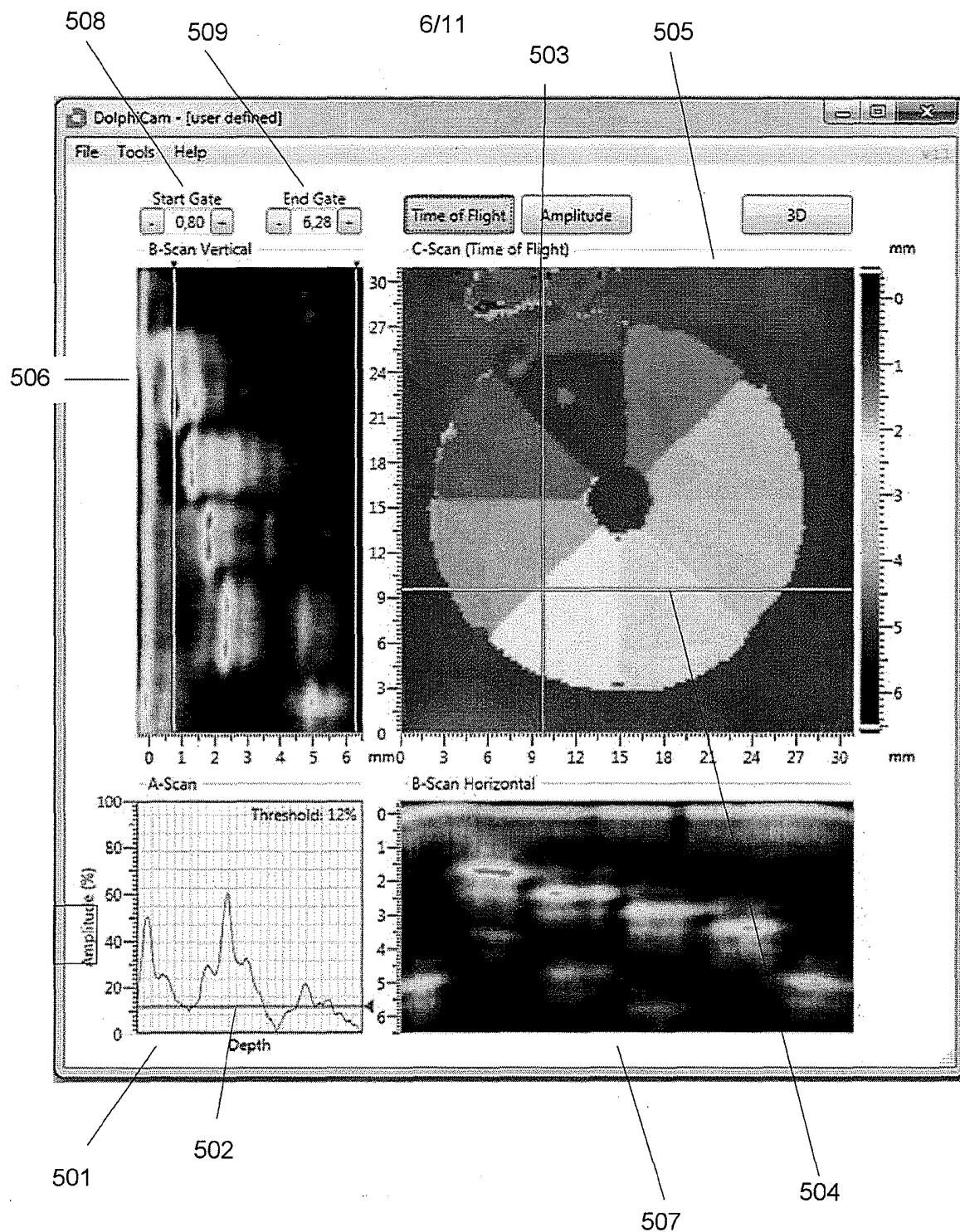
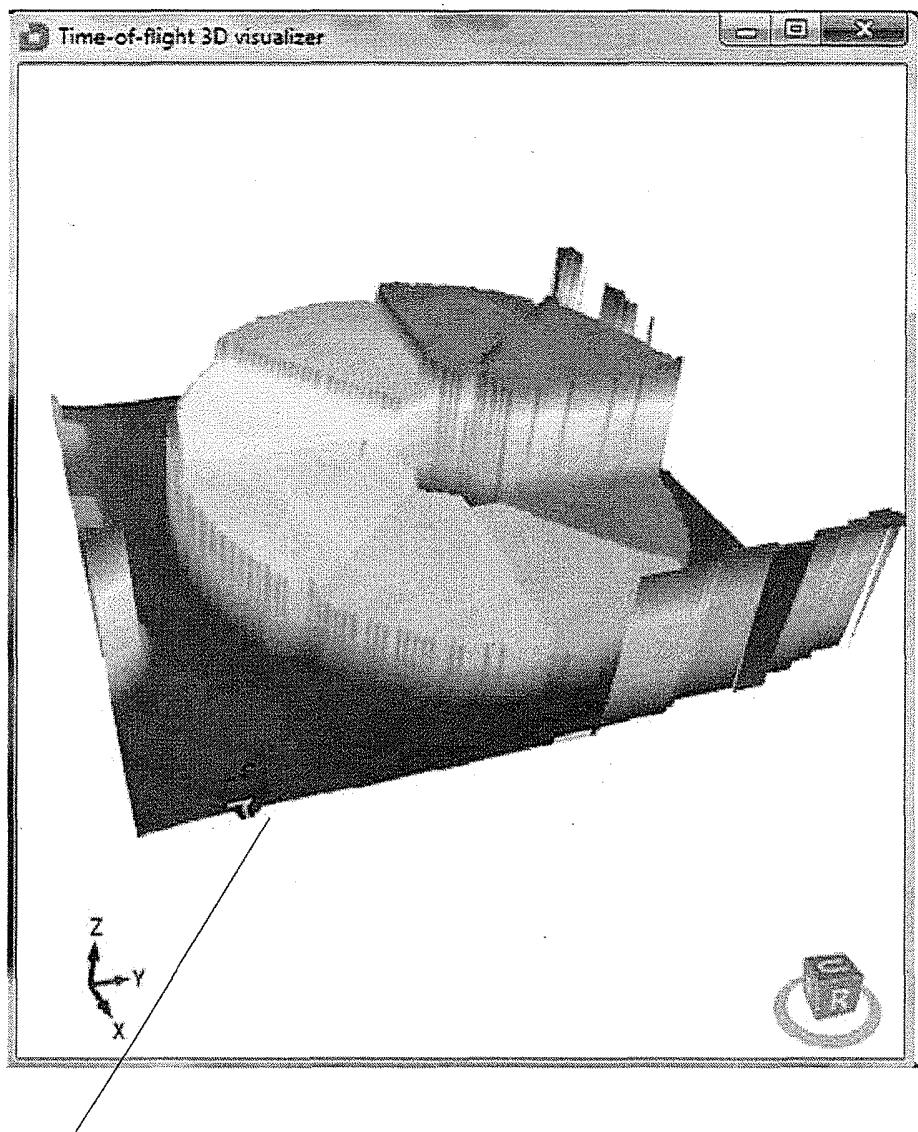


Figura 4c: Valor absoluto do filtro de conjugação e do sinal de ultrassom. A seta vermelha superior indica a amplitude do lobo principal, e a seta vermelha inferior indica a amplitude do lobo lateral.

**Figura 5a**



510

Figura 5b

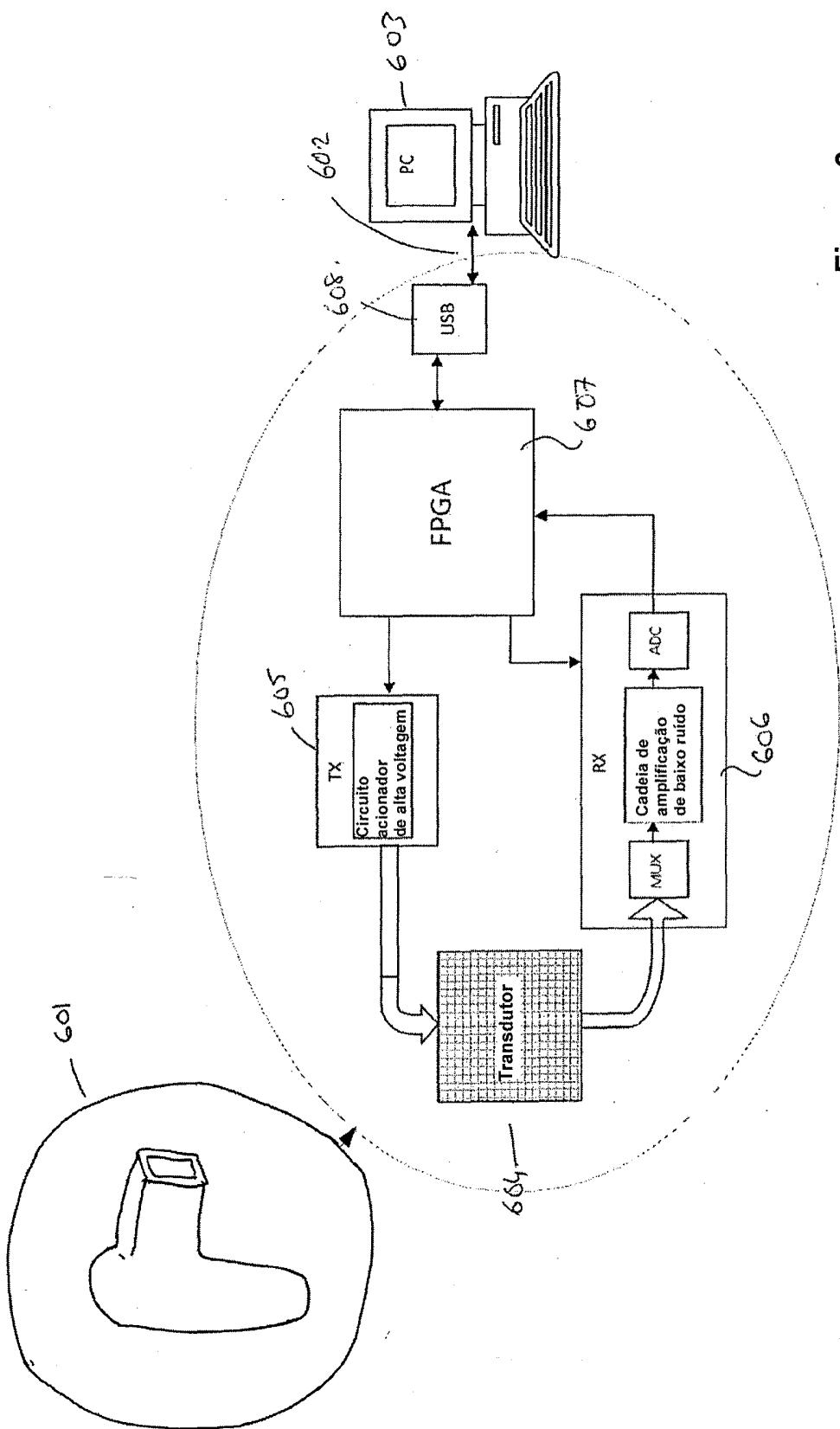


Figura 6

FPGA (processador)

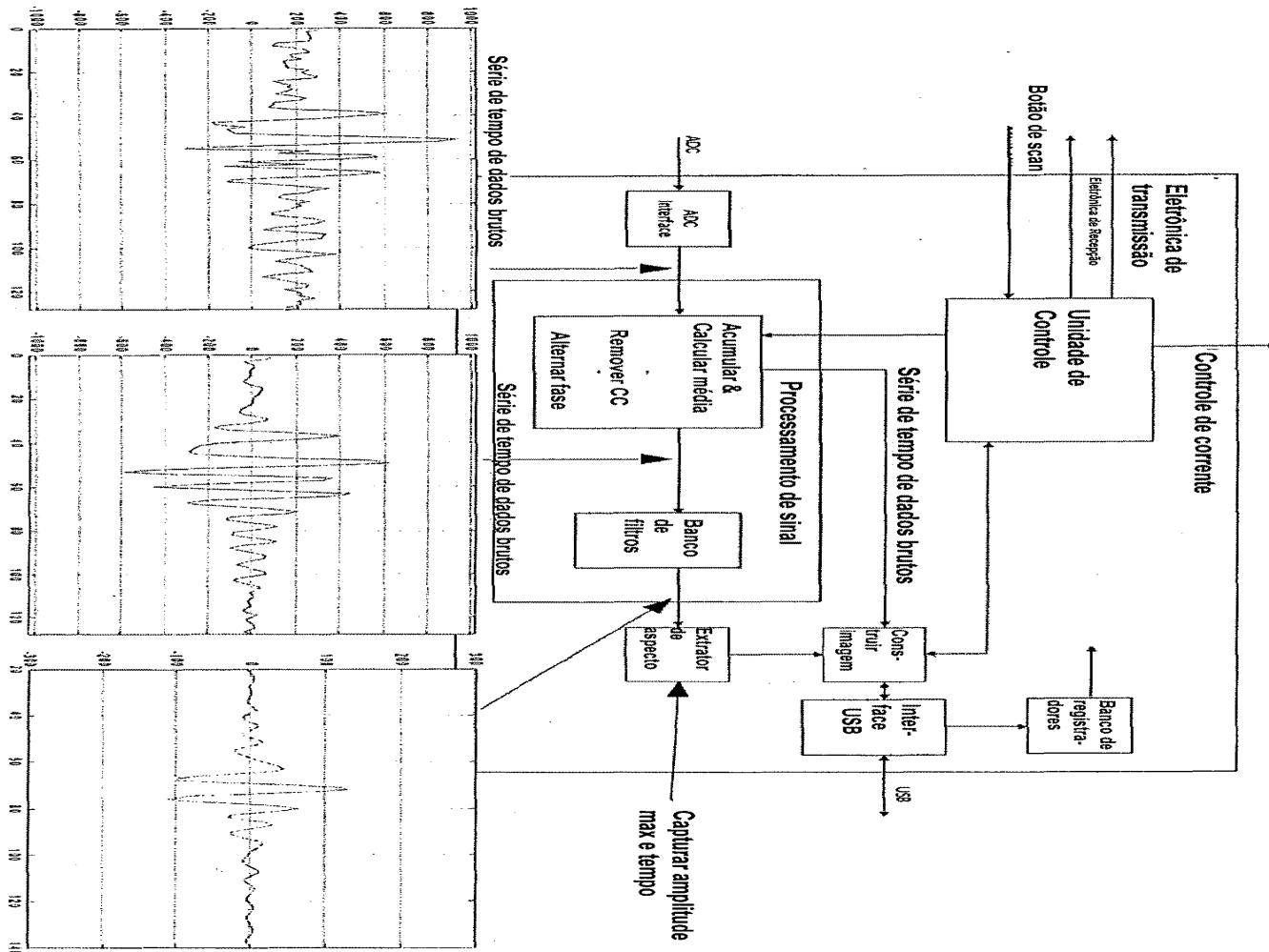


Figura 7

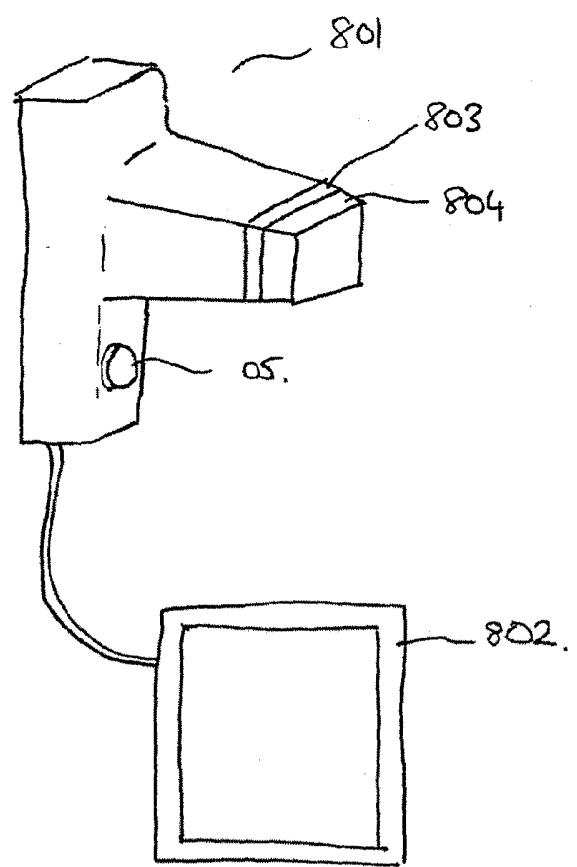


Figura 8

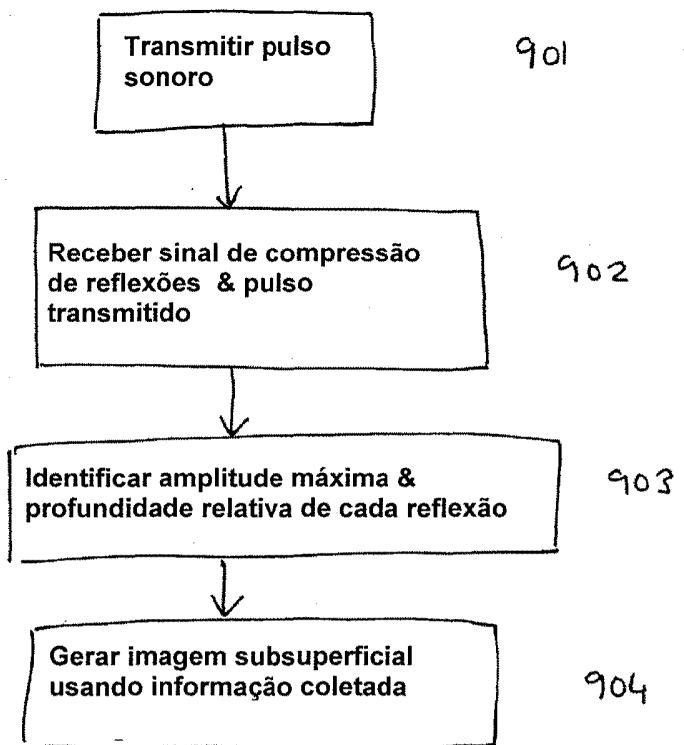


Figura 9

RESUMO**“APARELHO E MÉTODO PARA FORMAÇÃO DE IMAGENS DE ASPECTOS ESTRUTURAIS ABAIXO DA SUPERFÍCIE DE UM OBJETO”**

Um aparelho para formação de imagens de aspectos estruturais abaixo da superfície de um objeto, compreendendo o aparelho: uma unidade transmissora configurada para transmitir um pulso sonoro no objeto; sendo a unidade receptora configurada para receber reflexões de pulso sonoros transmitidos pela unidade transmissora a partir do objeto; uma unidade processadora de sinal configurada para analisar um ou mais sinais recebidos pela unidade receptora, a partir do objeto; reconhecer, no um ou mais sinais, uma reflexão provocada por um primeiro aspecto estrutural e uma reflexão que foi provocada por um segundo aspecto estrutural que está localizado, no objeto, pelo menos parcialmente atrás do primeiro aspecto estrutural; e associar cada reflexão reconhecida a uma profundidade relativa no objeto no qual a reflexão ocorreu; e uma unidade de geração de imagem configurada para gerar uma imagem que inclui uma representação do primeiro e do segundo aspectos estruturais, dependendo das reflexões reconhecidas e de suas profundidades relativas.