REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0715457-7

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0715457-7

(22) Data do Depósito: 12/07/2007

(43) Data da Publicação do Pedido: 17/01/2008

(51) Classificação Internacional: G01V 9/00

(30) Prioridade Unionista: US 60/830,266 de 12/07/2006

(54) Título: MÉTODO E APARELHO PARA TESTE DE FORMAÇÃO

(73) Titular: BAKER HUGHES INCORPORATED, Sociedade Norte-Americana. Endereço: 2929 Allen Parkway, Suite 2100, Houston, TX 77019-2118, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA(US)

(72) Inventor: EICK NIEMEYER; TOBIAS KISCHKAT; MATTHIAS MEISTER

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 02/05/2018, observadas as condições legais

Expedida em: 02/05/2018

Assinado digitalmente por:
Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patente

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

Antecedentes da Invenção

Campo da Técnica

A presente descrição refere-se geralmente a aparelhos e métodos para avaliar as formações atravessadas por um furo de poço

Informações Antecedentes

Na indústria de óleo e gás, a ferramenta de teste de formação tem sido utilizada para monitorar as pressões de formação ao longo de um furo de poço, obter amostras de fluido de formação do furo de poço, e para predizer o desempenho de reservatórios ao redor do furo de poço. Tais ferramentas de teste de formação tipicamente contêm um corpo alongado que tem um obturador e/ou guarnição elastomérico que é vedantemente forçado contra uma zona de interesse dentro do furo de poço para coletar as amostras de fluido de formação dentro de câmaras de recepção colocadas dentro da ferramenta.

Os instrumentos de múltiplos testadores de fundo de poço tem sido desenvolvidos com sondas de amostragem extensíveis para acoplar a parede de furo de poço na formação de interesse para retirar as amostras de fluido da formação e para medir a pressão. Nos instrumentos de fundo de poço desta natureza, uma bomba ou pistão interno pode ser utilizado após acoplar a parede de furo de poço para reduzir a pressão na interface de formação do instrumento fazendo com que o fluido flua da formação para dentro do instrumento.

Sumário da Invenção

O seguinte apresenta um sumário geral de diversos aspectos da descrição de modo a prover uma compreensão básica de pelo menos alguns aspectos da descrição. Este sumário não é uma visão extensiva da descrição. Este não está destinado a identificar os elementos chave ou críticos da descrição ou delinear o escopo das reivindicações. O sumário seguinte apresenta meramente alguns conceitos da descrição em uma forma geral como um prelúdio da descrição mais detalhada que segue.

Um aspecto da descrição provê um método para conduzir um teste de formação, que inclui prover um modelo de mudança de volume para um componente de ferramenta, e prover um programa de controle que utiliza o modelo de mudança de volume para estimar uma mudança de volume de sistema que resulta de uma mudança no componente de ferramenta durante a operação de fundo de poço.

Outro aspecto provê um aparelho para conduzir um teste de formação, que inclui um transportador condutível para dentro de um furo de poço, uma ferramenta de teste de formação acoplada no transportador, a ferramenta de teste de formação incluindo um componente de ferramenta, um dispositivo de medição que estima uma mudança no componente de ferramentas durante a operação, e um processador que utiliza um modelo de mudança de volume para estimar uma mudança de volume de sistema que resulta pelo menos em parte da mudança no componente de ferramenta durante uma operação de fundo de poço.

Em ainda outro aspecto a descrição provê um método para conduzir um teste de formação, que inclui conduzir um componente de ferramenta para dentro de um furo de poço, contactar uma formação subterrânea com o componente de ferramenta para estabelecer uma comunicação fluídica com a formação subterrânea, conduzir uma operação de teste de formação, e estimar uma mudança de volume utilizando um modelo de mudança de volume que relaciona uma mudança de componente de ferramenta com uma mudança de volume.

Breve Descrição dos Desenhos

Para uma compreensão detalhada da presente descrição, referências devem ser feitas à descrição detalhada seguinte das diversas modalidades, tomada em conjunto com os desenhos acompanhantes, nos quais a elementos iguais foram dados números iguais, e em que:

figura 1 ilustra um exemplo não limitante de um aparelho de perfuração de poço;

figura 2 ilustra um exemplo não limitante de uma sonda extensível;

figura 3 ilustra um modelo de guarnição;

figura 4 ilustra um exemplo não limitante de um método para gerar um modelo de guarnição;

figura 5 ilustra um exemplo não limitante de um método para avaliar uma formação subterrânea;

figura 6 ilustra um exemplo não limitante de um aparelho de cabo;

figura 7 ilustra outro exemplo não limitante de uma sonda extensível;

figura 8 é um exemplo não limitante de um método onde um modelo de mudança de volume de compressão de vedação é utilizado para estimar uma mudança de volume de sistema;

figura 9 é um exemplo não limitante de um método onde um modelo de mudança de volume de extensão de sonda é utilizado para estimar uma mudança de volume de sistema; e

figura 10 é um exemplo não limitante de um método onde um modelo de mudança de volume de compressão de vedação e um modelo de mudança de volume de extensão de sonda são combinados para estimar uma mudança de volume de sistema.

Descrição de Modalidades Exemplares

A figura 1 ilustra um exemplo não limitante de um sistema de perfuração 100 em uma disposição de medição durante a perfuração (MWD) de acordo com uma modalidade da descrição. Um guindaste 102 suporta uma coluna de perfuração 104, a qual pode ser um tubo espiral ou um tubo de perfuração. A coluna de perfuração 104 pode carregar um conjunto de fundo de furo (BHA) 106 e uma ponta de broca 108 a uma extremidade mais distante da coluna de perfuração 104 para perfurar um furo 110 através de formações terrestres.

As operações de perfuração de acordo com diversas modalidades pode incluir bombear um fluido de perfuração ou "lama" de um poço de lama 122, e utilizar um sistema de circulação 124, que circula a lama através de um furo interno da coluna de perfuração 104. A lama sai da coluna de

perfuração 104 na ponta de broca 108 e retorna para a superfície através de um espaço anular entre a coluna de perfuração 108 e a parede interna do furo de poço 110. O fluido de perfuração está projetado para prover a pressão hidrostática que é maior do que a pressão de formação para evitar as erupções. O fluido de perfuração pressurizado pode ainda ser utilizado para acionar um motor de perfuração e pode prover lubrificação para vários elementos da coluna de perfuração.

Em uma modalidade não limitante, subs 114 e 116 podem ser posicionados conforme desejado ao longo da coluna de perfuração 104. Como mostrado, um sub 116 pode estar incluído como parte do BHA 106. Cada sub 114, 116 pode incluir um ou mais componentes 118 adaptados para prover os testes de formação enquanto perfurando ("FTWD") e/ou funções relativas a parâmetros de perfuração. O sub 114 pode ser utilizado para obter os parâmetros de interesse relativos à formação, ao fluido de formação, ao fluido de perfuração, às operações de perfuração e qualquer combinação desejada. As características medidas para obter o parâmetro de interesse desejado podem incluir a pressão, a taxa de fluxo, a resistividade, o dielétrico, a temperatura, as propriedades óticas, o azimute de ferramenta, a inclinação de ferramenta, a rotação de ponta de broca, o peso sobre a broca, etc. Estas características podem ser processadas por um processador (não mostrado) de fundo de poço para determinar o parâmetro desejado. Os sinais indicativos do parâmetro podem então ser transmitidos para a superfície através de um transmissor 112. O transmissor 112 pode estar localizado dentro do BHA 106 ou em outra localização sobre a coluna de perfuração 104. Estes sinais podem também, ou em alternativa, ser armazenados no fundo de poço em um dispositivo de armazenamento de dados e podem também ser processados e utilizados no fundo de poço para o geodirecionamento ou para qualquer outro propósito de fundo de poço adequado. Em um exemplo, um tubo com fios pode ser utilizado para transmitir as informações.

Um exemplo não limitante de um componente 118 do sub 116 pode incluir uma sonda de amostragem de fluido que tem uma vedação que

é mecanicamente pressionada contra a formação adjacente ao furo de poço. Em um exemplo a vedação pode ser uma guarnição de borracha durável, a guarnição sendo pressionada forte o bastante para formar uma vedação hidráulica. A guarnição tem uma abertura ou orifício, a qual pode ser suportada por um tubo interno. O tubo pode ser de metal, cerâmica ou qualquer outro material útil para um tubo interno de suporte. O orifício e um conduto dentro da sonda provêem uma comunicação de fluido entre a formação e uma câmara de amostra que, por sua vez, pode ser conectada a uma bomba ou pistão que opera para diminuir a pressão na sonda presa. Quando a pressão dentro da sonda é diminuída abaixo da pressão dos fluidos de formação, os fluidos de formação são aspirados através da sonda para dentro do instrumento.

A figura 2 ilustra um exemplo não limitante de uma sonda extensível 200, a qual pode ser utilizada como um subcomponente em uma ferramenta de fundo de poço tal como o aparelho acima descrito e mostrado na figura 1. A sonda 200 pode estar incorporada em um BHA 106 como um subcomponente 118. Continuando com a figura 2, um corpo de sonda 202 tem uma cavidade interna 220 que aloja um pistão 216. O pistão 216 pode incluir uma estrutura que forma uma região anular 218 em comunicação de fluido com um orifício inferior de aspiração 214 no corpo 202. Os orifícios de controle 212 são utilizados para conduzir a pressão hidráulica para alternar o pistão 216 dentro da cavidade.

A sonda 200 pode ser hidraulicamente extensível para acoplar uma parede de furto de poço 206 ou a ferramenta inteira pode ser forçada contra a parede 206 utilizando pistões não mostrados localizados em um lado da ferramenta oposto ao lado de guarnição da ferramenta.

Uma guarnição 204 opera como um membro de vedação entre a sonda 200 e a parede de furo de poço 206. A guarnição 204 inclui um orifício 208 para permitir que o fluido de formação entre na sonda 200. Um inserto 210 pode ser utilizado para manter um diâmetro interno do orifício 208 conforme a guarnição 204 é forçada contra a parede de furo de poço 206. O controle hidráulico para aplicar uma força de guarnição F para vedar a fer-

ramenta contra a parede de furo de poço pode ser isolada das linhas de controle hidráulico utilizadas para a amostragem de fluido e o movimento do pistão 216. Deste modo, a sonda pode ser movida sem afetar o volume de amostra dentro da ferramenta. Um volume de teste dentro da ferramenta é relativamente pequeno e durante um teste de pressão ou outros testes sensíveis nos quais uma mudança de volume poderia afetar os testes, uma deformação da guarnição 204 pode mudar o volume interno o suficiente para afetar os resultados de teste. Em alguns exemplos, outras configurações de sonda de extensão podem ser utilizadas onde ou o movimento de guarnição ou o movimento de extensão de pistão pode afetar o volume de sistema interno. Determinando e/ou estimando como a guarnição é afetada pela força de vedação ajuda a caracterizar o efeito de deformação de guarnição o qual poderia ocorrer durante tais testes. Do mesmo modo, determinando e/ou estimando o movimento do pistão ajuda a caracterizar o efeito de movimento de pistão durante o teste.

A figura 4 ilustra um método 400 de caracterizar uma ferramenta de teste de formação para formar um modelo de guarnição. Referindo à figura 3 e à figura 4, um membro de vedação de ferramenta é modelado por teste ou análise durante a fabricação para determinar as características de material dados os parâmetros de ferramenta selecionados e as condições de operação de fundo de poço esperadas, tal como a temperatura. Em um exemplo não limitante da figura 3, a deformação de material de guarnição "d" pode ser traçada em relação à força "F" mostrada em quilo-Newtons kN, a qual é aplicada no material de guarnição como mostrado no gráfico 300. O gráfico 300 simula o efeito sobre a guarnição da força utilizada para vedar a guarnição contra a parede de furo de poço. Como mostrado, poderia esperar-se que um efeito de histerese pudesse fazer com que uma primeira curva 302 fosse associada com uma força aplicada crescente e uma segunda curva 304 associada com uma força aplicada decrescente. A deformação está mostrada em milímetros (mm) e pode ser estimada no fundo de poço por qualquer dispositivo de medição adequado.

Continuando com a figura 4, o método inclui armazenar o mode-

lo de guarnição 402 e prover um programa de controle de parâmetro de teste 404 que utiliza o modelo de guarnição. Em uma modalidade, o modelo de guarnição pode ser utilizado para corrigir um cálculo de volume de sistema. Em outra modalidade, o modelo de guarnição pode ser utilizado como uma parte de controle ativo para a ferramenta de teste. Em ainda outra modalidade, o modelo de guarnição pode ser utilizado para uma combinação de controle de ferramenta e corrigir os cálculos de volume de sistema.

Em um exemplo não limitante, uma modalidade inclui testar uma guarnição a diversas temperaturas e aplicar uma força variável na guarnição em cada uma das diversas temperaturas para gerar um modelo de guarnição para diversas temperaturas, o que pode ser o caso para diversas profundidades dentro de um furo de poço. Em outro exemplo não limitante, o modelo de guarnição pode ser gerado para incluir uma ou mais pressões ambientes além da força variável. Em um aspecto, o modelo de guarnição está armazenado em um dispositivo de memória a ser disposto na ferramenta para utilização de fundo de poço do modelo. Em outro aspecto não limitante o modelo pode estar armazenado em um meio legível por computador e utilizado na superfície, como no caso, por exemplo, de uma ferramenta de cabo.

Como mencionado, o método pode ainda incluir prover um programa de controle de parâmetro de teste que utiliza o modelo de guarnição. Em um exemplo não limitante um programa de controle de parâmetro de teste pode ser um conjunto de instruções armazenadas em um dispositivo de memória e dispostas na ferramenta para o controle de fundo de poço da ferramenta. Em outro aspecto não limitante, o programa de controle de parâmetro de teste pode ser um conjunto de instruções armazenadas em um meio legível por computador e utilizadas na superfície, como no caso, por exemplo, de uma ferramenta de cabo. O programa de controle pode ser utilizado durante a operação para controlar a ferramenta de teste de formação quando a guarnição utilizada para vedar contra a parede de furo de poço é deformada devido à compressão da guarnição. O programa pode ser utilizado para corrigir uma mudança de volume de amostra causada pela com-

pressão de guarnição. Do mesmo modo, uma mudança na parede de furo de poço que reduz a compressão de guarnição pode ser detectada utilizando o dispositivo de medição tal como um sensor de pressão ou um sensor de deslocamento de extensão. Em um exemplo não limitante, a extensão de sonda pode ser medida para estimar a deformação de guarnição também referida como compressão de guarnição. Então a mudança em volume pode ser controlada durante o teste de pressão para ajudar a assegurar que um volume de sistema constante seja mantido, ou reunir as informações para correlacionar a mudança de volume com os resultados de dados de teste ou uma combinação de ambos.

A figura 5 ilustra um método 500 para testar uma formação subterrânea. Um membro de vedação ou guarnição é vedado contra uma parede de furo de poço 502 e uma comunicação fluídica é estabelecida com a parede de furo de poço 504. Durante um teste de avaliação de formação, tal como um teste de pressão de formação, o movimento de guarnição na forma de deformação ou de compressão é estimado 506 e um parâmetro de teste é controlado utilizando o movimento de guarnição estimado 508. O movimento de guarnição pode ser compressivo como em um movimento de compressão, ou o movimento de guarnição pode ser uma expansão onde uma força de guarnição reduzida permite que a guarnição relaxe.

Em um exemplo não limitante, o movimento de guarnição devido à compressão e ao relaxamento é estimado utilizando um modelo de guarnição tal como o modelo de guarnição acima descrito e mostrado na figura 3. Em uma modalidade não limitante, o parâmetro de teste controlado pode incluir o movimento do pistão de aspiração. Em outro exemplo não limitante, o parâmetro de teste controlado pode incluir a pressão de guarnição.

A presente descrição não está limitada a modalidades durante a perfuração. Na figura 6 por exemplo, uma ferramenta de medição 600 está mostrada disposta dentro de um furo de poço 614 e suportada por um cabo 612. A ferramenta 600 pode ser centralizada dentro do furo 614 por centralizadores 630. O cabo 612 pode ser suportado por uma roda de polia 618 disposta em uma plataforma de perfuração 616 e pode ser enrolado sobre um

tambor 620 para abaixar ou levantar a ferramenta 600 dentro do furo de poço. O cabo 612 pode compreender um cabo de múltiplos condutores que tem condutores elétricos para carregar os sinais elétricos e a energia da superfície para a ferramenta 600 e para transmitir os dados medidos pela ferramenta para a superfície para processamento. O cabo 612 pode ser interconectado a um circuito de interface de telemetria 622 e a uma unidade de aquisição de superfície 624.

No exemplo não limitante da figura 6, a ferramenta de cabo 600 pode incluir uma sonda extensível 610 que tem um membro ou guarnição de vedação de elastômero 608 em uma extremidade mais distante da sonda extensível. Tal sonda pode ser similar à sonda 200 acima descrita e mostrada na figura 2. Em um aspecto não limitante, a guarnição 608 pode ser modelada como acima descrito e mostrado nas figuras 3 e 4. Em outro aspecto não limitante, a ferramenta 600 pode ser utilizada para avaliar uma formação subterrânea em um modo similar como acima descrito e mostrado na figura 5.

A figura 7 ilustra esquematicamente outro exemplo não limitante de uma sonda extensível 700 que pode ser utilizada em diversas modalidades da descrição e é útil nas operações de amostragem de fluido e teste de formação de fundo de poço. No exemplo da figura 7, a sonda extensível 700 está mostrada em uma posição estendida. Uma guarnição 204 similar à guarnição 204 acima descrita e mostrada na figura 2 está disposta sobre uma extremidade de um pistão 704. A guarnição 204 é pressionada contra a parede de furo de poço 726 pelo pistão 704. Um orifício 208 na guarnição 204 provê uma comunicação de fluido entre a sonda 700 e a formação que está sendo testada. Um conduto de fluido de formação 702 estende axialmente através do pistão 704. O conduto de fluido de formação 702 estende do orifício 208 através do pistão 704. Uma bomba de aspiração 706 está em comunicação com o conduto de fluido de formação 702, e a bomba de aspiração 706 pode ser utilizada para reduzir a pressão no orifício 208 para forçar o fluido de formação da formação para dentro do conduto de fluido de formação 702.

No exemplo da figura 7, o pistão 704 está alojado dentro de um alojamento 708 que tem uma cavidade interna 710. O pistão 704 move dentro da cavidade 710 pela utilização de uma bomba de extensão de pistão 712 que está em comunicação de fluido com a cavidade 710. Outros dispositivos de extensão de pistão, tais como os dispositivos mecânicos, elétricos e/ou os dispositivos eletromecânicos podem ser utilizados e estão considerados dentro do escopo da descrição. Um fluido hidráulico 714 é bombeado para dentro da cavidade 710 pela bomba de extensão 712, e a pressão hidráulica dentro da cavidade 710 opera sobre o pistão 704 para recuar ou estender o pistão 704 como mostrado.

O movimento do pistão 704 em diversas disposições de sonda pode causar uma mudança de volume consequente no percurso de fluido de formação como indicado pela seta 714. Esta porção do percurso de fluido de formação pode ser parte do volume de sistema V_{SYS} que é utilizado para diversas operações de teste. No exemplo mostrado, o conduto de fluido de formação 702 está em comunicação com uma porção de alojamento de ferramenta 716. A porção de alojamento de ferramenta 716 inclui uma cavidade interna 718 dentro da qual o conduto de fluido de formação 702 alterna. Vedações 720 podem ser utilizadas para impedir o vazamento de fluido de formação pressurizado através do espaço anular entre a porção de alojamento de ferramenta 716 e o conduto de fluido de formação 702.

O movimento do pistão 704, como indicado pela seta 722, pode ser detectado utilizando qualquer número de técnicas. Em diversas modalidades não limitantes, o movimento de pistão é estimado utilizando um sensor 724 adequado. O sensor 724 pode ser um ou mais de um sensor de pressão, um sensor de força, um sensor de deslocamento ou qualquer outro sensor útil para estimar o movimento do pistão 704.

O movimento de pistão estimado pode ser utilizado juntamente com os parâmetros de volume de sistema conhecidos para estimar uma mudança em V_{SYS} devido ao movimento do pistão. Em uma modalidade, uma área de seção transversal do conduto de fluido de formação 702 pode ser utilizada com o movimento de pistão estimado para estimar uma mudança

de volume como aquela indicada em 714. É claro, outras configurações de pistão podem incluir um volume interno que é afetado pelo movimento de pistão e as quais podem não incluir uma mudança no conduto de fluido de formação 702 como aqui descrito. Aqueles versados na técnica com o benefício da presente descrição reconhecerão que qualquer volume interno afetado pelo movimento de pistão está dentro do escopo da descrição.

A figura 8 é um exemplo não limitante de um método onde um modelo de mudança de volume de compressão de vedação 802 é utilizado para estimar uma mudança de volume de sistema. O método 800 inclui vedar uma guarnição contra uma parede de furo de poço 804 e estabelecer uma comunicação de fluido com a parede de furo de poço 806. O método 800 inclui estimar a compressão de guarnição com base pelo menos em parte na pressão de guarnição 808. Uma mudança de volume de sistema pode ser estimada 810 com base em parte na compressão de guarnição estimada. Em um exemplo, a mudança de volume estimada pode ser utilizada para controlar um parâmetro de teste 812. Em um exemplo, a mudança de volume estimada pode ser utilizada para calcular um fator de correção para as operações de teste de formação 814. Em ainda outro exemplo, a mudança de volume estimada pode ser utilizada para controlar um parâmetro de teste 812 além de calcular um fator de correção para as operações de teste de formação 814. A utilização do método 800 permite utilizar a mudança de volume para resultados de dados de teste corretos ou para controlar o volume de sistema para manter um volume de sistema constante ou uma combinação de ambos.

A figura 9 é um exemplo não limitante de um método 900 onde um modelo de mudança de volume de extensão de sonda 902 é utilizado para estimar uma mudança de volume de sistema. O método 900 inclui vedar uma guarnição contra uma parede de furo de poço 904 e estabelecer uma comunicação de fluido com a parede de furo de poço 906. O método 900 inclui estimar uma extensão de sonda 908. Uma mudança de volume de sistema pode ser estimada 910 com base em parte na extensão de sonda estimada. Em um exemplo, a mudança de volume estimada pode ser utiliza-

da para controlar um parâmetro de teste 912. Em um exemplo, a mudança de volume estimada pode ser utilizada para calcular um fator de correção para as operações de teste de formação 914. Em ainda outro exemplo, a mudança de volume estimada pode ser utilizada para controlar um parâmetro de teste 912 além de calcular um fator de correção para as operações de teste de formação 914. A utilização do método 900 permite utilizar a mudança de volume para corrigir os resultados de dados de teste ou para controlar o volume de sistema para manter um volume de sistema constante ou uma combinação de ambos.

A figura 10 é um exemplo não limitante de um método 1000 onde um modelo de mudança de volume de compressão de vedação 802 e um modelo de mudança de volume de extensão de sonda 902 são combinados para estimar uma mudança de volume de sistema. O método 1000 inclui vedar uma guarnição contra uma parede de furo de poço e estabelecer uma comunicação de fluido com a parede de furo de poço como acima discutido para as respectivas modalidades de método 800, 900. Uma mudança de volume de sistema pode ser estimada 1002 com base em parte utilizando o movimento de sonda estimado e o modelo de mudança de volume de extensão de sonda 902 e baseado em parte na deformação de guarnição e no modelo de mudança de volume de compressão de vedação 802. Em um exemplo, a mudança de volume estimada pode ser utilizada para controlar um parâmetro de teste 1004. Em um exemplo, a mudança de volume estimada pode ser utilizada para calcular um fator de correção para as operações de teste de formação 1006. Em ainda outro exemplo, a mudança de volume estimada pode ser utilizada para controlar um parâmetro de teste 1004 além de calcular um fator de correção para as operações de teste de formação 1006. A utilização do método 1000 permite utilizar a mudança de volume para resultados de dados de teste corretos ou para controlar o volume de sistema para manter um volume de sistema constante ou uma combinação de ambos.

Tendo acima descrito os diversos aspectos da descrição, alguém versado na técnica apreciará diversas modalidades específicas aqui

descritas. Como exemplo e não para limitar a descrição, diversas modalidades específicas estão abaixo providas.

Em uma modalidade específica, um método para conduzir um teste de formação inclui prover um modelo de mudança de volume para um componente de ferramenta, e prover um programa de controle que utiliza o modelo de mudança de volume para estimar uma mudança de volume de sistema que resulta de uma mudança no componente de ferramenta durante uma operação de fundo de poço.

Em outra modalidade, um método para conduzir um teste de formação inclui armazenar um ou mais de um modelo de mudança de volume e um programa de controle em um meio legível por computador.

Em outra modalidade, um método para conduzir um teste de formação inclui armazenar um ou mais de um modelo de mudança de volume e um programa de controle em um meio legível por computador e dispor o meio legível por computador em um sub de teste de formação. Em um aspecto, o sub de teste de formação pode ser conduzido sobre um ou mais de um sub de teste de formação de cabo, e um sub de teste de formação durante a perfuração.

Em outra modalidade específica, um método para conduzir um teste de formação inclui prover um modelo de mudança de volume que compreende um modelo de vedação, o modelo de vedação relativo a uma mudança de volume de sistema à deformação de vedação.

Em outra modalidade específica, um método para conduzir um teste de formação inclui prover um modelo de mudança de volume que compreende um modelo de sonda relativo a uma mudança de volume de sistema ao movimento de sonda.

Em outra modalidade específica, um método para conduzir um teste de formação inclui prover um modelo de mudança de volume que compreende uma combinação de um modelo de vedação e um modelo de sonda, o modelo de vedação e o modelo de sonda relativos a uma mudança de volume de sistema à respectiva deformação de vedação e movimento de sonda.

Em uma modalidade específica, um aparelho para conduzir um teste de formação inclui um transportador condutível para dentro de um furo de poço, uma ferramenta de teste de formação acoplada no transportador, a ferramenta de teste de formação incluindo um componente de ferramenta, um dispositivo de medição que estima uma mudança no componente de ferramentas durante a operação, e um processador que utiliza um modelo de mudança de volume para estimar uma mudança de volume de sistema que resulta pelo menos em parte da mudança no componente de ferramenta durante uma operação de fundo de poço.

Em uma modalidade específica, um aparelho para conduzir um teste de formação inclui um
controlador que controla uma operação de teste que utiliza uma mudança de volume de sistema estimada.

Em outra modalidade específica, um aparelho para conduzir um teste de formação inclui uma sonda de amostragem de fluido de formação extensível, onde uma mudança de componente de ferramenta estimada inclui uma extensão da sonda de amostragem de fluido de formação.

Em outra modalidade, um aparelho para conduzir um teste de formação inclui um componente de ferramenta que compreende uma vedação que acopla uma formação subterrânea, onde uma mudança de componente de ferramenta estimada inclui uma deformação da vedação.

Em ainda outro aspecto de um aparelho para conduzir um teste de formação é uma ferramenta de teste de formação que compreende uma sonda de amostragem de fluido de formação extensível que tem um membro de vedação disposto sobre uma extremidade mais distante da sonda de amostragem de fluido de formação, onde uma mudança de componente de ferramenta estimada inclui uma extensão da sonda de amostragem de fluido de formação em combinação com uma deformação da vedação.

Em uma modalidade específica, um aparelho para conduzir um teste de formação inclui uma ferramenta de teste de formação que compreende uma sonda de amostragem de fluido de formação extensível que tem uma vedação disposta sobre uma extremidade mais distante da sonda de

amostragem de fluido de formação e um dispositivo de medição medindo uma ou mais de i) uma distância relativa a uma extensão da sonda de amostragem de fluido de formação, ii) uma força exercida sobre a vedação, e iii) uma pressão hidráulica utilizada para estender a sonda de amostragem de fluido de formação.

Em outra modalidade, um aparelho para conduzir um teste de formação inclui um controlador controla uma ou mais de uma bomba de aspiração de fluido de formação e uma bomba de extensão da sonda.

Em um aspecto o transportador compreende pelo menos um de um tubo de perfuração, um tubo com fios, um tubo espiral, e um cabo.

Em uma modalidade específica, um método para conduzir um teste de formação inclui conduzir um componente de ferramenta para dentro de um furo de poço, contactar uma formação subterrânea com o componente de ferramenta para estabelecer uma comunicação fluídica com a formação subterrânea, conduzir uma operação de teste de formação, e estimar uma mudança de volume utilizando um modelo de mudança de volume que relaciona uma mudança de componente de ferramenta a uma mudança de volume.

Em uma modalidade específica, um método para conduzir um teste de formação inclui utilizar uma vedação que contacta a formação subterrânea, onde um modelo de mudança de volume compreende um modelo de vedação, o modelo de vedação relativo a uma mudança de volume de sistema para deformação de vedação.

Em outra modalidade específica, um método para conduzir um teste de formação inclui utilizar um componente de ferramenta que tem uma sonda que tem uma vedação a uma extremidade mais distante para contactar uma formação subterrânea, onde um modelo de mudança de volume compreende um modelo de sonda relativo a uma mudança de volume de sistema a um movimento de sonda.

Em outra modalidade específica, um método para conduzir um teste de formação inclui utilizar um componente de ferramenta que tem uma sonda que tem uma vedação a uma extremidade mais distante para contac-

tar uma formação subterrânea, onde um modelo de mudança de volume compreende uma combinação de um modelo de vedação e um modelo de sonda, o modelo de vedação e o modelo de sonda relativos a uma mudança de volume de sistema à respectiva deformação de vedação e movimento de sonda.

Em diversas outras modalidades, um método para conduzir um teste de formação inclui estimar um fator de correção para corrigir as informações de teste de formação, o fator de correção sendo baseado pelo menos em parte na mudança de volume de sistema estimado. Em outro aspecto um método inclui controlar um parâmetro de teste e estimar um fator de correção para corrigir as informações de teste de formação, o controle e o fator de correção sendo baseados pelo menos em parte na mudança de volume de sistema estimada. Em outra modalidade um modelo de mudança de volume compreende uma resposta estimada de um material de membro de vedação para um parâmetro de fundo de poço. Em outra modalidade um parâmetro de fundo de poço compreende uma ou mais de i) uma distância relativa a uma extensão do membro de vedação, ii) uma força exercida sobre o membro de vedação, e iii) uma pressão hidráulica utilizada para estender o membro de vedação para contactar a formação subterrânea.

A presente descrição deve ser considerada como ilustrativa ao invés de limitando o escopo ou a natureza das reivindicações abaixo. Numerosas modificações e variações ficarão aparentes para aqueles versados na técnica após estudar a descrição, incluindo a utilização de substitutos funcionais e/ou estruturais equivalentes para os elementos aqui descritos, a utilização de acoplamentos funcionais equivalentes para os acoplamentos aqui descritos, e/ou a utilização de ações funcionais equivalentes para as ações aqui descritas. Tais variações insubstanciais devem ser consideradas dentro do escopo das reivindicações abaixo.

Dada a descrição acima de conceitos gerais e diversas modalidades específicas, o escopo de proteção é definido pelas reivindicações anexas a esta. As reivindicações emitidas não devem ser consideradas como limitando o direito do Depositante de reivindicar, mas um assunto não ainda

literalmente reivindicado por meio de um ou mais pedidos adicionais que incluem aqueles depositados em conformidade com as leis dos Estados Unidos e/ou tratados internacionais.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para conduzir um teste de formação, que compreende:

um transportador (104, 106, 612) condutível para dentro de um furo de poço (110, 614);

uma ferramenta de teste de formação (114, 116, 600) acoplada no transportador (104, 106, 612), a ferramenta de teste de formação (114, 116, 600) incluindo uma vedação (204, 608) que engata uma parede de furo de poço;

caracterizado por

um dispositivo de medição (724) que estima uma mudança na vedação (204, 608) durante a operação; e

um processador (624) que utiliza um modelo de vedação para estimar uma mudança de volume de sistema que resulta pelo menos em parte da mudança na vedação (204, 608) durante a operação de fundo de poço.

2. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende um controlador (120) que controla uma operação de teste que utiliza a mudança de volume de sistema estimada.

3. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a ferramenta de teste de formação (114, 116, 600) compreende uma sonda de amostragem (200) de fluido de formação extensível, a vedação (204, 608) sendo uma vedação de almofada disposta na sonda de amostragem (200) de fluido de formação.

4. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a vedação (204, 608) inclui uma deformação da vedação (204, 608).

5. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a ferramenta de teste de formação (114, 116, 600) compreende uma sonda de amostragem (200) de fluido de formação extensível, em que a vedação (204, 608) é disposta sobre uma extremidade mais distante da sonda de amostragem (200) de fluido de formação, a mudança de volume do

sistema estimada sendo baseada em parte em uma extensão da sonda de amostragem (200) de fluido de formação em combinação com uma deformação da vedação (204, 608).

6. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a ferramenta de teste de formação (114, 116, 600) compreende uma sonda de amostragem (200) de fluido de formação extensível que tem uma vedação (204, 608) disposta sobre uma extremidade mais distante da sonda de amostragem (200) de fluido de formação, o dispositivo de medição medindo uma ou mais de i) uma distância relativa a uma extensão da sonda de amostragem (200) de fluido de formação, ii) uma força exercida sobre a vedação (204, 608), e iii) uma pressão hidráulica utilizada para estender a sonda de amostragem (200) de fluido de formação extensível.

7. Aparelho de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o controlador (120) controla uma ou mais de uma bomba de aspiração de fluido de formação (706) e uma bomba de extensão da sonda (712).

8. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o transportador (104, 106, 612) compreende pelo menos um de um tubo de perfuração (104), um tubo com fios, um tubo espiral, e um cabo (612).

9. Método para conduzir um teste de formação, que compreende:

conduzir uma ferramenta (114, 116, 612) para dentro de um furo de poço (110, 614);

contactar uma formação subterrânea com uma vedação (204, 608) disposta na ferramenta (114, 116, 612) para estabelecer uma comunicação fluídica com a formação subterrânea;

conduzir uma operação de teste de formação; e

caracterizado por

estimar uma mudança de volume utilizando um modelo de vedação que relaciona uma deformação de vedação a um volume de sistema.

10. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a ferramenta (114, 116, 612) inclui uma sonda (200), a vedação disposta em uma extremidade mais distante da sonda (200) para contactar a formação subterrânea, em que o método ainda compreende relacionar a mudança de volume ao movimento de sonda.

11. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que conduzir uma ferramenta (114, 116, 612) para dentro de um furo de poço (110, 614) compreende utilizar um ou mais de um tubo de perfuração (104), um tubo com fios, um tubo espiral, e um cabo (612).

12. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que ainda compreende controlar um parâmetro de teste com base em pelo menos em parte na mudança de volume estimada.

13. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que ainda compreende estimar um fator de correção para corrigir as informações de teste de formação, o fator de correção sendo baseado pelo menos em parte na mudança de volume estimada.

14. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que ainda compreende controlar um parâmetro de teste e estimar um fator de correção para corrigir as informações de teste de formação, o controle e o fator de correção sendo baseados pelo menos em parte na mudança de volume estimada.

15. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o modelo de vedação compreende uma resposta estimada de um material de vedação para um parâmetro de fundo de poço.

16. Método de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que o parâmetro de fundo de poço compreende uma ou mais de i) uma distância relativa a uma extensão da vedação (204, 608), ii) uma força exercida sobre a vedação (204, 608), e iii) uma pressão hidráulica utilizada para estender a vedação (204, 608) para contactar a formação subterrânea.

17. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que controlar o parâmetro de teste inclui controlar uma ou mais de uma bomba de aspiração de fluido de formação (706) e uma bomba de

extensão da sonda (712).

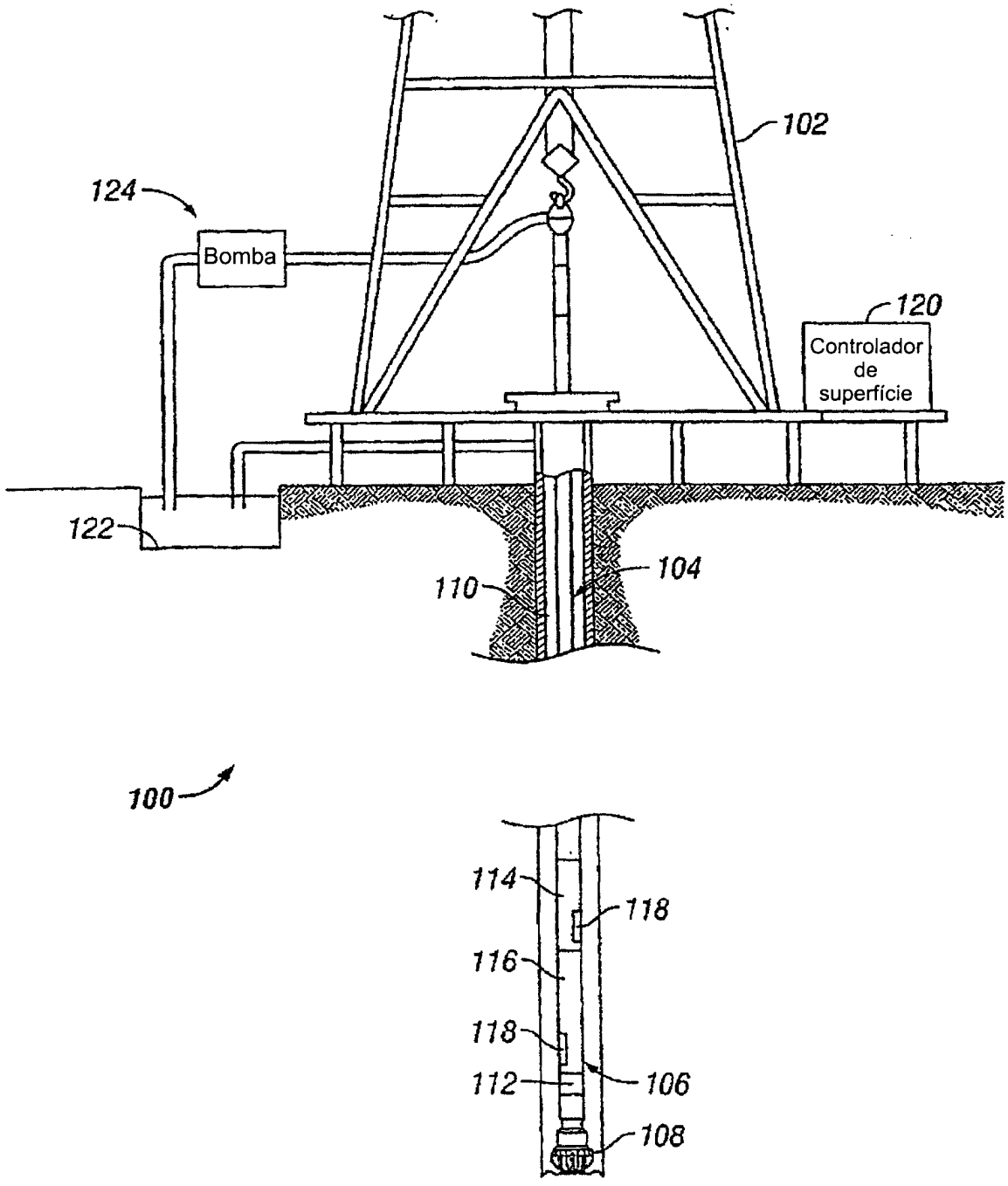

124
Bomba
102
120
Controlador de superfície
122
110
104
100
114
118
116
118
112
106
108

FIG. 1

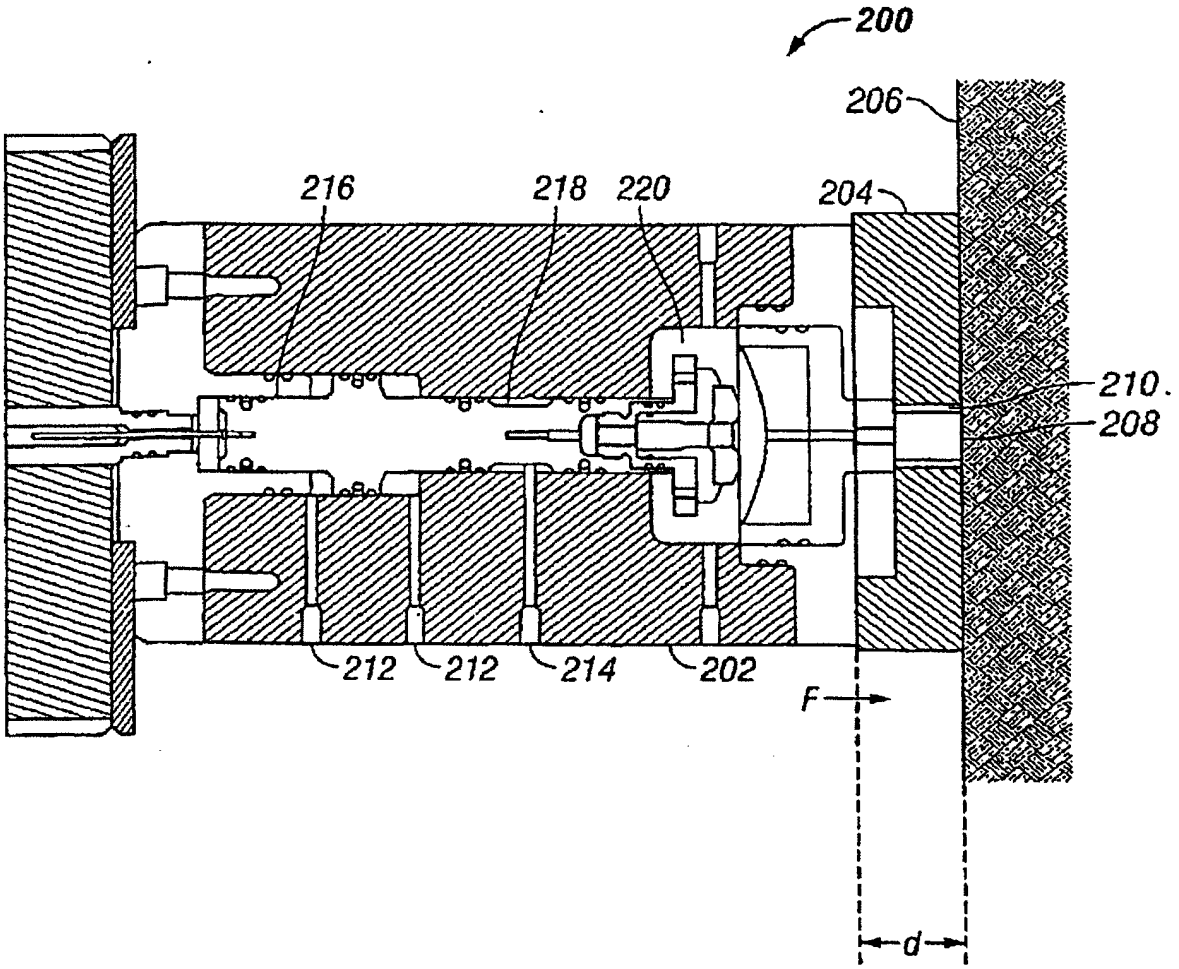


FIG. 2

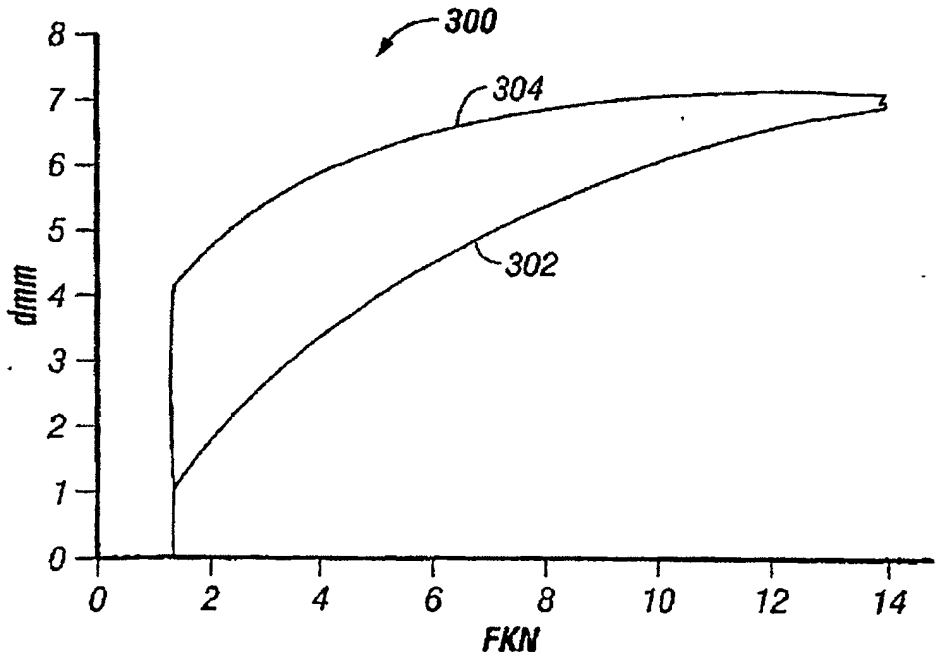

300
304
302
dmm
FKN
0
1
2
3
4
5
6
7
8
0
2
4
6
8
10
12
14

FIG. 3

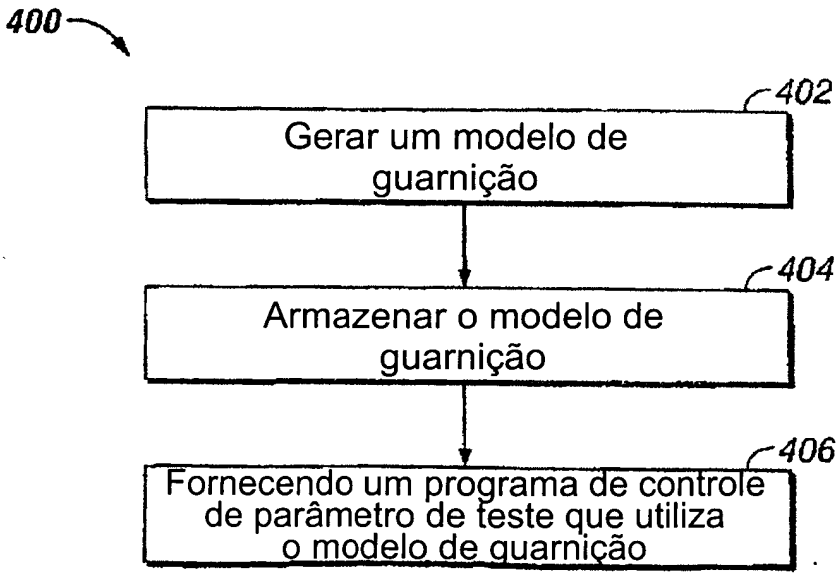

400
402
Gerar um modelo de guarnição
404
Armazenar o modelo de guarnição
406
Fornecendo um programa de controle de parâmetro de teste que utiliza o modelo de guarnição

FIG. 4

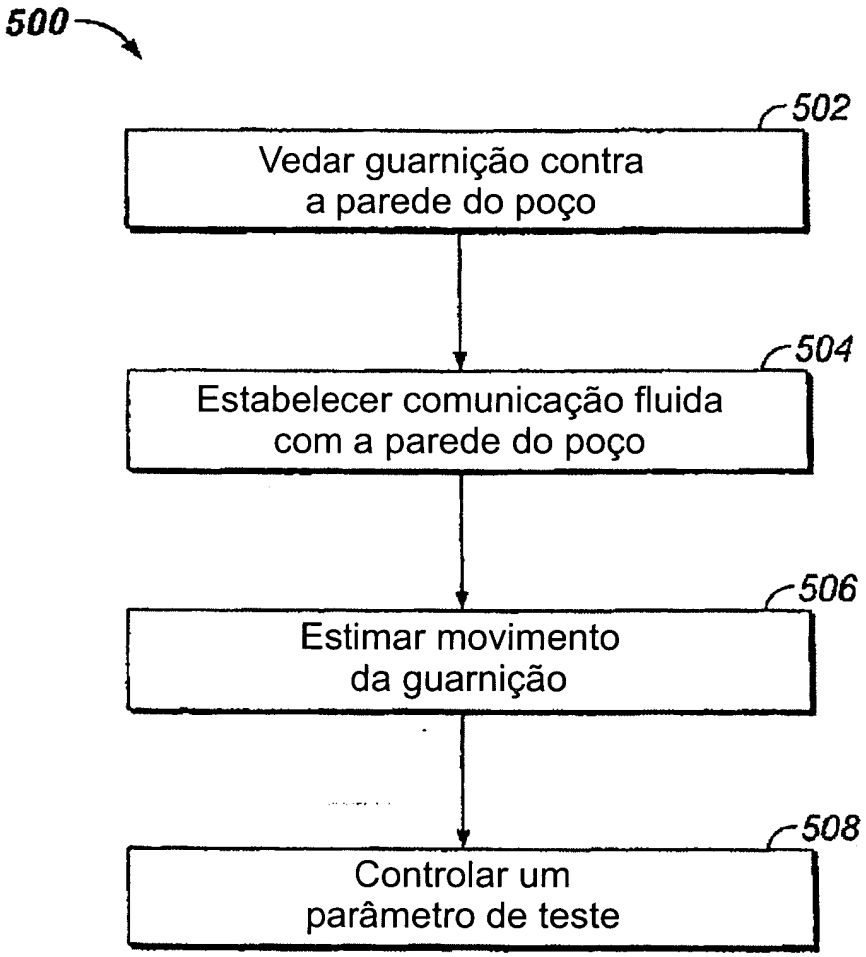

500
502
Vedar guarnição contra a parede do poço
504
Estabelecer comunicação fluida com a parede do poço
506
Estimar movimento da guarnição
508
Controlar um parâmetro de teste

FIG. 5

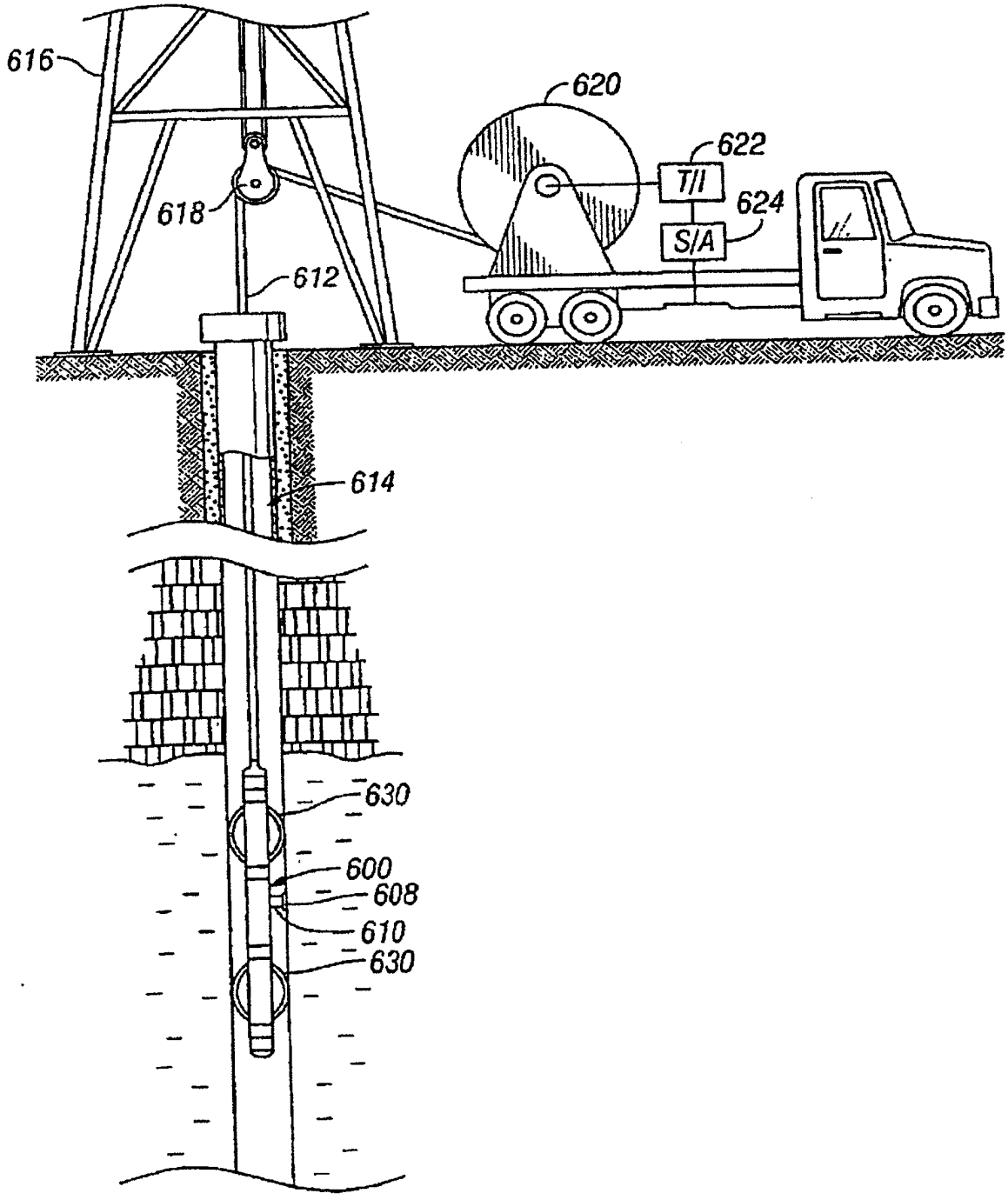


FIG. 6

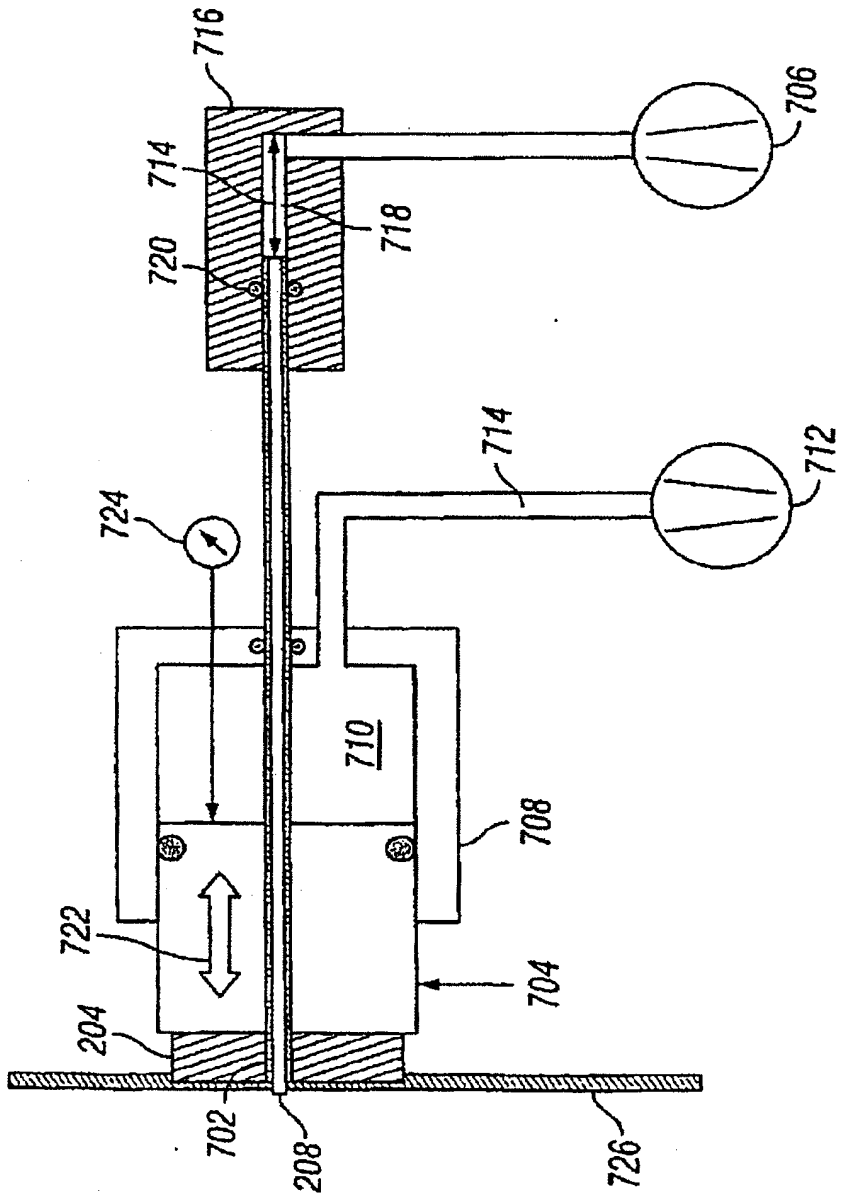

700
716
714
720
718
706
714
712
724
710
708
722
704
204
702
208
726

FIG. 7

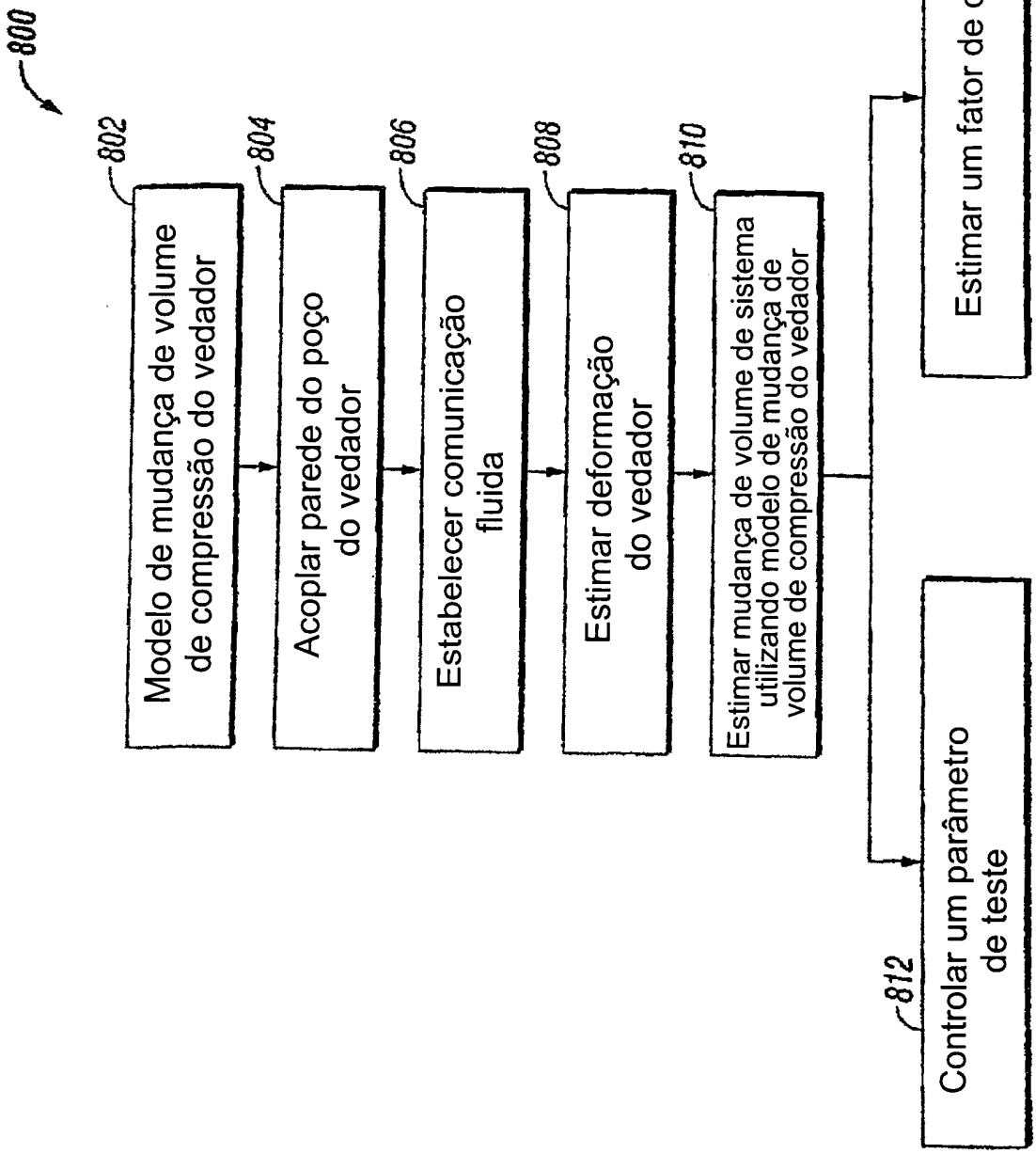

800
802
Modelo de mudança de volume de compressão do vedador
804
Acoplar parede do poço do vedador
806
Estabelecer comunicação fluida
808
Estimar deformação do vedador
810
Estimar mudança de volume de sistema utilizando modelo de mudança de volume de compressão do vedador
812
Controlar um parâmetro de teste
814
Estimar um fator de correção

FIG. 8

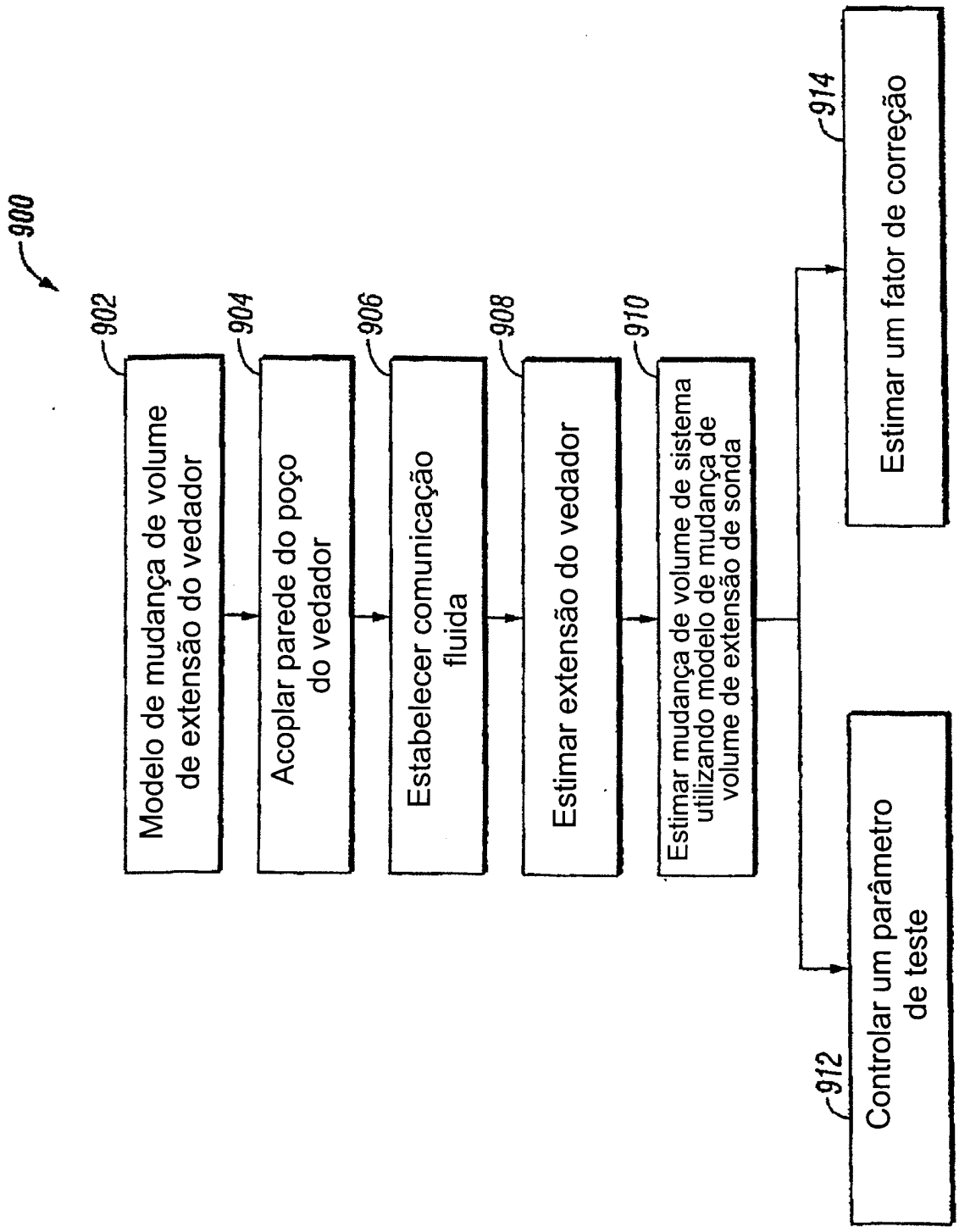

900
902
Modelo de mudança de volume de extensão do vedador
904
Acoplar parede do poço do vedador
906
Estabelecer comunicação fluida
908
Estimar extensão do vedador
910
Estimar mudança de volume de sistema utilizando modelo de mudança de volume de extensão de sonda
912
Controlar um parâmetro de teste
914
Estimar um fator de correção

FIG. 9

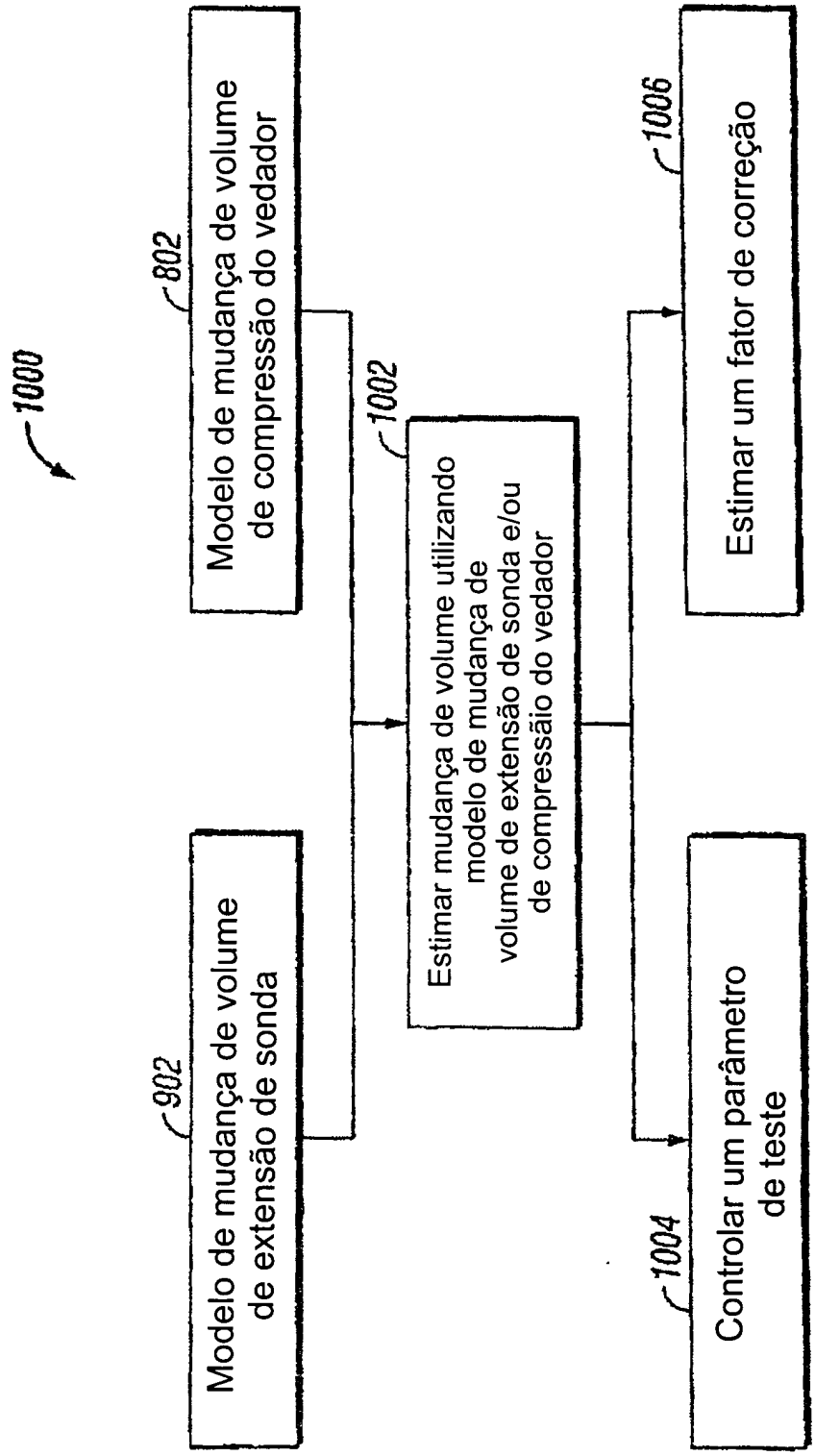

1000
802
Modelo de mudança de volume de compressão do vedador
1002
Estimar mudança de volume utilizando modelo de mudança de volume de extensão de sonda e/ou de compressaio do vedador
1006
Estimar um fator de correção
902
Modelo de mudança de volume de extensão de sonda
1004
Controlar um parâmetro de teste

FIG. 10