



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

(11) PI 0923367-9 B1



(22) Data do Depósito: 11/12/2009

(45) Data de Concessão: 21/01/2020

(54) Título: APARELHO E MÉTODO PARA FORMAÇÃO DE IMAGEM DE UMA FORMAÇÃO TERRESTRE

(51) Int.Cl.: G01V 1/46.

(52) CPC: G01V 1/00; G01V 1/006; G01V 1/46.

(30) Prioridade Unionista: 10/12/2009 US 12/635,108; 12/12/2008 US 61/121,944.

(73) Titular(es): BAKER HUGHES INCORPORATED.

(72) Inventor(es): ANJANI R. ACHANTA.

(86) Pedido PCT: PCT US2009067696 de 11/12/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/068883 de 17/06/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 10/06/2011

(57) Resumo: GERADOR DE IMAGEM DE PERFURAÇÃO COM MÚLTIPLAS FREQUÊNCIAS A presente invenção refere-se a um aparelho para formação de imagem de uma formação terrestre, o aparelho incluindo: um instrumento de perfilagem configurado para ser transportado através de uma perfuração penetrando a formação terrestre; uma fonte de ondas acústicas disposta no instrumento de perfilagem, em que a fonte é configurada para emitir primeiras ondas acústicas possuindo pelo menos uma primeira frequência e para permitir intermodulação das primeiras ondas acústicas em um meio possuindo uma propriedade acústica não linear resultando em gerar novas ondas acústicas que são transmitidas para a formação terrestre, as novas ondas acústicas possuindo uma nova frequência diferente da pelo menos primeira frequência; e um receptor de ondas acústicas configurado para receber as novas ondas acústicas refletidas a partir da formação terrestre, em que as novas ondas acústicas recebidas proporcionam uma imagem da formação terrestre.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
**"APARELHO E MÉTODO PARA FORMAÇÃO DE IMAGEM DE UMA
FORMAÇÃO TERRESTRE".**

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

1. Campo da Invenção

[0001] A presente invenção descrita neste documento refere-se à formação de imagens de uma formação terrestre a partir de uma perfuração utilizando ondas acústicas.

2. Descrição da Técnica Relacionada

[0002] A exploração e a produção de hidrocarbonetos geralmente exigem medições precisas de formações terrestres, as quais podem conter reservatórios de hidrocarbonetos. Medições precisas são importantes para permitir um uso eficiente dos recursos da exploração e da produção.

[0003] A perfilagem de poço é uma técnica utilizada para executar medições de uma formação terrestre a partir de uma perfuração penetrando na formação. Na perfilagem de poço, um instrumento de perfilagem é transportado através da perfuração. O instrumento de perfilagem executa as medições da formação através da perfuração. Em uma concretização, um cabo é utilizado para suportar o instrumento de perfilagem e para transmitir medições para a superfície da terra para processamento e gravação.

[0004] Podem ser feitos vários tipos de medições da formação terrestre. Um tipo de medição cria uma imagem da formação terrestre utilizando ondas acústicas. As ondas acústicas percorrem a partir do instrumento através de um fluido na perfuração e para dentro da formação terrestre. Cada formação terrestre por sua vez reflete algumas das ondas acústicas de volta para o instrumento onde as ondas são gravadas. Em geral, a intensidade das ondas acústicas refletidas a partir de uma parte da formação está relacionada com o material compondo

esta parte particular da formação. Assim, a imagem acústica pode proporcionar uma indicação visual dos vários materiais presentes na formação.

[0005] Em geral, as imagens acústicas possuindo maior precisão ou maior resolução exigem ondas acústicas com uma maior frequência. Entretanto, à medida que a frequência das ondas acústicas aumenta, ocorre mais atenuação das ondas acústicas pelo fluido da perfuração. A atenuação de ondas acústicas causa ondas refletivas mais fracas e, portanto, um sinal de medição acústica mais fraco. O sinal de medição mais fraco pode resultar em uma diminuição na precisão ou na resolução da imagem. Assim, parece que a resolução de uma imagem acústica de uma formação terrestre está limitada pelas características de atenuação do fluido da perfuração.

[0006] Portanto, o que é necessário são técnicas para aumentar a precisão e a resolução de imagens acústicas de uma formação terrestre. De preferência, as técnicas podem ser utilizadas em uma perfuração contendo um fluido.

BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0007] É descrito um aparelho para formação de uma imagem de uma formação terrestre, o aparelho incluindo: um instrumento de perfilagem configurado para ser transportado através de uma perfuração penetrando na formação terrestre; uma fonte de ondas acústicas disposta no instrumento de perfilagem, em que a fonte é configurada para emitir as primeiras ondas acústicas possuindo pelo menos uma primeira frequência e para permitir a intermodulação das primeiras ondas acústicas em um meio possuindo uma propriedade acústica não linear resultando em gerar novas ondas acústicas que são transmitidas para a formação terrestre, as novas ondas acústicas possuindo uma nova frequência diferente da pelo menos primeira frequência; e um receptor de ondas acústicas configurado para receber

as novas ondas acústicas refletidas a partir da formação terrestre, onde as novas ondas acústicas recebidas proporcionam uma imagem da formação terrestre.

[0008] Também é descrito um método para formação de imagem de uma formação terrestre, o método incluindo: transportar um instrumento de perfilagem através de uma perfuração penetrando a formação terrestre; emitir primeiras ondas acústicas a partir do instrumento de perfilagem, as primeiras ondas acústicas compreendendo pelo menos uma primeira frequência e direcionadas para a formação terrestre; gerar novas ondas acústicas pela intermodulação das primeiras ondas acústicas em um meio acústico não linear onde as novas ondas acústicas possuem uma nova frequência diferente da pelo menos primeira frequência e são transmitidas para a formação terrestre; e receber as novas ondas acústicas que são refletidas pela formação terrestre, onde as novas ondas acústicas recebidas proporcionam uma imagem da formação terrestre.

[0009] É adicionalmente descrito um meio legível por computador possuindo instruções executáveis por máquina para formação de imagem de uma formação terrestre por implementar as seguintes etapas: emitir primeiras ondas acústicas a partir de um instrumento de perfilagem disposto em uma perfuração penetrando a formação terrestre, as primeiras ondas acústicas possuindo pelo menos uma primeira frequência e direcionadas para a formação terrestre; gerar novas ondas acústicas por intermodulação das primeiras ondas acústicas em um meio acústico não linear em que as novas ondas acústicas possuem uma nova frequência diferente da pelo menos primeira frequência e são transmitidas para dentro da formação terrestre; e receber as novas ondas acústicas que são refletidas pela formação terrestre; em que as novas ondas acústicas recebidas proporcionam uma imagem da formação terrestre.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[00010] O assunto, o qual é considerado como a invenção, é particularmente salientado e distintamente reivindicado nas reivindicações na conclusão do relatório descritivo. O dito anteriormente e outros aspectos e vantagens da invenção são aparentes a partir da descrição detalhada seguinte feita em conjunto com os desenhos acompanhantes, em que elementos iguais são numerados iguais, nos quais:

a figura 1 ilustra uma concretização ilustrativa de um instrumento de perfilagem disposto em uma perfuração penetrando uma formação terrestre;

a figura 2 representa aspectos de uma concretização de uma fonte de ondas acústicas possuindo dois transdutores acústicos confocais;

a figura 3 representa aspectos de uma concretização da fonte de ondas acústicas possuindo um transdutor acústico;

as figuras 4A e 4B, coletivamente referidas como figura 4, representam aspectos de uma concretização da fonte de ondas acústicas possuindo um receptor disposto entre dois transdutores acústicos; e

a figura 5 apresenta um exemplo de um método para formação de imagem de uma formação terrestre.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[00011] São descritas técnicas para aumentar a precisão ou a resolução de imagens de uma formação terrestre obtidas utilizando ondas acústicas. As técnicas, as quais incluem um aparelho e um método, preconizam transmitir ondas acústicas a partir de um instrumento de perfilagem através de uma perfuração penetrando a formação terrestre. O instrumento de perfilagem é configurado para transmitir as ondas acústicas de modo que as ondas acústicas

experimentam intermodulação dentro de um fluido disposto na perfuração. A intermodulação faz com que as ondas acústicas transmitidas gerem novas ondas acústicas em uma frequência mais elevada do que qualquer uma das ondas acústicas transmitidas pelo instrumento de perfilagem. Devido às novas ondas acústicas serem geradas mais próximas de uma parede da perfuração, existe menos atenuação das novas ondas acústicas com frequência mais elevada. Menos atenuação das novas ondas acústicas com frequência mais elevada resulta em uma imagem acústica possuindo precisão e resolução aumentadas.

[00012] Antes das técnicas serem discutidas em detalhes, certas definições são proporcionadas. O termo "intermodulação" se relaciona com ondas acústicas (referidas daqui para frente como primeiras ondas acústicas) interagindo umas com as outras para gerarem novas ondas acústicas possuindo uma frequência diferente das primeiras ondas acústicas. A interação geralmente ocorre em um meio, tal como um fluido da perfuração, possuindo uma propriedade acústica não linear. Se as primeiras ondas acústicas possuírem uma frequência f_1 e uma frequência f_2 , então, as novas ondas acústicas podem possuir uma onda acústica com a soma das frequências f_1+f_2 e uma onda acústica com a diferença das frequências f_1-f_2 . A nova onda acústica com a soma das frequências pode proporcionar uma imagem acústica com resolução aumentada. O termo "sobrepõe" se relaciona com as primeiras ondas acústicas ocupando substancialmente o mesmo espaço no mesmo tempo com a mesma fase como requerido para intermodulação das primeiras ondas acústica.

[00013] Pode ser feita referência à figura 1. Na figura 1, é apresentada uma representação de um instrumento 10 para executar formação de imagem acústica. Neste exemplo, o instrumento (ou ferramenta acústica) 10 é disposto dentro de uma perfuração 2

penetrando na formação terrestre 3. O instrumento 10 inclui uma fonte 4 de primeiras ondas acústicas 5. As primeiras ondas acústicas 5 percorrem através do fluido da perfuração 9 na perfuração 2, onde as primeiras ondas acústicas 5 experimentam intermodulação. Como resultado da intermodulação, novas ondas acústicas 6 com uma frequência mais elevada são geradas. As novas ondas acústicas 6 entram na formação 3. A formação 3 reflete pelo menos uma parte das novas ondas acústicas 6 de volta para o instrumento 10. No instrumento 10, um receptor 7 recebe as novas ondas acústicas refletidas 6 e converte a energia das novas ondas refletidas 6 em um sinal.

[00014] O sinal 8 pode ser gravado e / ou processado por uma unidade de eletrônica 11. Dados armazenados na unidade eletrônica 11 podem ser recuperados quando o instrumento 10 é removido da perfuração 2. Alternativamente, o sinal 8 pode ser transmitido por um sistema de telemetria para a superfície da terra e recebido por um sistema de processamento 12 para gravação e processamento. Em adição, a unidade eletrônica 11 pode ser utilizada para controlar / operar a fonte 4. Exemplos não limitativos de funções de controle da unidade eletrônica 11 incluem modular a amplitude das primeiras ondas acústicas 5, variar uma frequência das primeiras ondas acústicas 5, e variar uma fase das primeiras ondas acústicas 5. Estas funções de controle podem ser utilizadas para permitir e/ou otimizar a intermodulação das primeiras ondas acústicas 5.

[00015] Normalmente, a perfuração 2 é pelo menos parcialmente enchida com uma mistura de líquidos incluindo água, fluido de perfuração, lama, óleo e fluidos da formação que são nativos das formações 3 penetradas pela perfuração 2. A lama de perfuração também pode ser introduzida na perfuração 2. Nas concretizações típicas, a lama de perfuração é um fluido não condutivo ou condutivo como é conhecido na técnica. O fluido 9 disposto na perfuração 2

geralmente possui uma propriedade acústica não linear que permite a intermodulação das primeiras ondas acústicas 5.

[00016] Referindo-se à figura 1, o instrumento de perfilagem 10 é suportado por um cabo 12. O cabo 13 também é utilizado para transmitir dados (isto é, o sinal 8) relacionados com as medições de formação de imagem acústica executada pelo instrumento de perfilagem 10. Em outras concretizações, o instrumento de perfilagem 10 pode ser transportado através da perfuração 2 por cabo flexível ("*slickline*"), flexitubo ("*coiled tubing*"), ou por uma linha de perfuração para medições de perfilagem enquanto perfurando (LWD). Nas aplicações LWD, o instrumento de perfilagem 10 pode ser disposto em um colar conectado com a linha de perfuração.

[00017] A figura 2 representa aspectos de uma concretização da fonte 4 para as primeiras ondas acústicas 5. Referindo-se à figura 2, um único corpo do transdutor 20 inclui um primeiro transdutor acústico 21 concêntrico ou confocal com um segundo transdutor acústico 22. O primeiro transdutor acústico 21 emite as primeiras ondas acústicas 5 com a frequência f_1 e o segundo transdutor acústico 22 emite as primeiras ondas acústicas 5 com a frequência f_2 . O primeiro transdutor acústico 21 e o segundo transdutor acústico 22 são configurados para proporcionarem sobreposição suficiente para permitir intermodulação das primeiras ondas acústicas substancialmente na parede da perfuração 2. Devido à intermodulação, as novas ondas acústicas 6 são geradas com as frequências f_1+f_2 e f_1-f_2 . Na concretização da figura 2, as frequências f_1 e f_2 são ligeiramente diferentes.

[00018] Referindo-se à figura 2, as novas ondas acústicas 6 de frequências f_1 e f_2 entram na formação 3. Dependendo das propriedades dos materiais na formação 3, alguma quantidade das novas ondas acústicas 6 será refletida de volta em direção ao instrumento 10 (não apresentado) a serem recebidas pelo receptor 7

(não apresentado) e convertidas para o sinal 8 (não apresentado). Devido ao fato de que às novas ondas acústicas 6 de frequência f_1+f_2 irão produzir uma imagem acústica com maior resolução, o receptor 7, a unidade eletrônica 11, ou o sistema de processamento 12 podem ser configurados para descartar as novas ondas acústicas 6 de frequência f_1-f_2 . Em adição, as ondas de frequência f_1+f_2 podem ser descartadas para produzirem uma imagem acústica constituída das ondas de frequência f_1-f_2 . Então, as duas imagens podem ser comparadas para determinar mais informações sobre a formação 3. Alternativamente, o receptor 7 pode ser otimizado em relação a qualquer uma das frequências resultantes das novas ondas acústicas 6 que são para serem analisadas.

[00019] A figura 3 representa aspectos de outra concretização da fonte 4. Na concretização da figura 3, somente o primeiro transdutor 21 é utilizado para emitir as primeiras ondas acústicas 5. Referindo-se à figura 3, a amplitude das primeiras ondas acústicas é altamente modulada, geralmente em tensões elétricas de entrada muito alta. Devido a uma propriedade não linear do fluido da perfuração 9, as primeiras ondas acústicas 5 irão suportar a intermodulação e gerar as novas ondas acústicas 6 nas frequências de soma e de diferença. A quantidade de modulação de amplitude pode ser variada para determinar uma quantidade ótima para causar a intermodulação. Na concretização da figura 3, a unidade eletrônica 11 é utilizada para modular a amplitude das primeiras ondas acústicas 5.

[00020] A figura 4 (4A é uma vista de cima e 4B é uma vista lateral tridimensional) representa aspectos de ainda outra concretização da fonte 4. Na concretização da figura 4, o receptor 7 é disposto entre o primeiro transdutor acústico 21 e o segundo transdutor acústico 22. Como na concretização da figura 2, o primeiro transdutor acústico 21 emite as primeiras ondas acústicas 5 possuindo a frequência f_1 e o

segundo transdutor acústico 22 emite as primeiras ondas acústicas 5 possuindo a frequência f_2 . O primeiro transdutor acústico 21 e o segundo transdutor acústico 22 são posicionados de modo que as primeiras ondas acústicas 5 emitidas a partir dos transdutores 21 e 22 convirjam substancialmente na parede da perfuração 2. As posições do primeiro transdutor 21 e do segundo transdutor 22 são configuradas para produzirem sobreposição suficiente para permitir a intermodulação das primeiras ondas acústicas 5. A intermodulação das primeiras ondas acústicas 5 possuindo as frequências f_1 e f_2 gera as novas ondas acústicas 6 possuindo a frequência de soma $f_1 + f_2$ e a frequência de diferença $f_1 - f_2$. O receptor 7 é posicionado para receber as novas ondas acústicas 6 que são refletidas por materiais na formação 3.

[00021] O instrumento de perfilagem 10 pode ser utilizado com os seguintes três métodos para formação de imagem da formação 3 ao redor da perfuração 2. A formação de imagem pode ser 360 graus ou qualquer arco selecionado. Em um primeiro método, uma parte do instrumento 10 suportando a fonte 4 das primeiras ondas acústicas 5 e o receptor 7 é girada ao redor da perfuração 2. Em um segundo método, um arranjo de fontes 4, tais como estas apresentadas nas figuras 2, 3 e 4, cada uma com um receptor associado 7, pode ser disposto ao redor do instrumento de perfilagem 10 para proporcionar 360 graus de cobertura. No segundo método, as novas ondas acústicas 6 geradas pela intermodulação das primeiras ondas acústicas 5 a partir de cada fonte 4 encontram as novas ondas acústicas 6 para proporcionarem formação de imagem contínua. Um terceiro método é similar ao segundo método, mas utiliza um arranjo com um número menor de conjuntos de fonte 4 / receptor 7. No terceiro método, um feixe das novas ondas acústicas 6 é eletronicamente ou mecanicamente direcionado (pela unidade eletrônica 11, por exemplo) ao redor da perfuração 2 para proporcionar a cobertura de 360 graus ou de arco

selecionado. Em uma concretização, o direcionamento eletrônico pode incluir aplicar mais energia para um dos transdutores acústicos na fonte 4, desse modo inclinando um feixe das primeiras ondas acústicas 5 mais na direção do transdutor com a saída de energia mais elevada. Em uma concretização, o direcionamento mecânico pode incluir a fonte 4 sendo montada em uma suspensão *a cardan* servocontrolada, desse modo eletromecanicamente variando uma direção de um feixe das primeiras ondas acústicas 5 e, assim, variando uma direção de um feixe das novas ondas acústicas 6.

[00022] O uso de intermodulação para gerar as novas ondas acústicas 6 na frequência de soma pode melhorar a resolução azimutal por um fator de cerca de dois. A amplitude e a análise de tempo de trânsito das novas ondas acústicas 6 refletidas pela formação 3 podem ser utilizadas para proporcionarem informação sobre a formação 3. Em adição, o processamento das novas ondas acústicas refletidas 6 pode ser executado no domínio de frequência utilizando uma Transformada de Fourier ou Análise de Ondaleta. Desde que a frequência de soma ($f_1 + f_2$) das novas ondas acústicas 6 seja um resultado da soma das frequências das primeiras ondas acústicas 5 ou uma quantidade de modulação de amplitude, um usuário pode controlar as frequências das primeiras ondas acústicas 5 ou a quantidade de modulação de amplitude para variar a frequência de soma das novas ondas acústicas 6. Variar a frequência de soma das novas ondas acústicas 6 pode ser particularmente útil para vários tipos e tamanhos de aspectos de perfuração em diferentes lamas de perfuração.

[00023] Em adição à intermodulação das primeiras ondas acústicas 5 na perfuração 2, a intermodulação com energia alta o suficiente também pode ocorrer na formação 3 para produzir uma imagem acústica com ainda mais informação sobre a formação 3.

[00024] A figura 5 apresenta um exemplo de um método 50 para

formação de imagem da formação terrestre 3. O método 50 requer (etapa 51) transportar o instrumento de perfilagem 10 através da perfuração 2 penetrando a formação terrestre 3. Adicionalmente, o método 50 requer (etapa 52) emitir as primeiras ondas acústicas 5 a partir do instrumento de perfilagem 10, as primeiras ondas acústicas 5 possuindo pelo menos uma primeira frequência e direciona para a formação terrestre 3. Adicionalmente, o método 50 requer (etapa 53) gerar as novas ondas acústicas 6 por intermodulação das primeiras ondas acústicas 5 no meio acústico não linear 9, em que as novas ondas acústicas 6 possuem uma nova frequência diferente da pelo menos primeira frequência e são transmitidas para a formação terrestre 3. Adicionalmente, o método 50 requer (etapa 54) receber as novas ondas acústicas 6 que são refletidas pela formação terrestre 3, em que as novas ondas acústicas recebidas 6 proporcionam uma imagem da formação terrestre 3.

[00025] Em suporte aos ensinamentos neste documento, vários componentes de análise podem ser utilizados, incluindo um sistema digital e/ou analógico. Por exemplo, a unidade eletrônica 11 e o sistema de processamento 12 podem incluir o sistema digital e/ou analógico. O sistema pode possuir componentes tais como um processador, meio de armazenamento, memória, entrada, saída, ligação de comunicação (com fios, sem uso de fios, lama pulsada, ótica ou outras), interfaces com o usuário, programas de software, processadores de sinal (digitais ou analógicos) e outros tais componentes (tais como resistores, capacitores, indutores e outros) para proporcionarem operação e análise do aparelho e método descritos neste documento em qualquer uma das várias maneiras bem apreciadas na técnica. É considerado que estas ensinamentos podem ser, mas não precisam ser, implementadas em conjunto com um conjunto de instruções executáveis por computador armazenado em um meio legível por

computador, incluindo memória (ROMs, RAMs), ótica (CD-ROMs), ou magnética (discos, discos rígidos), ou qualquer outro tipo que quando executado faz com que um computador implemente o método da presente invenção. Estas instruções podem proporcionar operação de equipamento, controle, coleta de dados e análise, e outras funções julgadas relevantes por um projetista de sistema, proprietário ou outro pessoal, em adição às funções descritas nesta descrição.

[00026] Adicionalmente, vários outros componentes podem ser incluídos e invocados para proporcionarem aspectos dos ensinamentos neste documento. Por exemplo, uma fonte de energia (por exemplo, pelo menos um dentre um gerador, uma fonte remota e uma bateria), componente de resfriamento, componente de aquecimento, força motriz (tal como força translacional, força de propulsão ou uma força rotacional), ímã, eletroímã, sensor, eletrodo, transmissor, receptor, transceptor, antena, controlador, unidade ótica, unidade elétrica ou unidade eletromecânica podem ser incluídos em suporte aos vários aspectos discutidos neste documento ou em suporte a outras funções além desta descrição.

[00027] Os elementos das concretizações foram introduzidos com os artigos "um" ou "uma". Os artigos são pretendidos significar que existem um ou mais elementos. Os termos "incluindo" e "possuindo" e seus derivados são pretendidos serem inclusivos de modo que possam existir elementos adicionais diferentes dos elementos listados. A conjunção "ou" quando utilizada com uma lista de pelo menos dois termos é pretendida para significar qualquer termo ou combinação de termos. Os termos "primeiro" e "segundo" são utilizados para distinguir elementos e não são utilizados para denotarem uma ordem particular.

[00028] Será reconhecido que vários componentes ou tecnologias podem proporcionar certas funcionalidades ou aspectos necessários ou benéficos. Por consequência, estas funções e aspectos à medida que

podem ser necessários ao suporte das reivindicações anexas e das variações das mesmas, são reconhecidos como sendo inerentemente incluídos como uma parte das instruções neste documento e como uma parte da invenção descrita.

[00029] Enquanto a invenção foi descrita com referência às concretizações ilustrativas, será entendido que várias alterações podem ser feitas e equivalentes podem ser substitutos para elementos das mesmas sem afastamento do escopo da invenção. Em adição, várias modificações serão apreciadas para adaptar um instrumento particular, situação ou material aos ensinamentos da invenção sem afastamento do escopo essencial dos mesmos. Portanto, é pretendido que a invenção não seja limitada à concretização particular descrita como o melhor modo contemplado para realizar esta invenção, mas que a invenção irá incluir todas as concretizações se situando dentro do escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para formação de imagem de uma formação terrestre (3), o aparelho que compreende:

um instrumento de perfilagem (10) configurado para ser transportado através de uma perfuração (2) penetrando a formação terrestre (3); o aparelho **caracterizado por:**

uma fonte de ondas acústicas (4) disposta no instrumento de perfilagem (10), em que a fonte é configurada para emitir primeiras ondas acústicas (5) possuindo pelo menos uma primeira frequência e para permitir intermodulação das primeiras ondas acústicas (5) em um fluido da perfuração (9) externo ao instrumento de perfilagem, o fluido da perfuração (9) possuindo uma propriedade acústica não linear resultando em gerar novas ondas acústicas (6) que são transmitidas para a formação terrestre (3), as novas ondas acústicas (6) possuindo uma nova frequência diferente da pelo menos primeira frequência; e

um receptor de ondas acústicas (7) configurado para receber as novas ondas acústicas (6) refletidas a partir da formação terrestre (3), em que as novas ondas acústicas (6) recebidas proporcionam uma imagem da formação terrestre (3).

2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a nova frequência é superior do que a pelo menos primeira frequência e qualquer outra frequência das primeiras ondas acústicas (5).

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a nova frequência é inferior do que a pelo menos primeira frequência.

4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a fonte (4) compreende um primeiro transdutor (21) e um segundo transdutor (22).

5. Aparelho, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado**

pelo fato de que o primeiro transdutor (21) é configurado para operar na primeira frequência e o segundo transdutor (22) é configurado para operar em uma segunda frequência, a segunda frequência sendo diferente da primeira frequência e da nova frequência.

6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado pelo fato de que** o primeiro transdutor (21) e o segundo transdutor (22) estão dispostos em um corpo de transdutor, o primeiro transdutor (21) sendo confocal com um segundo transdutor (22).

7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** o receptor (7) está disposto entre o primeiro transdutor (21) e o segundo transdutor (22).

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** o primeiro transdutor (21) e o segundo transdutor (22) são posicionados de modo que as primeiras ondas acústicas (5) emitidas a partir de cada transdutor (21, 22) convirjam em uma parede da perfuração (2).

9. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** adicionalmente compreende um modulador (11) acoplado com a fonte (4), em que o modulador (11) modula a amplitude das primeiras ondas acústicas (5) para permitir a intermodulação.

10. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a fonte (4) compreende uma pluralidade de transdutores dispostos ao redor do instrumento (10) de modo que um feixe das primeiras ondas acústicas (5) a partir de cada transdutor pelo menos encontre um feixe adjacente para proporcionar 360 graus de cobertura ao redor da perfuração (2).

11. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a fonte (4) compreende uma pluralidade de transdutores, cada um da pluralidade de transdutores sendo configurado para pelo menos um dentre eletronicamente e

mecanicamente direcionar um feixe das novas ondas acústicas (6) para proporcionar 360 graus de cobertura ao redor da perfuração (2).

12. Método para formação de imagem de uma formação terrestre (3), o método que compreende:

transportar um instrumento de perfilagem (10) através de uma perfuração (2) penetrando na formação terrestre (3); o método **caracterizado por:**

emitir primeiras ondas acústicas (5) a partir do instrumento de perfilagem (10), as primeiras ondas acústicas (5) compreendendo pelo menos uma primeira frequência e direcionada para a formação terrestre (3);

gerar novas ondas acústicas (6) por intermodulação das primeiras ondas acústicas (5) em um fluido da perfuração (9) externo ao instrumento de perfilagem (10) e tendo uma propriedade acústica não linear, em que as novas ondas acústicas (6) possuem uma nova frequência diferente da pelo menos primeira frequência e são transmitidas para a formação terrestre (3); e

receber as novas ondas acústicas (6) que são refletidas pela formação terrestre (3), em que as novas ondas acústicas (6) recebidas proporcionam uma imagem da formação terrestre (3).

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de que** receber compreende medir uma intensidade das segundas ondas acústicas recebidas.

14. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de que** adicionalmente compreende variar pelo menos a primeira frequência para otimizar a intermodulação.

15. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de que** adicionalmente compreende variar uma fase das primeiras ondas acústicas (5) para otimizar a intermodulação.

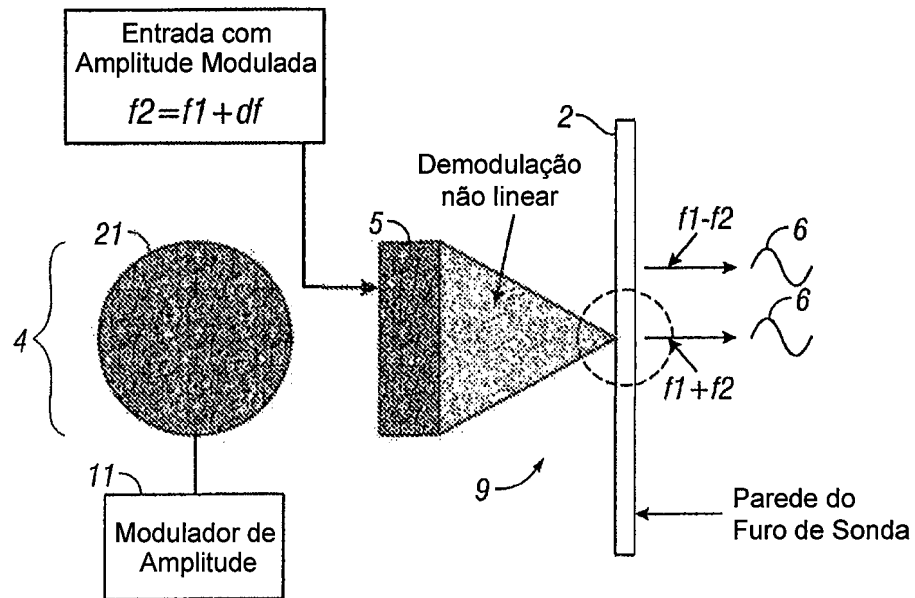
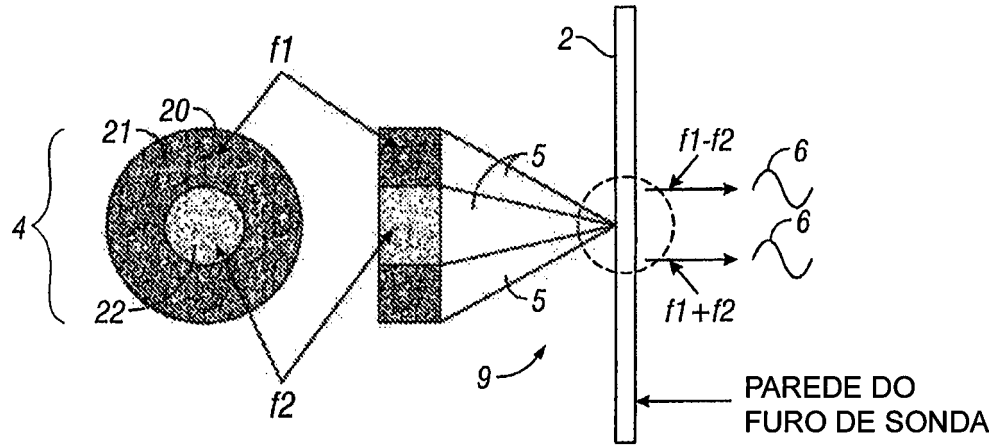
16. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de que** adicionalmente compreende filtrar frequências diferentes da nova frequência das novas ondas acústicas (6) recebidas.

17. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de que** adicionalmente compreende modular a amplitude das primeiras ondas acústicas (5) para permitir a intermodulação.

18. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de que** as primeiras ondas acústicas (5) adicionalmente compreendem uma segunda frequência.

19. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de que** adicionalmente compreende pelo menos um dentre eletronicamente e mecanicamente direcionar um feixe das novas ondas acústicas (6) 360 graus ao redor da perfuração (2).

20. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de que** o instrumento de perfilagem (10) é transportado por pelo menos um dentre cabo (13), cabo flexível, flexitubo, e uma linha de perfuração.



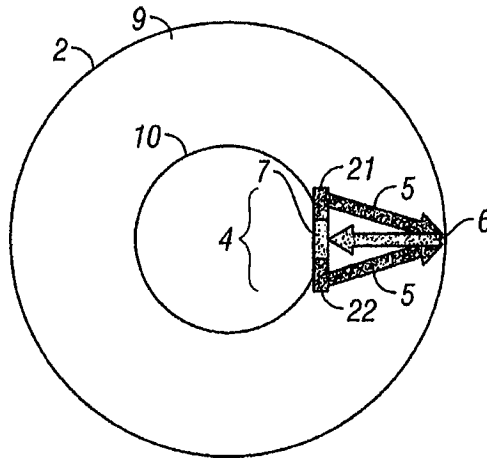


FIG. 4A

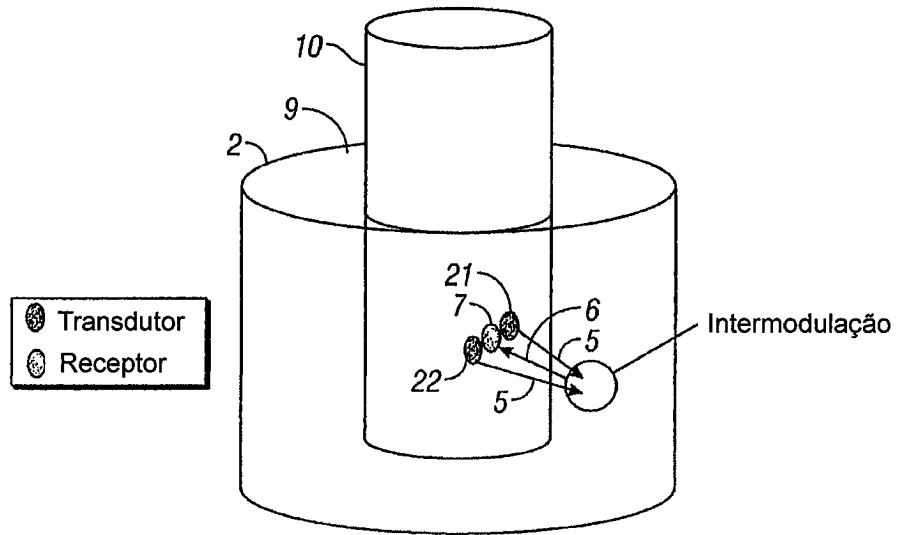


FIG. 4B

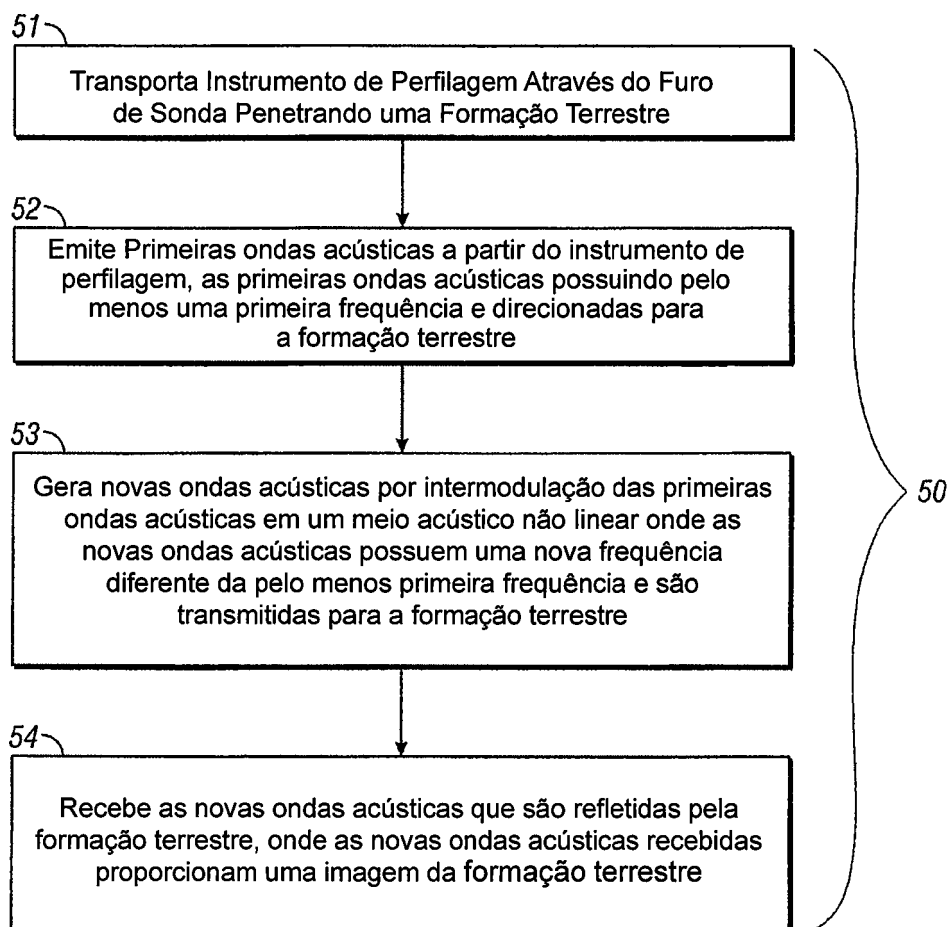


FIG. 5