



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

(21) BR 112021000838-1 A2



(22) Data do Depósito: 26/07/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 13/04/2021

(54) Título: AVALIAÇÃO DE CIMENTO ATRAVÉS DA TUBULAÇÃO COM O USO DE MÉTODOS SÍSMICOS

(51) Int. Cl.: G01V 1/50; G01V 1/48; E21B 49/00.

(30) Prioridade Unionista: 27/07/2018 US US 62/711,395.

(71) Depositante(es): BAKER HUGHES HOLDINGS LLC.

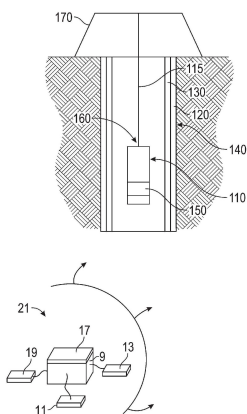
(72) Inventor(es): DOUGLAS J. PATTERSON; XIAOCHU YAO; PAWEL J. MATUSZYK; ROGER STEINSIEK; HOWARD B. GLASSMAN.

(86) Pedido PCT: PCT US2019043707 de 26/07/2019

(87) Publicação PCT: WO 2020/023895 de 30/01/2020

(85) Data da Fase Nacional: 16/01/2021

(57) Resumo: "AVALIAÇÃO DE CIMENTO ATRAVÉS DA TUBULAÇÃO COM O USO DE MÉTODOS SÍSMICOS". Trata-se de métodos e aparelhos para avaliação de uma formação de solo interseccionada por um poço. Os métodos incluem estimar uma propriedade de cimento que circunda um tubular na formação de solo por meio de: geração de um sinal acústico com uma ferramenta de perfilagem no poço; estimativa da propriedade em dependência de um campo de onda refletido tardio de um sinal acústico de resposta modificado, sendo que o sinal acústico de resposta modificado é produzido pela supressão de um componente de modo direto.



"AVALIAÇÃO DE CIMENTO ATRAVÉS DA TUBULAÇÃO COM O USO DE MÉTODOS SÍSMICOS"

CAMPO DA REVELAÇÃO

[0001] A presente revelação se refere, de modo geral, a ferramentas de poço e, em particular, a métodos e a aparelhos para conduzir perfilagem de poços.

ANTECEDENTES DA REVELAÇÃO

[0002] A perfuração de poços para vários propósitos é bem conhecida. Tais poços podem ser perfurados para fins geotérmicos, para produzir hidrocarbonetos (por exemplo, óleo e gás), para produzir água, e assim por diante. A profundidade de um poço pode estar na faixa de alguns milhares de pés até 25.000 pés ou mais. Em poços de hidrocarbonetos, ferramentas de fundo de poço frequentemente incorporam vários sensores, instrumentos e dispositivos de controle para executar qualquer número de operações de fundo de poço. Dessa forma, as ferramentas podem incluir sensores e/ou circuitos eletrônicos para avaliação da formação, monitoramento e controle da própria ferramenta, e assim por diante.

[0003] O desenvolvimento da formação para extrair os hidrocarbonetos pode incluir a instalação de tubulação (também chamada de membros tubulares ou tubulares), como tubulação de produção ou tubo de aço conhecido como revestimento, dentro de um poço, incluindo a aplicação de cimento na região anular entre o poço e o revestimento. É conhecida a realização de inspeção acústica de um revestimento cimentado em um poço para determinar propriedades específicas relacionadas ao revestimento e materiais circundantes. Por exemplo, a aderência do cimento ao revestimento pode ser avaliada, ou a resistência do cimento atrás do revestimento ou a espessura do revestimento podem ser estimadas, com o uso de medições de ondas acústicas refletidas. Isso pode ser genericamente chamado de perfilagem da aderência do cimento ao revestimento, que pode ser obtida com o uso de uma ferramenta de perfilagem de aderência do cimento ao revestimento transportada através da formação ao longo do interior do revestimento enquanto

realiza medições. Em outros exemplos de perfilagem da aderência do cimento, uma onda circunferencial guiada pode ser usada para avaliar as propriedades relacionadas ao revestimento. Por exemplo, as medições de atenuação das ondas de Lamb e de cisalhamento podem ser usadas para determinar as propriedades do cimento.

SUMÁRIO DA REVELAÇÃO

[0004] Em aspectos, a presente revelação está relacionada a métodos e aparelhos para avaliar uma formação de solo interseccionada por um poço. Os métodos incluem estimar uma propriedade de cimento que circunda um tubular na formação de solo por meio de: geração de um sinal acústico com uma ferramenta de perfilagem no poço; estimativa da propriedade em dependência de um campo de onda refletido tardio de um sinal acústico de resposta modificado, sendo que o sinal acústico de resposta modificado é produzido pela supressão de um componente de modo direto.

[0005] Os métodos podem incluir receber um sinal acústico de resposta indicativo da propriedade; e gerar o sinal ajustando-se o sinal acústico de resposta com o uso de processamento sísmico para suprimir o componente de modo direto. A geração do sinal acústico pode incluir a geração de um sinal acústico centralizado no cimento através da geração de formas de onda configuradas para suprimir o componente de modo direto em um sinal acústico de resposta modificado resultante. A geração do sinal acústico pode incluir a estimativa de um valor ideal para pelo menos um parâmetro de excitação para que uma fonte de excitação acústica produza uma onda guiada de múltiplos modos misturados em um tubular. A geração do sinal acústico pode incluir a focalização do sinal acústico no cimento. A geração do sinal acústico pode incluir a geração de um feixe acústico com múltiplos tons. O tubular pode ser um dentre uma pluralidade de tubulares aninhados. A pluralidade pode incluir um segundo tubular mais próximo a uma ferramenta no poço que gera o sinal acústico do que ao tubular.

[0006] Os métodos descritos acima utilizam implicitamente ao menos um processador. Algumas modalidades incluem um produto de mídia legível por computador não transitória acessível ao processador e que tem instruções no mesmo que, quando executadas, fazem com que o pelo menos um processador

realize os métodos descritos acima. As modalidades do aparelho podem incluir, em adição ao equipamento de medição e aparelho de transporte de poço especializados, pelo menos um processador e uma memória de computador acessível ao pelo menos um processador, que compreende uma mídia legível por computador contendo instruções que, quando executadas, fazem com que o pelo menos um processador execute os métodos descritos acima.

[0007] Exemplos de alguns recursos da revelação podem ser aqui resumidos de forma razoavelmente ampla para que a descrição detalhada dos mesmos a seguir possa ser mais bem compreendida e para que as contribuições que os mesmos representam para a técnica possam ser reconhecidas.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0008] Para um entendimento detalhado da presente revelação, deve-se fazer referência à seguinte descrição detalhada das modalidades, tomada em conjunto com os desenhos anexos, nos quais elementos similares receberam numerais similares, em que:

[0009] A Figura 1 ilustra uma ferramenta de perfilagem acústica de acordo com modalidades da presente revelação.

[0010] A Figura 2 mostra uma vista esquemática axial que ilustra a avaliação de cimento através da tubulação de acordo com as modalidades da presente revelação.

[0011] A Figura 3A é uma vista esquemática lateral que ilustra uma ferramenta de acordo com modalidades da presente revelação.

[0012] A Figura 3B mostra uma ferramenta de acordo com modalidades da presente revelação implementada com uma matriz de transmissores de múltiplos elementos integrados.

[0013] A Figura 4A ilustra uma ferramenta de perfilagem de acordo com modalidades da presente revelação.

[0014] A Figura 4B ilustra uma outra ferramenta de perfilagem de acordo com modalidades da presente revelação.

[0015] A Figura 5 mostra um fluxograma que ilustra métodos para inspecionar um componente de infraestrutura de campos petrolíferos de acordo com modalidades da presente revelação.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0016] Aspectos da presente revelação se referem a aparelhos e métodos para perfilagem de poço, incluindo a medição e a interpretação dos fenômenos físicos indicativos de parâmetros de interesse relacionados à instalação de tubulares na formação (por exemplo, propriedades do cimento que liga o revestimento a uma formação). As modalidades aqui descritas são particularmente adequadas para múltiplos tubulares aninhados, como, por exemplo, tubulares de diferentes diâmetros que são concêntricos entre si. As modalidades aqui descritas são particularmente adequadas para inspeção de perfilagem da aderência do cimento.

[0017] A geração de sinais acústicos e a detecção de reflexões desses sinais para um único tubular são bem conhecidas, e essas reflexões podem ser convencionalmente processadas para estimar a espessura do cimento, a qualidade da aderência do cimento, e assim por diante. A avaliação do cimento pode ser realizada com base no uso de queda de amplitude de sinal detectado para avaliar a espessura do revestimento, densidade do cimento e integridade da aderência.

[0018] Os transdutores acústicos eletromagnéticos (EMATs, Electromagnetic-acoustic transducers) são usados em testes não destrutivos, inclusive no poço, com o uso de fenômenos físicos bem compreendidos. Em um tipo de EMAT, quando um fio é colocado perto da superfície de um objeto eletricamente condutivo e é acionado por uma corrente a uma frequência ultrassônica adequada, correntes parasitas são induzidas em uma região de superfície próxima do objeto. Se um campo magnético estático também estiver presente, as correntes parasitas experimentam forças de Lorentz. Essas forças causam uma excitação acústica no objeto. Em uma utilização recíproca, um sinal elétrico será gerado no fio como um resultado da excitação acústica em um metal colocado próximo a um magneto permanente. A atenuação e/ou a reflexão das ondas acústicas mostram

informações sobre os defeitos e arredores do objeto. Consulte, por exemplo, o pedido de patente US n° 15/288.092 de Kouchmeshky et al, que é de propriedade comum e aqui incorporado a título de referência em sua totalidade.

[0019] A perfilagem de aderência do cimento ("CBL", cement bond logging) por atenuação de onda guiada mede a atenuação de onda ao longo de uma direção circunferencial do revestimento. Múltiplos transmissores e receptores podem ser colocados dentro do revestimento para medições de atenuação compensadas. Consulte, por exemplo, a patente US n° 7.660.197 de Barolak et al., e a patente US n° RE43.960 de Barolak et al., aqui incorporadas a título de referência em suas totalidades. As propriedades mecânicas (por exemplo, módulo de Young, módulo de cisalhamento) da camada de cimento atrás do revestimento determinam a atenuação das ondas. Um EMAT pode ser projetado para produzir uma forma de onda única, como ondas horizontais de cisalhamento (SH, shear horizontal) ou ondas de Lamb.

[0020] A avaliação do cimento em mais de um único revestimento, no entanto, se torna problemática ao ponto de ser impraticável. A presente revelação usa métodos sísmicos para conduzir a avaliação quanto à aderência do cimento suprimindo-se modos diretos e observando-se o campo de onda refletida tardio. A supressão pode ser alcançada com o uso de um ou mais transmissores juntamente com múltiplos receptores para suprimir a excitação da tubulação e focar na resposta do cimento. Os transmissores adicionais podem ser empregados para direcionamento de feixe de energia acústica para suprimir modos diretos. Fontes de compressão e cisalhamento poderiam ser usadas. Tanto a fonte quanto o receptor (ou receptores) poderiam ser implementados como um EMAT, sensores acoplados de fluido acústico, transdutores convencionais, e assim por diante. Um EMAT pode oferecer aperfeiçoamento movendo-se o ponto de fonte/receptor para a tubulação ou primeiro revestimento.

[0021] Várias metodologias acústicas podem ser empregadas para transmitir e receber sinais acústicos, incluindo onda guiada, operação tandem (pitch-catch), eco-impulso, e assim por diante. A formação de feixes e outras técnicas podem ser usadas para focalizar a interação acústica no cimento. Várias técnicas para aumento

de sinal podem também ser alavancadas, incluindo ondas de ressonância dupla, modos de onda de mistura, estimativa de diferenças não lineares no sinal e similares.

[0022] Os métodos incluem realizar a avaliação de aderência do cimento no cimento fora de uma segunda coluna (por exemplo, revestimento de aço) atrás (por exemplo, fora) de uma primeira coluna (por exemplo, tubulação). O volume entre a primeira e a segunda colunas pode ser preenchido com fluido, que tem impedância relativamente baixa. Esse vão de baixa impedância torna desafiadora a recuperação de sinais suficientes para estimar as propriedades do cimento. Os métodos podem empregar uma matriz de locais de transmissor e receptor para suprimir a primeira interferência de coluna e permitir a análise da ressonância da segunda coluna de revestimento.

[0023] Adicionalmente, filtragem, modelagem e processamento podem ser usados para gerar um sinal acústico modificado para suprimir o componente de modo direto em um sinal acústico de resposta modificado resultante. Por exemplo, pode ser usada a análise da amplitude versus deslocamento (AVO). A mitigação com base em fonte, com base em receptor e de processamento, conforme descrito aqui, pode ser usada individualmente para aplicações simplificadas ou econômicas ou combinadas para um maior efeito.

[0024] Aspectos da revelação podem incluir a estimativa de uma propriedade do cimento que circunda um tubular em uma formação de solo. A estimativa da propriedade pode ser executada por meio de: geração de um sinal acústico com uma ferramenta de perfilagem no poço, e estimativa da propriedade em dependência de um campo de onda refletido tardio de um sinal acústico de resposta modificado, sendo que o sinal acústico de resposta modificado é produzido pela supressão de um componente de modo direto. A geração do sinal acústico pode incluir a geração de um sinal acústico centralizado no cimento através da geração de formas de onda configuradas para suprimir o componente de modo direto em um sinal acústico de resposta modificado resultante.

[0025] Recentemente, foram desenvolvidas técnicas para uso de ondas de propagação de cisalhamento para imageamento de fraturas e características fora da região próxima ao poço (por exemplo, imageamento de onda de cisalhamento profundo). Uma "onda de propagação", como usado aqui, se refere a uma onda que se propaga através de um meio em vez de ao longo de uma interface. Estas ondas de propagação de cisalhamento podem ser criadas por uma ferramenta acústica multipolo e são úteis no imageamento de campo distante. Uma região ao redor de um poço pode ser descrita como incluindo uma região de campo próximo e uma região de campo distante. Uma região de campo próximo inclui a superfície de um poço e pode estender-se lateralmente até a formação. A região de campo distante pode se estender a dezenas de metros do furo de poço. Sinais de imageamento de onda de cisalhamento profundo (DWSI, deep shear wave imaging) podem ser propagados para a região de campo distante.

[0026] Os aspectos da presente revelação se referem ao uso de pelo menos um sensor acústico como parte de uma ou mais ferramentas de perfilagem acústica de fundo de poço ou sistemas de sensor distribuídos para produzir informações acústicas responsivas a uma onda acústica proveniente da formação de solo. O sensor pode incluir pelo menos um transmissor acústico configurado e pelo menos um receptor acústico disposto em um veículo no poço, e configurado para implementar técnicas da presente revelação, conforme descrito em mais detalhes abaixo. Um receptor e um transmissor podem ser implementados como o mesmo transdutor, transdutores diferentes, ou uma ou mais matrizes de transdutores. Os transdutores podem ser selecionados do grupo que consiste em: (i) transdutores acústicos eletromagnéticos ("EMATs"), transdutores piezelétricos (ii) e transdutores de cunha (iii). As informações são indicativas de um parâmetro de interesse. O termo "informações", como usado aqui, inclui qualquer forma de informações (analógicas, digitais, EM, impressas, etc.), e pode incluir um ou mais dentre: dados brutos, dados processados e sinais.

[0027] A Figura 1 ilustra uma ferramenta de perfilagem acústica de acordo com modalidades da presente revelação. A ferramenta 110 é configurada para ser

transportada em um poço que intersecciona uma formação 180. A parede do poço 140 é alinhada com o revestimento 130 preenchido com um fluido de fundo de poço 160, como, por exemplo, fluido de perfuração. O cimento 120 preenche a região anular entre a parede de poço 140 e o revestimento 130. Em uma modalidade ilustrativa, a ferramenta 110 pode conter uma unidade sensora 150, compreendendo transmissores e receptores, que pode incluir, por exemplo, um ou mais EMATS, incluindo uma matriz de magnetos e pelo menos uma bobina sensora (ou outros transdutores acústicos), e é configurada para avaliação da aderência do cimento existente entre o sistema do revestimento 130, a parede do poço 140 e o cimento 120 de acordo com técnicas conhecidas. A unidade sensora 150 pode incluir circuitos eletrônicos configurados para registrar e/ou processar as informações obtidas, ou esses circuitos eletrônicos podem estar em outra parte da ferramenta 110 ou na superfície.

[0028] O sistema 101 pode incluir uma torre de perfuração convencional 170. Um dispositivo de transporte (transportador 115), que pode ser rígido ou não rígido, pode ser configurado para transportar a ferramenta de fundo de poço 110 no furo de poço 140 próximo à formação 180. O transportador 115 pode ser um cabo de aço, uma tubulação em espiral, um cabeamento "slickline", um cabeamento "e-line", uma coluna de perfuração, etc. A ferramenta de fundo de poço 110 pode ser acoplada ou combinada com ferramentas adicionais. Portanto, dependendo da configuração, a ferramenta 110 pode ser usada durante a perfuração e/ou após o furo de poço (poço) 140 ser formado. Embora um sistema terrestre seja mostrado, os ensinamentos da presente revelação podem também ser usados em aplicações submarinas ou offshore. O transportador 115 pode incluir condutores embutidos para energia e/ou dados para o fornecimento de sinais e/ou comunicação de energia entre a superfície e o equipamento de fundo de poço. O veículo 115 pode incluir um conjunto de interior de poço, o que pode incluir um motor para girar uma broca de perfuração.

[0029] Certas modalidades da presente revelação podem ser implementadas com um ambiente de hardware 21 que inclui um processador de informações 17, uma mídia de armazenamento de informações 13, um dispositivo de entrada 11,

uma memória de processador 9, e pode incluir uma mídia de armazenamento de informações periférica 19. O ambiente de hardware pode estar no poço, na sonda ou em um local remoto. Além disso, os vários componentes do ambiente de hardware podem ser distribuídos entre aqueles locais. O dispositivo de entrada 11 pode ser qualquer leitor de dados ou dispositivo para inserção de dados pelo usuário, como leitor de cartão de dados, teclado, porta USB, etc. A mídia de armazenamento de informações 13 armazena informações fornecidas pelos detectores. A mídia de armazenamento de informações 13 pode incluir qualquer mídia legível por computador não transitória para armazenamento de informações de computador padrão, como uma unidade USB, cartão de memória, disco rígido, memória RAM removível, EPROMs, EAROMs, memórias flash e discos ópticos ou outro sistema de armazenamento de memória comumente usados conhecido pelo versado na técnica, incluindo armazenamento à base de Internet. A mídia de armazenamento de informações 13 armazena um programa que, quando executado, faz com que o processador de informações 17 execute o método revelado. A mídia de armazenamento de informações 13 pode também armazenar as informações de formação fornecidas pelo usuário, ou as informações de formação podem ser armazenadas em uma mídia de armazenamento de informações periférica 19, que pode ser qualquer dispositivo de armazenamento de informações de computador padrão, como uma unidade USB, cartão de memória, disco rígido, memória RAM removível, ou outro sistema de armazenamento de memória comumente usado conhecido pelo versado na técnica, incluindo armazenamento à base de Internet. O processador de informações 17 pode ter qualquer forma de computador ou hardware de processamento matemático, incluindo hardware à base de Internet. Quando o programa é carregado a partir da mídia de armazenamento de informações 13 na memória de processador 9 (por exemplo, RAM de computador), o programa, quando executado, faz com que o processador de informações 17 recupere informações de detector a partir da mídia de armazenamento de informação 13 ou

mídia de armazenamento de informações periférica 19 e processe as informações para estimar um parâmetro de interesse. O processador de informações 17 pode estar situado sobre a superfície ou no interior de poço.

[0030] A Figura 2 mostra uma vista esquemática axial que ilustra a avaliação de cimento através da tubulação de acordo com as modalidades da presente revelação. A tubulação 208 está situada no revestimento 204 e é preenchida com fluido 210. O fluido 212 preenche a região anular 202 entre a tubulação 208 e o revestimento 204. Os fluidos 210 e 212 podem ser fluido de completação, água salgada e similares.

[0031] A Figura 3A é uma vista esquemática lateral que ilustra uma ferramenta de acordo com modalidades da presente revelação. A ferramenta 310 compreende um transmissor 302 e uma matriz de receptores 304 que compreende os receptores $R_1, R_2 \dots R_n$. A tubulação 308 está situada no revestimento 310 e é preenchida com fluido 303. O fluido 305 preenche a região anular A entre a tubulação 308 e o revestimento 310. Os fluidos 303 e 305 podem ser fluido de completação, água salgada e similares. Em algumas implementações, a matriz de transmissor 302 e receptor 304 compreende EMATs. O uso de múltiplos receptores permite a supressão da excitação de tubulação e a focalização na resposta do revestimento. Se um sólido estiver presente na região anular A, uma fonte de cisalhamento pode ser usada.

[0032] Com referência à Figura 3B, a ferramenta 350 pode ser implementada com uma matriz de transmissores de múltiplos elementos integrados 352. A matriz 352 pode ser configurada com elementos 356a a 356f tendo uma largura de elemento de 9,0 mm, corte de 1,0 mm, descentralização de 12,5 mm, operando a 100 kHz. Os transdutores podem ser implementados como transdutores empilhados de múltiplas camadas. Por exemplo, uma pilha de quatro camadas preenchida com óleo de transdutores piezocerâmicos pode ser usada para um único transmissor de uma matriz. A pilha pode ter um suporte absorvente e uma camada correspondente que faz interface com parte voltada para a frente, que pode ser, por exemplo, inonel ou outro material resistente à corrosão. Em um exemplo, a pilha de transdutores pode ser acionada em uma faixa de 20 a 500 kHz.

[0033] O material da face frontal do transdutor pode ter uma velocidade de compressão lenta, por exemplo, próxima àquela do material de bloco, se em um gabinete de bloco. Uma velocidade de compressão baixa no bloco e no fluido (por exemplo, mais lenta do que a velocidade de cisalhamento da formação) excitará as ondas principais tanto de compressão como de refração de cisalhamento. Para formações acusticamente lentas (velocidade de cisalhamento menor do que velocidade de fluido), uma onda principal de cisalhamento pode não ser excitada, e apenas ondas principais de compressão podem ser medidas com o método de refração.

[0034] O material de bloco, se usado como janela frontal de transdutor, pode ter uma velocidade de compressão menor ou próxima à velocidade de fluido no poço, ou menor que a velocidade de cisalhamento na formação. Diferentes seções do bloco podem compreender materiais diferentes para corresponder à medição pretendida. O material de bloco pode proporcionar proteção, bem como correlacionamento acústico (por exemplo, correlacionamento de impedância e/ou de quarto de onda) para saída de sinal máxima. A espessura do bloco em contato próximo (ou um vão separador de fluido) pode ser selecionada para permitir que o feixe ultrassônico seja totalmente desenvolvido para minimizar interferência de campo próximo. O amortecimento acústico no material de bloco também pode ser desejável para reduzir o modo de ferramenta direto e reflexões de furo do poço. O uso de plástico reforçado ou material de borracha pode ser implementado. Profundidade variável de focalização pode ser usada para focalizar em uma região anular do cimento para obtenção de feixes incidentes ideais. Os respectivos feixes acústicos podem ter diferentes frequências de disparo para excitar ondas principais p e s da formação para cada profundidade de penetração diferente. Uma varredura de direcionamento de feixe lateral, ou direcionamento lateral variável, ao longo de uma faixa de ângulos incidentes pode ser usada. Quando usada juntamente com detecção de sinal do receptor, atraso de eco e cálculo de lentidão de modo, essa técnica pode permitir ângulos incidentes ideais para sensibilidade máxima de onda principal para um dado volume, por exemplo, a região anular preenchida com cimento.

[0035] Além disso, filtragem, modelagem e processamento de dados de medição podem ser usados para gerar um sinal acústico modificado para suprimir o componente de modo direto em um sinal acústico de resposta modificado resultante. Por exemplo, pode ser usada a análise da amplitude versus deslocamento (AVO). Após a separação de uma resposta relacionada a cada tubular, a resposta atribuível à aderência do cimento ao tubular externo pode ser determinada e as propriedades estimadas. Em alguns casos, a resposta próxima ("interna") ao tubular pode ser modelada primeiro e, então, cancelada do sinal acústico. A modelagem da resposta próxima ao tubular pode ser executada com o uso de dados a priori ou dados de sensores adicionais, como, por exemplo, sensores nucleares ou eletromagnéticos.

[0036] As modalidades incluem a execução de uma inversão dos dados de levantamento do revestimento de múltiplos liners de revestimento de fundo de poço e componentes de instalação de completação com base em medições tridimensionais de resistividade de forma de onda senoidal no domínio da frequência de baixas frequências colocadas e medições tridimensionais de transientes EM feitas com uma ferramenta de indução multicomponente. Ou seja, uma descrição estrutural geométrica dos múltiplos liners de revestimento e do poço (DI e DE de cada liner de revestimento; excentricidade de cada liner; formato de cada liner; defeitos; etc.) pode ser derivada da combinação de informações de medição EM em resposta a um ou mais revestimentos de tubulação. Embora o exemplo de revestimento como o tubular seja usado, a aplicação das técnicas aqui descritas não é tão limitada.

[0037] Essa descrição estrutural geométrica pode então ser usada para interpretar dados de outras medições realizadas no mesmo volume de meio circundante e local de profundidade, e relacionada às mesmas estruturas de revestimento. A avaliação conjunta pode incluir processamento de imagens unidimensionais (1D), bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D) e/ou sua inversão baseada em um modelo direto, e assim por diante, e pode ser complementada com informações obtidas de outras medições de perfilagem auxiliares, como, por exemplo, para a produção de condições de contorno.

[0038] Em um exemplo, a interpretação é executada de dentro para fora começando com o tubular mais interno. Uma sequência de interpretação pode incluir interpretação de medições de avaliação de um primeiro tubular (mais próximo) com base em medições de fluxo magnético. A interpretação dos dados de avaliação do primeiro tubular pode ser utilizada para ajudar na avaliação do segundo tubular mais próximo, e assim por diante com outros tubulares na sequência. Subsequentemente, as medições de domínio da frequência senoidal de baixas frequências podem ser executadas para cada tubular subsequente em ordem a partir do menor diâmetro para o maior diâmetro, seguido por dados de medição de transientes.

[0039] A aquisição do campo de onda refletida tardio pode ser executada por separação e migração do campo de onda. Dessa forma, sinais apenas do revestimento, ou de outros refletores, podem ser isolados. Por exemplo, conforme descrito acima, dados acústicos podem ser obtidos com o uso de uma pluralidade de sensores acústico, cada um em um dentre uma pluralidade de locais espaçados em um furo de poço (por exemplo, em uma ferramenta), responsivos à ativação de uma fonte. Um espectro de um campo de onda que se desloca em uma primeira direção pode ser obtido separando-se o campo de onda de um segundo campo de onda que se desloca em uma segunda direção. A absorção pode ser modelada para o cimento para pelo menos um par dentre a pluralidade de sensores minimizando-se uma função objetiva com base em uma relação entre os espectros dos sensores. Ver também, patente US nº 6.930.616 de Tang et al., aqui incorporada a título de referência em sua totalidade.

[0040] Outras modalidades podem usar análogos de inversão completa de forma de onda para estimar as propriedades da aderência. Inversão completa de forma de onda (FWI, full waveform inversion) é um método de inversão de dados acústicos para inferir propriedades da subsuperfície do solo que afetam a propagação da onda. Um mecanismo de modelagem direta pode usar diferença finita ou outros métodos computacionais para modelar a propagação de ondas acústicas através do revestimento e do cimento. A estimativa exata de uma ondeleta de origem desempenha uma função crucial na FWI. As aplicações geofísicas para estimativa de

ondeleta foram estudadas extensivamente. A estimativa de ondeleta pode ser executada com o uso de entradas direta ou ondas refratadas, ou conduzida com eliminação múltipla relacionada à superfície. Ver Wang, Geophysics, volume 72. N° 2 (março de 2007), Verschuur et al., Geophysics, volume 57. N° 9 (setembro de 1992).

[0041] A Figura 4A ilustra uma ferramenta de perfilagem de acordo com modalidades da presente revelação. A ferramenta 430 pode ser conectada a outras ferramentas de fundo de poço, acima e/ou abaixo da ferramenta 430, como ferramentas de perfuração, ferramentas de estímulo, ferramentas de moagem, cilindros, e assim por diante, como parte de um conjunto de ferramentas. A ferramenta 430 pode ser configurada para transporte no tubular de revestimento aninhado 434a e 434b e configurada para detectar características de infraestrutura 433 externas ao revestimento 434a e 434b. A ferramenta 430 inclui um conjunto de transdutor de feixe acústico 432 girado por uma seção de motor 431. Uma matriz de ferramentas 3D de transientes EM ou múltiplas frequências 434 pode residir entre braços de centralização 436. Os braços de centralização podem forçar um bloco de matriz de sensores 437 contra a parede interna do tubular de revestimento mais interno. O bloco de matriz de sensores 437 pode incluir um detector de fluxo magnético e/ou um transdutor de feixe acústico montado no bloco, conforme descrito em mais detalhes abaixo.

[0042] A Figura 4B ilustra uma outra ferramenta de perfilagem de acordo com modalidades da presente revelação. A ferramenta de perfilagem 474 tem vários blocos extensíveis (por exemplo, de 4 a 6 blocos ou mais) que. A ferramenta 300 pode ser disposta no suporte 471 interseccionando a formação de solo 473. A ferramenta 474 pode incluir um corpo (por exemplo, BHA, gabinete, invólucro, coluna de perfuração, corpo de ferramenta de cabo de aço) 476 que tem blocos 478 estendidos sobre dispositivos de extensão 477. Dois blocos são mostrados para propósitos de ilustração e, na prática real, pode haver mais ou menos blocos, como dois blocos, três blocos (por exemplo, separados por cerca de 120 graus circunferencialmente) ou seis blocos (por exemplo, separados por cerca de 60 graus). Os dispositivos de extensão podem ser operados de modo elétrico, eletromecânico, mecânico ou hidráulico. Com

os dispositivos de extensão totalmente estendidos, os blocos podem engatar no furo de poço 480 e realizar medições indicativas de pelo menos um parâmetro de interesse da formação de solo ou infraestrutura do poço (por exemplo, revestimento). Tais dispositivos são bem conhecidos na técnica. Ver, por exemplo, patente US nº 7.228.903 de Wang et al., e pedido de patente US nº de série 15/291/797, aqui incorporados a título de referência em sua totalidade.

[0043] Alternativa ou adicionalmente, a geração de sinais acústicos pode ser executada por modos de onda guiada misturados excitantes no tubular. A natureza multimodal dessas ondas guiadas resulta em modos diferentes que têm velocidades, atenuações e amplitudes de onda diferentes. Se múltiplos modos forem misturados um ao outro, as medições de atenuação podem ter erros muito grandes. Normalmente, a resposta de atenuação de uma onda guiada é derivada de relações de dispersão com o uso de uma única frequência. No entanto, essa abordagem não considera o efeito de excitação da fonte. A atenuação no domínio de frequência pode ser muito diferente das medições de atenuação das formas de onda no domínio do tempo.

[0044] Devido à natureza multimodal das ondas guiadas, a otimização da excitação para um volume-alvo (por exemplo, a região anular de cimento) é altamente benéfica. Os aspectos da presente revelação podem incluir a estimativa de um valor ideal para pelo menos um parâmetro de excitação para que uma fonte de excitação acústica produza uma onda guiada de múltiplos modos misturados no tubular. Ver o pedido de patente nº de série 15/809.779 "Guided Wave Attenuation Well Logging Excitation Optimizer Based on Waveform Modeling" de Yao et al., aqui incorporado a título de referência em sua totalidade. As respostas de atenuação de onda guiada determinadas diretamente a partir das formas de onda de modelagem com a influência da fonte de excitação são usadas para estimar as propriedades do cimento.

[0045] Yao revela sistemas, dispositivos, produtos e métodos de perfilagem de poço com o uso de uma ferramenta de perfilagem em um poço em uma formação de solo. O volume pode incluir pelo menos um tubular, e a propriedade pode incluir a relação de múltiplos tubulares entre si, a relação de um tubular (por exemplo,

revestimento) com outro componente, propriedades de materiais de ligação, adesivos, tratamentos, fluidos e a formação em torno do revestimento, e assim por diante. Os aspectos da revelação podem ser úteis para a excitação de modos de onda guiada em tubulares como parte de qualquer técnica aqui descrita.

[0046] O termo "informações", para uso na presente invenção, inclui qualquer forma de informação (analógica, digital, EM, impressa, etc.). Para uso na presente invenção, um processador é qualquer dispositivo de processamento de informações que transmite, recebe, manipula, converte, calcula, modula, transpõe, carrega, armazena ou de outro modo usa informações. Em vários aspectos não limitadores da revelação, um dispositivo de processamento de informações inclui um computador que executa instruções programadas para realizar vários métodos. Essas instruções podem proporcionar a operação do equipamento, o controle, a coleta e a análise de dados e outras funções além das funções aqui descritas. O processador pode executar instruções armazenadas em uma memória de computador acessível ao processador, ou pode empregar uma lógica implementada como uma matriz de portas programável em campo (FPGAs), circuitos integrados de aplicação específica (ASICs), outro hardware lógico combinatório ou sequencial, e assim por diante.

[0047] Em uma modalidade, os circuitos eletrônicos associados aos transdutores podem ser configurados para obter as medições à medida que a ferramenta se desloca ao longo do eixo geométrico longitudinal do poço ("axialmente") com o uso do sensor 150. Essas medições podem ser substancialmente contínuas, as quais podem ser definidas como sendo repetidas em incrementos muito pequenos de profundidade, de modo que as informações resultantes tenham resolução e escopo suficientes para fornecer uma imagem de parâmetros de tubular (por exemplo, propriedades do tubular ou da infraestrutura de suporte).

[0048] Em outras modalidades, todos os ou uma porção dos circuitos eletrônicos podem estar situados em outro local (por exemplo, na superfície, ou remotamente). Para executar os tratamentos durante uma única viagem, a ferramenta pode usar uma transmissão de largura de banda alta para transmitir para a superfície as informações

adquiridas pelo sensor 150 para análise. Por exemplo, uma linha de comunicação para transmitir as informações adquiridas pode ser uma fibra óptica, um condutor de metal ou qualquer outro meio de condução de sinal adequado. Deve-se observar que o uso de uma linha de comunicação de "largura de banda alta" pode permitir que o pessoal da superfície monitore e controle as operações "quase em tempo real".

[0049] Um ponto inovador do sistema ilustrado acima é que o pelo menos um processador pode ser configurado para executar certos métodos (discutidos abaixo) que não estão contemplados na técnica anterior. Um sistema de controle de superfície e/ou sistema de controle de fundo de poço pode ser configurado para controlar a ferramenta descrita acima e quaisquer sensores incorporados, e para estimar um parâmetro de interesse de acordo com os métodos aqui descritos.

[0050] Em algumas modalidades gerais, pelo menos um processador do sistema (por exemplo, um ou mais de qualquer um dentre um processador na superfície, um processador no fundo do poço ou um processador remoto) pode ser configurado para usar transmissores acústicos monopolo e/ou multipolo (por exemplo, dipolo) para emitir pulsos de energia acústica que geralmente se deslocam radialmente para fora a partir dos transmissores e usar pelo menos um receptor acústico para produzir um sinal correspondente, responsivo a uma reflexão de uma onda emitida. Pelo menos um dos processadores pode também ser configurado para avaliar o cimento que circunda o tubular a partir das informações correspondentes a esse sinal. Em funcionamento, uma porção de ondas geradas pelo transmissor reflete a partir do cimento provocando uma resposta no receptor. As ondas geradas pelo transmissor são especificamente configuradas para interagir com o cimento, de modo que a interação tenha características que produzem sinal viável no receptor. Dessa forma, cada receptor produz uma resposta indicativa do cimento. Por exemplo, a frequência pode ser especificamente escolhida para a resposta desejada.

[0051] Para configurações dipolo, um processador da ferramenta direciona uma ou mais fontes dipolo para transmitir energia para o poço e a formação. Por exemplo, a fonte dipolo pode transmitir em uma direção "x" estendendo-se na direção contrária

ao poço, que é tipicamente perpendicular ou substancialmente perpendicular ao eixo geométrico longitudinal do poço e da ferramenta (a direção "z"). São geradas ondas flexurais que tipicamente podem refletir e fornecer leituras de até cerca de 2 a 4 pés radialmente na formação (região de campo próximo). A distância máxima possível pode ser chamada de zona de campo próximo. Ondas de propagação, que podem ser refletidas de volta ao poço, podem ser detectadas como sinais atrasados e fracos em relação a sinais de onda flexural refletidos. A região ao redor do poço pode ser dividida em uma região de campo próximo que se estende lateralmente (por exemplo, perpendicular ao eixo geométrico do poço) até uma primeira distância do poço e uma região de campo distante que se estende lateralmente a partir da primeira distância até uma segunda distância. A região de campo próximo, conforme definido aqui, pode significar a partir do poço até a distância mais distante que as ondas flexurais podem se estender e retornar sinais refletidos detectáveis.

[0052] A fonte pode compreender uma fonte dipolo que gera dois tipos diferentes de ondas de propagação de cisalhamento na formação: uma onda de cisalhamento vertical (SV) alinhada com a fonte dipolo e polarizada na direção "x" e uma onda de cisalhamento horizontal (SH) polarizada na direção "y". A fonte dipolo pode operar a uma frequência de 2 a 3 kHz. Em modalidades, a fonte gera ondas de propagação de cisalhamento que irradiam em direção à formação no cimento e são refletidas por um contorno entre o cimento e o tubular ou o cimento e a formação. A técnica de processamento inclui um modo de onda direto que precisa ser suprimido.

[0053] As técnicas de processamento acima podem ser usadas em conjunto com outras técnicas para avaliação acústica, como imageamento ultrassônico, análise de Stoneley e avaliação de onda de cisalhamento azimutal de dipolo cruzado, que tipicamente investigam uma área limitada em torno de um poço, por exemplo, 2 a 4 pés. Ferramentas acústicas ultrassônicas fornecem uma melhor resolução devido a sua alta diretividade.

[0054] Infelizmente, em frequências ultrassônicas, sinais acústicos não podem penetrar abaixo da pele do tubular mais interno, em parte devido à frequência de

ressonância mais baixa do sistema acústico representado pela instalação de múltiplos liners. Modalidades podem também excitar uma onda acústica que se aproxima das ressonâncias de diferentes camadas de revestimento e cimento, o que melhora a penetração de ondas.

[0055] A tomada de medições acústicas de perfilagem de poço pode ser executada gerando-se um feixe acústico giratório com múltiplos tons a partir de pelo menos um transmissor na ferramenta, em que o feixe compreende um sinal de alta frequência modulado por um envelope de baixa frequência, sendo que o sinal de alta frequência inclui um primeiro subsinal em uma primeira frequência e um segundo subsinal em uma segunda frequência; e gerando-se informações de medição em pelo menos um receptor acústico na ferramenta de perfilagem em resposta a uma pluralidade de reflexões acústicas do feixe acústico a partir de pelo menos um volume de cimento na formação. Um feixe acústico pode ser definido como uma emissão acústica de abertura limitada. A propriedade do volume é estimada a partir das informações de medição.

[0056] O feixe pode ser girado, por exemplo, girando-se um transdutor empilhado através de uma pluralidade de orientações azimutais. Pelo menos uma dentre a primeira frequência e a segunda frequência pode corresponder a uma frequência de ressonância do pelo menos um tubular. O sinal de alta frequência pode ter uma frequência maior que 350 Hz; o envelope de baixa frequência pode ter uma frequência menor que 100 Hz. O feixe acústico com múltiplos tons pode ter um campo de feixe lateral de dimensões substancialmente iguais às do sinal de alta frequência. Como um exemplo, ondas acústicas correspondendo ao feixe acústico com múltiplos tons gerado se deslocam através de múltiplos liners no poço batendo em cada interface, cujas porções são refletidas de volta e recebidas pelo ao menos um receptor acústico.

[0057] A avaliação de cimento pode depender da detecção da frequência de ressonância e da deterioração da amplitude de sinal para avaliar a integridade da aderência. Um sistema de múltiplos tubulares (por exemplo, revestimentos duplos com diferentes espessuras) pode ter múltiplos modos de ressonância. Os modos geralmente incluem modos que correspondem a ressonâncias de cada

revestimento, ressonâncias do sistema compósito e ressonâncias harmônicas. Para maximizar a penetração de energia de a sensibilidade de sinal, a excitação da ressonância de revestimento é normalmente necessária. A seleção de frequências pode ser executada em função desses modos de ressonância.

[0058] Os modelos matemáticos, tabelas de consulta, ou outros modelos que representam as relações entre os sinais e os valores das propriedades de formação podem ser usados para caracterizar operações na formação ou a formação em si, otimizar um ou mais parâmetros operacionais de uma produção ou desenvolvimento, e assim por diante. O sistema pode realizar essas ações através de notificações, avisos e/ou controle inteligente.

[0059] A Figura 5 mostra um fluxograma 500 que ilustra métodos para inspecionar um componente de infraestrutura de campos petrolíferos de acordo com modalidades da presente revelação. Na etapa opcional 510, uma ferramenta de perfilagem de poço acústica é transportada na tubulação instalada no poço.

[0060] A etapa 520 compreende estimar um valor ideal para pelo menos um parâmetro de excitação para uma fonte de excitação acústica configurada para a supressão de um componente de modo direto em um sinal acústico de resposta modificado. O pelo menos um parâmetro de excitação pode incluir pelo menos frequência. Essa etapa pode incluir a seleção de frequências adequadas em cada uma dentre uma ou mais fontes acústicas para possibilitar ou facilitar a supressão do modo direto através de processamento (como técnicas sísmicas). Alternativamente, a estimativa do valor ideal para pelo menos um parâmetro de excitação pode incluir a estimativa de um sinal acústico centralizado no cimento. Isso pode ser realizado mediante a geração de uma resposta prevista a partir de modelagem direta de parâmetros candidatos e a seleção de parâmetros candidatos que produzem respostas previstas que suprimem o componente de modo direto em um sinal acústico de resposta modificado resultante. A estimativa do parâmetro de excitação pode incluir a estimativa de um valor ideal para cada um dentre o pelo menos um parâmetro de excitação para produzir uma onda guiada de múltiplos modos misturados no tubular.

Por exemplo, o sinal ideal pode produzir uma onda guiada de múltiplos modos misturados no tubular adjacente ao cimento para estimar as propriedades de cimento de um sinal acústico responsivo à interação da onda guiada com o cimento.

[0061] A estimativa do valor ideal pode ser realizada calculando-se uma relação de dispersão de onda guiada em um domínio de frequência para cada uma dentre uma pluralidade de ondas guiadas simuladas correspondentes a uma pluralidade de valores de frequência; modelando-se cada uma dentre a pluralidade de ondas guiadas simuladas, sendo que a modelagem compreende gerar uma forma de onda no domínio do tempo para cada um dentre a pluralidade de modos de onda em função da fonte de excitação acústica; e com uso de um módulo otimizador de excitação para selecionar o pelo menos um parâmetro de excitação correspondente a uma onda guiada simulada ideal determinada em função da aplicação de critérios de forma de onda às formas de onda no domínio do tempo. As ondas guiadas simuladas podem corresponder a uma pluralidade de valores de teste do pelo menos um parâmetro de excitação.

[0062] A etapa 530 pode incluir a geração de uma onda guiada no componente, como, por exemplo, um tubular (por exemplo, revestimento) com o uso do pelo menos um parâmetro de excitação ideal. A geração do sinal acústico pode compreender focalizar o sinal acústico sobre o cimento, gerar um feixe acústico com múltiplos tons ou similares. O sinal pode ser ajustado iterativamente com base na retroinformação do sinal para minimizar as contribuições de modo direto. A etapa 540 pode incluir a medição de pelo menos uma propriedade de onda de sinal com a ferramenta de perfilagem, como, por exemplo, amplitude, velocidade de onda, velocidade de grupo de diferentes modos, e assim por diante.

[0063] A etapa 550 pode incluir a estimativa de um parâmetro de interesse (por exemplo, uma propriedade) em relação à instalação do revestimento com uso da pelo menos uma propriedade de onda. A estimativa da propriedade pode ser executada com base em um campo de onda refletido tardio do sinal acústico de resposta modificado. Esse sinal de resposta modificado pode ser obtido ajustando-se o sinal acústico de resposta com o uso de processamento sísmico para suprimir o componente de modo

direto, conforme descrito acima. A propriedade pode incluir um dentre i) um módulo de cisalhamento do cimento; ii) um módulo de Young do cimento; iii) esforço compressivo; iv) espessura; v) densidade do cimento; vi) qualidade de aderência, e assim por diante. A etapa 560 compreende a realização de operações adicionais na formação em função da propriedade. As modalidades do método podem incluir o uso de ao menos um processador para executar ao menos um dentre: i) armazenar a pelo menos uma propriedade em uma memória de computador; ii) transmitir ao menos uma propriedade poço acima; ou iii) exibir a ao menos uma propriedade a um engenheiro operacional.

[0064] Uma resposta de modelo direta pode ser estabelecida para a ferramenta de pesquisa de revestimento aplicável usada para obter as medições, como, por exemplo, com base em uma estrutura ideal previamente definida a partir de um conhecimento de infraestrutura anterior. Uma inversão pode ser realizada com a resposta de modelo direta para estabelecer geometria e espessura de poço e revestimento, e variações de corrosão, densidade de cimento e assim por diante. A estimativa de propriedade do cimento pode ser executada por soluções iterativas (por exemplo, correlacionamento de forma de onda) que se invertem para melhorar as propriedades de cimento, como densidade de cimento.

[0065] As etapas opcionais podem incluir modelagem de uma resposta de atenuação de velocidade para cada uma dentre a pluralidade de ondas guiadas simulada, a soma das formas de onda no domínio do tempo estimado para modelar cada onda guiada, e/ou estimar uma janela de processamento para calcular as informações de onda acústica a partir de características de forma de onda no domínio do tempo para pelo menos um dentre a pluralidade de modos de onda. Por exemplo, a atenuação pode ser modelada a partir de uma razão de amplitude de janela da forma de onda no domínio do tempo para pelo menos dois dentre a pluralidade de modos de onda. Outras características podem incluir velocidade, tempo de chegada e outras características de pacote de onda.

[0066] Os métodos podem incluir a detecção de ressonâncias de revestimento por meio de excitação acústica com o uso de uma varredura de frequência ou pulso

de banda larga de curta duração, por exemplo, um transdutor fixado a uma parede do revestimento. Um transmissor pode ser usado para excitar acusticamente o volume de interesse, e os componentes de infraestrutura do poço no mesmo, em uma pluralidade de frequências. Os componentes podem incluir, por exemplo, uma pluralidade de tubulares condutivos aninhados no poço. Um espectro da transformada rápida de Fourier (FFT, Fast Fourier Transform) de um sinal retornado em um receptor responsivo à excitação pode ser gerado. O espectro de FFT é comparado (por exemplo, correlacionado) com espectros de referência determinados a partir de uma faixa de espessuras de revestimento conhecidas e camadas intermediárias para identificar uma frequência de ressonância que corresponde a cada um dentre um ou mais dos componentes. As frequências de ressonância de cada camada de revestimento podem ser identificadas a partir de espectros de referência modelados ou medidos em condições conhecidas. Os resultados da correlação de FFT entre espectros de FFT medidos e de gabarito, e esses resultados de outros atributos de FFT (amplitude, fase e atraso de grupo em torno da frequência de ressonância) podem ser usados para identificar a ressonância de revestimento de cada camada de revestimento e estimar sinais de excitação que produzem múltiplas ressonância — isto é, a ressonância em cada um dentre uma pluralidade tubulares ou outros volumes cilíndricos sob investigação.

[0067] O espectro de FFT pode ser determinado a partir de modelos teóricos ou medido em um ambiente de laboratório com espessuras de revestimento conhecidas e materiais de acoplamento atrás de cada revestimento (isto é, revestimentos internos e externos com boa aderência, revestimento interno com boa aderência e revestimentos externos com fraca aderência, líquido ou gás atrás do revestimento, e assim por diante. A espessura do revestimento é sensível a sua frequência de ressonância e, dessa forma, pode ser estimada com base em correlações conhecidas, conforme descrito acima. A aderência do cimento e o material atrás do revestimento são sensíveis à amplitude de FFT na ressonância, bem como fase e atraso de grupo

em torno da ressonância. Dessa forma, por exemplo, um desvio na frequência de ressonância pode ser usado para detectar uma alteração na espessura da parede.

[0068] O método acima que usa varredura de frequência ou feixe de banda larga de pulsos curtos pode ajudar a detectar a frequência de ressonância para cada camada de revestimento. O uso do feixe acústico com múltiplos tons acima, com rajadas de banda estreita na frequência de ressonância da camada de revestimento, pode ser usado para maximizar a transmissão de sinal para a camada de revestimento. A correlação dos espectros de FFT medidos e de gabarito é vantajosa ao longo da correlação de domínio de tempo, uma vez que preserva as ressonâncias de revestimentos individuais. As respostas de fase e atraso de grupo são também mais sensíveis ao material de carga atrás (e acoplado atrás) do revestimento.

[0069] Métodos opcionais podem incluir o uso do parâmetro de interesse para estimar uma característica de uma formação. A estimativa do parâmetro pode incluir o uso de um modelo. Em algumas modalidades, o modelo pode incluir, mas não se limita a, um ou mais dentre: (i) uma equação matemática, (ii) um algoritmo, (iii) uma técnica de desconvolução, e assim por diante. As informações de referência acessíveis ao processador podem também ser usadas.

[0070] As modalidades do método podem incluir a realização de operações adicionais na formação de solo em função das informações de formação, das propriedades estimadas do refletor(es) ou mediante modelos criados com o uso destes. As operações adicionais podem incluir pelo menos um dentre: i) direcionamento geológico; ii) perfuração de poços adicionais na formação; iii) realizar medições adicionais no revestimento e/ou na formação; iv) estimar parâmetros adicionais do revestimento e/ou da formação; v) instalar equipamentos no poço; vi) avaliar a formação; vii) otimizar o desenvolvimento atual ou futuro na formação ou em uma formação similar; viii) otimizar a exploração atual ou futura na formação ou em uma formação similar; ix) perfurar o poço; e x) produzir um ou mais hidrocarbonetos a partir da formação.

[0071] Os parâmetros de interesse estimados podem ser armazenados (registrados) como informações ou visualmente mostrados em um visor (por exemplo, para um engenheiro operacional). Os parâmetros de interesse podem ser transmitidos antes ou depois do armazenamento ou da exibição. Por exemplo, as informações podem ser transmitidas a outros componentes de fundo de poço ou à superfície para armazenamento, exibição, ou processamento adicional. Os aspectos da presente revelação se referem à modelagem de um volume de uma formação de solo com o uso do parâmetro de interesse estimado, como, por exemplo, mediante a associação de valores de parâmetro estimado com porções do volume de interesse ao qual os mesmos correspondem, ou pela representação do limite e da formação em um sistema de coordenada global. O modelo da formação de solo gerado e mantido em certos aspectos da revelação pode ser implementado como uma representação da formação de solo armazenada como informações. As informações (por exemplo, dados) podem ser transmitidas, armazenadas em uma mídia legível por máquina não transitória, e renderizadas (por exemplo, visualmente representadas) em um visor.

[0072] O processamento das medições por um processador pode ocorrer na ferramenta, na superfície, ou em um local remoto. A aquisição de dados pode ser controlada, pelo menos em parte, pelos componentes eletrônicos. Implícito no controle e processamento dos dados está o uso de um programa de computador em uma mídia legível por máquina não transitória adequada que permite que os processadores realizem o controle e processamento. A mídia legível por máquina não transitória pode incluir ROM, EPROM, EEPROM, memórias flash e discos ópticos. O termo "processador" é destinado a incluir dispositivos como um arranjo de portas programável em campo (FPGA).

[0073] O termo "dispositivo de transporte", como usado acima, significa qualquer dispositivo, componente de dispositivo, combinação de dispositivos, meios e/ou membro que pode ser usado para transportar, alojar, apoiar ou de outro modo facilitar o uso de outro dispositivo, componente de dispositivo, combinação de dispositivos, meios e/ou membro. Os dispositivos de transporte não limitadores

exemplificativos incluem colunas de perfuração do tipo tubo enrolado em espiral, do tipo tubulação unida e qualquer combinação ou porção dos mesmos. Outros exemplos de dispositivo de transporte incluem tubos de revestimento, cabos de aço, sondas a cabo de aço, sondas a cabo de perfilagem, cargas explosivas para lançamento, subs de fundo de poço, BHAs, elementos de inserção de coluna de perfuração, módulos, gabinetes internos e porções de substrato dos mesmos, e tratores autoimpulsionados. Como usado acima, o termo "sub" se refere a qualquer estrutura que é configurada para envolver parcialmente, envolver completamente, alojar, ou sustentar um dispositivo. O termo "informações", para uso acima, inclui qualquer forma de informação (analógica, digital, EM, impressa, etc.). O termo "processador" ou "dispositivo de processamento de informações" na presente invenção inclui, porém não se limita a, qualquer dispositivo que transmite, recebe, manipula, converte, calcula, modula, transpõe, transporta, armazena ou de outro modo utiliza informações. Um dispositivo de processamento de informações pode incluir um microprocessador, memória residente, e periféricos para executar instruções programadas. O processador pode executar instruções armazenadas em uma memória de computador acessível ao processador, ou pode empregar uma lógica implementada como uma matriz de portas programável em campo (FPGAs), circuitos integrados de aplicação específica (ASICs), outro hardware lógico combinatório ou sequencial, e assim por diante. Dessa forma, um processador pode ser configurado para executar um ou mais métodos aqui descritos, e a configuração do processador pode incluir conexão operacional com memória residente e periféricos para executar instruções programadas.

[0074] O termo "cimento", como usado aqui, se refere a um material de ligação manipulado, como o concreto, configurado para aplicação de modo a aderir um tubular à formação ou a uma outra estrutura, e não deve ser confundido com cimentos de preenchimento de fratura natural. Tais cimentos são de ocorrência natural e frequentemente associados a um evento de fluido de fratura e ocorrem como cimentos diagenéticos/precipitados precoces que são associados à

composição de fluido original do evento de estresse do sistema de fluido. Dependendo da química de fluidos do evento de fluido em uma unidade sedimentar específica (por exemplo, carbonato, siliclástico), esses preenchimentos de fratura podem ser tipos de preenchimento de cimento mineral simples, como calcita.

[0075] Em algumas modalidades, a estimativa do parâmetro de interesse pode envolver a aplicação de um modelo. O modelo pode incluir, porém sem limitação, (i) uma equação matemática, (ii) um algoritmo, (iii) um banco de dados de parâmetros associados, ou uma combinação dos mesmos.

[0076] O controle de componentes do aparelho e sistemas descritos na presente invenção pode ser realizado com o uso de um ou mais modelos conforme descrito acima. Por exemplo, pelo menos um processador pode ser configurado para modificar as operações i) autonomamente sob condições de disparo, ii) em resposta a comandos do operador, ou iii) combinações dos mesmos. Tais modificações podem incluir mudar parâmetros de perfuração, conduzir a broca de perfuração (por exemplo, direcionamento geológico), mudar um programa de lama, otimizar as medições e assim por diante. O controle desses dispositivos, e dos diversos processos do sistema de perfuração, geralmente pode ser realizado de uma maneira completamente automatizada ou através de interação com pessoal através de notificações, representações gráficas, interfaces de usuário e similares. As informações de referência acessíveis ao processador podem também ser usadas.

[0077] O processamento das medições feitas em aplicações de cabo de aço ou MWD pode ser feito por um processador de superfície, por um processador de fundo de poço, ou em um local remoto. A aquisição de dados pode ser controlada, pelo menos em parte, pelos componentes eletrônicos de fundo de poço. Implícito no controle e processamento dos dados está o uso de um programa de computador em uma mídia legível por máquina não transitória adequada que permite que os processadores realizem o controle e processamento. A mídia legível por máquina não transitória pode incluir ROM, EPROM, EEPROM, memórias flash e discos

ópticos. O termo "processador" é destinado a incluir dispositivos como um arranjo de portas programável em campo (FPGA).

[0078] Um campo de onda refletido tardio pode ser definido como um campo de onda refletido com uma chegada substancialmente após um campo de onda predominante. Por exemplo, são geradas ondas flexurais que tipicamente podem refletir e fornecer leituras de até cerca de 2 a 4 pés na formação. As ondas que são irradiadas na direção contrária ao poço e se deslocam mais para dentro da formação são chamadas de ondas de propagação, que podem ser refletidas de volta ao poço e são detectadas como sinais atrasados e fracos em relação aos sinais de onda flexural refletidos.

[0079] Embora a revelação anteriormente mencionada seja direcionada às modalidades de um modo da revelação, várias modificações ficarão evidentes para os versados na técnica. Pretende-se que todas as variações sejam abrangidas pela revelação anteriormente mencionada.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para avaliar uma formação de solo intersectada por um poço caracterizado por compreender:

estimar uma propriedade de cimento que circunda um tubular na formação de solo por meio de:

geração de um sinal acústico com uma ferramenta de perfilagem no poço;
estimativa da propriedade em função de um campo de onda refletido tardio de um sinal acústico de resposta modificado, sendo que o sinal acústico de resposta modificado é produzido pela supressão de um componente de modo direto.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender:

receber um sinal acústico de resposta indicativo da propriedade; e
gerar o sinal acústico de resposta modificado ajustando-se o sinal acústico de resposta com o uso de processamento sísmico para suprimir o componente de modo direto.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a geração do sinal acústico compreender a geração de um sinal acústico centralizado no cimento gerando-se formas de onda configuradas para suprimir o componente de modo direto em um sinal acústico de resposta modificado resultante.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por a geração do sinal acústico compreender a estimativa de um valor ideal para pelo menos um parâmetro de excitação para que uma fonte de excitação acústica produza uma onda guiada de múltiplos modos misturados em um tubular.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a geração do sinal acústico compreender a focalização do sinal acústico sobre o cimento.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a geração do sinal acústico compreender a geração de um feixe acústico com múltiplos tons.

7. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por o tubular ser um dentre uma pluralidade de tubulares aninhados.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por a pluralidade compreender um segundo tubular mais próximo a uma ferramenta no poço que gera o sinal acústico do que o tubular.

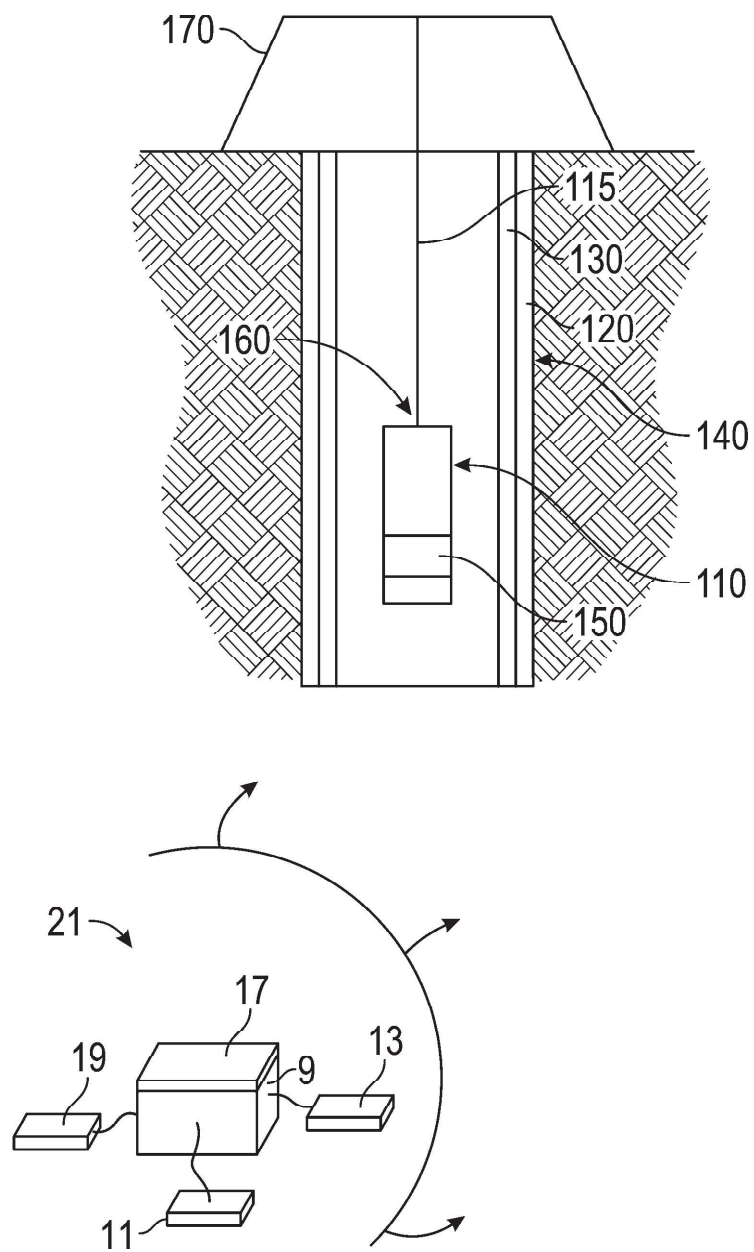


FIG. 1

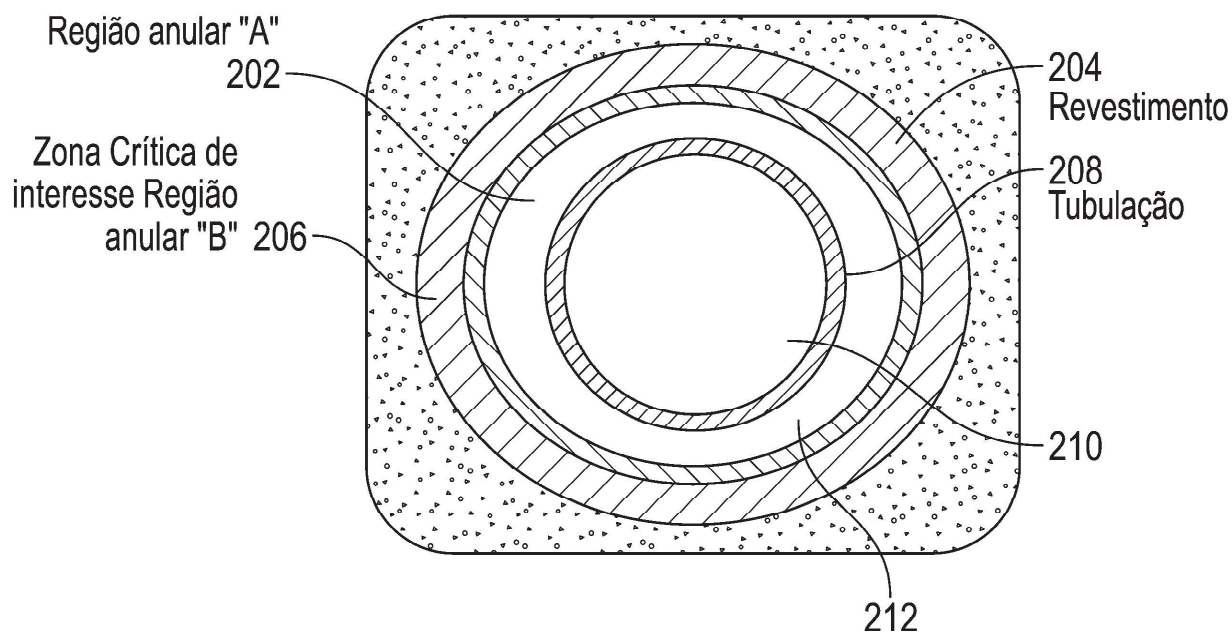


FIG. 2

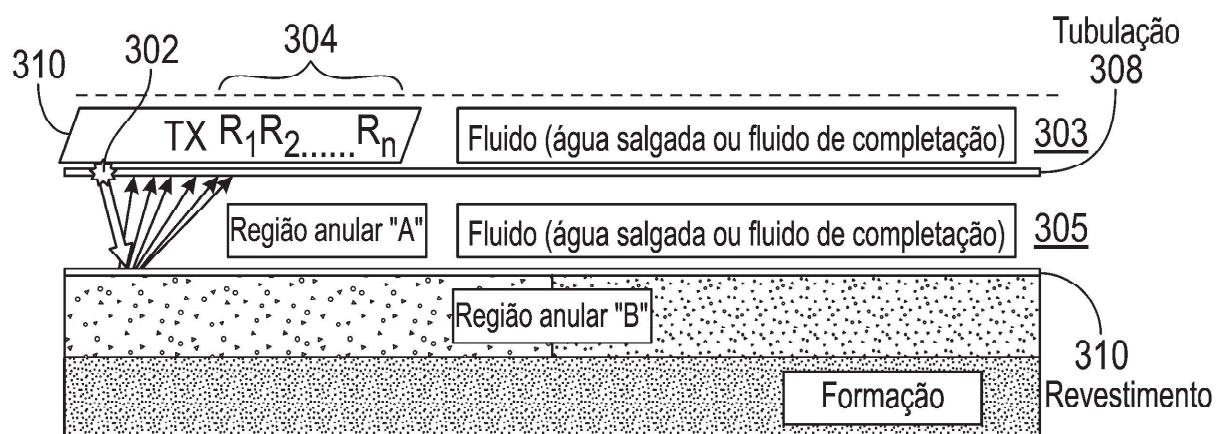


FIG. 3A

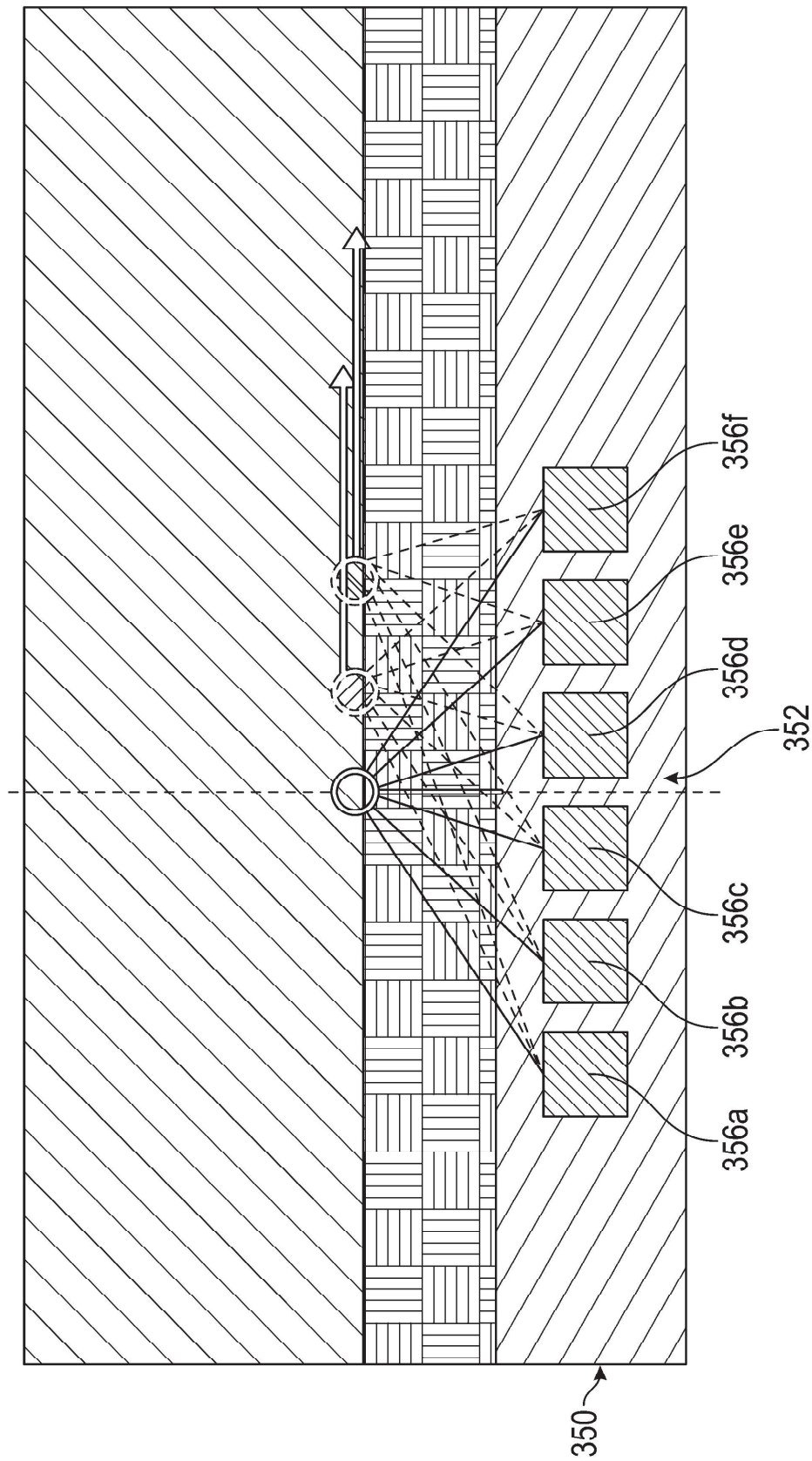


FIG. 3B

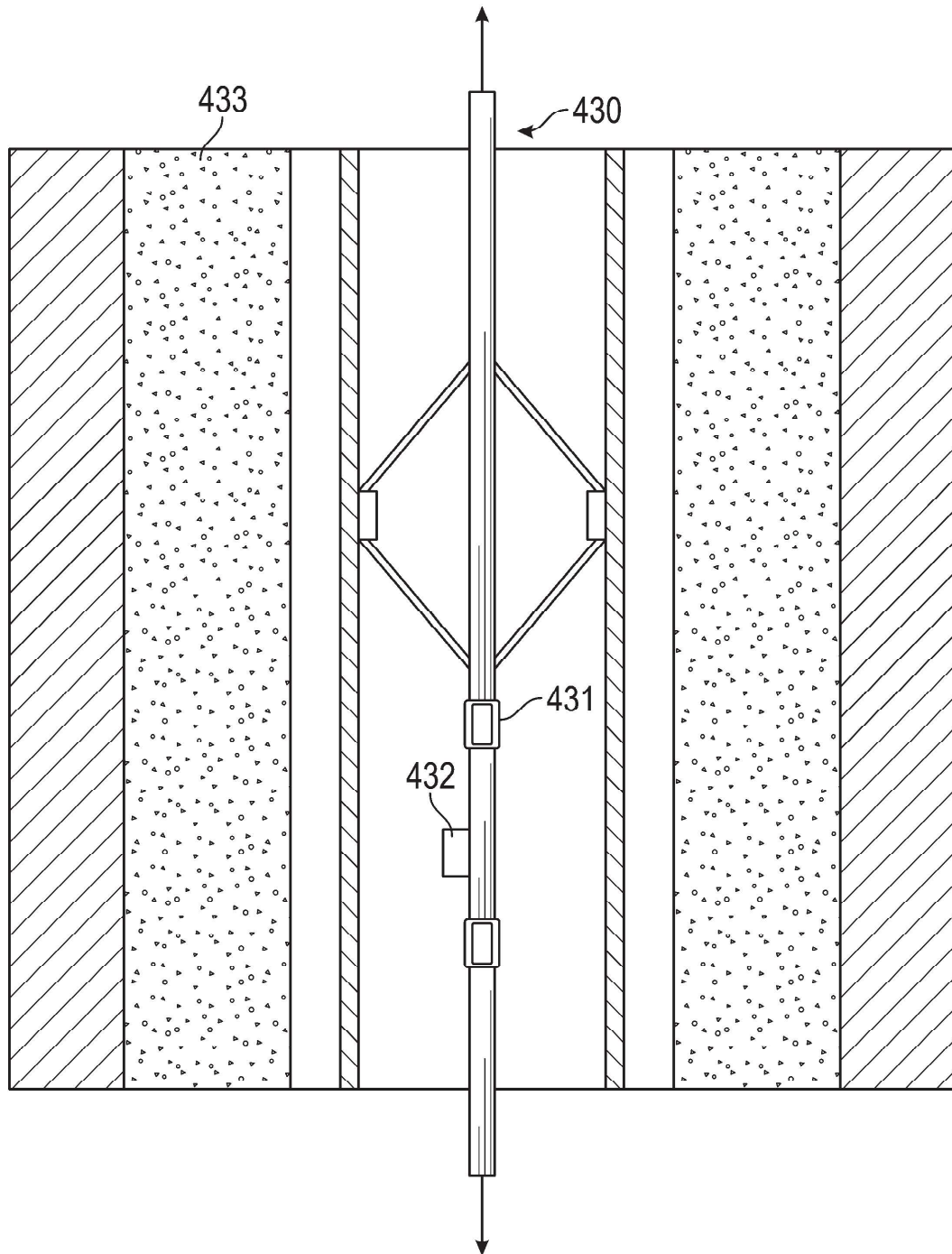


FIG. 4A

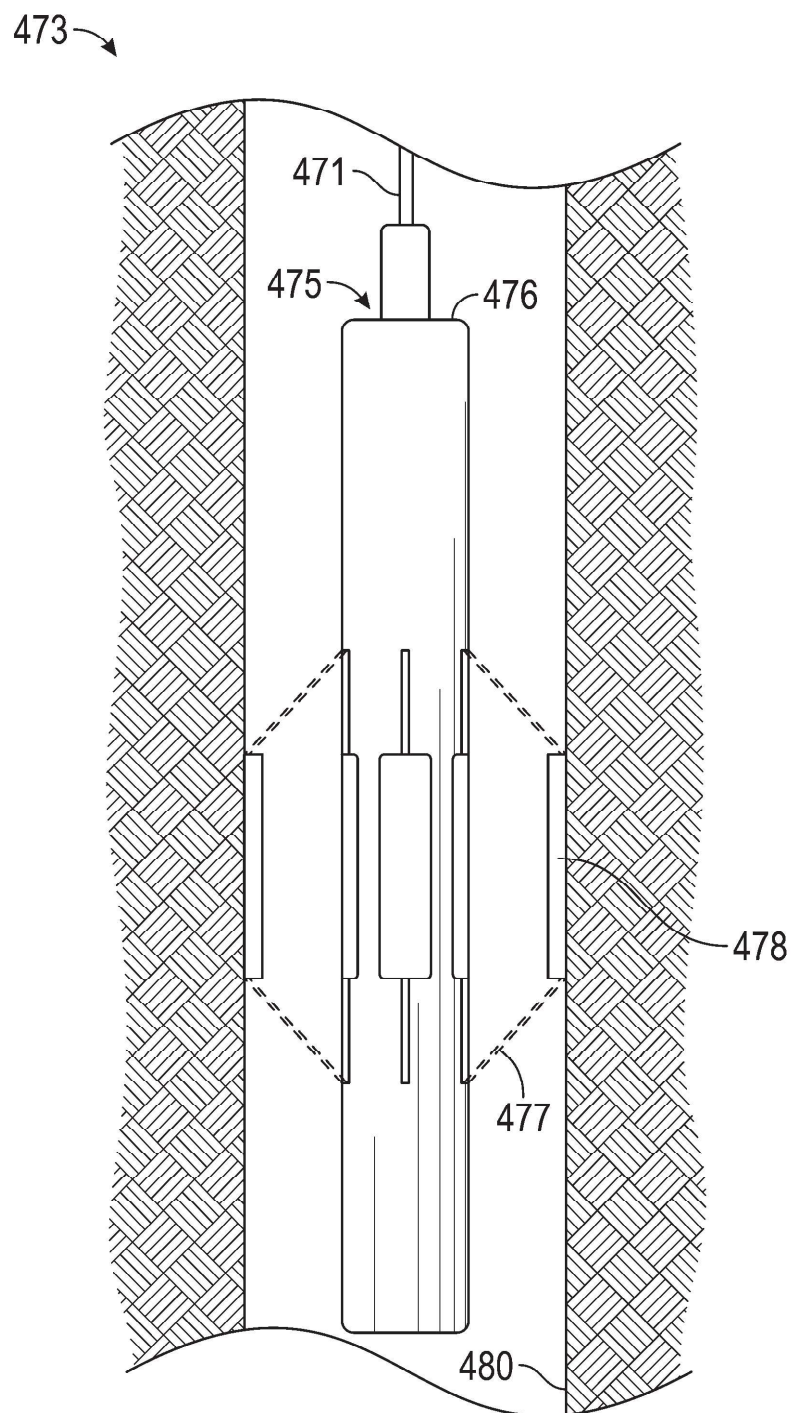
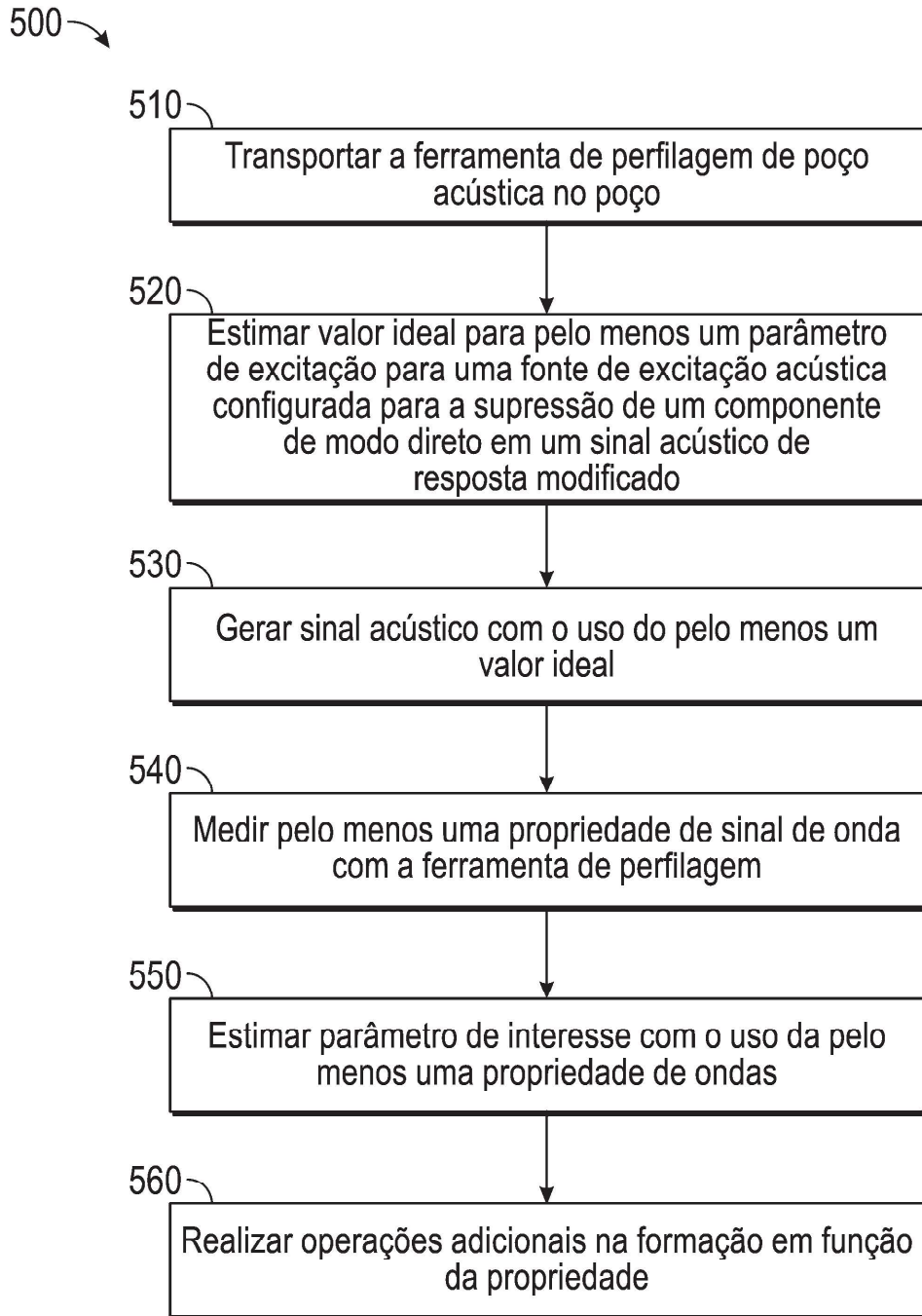


FIG. 4B

**FIG. 5**

RESUMO**"AVALIAÇÃO DE CIMENTO ATRAVÉS DA TUBULAÇÃO COM O USO DE MÉTODOS SÍSMICOS"**

Trata-se de métodos e aparelhos para avaliação de uma formação de solo interseccionada por um poço. Os métodos incluem estimar uma propriedade de cimento que circunda um tubular na formação de solo por meio de: geração de um sinal acústico com uma ferramenta de perfilagem no poço; estimativa da propriedade em dependência de um campo de onda refletido tardio de um sinal acústico de resposta modificado, sendo que o sinal acústico de resposta modificado é produzido pela supressão de um componente de modo direto.