

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

(21) **PI 0721679-3 A2**

(22) Data de Depósito: 21/05/2007
(43) Data da Publicação: 22/01/2013
(RPI 2194)



(51) *Int.Cl.:*
G01V 3/00
G01V 3/02

(54) Título: FERRAMENTA DE FORMAÇÃO DE IMAGEM EM LAMA À BASE DE ÓLEO, E, MÉTODO DE PERFILAGEM

(73) Titular(es): Halliburton Energy Services INC.

(72) Inventor(es): Evan L. Davies, Luis E. San Martin

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT US2007012086 de 21/05/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/143616 de 27/11/2008

(57) Resumo: FERRAMENTA DE FORMAÇÃO DE IMAGEM EM LAMA À BASE DE ÓLEO, E, MÉTODO DE PERFILAGEM. Um aparelho e método para executar medições de voltagem de alta resolução transversal em ferramentas de perfilagem de fundo do poço utilizadas para determinar a resistividade de uma porção adjacente de uma parede de furo de poço. Dois eletrodos de corrente 508 e 509 são energizados por uma fonte de excitação para criar um campo elétrico oscilatório em uma parede de furo de poço. A queda de voltagem de cada eletrodo de voltagem em uma fileira de eletrodos de voltagem lateralmente espaçados 604 é medida em relação a um eletrodo de voltagem compartilhado 606 longitudinalmente espaçado da fileira de eletrodos. A voltagem diferencial é usada em combinação com um fluxo de corrente medida para determinar um valor de resistividade para o furo de poço. Uma segunda fileira de eletrodos de voltagem lateralmente espaçados 608 tendo eletrodos lateralmente deslocados dos eletrodos da primeira fileira é incluída para prover alta resolução transversa. Uma voltagem de modo comum nos eletrodos de voltagem compartilhados é medida; e utilizada para minimizar o erro de medição de resistividade.

“FERRAMENTA DE FORMAÇÃO DE IMAGEM EM LAMA À BASE DE ÓLEO, E, MÉTODO DE PERFILAGEM”

FUNDAMENTOS

As modernas operações de campo de petróleo demandam uma grande quantidade de informação que se relaciona com os parâmetros e condições, encontrados no fundo do poço. Tal informação tipicamente inclui características das formações terrestres atravessadas pelo furo de poço, e dados que se relacionam com o tamanho e a configuração do furo de poço propriamente dito. A coleta de informações que se relacionam com as condições no fundo do poço, que é comumente referida como “perfilagem”, pode ser realizada por vários métodos, incluindo perfilagem a cabo e “perfilagem durante perfuração” (LWD).

Na perfilagem a cabo, uma amostra ou “sonda” é abaixada dentro do furo de poço depois de alguma parte do poço ou poço inteiro ter sido perfurado. A sonda fica suspensa na extremidade de um longo cabo ou “linha de cabo” que provê suporte mecânico para a sonda e também provê uma conexão elétrica entre a sonda e equipamento elétrico na superfície do poço. De acordo com as técnicas de perfilagem existentes, vários parâmetros das formações da Terra são medidos e correlacionados com a posição da sonda no furo de poço quando a sonda é puxada para cima através do poço.

Na LWD, o conjunto de perfuração inclui instrumentos de detecção que medem vários parâmetros quando a formação está sendo penetrada. Embora as técnicas de LWD permitam medições de formação mais contemporâneas, as operações de perfuração criam um ambiente que é geralmente hostil à instrumentação eletrônica e operações de sensores.

Nesse e outros ambientes de perfilagem, é desejável construir uma imagem parede de furo de poço. Dentre outras coisas, tais imagens revelam a estrutura em escala fina das formações penetradas. A estrutura em escala fina inclui estratificações, tais como sequências de xisto/areia, fraturas,

e não-homogeneidades causadas por cimentação irregular e variações in tamanho de poro. Orientações de fraturas e estratos podem também ser identificadas, permitindo modelação de fluxo de reservatório mais acurada.

5 A formação de imagens da parede de furo de poço pode ser realizada em inúmeras maneiras, mas ferramentas de micro-resistividade têm provado ser eficazes para esta finalidade. Ferramentas de micro-resistividade medem a resistividade da superfície do furo de poço em uma escala fina. As medições de resistividade podem ser convertidas em valores de intensidade de pixel para obter uma imagem da parede de furo. Todavia, lamas à base de
10 óleo podem inibir tais medições devido à variabilidade de impedância na lama circundando a ferramenta. A Patente US No. 6.191.588 (Chen) revela uma ferramenta de formação de imagem para uso em lamas à base de óleo. A ferramenta de resistividade de Chen emprega pelo menos dois pares de eletrodos de voltagem posicionados sobre uma superfície não condutora entre
15 um eletrodo de fonte de corrente e um eletrodo de retorno de corrente. Pelo menos em teoria, a separação de eletrodos de voltagem e corrente elimina o efeito da lama à base de óleo sobre medições no eletrodo de voltagem, permitindo pelo menos medições qualitativas de resistividade de formação com base na injeção de um sinal de excitação de corrente e na medição
20 subsequente da queda de voltagem através da formação. A queda de voltagem detectada entre os eletrodos de voltagem é amplificada, condicionada, adquirida, e usada com um fluxo de corrente medida para calcular uma estimativa de resistividade de formação à frente do bloco.

25 Visto que a perfuração de poço e decisões de produção são baseadas, pelo menos em parte, em imagens de furo de poço representadas a partir de dados de perfil, aquelas imagens têm que reproduzir as características de furo de poço com precisão. A resolução de dados de micro-resistividade produzidos pela ferramenta de perfilagem é uma restrição no nível de detalhe contida na imagem de furo de poço imagem. O tamanho e

espaçamento dos eletrodos de voltagem da fermenta governa a resolução espacial das medições providas pela ferramenta. Os existentes arranjos de eletrodos de voltagem de micro-resistividades empregam conjuntos dos mesmos eletrodos arranjados um paralelo ao outro. A distância entre quaisquer dois eletrodos neste arranjo é absolutamente limitada ao diâmetro do eletrodo. Na prática, o espaçamento entre eletrodos é limitado a distâncias maiores que o diâmetro do eletrodo para reduzir o acoplamento capacitivo inter-eletrodos que aumenta quando o espaçamento entre eletrodos é diminuído. Por conseguinte, a resolução espacial das ferramentas de micro-resistividade existentes é limitada.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Na seguinte descrição detalhada, referência será feita aos desenhos acompanhantes, nos quais:

a figura 1 mostra um ambiente de perfilagem durante perfuração (LWD) ilustrativo;

a figura 2 mostra um ambiente de perfilagem a cabo ilustrativo;

a figura 3 mostra uma primeira ferramenta de perfilagem ilustrativa configuração;

a figura 4 mostra uma segunda ferramenta de perfilagem ilustrativa configuração;

a figura 5 mostra uma vista frontal de um bloco sensor ilustrativo tendo convencional arranjo de eletrodos de voltagem;

a figura 6A mostra uma vista frontal de um bloco sensor ilustrativo mostrando um arranjo de eletrodos de voltagem de alta resolução transversal.

a figura 6B mostra uma vista frontal de um bloco sensor ilustrativo mostrando um arranjo de eletrodos de voltagem de alta resolução transversal empregando múltiplos eletrodos de voltagem compartilhados;

a figura 7 mostra uma vista frontal de um bloco sensor ilustrativo mostrando um arranjo de eletrodos de voltagem de alta resolução transversal empregando um eletrodo de voltagem compartilhado segmentado;

5 a figura 8 mostra uma vista frontal de um bloco sensor ilustrativo mostrando um arranjo de sensores de voltagem de alta resolução transversal empregando uma segunda forma de concretização de um eletrodo de voltagem compartilhado segmentado;

10 a figura 9 mostra uma seção transversal do bloco sensor ilustrativo mostrando um arranjo de sensores de voltagem de alta resolução transversal;

a figura 10 mostra uma configuração de sensor de corrente ilustrativa;

a figura 11 mostra uma configuração de circuito ilustrativa de bloco sensor;

15 a figura 12 mostra um modelo de circuito ilustrativo para o bloco sensor de alta resolução transversal ilustrativo; e

a figura 13 mostra um método de formação de imagem ilustrativo com medição de resistividade de alta resolução transversal e minimização de voltagem de modo comum.

20 Os desenhos mostram formas de concretização da invenção, ilustrativas, as quais serão descritas em detalhe. Todavia, a descrição e desenhos acompanhantes não são destinados a limitar a invenção às formas de concretização ilustrativas, mas, ao contrário, a intenção é de expor e proteger todas das modificações, equivalentes, e alternativas caem dentro do espírito e
25 escopo das reivindicações anexas.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Expostos aqui são vários métodos e sistemas de formação de imagem por resistividade tendo alta resolução espacial transversal in fluidos não condutores, tais como uma lama à base de óleo. Em algumas formas de

concretização, os sistemas de perfilagem expostos incluem uma ferramenta de perfilagem em comunicação com equipamentos de computação na superfície, tais como um computador pessoal, servidor, ou placa de processamento de sinal digital, ou alguma outra forma de circuito de computação. A ferramenta de perfilagem é provida com um arranjo de sensor tendo eletrodos de voltagem posicionados entre pelo menos dois eletrodos de corrente que injetam um sinal de excitação em uma formação de parede de furo de poço. Circuitos amplificadores eletrônicos medem voltagens diferenciais dos eletrodos de voltagem em relação a um eletrodo de voltagem compartilhado. O arranjo dos eletrodos de voltagem resulta em alta resolução transversal enquanto reduz os efeitos de acoplamento capacitivo inter-eletrodos que ocorrem quando a distância entre eletrodos diminui.

A figura 1 mostra um ambiente de perfilagem durante perfuração (LWD) ilustrativo. Uma plataforma de perfuração 2 suporta uma torre de perfuração 4 tendo um bloco móvel 6 para elevar e abaixar uma coluna de perfuração 8. Uma barra de comando 10 suporta a coluna de perfuração 8 quando é abaixada através de uma mesa rotativa 12. Uma broca de perfuração 14 é acionada por um motor de fundo de poço e/ou rotação da coluna de perfuração 8. Quando a broca 14 gira, ela cria um furo de poço 16 que passa através de várias formações 18. Uma bomba 20 circula fluido de perfuração através de um tubo de alimentação 22 para a barra de comando 10, fundo de poço através do interior de coluna de perfuração 8, através dos orifícios na broca de perfuração 14, de volta para a superfície através da coroa circular em torno de coluna de perfuração 8, e para dentro de uma bacia de retenção 24. O fluido de perfuração transporta detritos do furo de poço para dentro da bacia 24 e ajuda a manter a integridade do furo de poço.

Uma ferramenta de formação de imagem por resistividade LWD 26 é integrada no conjunto de fundo de poço próximo à broca 14. À medida que a broca se estende no furo de poço através das formações, a

ferramenta de perfilagem 26 coleta medições que se relacionam com várias propriedades de formação bem como a posição de broca e várias outras condições de perfuração. A ferramenta de perfilagem 26 pode tomar a forma de um colar de perfuração, isto é, uma tubulação de parede espessa que provê peso e rigidez para ajudar no processo de perfuração. Um sub de telemetria 28 pode ser incluído para transferir medições de ferramenta para um receptor de superfície 30 e para receber comandos de um receptor de superfície.

Em vários instantes durante o processo de perfuração, a coluna de perfuração 8 pode ser removida do furo de poço. Uma vez quando a coluna de perfuração foi removida, operações de perfilagem podem ser conduzidas usando uma ferramenta de perfilagem a cabo 34, isto é, uma sonda de instrumento de detecção, suspensa por um cabo 42 tendo condutores para transportar energia para a ferramenta e telemetria a partir da ferramenta para a superfície. Uma porção de formação de imagem por resistividade 34 pode ter blocos de detecção 36 que deslizam ao longo da parede de furo de poço quando a ferramenta é puxada para cima ao longo do furo. Um equipamento de perfilagem 44 coleta medições da ferramenta de perfilagem 34, e inclui equipamentos de computação para processar e armazenar as medições coletadas pela ferramenta de perfilagem.

A figura 3 mostra uma vista de seção transversal de uma linha de cabo ou ferramenta de formação de imagem por resistividade 300 em um furo de poço 16. Um mecanismo de solicitação 302 descentraliza a ferramenta 300 para minimizar a posição entre os sensores da ferramenta e uma parede de furo de poço. Os sensores da ferramenta podem ser posicionados em um bloco sobre o mecanismo de solicitação 302, ou, alternativamente, os sensores podem ser posicionados no corpo principal da ferramenta, oposto ao mecanismo de solicitação. Quando a ferramenta 300 gira e progride ao longo do furo de poço, os sensores traçarão um trajeto helicoidal sobre a parede de furo de poço. Sensores de orientação dentro da ferramenta podem ser usados

para associar as medições de resistividade com as posições dos sensores sobre a parede de furo de poço. Equipamentos de computação na superfície podem coletar medições de resistividade, medições de orientação (azimute), e medições de posição de ferramenta, e podem processar as medições coletadas para criar uma imagem de resistividade da parede de furo de poço.

A figura 4 mostra uma vista de seção transversal de uma forma de concretização alternativa de uma linha de cabo ou ferramenta de formação de imagem por resistividade 400 em um furo de poço 16. Blocos de detecção 402 são empregados contra uma parede de furo de poço para minimizar a posição. Múltiplos blocos podem ser usados para obter medições sobre uma maior fração da circunferência do furo do poço. Em algumas formas de concretização, os blocos são providos em grupos axialmente deslocados para aumentar cobertura circunferencial sem aglomeração indevida na configuração não estendida.

Nos cenários de perfilagem descritos acima com respeito às figuras 1 e 2, o fluido de perfuração presente no furo de poço é um fluido não condutor de eletricidade, tal como uma lama à base de óleo. Algum do fluido pode se misturar com detritos de perfuração ou material proveniente das paredes de furo de poço para formar uma camada semi-sólida viscosa sobre as paredes de furo de poço. Esta camada é comumente denominada "bolo de lama," e ela impede contato íntimo entre os sensores de perfilagem e material de formação descontaminados. Em adição, o movimento do instrumento de perfilagem pode criar uma camada de fluxo de fluido que ainda separa os sensores de perfilagem a partir dos materiais de formação descontaminados.

O bolo de lama e as camadas de fluxo de fluido têm uma condutividade muito baixa, a qual cria alguma dificuldade para medições de alta resolução de resistividade de parede de furo de poço. Medições através das camadas de baixa condutividade podem ser melhoradas por, por exemplo, (1) uso de uma corrente alternada, (2) que aumenta a distância entre os

eletrodos de voltagem a fim de aumentar o nível de sinal, e (3) uso de uma corrente de fonte com uma frequência de operação mais alta para aumentar o acoplamento capacitivo à formação.

5 A figura 5 mostra a face de um bloco sensor ilustrativo 502 tendo seis pares de eletrodos de voltagem 504 posicionados entre os eletrodos de corrente 506 e 508. Na prática, os blocos sensores podem ser providos com eletrodos de voltagem e corrente adicionais, e, de fato, podem operar em múltiplos eixos. Com blocos sensores mono axiais, como o bloco 502, o comprimento do bloco sensor é mantido paralelo ao eixo longo da ferramenta
10 34. A distância entre os eletrodos de corrente 506, 508 - controla a profundidade de investigação, com maiores distâncias provendo maiores profundidades de investigação. A distâncias entre os eletrodos de voltagem 504 controlam a resolução espacial da ferramenta, com menores distâncias provendo resoluções mais altas.

15 A resolução transversal do bloco sensor 502 é limitada pelo espaçamento lateral 510 dos eletrodos de voltagem 504. A diminuição do espaçamento lateral dos eletrodos de voltagem 504 aumenta a resolução lateral das medições derivadas do bloco 502, e, conseqüentemente, melhora a capacidade de o bloco 502 to resolve estrutura fina no furo de poço
20 formações. Infelizmente, quando arrançados em fileiras paralelas, como são eletrodos de voltagem 504, o espaçamento dos eletrodos individuais é limitado ao diâmetro do eletrodo individual. Foi verificado que os eletrodos de voltagem têm um tamanho prático mínimo devido à perda da relação de sinal-para-ruído que ocorre com menores tamanhos de eletrodo. Na prática o
25 espaçamento entre eletrodos têm que ser até mesmo maior que o diâmetro do eletrodo individual a fim de limitar o acoplamento capacitivo inter-eletrodos, o qual ocorre quando a distância entre eletrodos é demasiadamente pequena.

A figura 6A mostra a face de um bloco sensor ilustrativo 602 tendo um arranjo de eletrodos melhorado, no qual duas fileiras de eletrodos de

voltagem 604, 608 são separadas por um eletrodo compartilhado 606. Nesta forma de concretização, o arranjo de eletrodos de voltagem 604, 606, e 608 é configurado para melhorar a resolução lateral. O arranjo de eletrodos de voltagem do bloco 602 compreende um eletrodo compartilhado 606, uma primeira fileira de eletrodos de voltagem 604 dispostos em um lado do eletrodo compartilhado 606, e uma segunda fileira de eletrodos de voltagem 608 dispostos no lado oposto do eletrodo compartilhado 606. O eletrodo compartilhado 606 serve como um eletrodo de voltagem de cada par de eletrodos de voltagem formado com os eletrodos de voltagem 604 e 608. Como ilustrado, os eletrodos 604 e 608 são lateralmente deslocados, permitindo medições de resolução transversal mais alta que as que são possíveis com o arranjo paralelo dos eletrodos de voltagem 504 na figura 5. Embora os eletrodos de voltagem 604 e 608 sejam ilustrado como quatro e cinco eletrodos, respectivamente, nenhuma restrição quando ao número de eletrodos é pretendida, e, na prática, o bloco 602 pode empregar qualquer número de eletrodos de voltagem.

Adicionalmente, bloco 602 pode incluir múltiplos eletrodos de voltagem compartilhados e múltiplas fileiras de eletrodos de voltagem. A figura 6B mostra o bloco sensor ilustrativo 602, no qual as fileiras de eletrodos de voltagem 604, 608 são separadas pelo eletrodo compartilhado 606, e ainda incluindo o eletrodo compartilhado 610 separando as fileiras de eletrodo de voltagem 608, 612. Neste arranjo, as fileiras de eletrodos de voltagem 604, 608, e 612 são lateralmente deslocadas para obter resolução lateral até mesmo mais alta que a provida pela configuração de eletrodos de voltagem 604, 606, e 608, ilustrada na figura 6A.

Quando a ferramenta 34 atravessa o furo de poço 36, o bloco 602 é estendido contra uma parede de furo de poço e medições de voltagem indicativas da resistividade de formação são realizadas. As medições associadas com os pares de eletrodos de voltagem formados pelo eletrodo de

voltagem 604 e eletrodo compartilhado 606 são longitudinalmente deslocados das medições associadas com os pares de eletrodos de voltagem formados pelo eletrodo de voltagem 608 e eletrodo compartilhado 606. Para realizar alta resolução lateral, as medições associadas com os dois conjuntos de eletrodos devem ser alinhadas ou desprovidos de obliquidade. O alinhamento das duas medições pode ser realizado pela associação das medições feitas pelos eletrodos de voltagem em um lado do eletrodo compartilhado com medições feitas na mesma posição de furo de poço longitudinal pelos eletrodos de voltagem no lado oposto do eletrodo compartilhado. Alternativamente, as medições feitas pelos eletrodos de voltagem em qualquer ou em ambos os lados do eletrodo compartilhado podem ser interpoladas para estimar o valor de resistividade em qualquer posição longitudinal do furo de poço.

A figura 7 mostra a face de um bloco sensor 702 ilustrando um arranjo de eletrodos de voltagem alternativo. Neste arranjo, o eletrodo de voltagem compartilhado 706 compreende dois segmentos. Quando os eletrodos de corrente 506 e 508 são energizados para criar um campo elétrico oscilatório em uma parede de furo de poço, corrente geralmente flui longitudinalmente entre os eletrodos de corrente 506 e 508 através das formações de parede de furo de poço. Todavia, não-homogeneidade localizada das formações de parede de furo de poço pode induzir fluxo de corrente lateral ao bloco 502. Sob tais condições, o eletrodo de voltagem compartilhado 606 provê um trajeto de corrente de baixa resistividade transversal ao bloco 602. Visto que diferenças de voltagem medidas pelos eletrodos de voltagem 604, 606, e 608 são criadas por fluxo de corrente longitudinal, ao invés de fluxo de corrente transversal, quaisquer distúrbios em fluxo de corrente atribuíveis ao eletrodo de voltagem compartilhado 606 devem somente ter um menor efeito sobre as medições de voltagem. Todavia, qualquer menor efeito que o eletrodo de voltagem compartilhado 606 possa ter sobre as medições de voltagem pode ser atenuado pela interrupção do

trajeto de corrente transversal através do eletrodo por incluir eletrodo de voltagem compartilhado segmentado 706.

A figura 8 mostra a face de um bloco sensor 802 ilustrando um segundo arranjo de eletrodos alternativo. Neste arranjo, o eletrodo de voltagem compartilhado 806 compreende três segmentos. A provisão do
5 eletrodo de voltagem compartilhado 806 como três segmentos atenua ainda mais distúrbios em fluxo de corrente transversal, enquanto permite medições de voltagem de alta resolução transversal. Note que, embora três segmentos estejam ilustrados, uma variedade de configurações são concebíveis, que
10 empregam um número até mesmo maior de segmentos. Por exemplo, como indicado pelas linhas pontilhadas entre eletrodos de voltagem 604, 806, e 608, cada dos três segmentos de eletrodo de voltagem compartilhado 806 serve a três eletrodos de voltagem 604 ou 608. Uma forma de concretização alternativa de eletrodo de voltagem compartilhado 806 compreende quatro
15 segmentos, em que três segmentos servem a dois eletrodos de voltagem 604 ou 608, e um segmento serve a três eletrodos de voltagem 604 ou 608. Ainda, uma outra forma de concretização alternativa do eletrodo de voltagem compartilhado 806 compreende cinco segmentos em que quatro segmentos servem a dois eletrodos de voltagem 604 ou 608, e um segmento serve um
20 eletrodo de voltagem 604 ou 608. Inúmeros arranjos de eletrodos de voltagem compartilhados 806 são possíveis para obter melhores medições de voltagem de resolução lateral.

Uma seção transversal do bloco sensor ilustrativo 802 é mostrada na figura 9. O bloco sensor 802 compreende um substrato de metal
25 902 para prover o bloco com a rigidez e resistência necessárias. O substrato de metal 902 pode incluir cavidades 904 para suportar os circuitos de sensor. Para fins ilustrativos, as alimentações de eletrodo são mostradas passando através do bloco sensor 902, mas as alimentações de eletrodo podem alternativamente conectar-se aos circuitos de sensor nas cavidades 904 ou em

uma cavidade central (não mostrada). Em algumas formas de concretização, o substrato de metal 902 compreende aço. A face do substrato de metal 902 é coberta com uma camada de isolamento 906, a qual, em algumas formas de concretização, compreende um material de polietere tercetona (PEEK). Os eletrodos de corrente 506 e 508 são embutidos na face da camada de isolamento 906.

Em certas formas de concretização da presente invenção, a corrente fluindo para dentro dos eletrodos de corrente 506, 508 pode ser medida e então usada para determinar a resistividade da formação adjacente. Com referência à figura 10, os sensores de corrente 1002, 1004 são mostrados. Em formas de concretização ilustrativas da presente invenção, os sensores de corrente 1002, 1004 incluem transformadores 1006, 1008 que são usados para assistir na medição da corrente associada aos eletrodos de corrente 506, 508. Ainda, a corrente de fonte é encaminhada através de amplificadores de potência 1010, 1012, na presente forma de concretização. Na forma de concretização ilustrativa, o transformador 1006 é acoplado entre o amplificador de potência 1010 e o eletrodo de corrente esquerdo 506 de modo que a medição de corrente inclui somente a corrente fluindo para o eletrodo de corrente 506. Similarmente, o transformador 1008 é acoplado entre o amplificador de potência 1012 e eletrodo de corrente direito 508 de modo que a medição de corrente inclui somente a corrente fluindo para o eletrodo de corrente 508. Uma vez que a corrente total que provém da fonte é conhecida, e a corrente fluindo para os eletrodos de corrente 506, 508 é medida, uma medição acurada da corrente de excitação injetada na formação é conhecida e não conduz a um cálculo distorcido da resistividade de formação.

Quando a ferramenta 34 é operada com uma muito baixa frequência de corrente de fonte de excitação (isto é, aproximadamente menor que 2-5 kHz), o acoplamento capacitivo ao metal corpo do bloco sensor 802 é

desprezível, significando que a fuga de corrente entre eletrodos de corrente 506, 508 e corpo de metal do bloco sensor 802 é muito pequena e a medição de corrente de excitação injetada a partir dos eletrodos de corrente 506, 508 é relativamente acurada. Todavia, a operação da ferramenta 34 a baixas frequências de corrente resulta em má precisão, quando da medição da resistividade de parede de furo de poço, devida à baixa diferença de voltagem gerada entre os eletrodos de voltagem 604, 806, 608. O uso de frequências mais altas (por exemplo, em excesso de 5 kHz, e tipicamente na faixa de 10 kHz a 100 kHz) pode prover medições mais acuradas da resistividade adjacente de parede de furo de poço, e é preferível para a medição de formações de baixa resistividade (isto é, menor que 5 Ohm-m). Um aumento na frequência de excitação de corrente de fonte pode produzir um correspondente aumento indesejável em fuga de corrente dos eletrodos de corrente 506, 508 para o corpo de metal do bloco sensor 802. O erro de medição induzido por esta corrente de fuga pode ser reduzido pelo uso de eletrodos de proteção e do método explicado no pedido correlacionado número de série 11/421.985, intitulado "OBMI Tool com Guarded Electrode Current Measurement".

Com referência agora à figura 11, uma primeira configuração ilustrativa de uma ferramenta de formação de imagem de reservatório de lama à base de óleo (OMRI) é mostrada. O circuito 1100 representa uma ilustração simplificada da fonte de corrente de excitação 1102 e amplificadores de voltagem diferenciais 1104, 1108. Durante o uso de uma ferramenta de OMRI tendo esta configuração, uma significativa fonte de erro na medição de valores de resistividade de formação aparece a partir de imprecisões nas medições de voltagem da ferramenta 34, causadas impedância de entrada finita dos amplificadores de voltagem diferenciais 1104, 1108 acoplados entre o eletrodo compartilhado 806 e os eletrodos de voltagem nas fileiras 604, 608. A impedância de entrada grande, mas não infinita, dos amplificadores de

voltagem diferenciais 1104, 1108 permite que uma pequena quantidade de corrente 1112 flua para dentro dos componentes eletrônicos dos amplificadores através dos eletrodos de voltagem 604, 806, e 608. Este fluxo de corrente causa uma queda de voltagem na camada de lama 21 à frente dos
5 eletrodos de voltagem 604, 806, e 608. Uma vez que a camada de lama 21 à frente de cada dos eletrodos de voltagem 604, 806, e 608 não é uniforme, a ocorrência de cada queda de voltagem é diferente.

Como um resultado, um diferencial de voltagem errôneo e indesejado é criado entre os eletrodos de voltagem 604, 806, e 608 e é
10 superposto à diferença de voltagem, que é proporcional à resistividade da formação 18 gerada pelo fluxo de corrente 1110 que flui em paralelo à superfície de bloco 802. Este diferencial de voltagem errôneo e indesejado, atribuível à impedância de entrada finita dos amplificadores 1104, 1108, é, até uma aproximação de primeira ordem, proporcional à voltagem de modo
15 comum. Voltagem de modo comum é a diferença de potencial entre o terra de referência dos amplificadores 1104, 1108 e o potencial médio da formação à frente dos eletrodos de voltagem 604, 806, e 608. Embora o terra de referência do amplificador 1104, 1108 seja frequentemente conectado ao corpo de metal do bloco sensor 802, outras implementações são possíveis
20 onde o terra de referência é deslocado ou dirigido para um potencial diferente.

O efeito deste erro de medição pode ser significativo durante a medição de formações com uma baixa resistividade (isto é, menor que 5 Ohm-m) usando o método de injeção de corrente descrito acima, no qual a medição de uma baixa diferença de voltagem entre os eletrodos de voltagem
25 604, 806, e 608 pode ser necessária. A fim de reduzir o erro de medição devido ao efeito de voltagem de modo comum sobre a voltagem diferencial, a voltagem de modo comum nos eletrodos de voltagem 604, 806, e 608 é minimizada nas formas de concretização preferidas.

A figura 12 mostra um modelo de circuito ilustrativo para o

bloco 802 quando ele opera para medir a resistividade de formação. O bloco 802 compreende circuitos de medição 1202 acoplados aos eletrodos de voltagem e eletrodos de corrente. Os vários eletrodos por vez se acoplam com o ambiente de medição que é modelado como um circuito equivalente 1204.

5 A fonte de corrente ou voltagem 1205 conduz uma corrente de excitação de oscilação entre os eletrodos de corrente ("eletrodo direito" e "eletrodo esquerdo"). A fonte 1205 é também acoplada entre as blindagens/eletrodos de proteção ("blindagem direita" e "blindagem esquerda") para manter as blindagens em aproximadamente o mesmo potencial que seus
10 correspondentes eletrodos de corrente. O circuito equivalente 1204 é uma aproximação simplificada das características elétricas da parede do furo de poço, e é provido aqui como uma ajuda para a compreensão da configuração dos circuitos de medição 1202.

O detector 1244 é utilizado para medir a voltagem de modo
15 comum no eletrodo de voltagem compartilhado 806. Como exemplificado na figura 8, o eletrodo de voltagem compartilhado 806 compreende segmentos múltiplos. Quando o eletrodo de voltagem compartilhado 806 compreende três segmentos, o detector 1244 compreende três detectores, cada detector acoplado a um segmento do eletrodo de voltagem compartilhado 806, e o
20 sinal de voltagem V_{CMV} compreende a saída de cada detector. A saída de cada detector (i.e. V_{CMV1} , V_{CMV2} , V_{CMV3}) é amostrada usando um conversor de analógico-para-digital, e os sinais digitais são então tornados médios para encontrar a voltagem de modo comum V_c (isto é, $V_c = (V_{CMV1} + V_{CMV2} + V_{CMV3}) / 3$). É notado aqui que a voltagem de modo comum de cada segmento
25 de eletrodo compartilhado deve ser similar porque as linhas de campo equipotenciais são perpendiculares ao fluxo de corrente entre os dois eletrodos de corrente.

Uma vez que a voltagem de modo comum no eletrodo de voltagem compartilhado 806 é conhecida, a voltagem de modo comum no

eletrodo compartilhado 806 pode ser minimizada pelo uso das técnicas explicadas no pedido correlacionado número de série PCT/US2006/034959, intitulado “Oil Based Mud Imaging Tool with Common Mode Voltage Compensation”. Pela minimização da voltagem de modo comum, medida no

5 eletrodo compartilhado 806, a voltagem de modo comum é minimizada para todos dos eletrodos 604, 806, e 608, melhorando a precisão das medições da resistividade de formação adjacente.

Sensores de corrente, compreendendo transformadores 1208, 1212 e amplificadores 1210, 1214, são acoplados ao eletrodo direito e

10 eletrodo esquerdo para medir fluxos de corrente simultâneos a partir dos dois eletrodos de corrente. As correntes medidas podem ser corrigidas para compensar para fluxo de corrente na linha de base (isto é, o fluxo de corrente que seria medido se a ferramenta fosse isolada em um vácuo ou em ar). Em algumas formas de concretização, a voltagem de cada eletrodo de corrente

15 (em relação ao corpo de ferramenta) é medida e multiplicada por uma constante de calibração a vácuo para determinar a corrente de linha de base deste eletrodo de corrente. Note que os eletrodos de corrente podem estar em diferentes voltagens, causando com que uma diferente corrente de linha de base seja determinada para cada eletrodo de corrente. Os valores de corrente

20 corrigidos são determinados pela subtração de cada corrente de linha de base a partir da corrente medida para o respectivo eletrodo de corrente.

Em adição aos amplificadores de detecção de corrente 1210, 1214 para as medições de corrente, os circuitos de medição 1202 incluem detectores 1216, 1217 para cada eletrodo de voltagem para medir a diferença

25 de potencial gerada pelas correntes de excitação de formação. Detectores 1216, 1217 podem tomar a forma de um amplificador de voltagem diferencial, e, em formas de concretização alternativas, podem tomar a forma de amplificadores de detecção separados para cada eletrodo de voltagem. Em ambos os casos, o circuito 1202 pode incluir conversores de analógico-para-

digital para permitir o processamento digital das diferenças de potencial medidas. Estas diferenças de potencial são associadas com uma posição sobre a parede de furo de poço e processadas para estimar a resistividade de formação naquela posição.

5 O circuito equivalente 1204 inclui componentes 1218-1242 que se aproximam de um trajeto de corrente teórico entre os eletrodos de corrente. O capacitor 1221 representa um acoplamento capacitivo residual entre o eletrodo de corrente esquerdo e o corpo de bloco, e o capacitor 1222 representa um acoplamento capacitivo entre o eletrodo esquerdo e uma parede
10 de furo de poço. Os resistores 1224, 1226, 1240 e 1228 representam porções resistivas da parede de furo de poço. Capacitor 1229 representa um acoplamento capacitivo residual entre o eletrodo de corrente direito e o corpo de bloco, e capacitor 1230 representa um acoplamento capacitivo entre uma parede de furo de poço e o eletrodo direito. Os capacitores 1232, 1242, e 1234
15 representam acoplamentos capacitivos entre os eletrodos de voltagem e a porção medida da parede de furo de poço. As blindagens minimizam acoplamento capacitivo direto entre os eletrodos de corrente e o corpo de bloco, assumindo que os acoplamentos capacitivos 1218 e 1220 existem. O acoplamento indireto está presente como representado pelos capacitores 1236
20 e 1238. As correntes indicadas como I_{CFL} e I_{CFR} fluem através dos resistores 1226 e 1240, respectivamente, e essas são as correntes de interesse para determinar a resistividade de formação. Dadas as correntes de eletrodo medidas e assumindo que as correntes de eletrodo de voltagem são minimizadas, é possível estimar as correntes de interesse, I_{CFL} e I_{CFR} , e,
25 consequentemente, a resistividade da adjacente formação de parede de furo de poço.

Um processador pode ser provido como parte dos circuitos de medição 1202 para calcular valores de resistividade. Alternativamente, as medições de corrente e voltagem podem ser comunicadas aos equipamentos

de computação na superfície para calcular os valores de resistividade. A estimativa de resistividade pode ser expressa como uma função:

$$R = f(\delta V, I_{LE}, I_{RE}) \quad (4)$$

onde I_{LE} é a corrente presente no eletrodo de corrente esquerdo, e I_{RE} é a corrente presente no eletrodo de corrente direito. A função
5 pode assumir um número de formas, dependendo das experimentalmente características de bloco sensor medidas. Em algumas formas de concretização, a estimativa de resistividade é a diferença de voltagem medida dividida por uma soma ponderada das correntes de eletrodo medidas e corrigidas, as quais foram corrigidas através da compensação das correntes de
10 fuga de blindagem:

$$R = k \delta V / (c_0 I_{MAX} + C_1 I_{MIN}), \quad (5)$$

onde k é uma constante de calibração baseada na geometria do bloco sensor, I_{MAX} é a maior das correntes de eletrodo corrigidas, I_{MIN} é a menor das correntes de eletrodo corrigidas, e c_0 e c_1 são fatores de peso que se somam à unidade. Em uma forma de concretização, os fatores de peso são
15 iguais a $1/2$, enquanto em uma outra forma de concretização, $C_1 = 2/3$. Os fatores de peso podem ser determinados em uma maneira que minimiza o erro médio ao quadrado em várias curvas de calibração. Em ainda outras formas de concretização, a estimativa de resistividade é uma soma ponderada de resistividades determinadas para as correntes medidas separadamente:

$$R = c_0 R_{MIM} + C_1 R_{MAX} = c_0 (k \delta V / I_{MAX}) + c_1 (k \delta V / I_{MIN}), \quad (6)$$

20 onde, novamente, k é uma constante de calibração baseada na geometria do bloco sensor, I_{MAX} é a maior das correntes de eletrodo corrigidas, I_{MIN} é a menor das correntes de eletrodo corrigidas, e c_0 e c_1 são fatores de peso que se somam à unidade.

A figura 13 mostra um fluxograma de um método de formação
25 de imagem por resistividade. No bloco 1302, a ferramenta de formação de imagem por resistividade é colocada em um furo de poço. Para LWD, a

ferramenta é parte do conjunto de fundo de poço para realizar perfilagem quando as operações de perfuração são realizadas. Para perfilagem a cabo, a ferramenta é parte da sonda que é abaixada até o fundo da região de interesse para realizar perfilagem quando a ferramenta de perfilagem é puxada para cima ao longo do furo a uma taxa constante.

No bloco 1304, a ferramenta é colocada no modo de perfilagem. Para LWD, essa operação pode (ou não pode envolver expansão de um descentralizador que força os sensores no corpo de ferramenta contra a parede de furo de poço. Alternativamente, a ferramenta de formação de imagem por resistividade de LWD pode ter um ou mais blocos sensores que são estendidos contra uma parede de furo de poço. para perfilagem a cabo, múltiplos blocos sensores são estendidos contra a parede de furo de poço.

Os blocos 1306-1326 representam operações que ocorrem durante o processo de perfilagem. Embora mostradas e descritas em uma maneira sequencial, as várias operações podem ocorrer concorrentemente, e, além disto, elas podem ocorrer simultaneamente para múltiplos eletrodos de voltagem e múltiplos blocos sensores.

No bloco 1306, a ferramenta mede a diferença de potencial entre a formação e a terra de referência do amplificador de voltagem diferencial, referido como o sinal de voltagem de modo comum. No bloco 1308, uma verificação da medição de voltagem de modo comum é realizada para determinar se o sinal de voltagem de modo comum está dentro de um limite aceitável para coletar medições de voltagem diferencial acuradas a partir da formação. Se o sinal de voltagem de modo comum não está dentro de limites aceitáveis, parâmetros de operação de ferramenta, tais como a magnitude de da amplitude e/ou fase de corrente de excitação, são ajustados para levar o sinal de voltagem de modo comum para dentro dos limites aceitáveis para formação de imagens por resistividade da formação.

Uma vez quando a voltagem de modo comum é determinada

que está dentro de um limite aceitável, no bloco 1314 a ferramenta mede das correntes através dos dois eletrodos de corrente, e ainda mede a diferença de voltagem entre os vários pares de eletrodos de voltagem nesta etapa. No bloco 1316, a ferramenta determina uma medição de resistividade compensada para cada par de eletrodos de voltagem de acordo com uma das equações (4), (5), ou (6).

No bloco 1320, medições de resistividade associadas aos eletrodos em qualquer lado do eletrodo compartilhado são obliquamente ajustados para compensar as diferentes posições longitudinais dos eletrodos quando medições de voltagem foram realizadas. O ajuste de obliquidade pode ser realizado, por exemplo, pela associação feita pelos eletrodos de voltagem em um lado do eletrodo compartilhado com medições feitas na mesma posição de furo de poço longitudinal pelos eletrodos de voltagem no lado oposto do eletrodo compartilhado. Alternativamente, medições feitas pelos eletrodos de voltagem em qualquer ou em ambos os lados do eletrodo compartilhado podem ser interpoladas para estimar o valor de resistividade em qualquer posição do furo de poço longitudinal.

No bloco 1322, a ferramenta, ou mais provavelmente o equipamento de perfilagem de superfície acoplado à ferramenta, associa as medições de resistividade compensadas e desprovidas de obliquidade com uma medição de posição e orientação de ferramenta, permitindo assim uma determinação de valores de pixel de imagem da parede do furo de poço. Em pelo menos algumas formas de concretização, uma imagem da parede de furo de poço é exibida em tempo real, enquanto o processo de perfilagem está em andamento.

No bloco 1324, a ferramenta se move ao longo do furo de poço, e, no bloco 1326, uma verificação é realizada para determinar se as operações de perfilagem devem continuar (por exemplo, se a ferramenta de perfilagem atingiu o final da região de interesse). Para operações de

perfilagem contínuas, os blocos 1306-1326 são repetidos. Uma vez quando as operações de perfilagem estão completas, o equipamento de perfilagem de superfície pode processar as medições de resistividade e de posição para gerar e exibir uma imagem refinada da parede de furo de poço no bloco 1328.

5 Uma variedade de geometrias de eletrodo de voltagem é possível e pode ser usada. Um maior número de eletrodos de voltagem pode prover resoluções mais altas a expensas de custos de processamento elevados. Em tais arranjos, é contemplado que a voltagem de modo comum a ser minimizada será a média dos sinais de voltagem a partir de todos dos
10 segmentos de um eletrodo de voltagem compartilhado. As voltagens e correntes de operação podem variar amplamente enquanto permanecem apropriadas para as operações de perfilagem aqui descritas. Foi verificado que frequências de corrente de fonte acima de em torno de 5 kHz, e talvez tão alta quanto 100 kHz ou mais altas, são desejáveis, pois elas reduzem as
15 impedâncias da camada de lama e aumentam as diferenças de voltagem que podem ser medidas entre os eletrodos de voltagem. Em algumas formas de realização da ferramenta, a frequência de corrente de fonte pode ser comutável entre baixa frequência (por exemplo, 10 kHz) e alta frequência (por exemplo, 80 kHz) para medições em formações de diferente
20 resistividade. Frequências mais altas podem ser preferidas para formações tendo uma densidade geralmente menor, e vice-versa.

Embora formas de concretização ilustrativas desta invenção tenham sido mostradas e descritas, modificações da mesma podem ser feitas por uma pessoa especializada na técnica sem fugir do espírito ou ensinamento
25 desta invenção. As formas de concretização descritas aqui são ilustrativas e não são limitativas. Muitas variações e modificações do sistema e aparelho são possíveis e estão dentro do escopo da invenção. Por exemplo, embora a exposição e reivindicações usem o termo "resistividade", é amplamente reconhecido que condutividade (o inverso de resistividade) tem uma

correspondência de um para um com resistividade e, conseqüentemente, servem frequentemente como um equivalente funcional para resistividade. Por conseguinte, o escopo de proteção não é limitado às formas de concretização descritas aqui, mas é somente limitado pelas reivindicações que

5 seguem, cujo escopo deve incluir todos os equivalentes da matéria das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Ferramenta de formação de imagem em lama à base de óleo, caracterizada pelo fato de que compreende:

5 pelo menos dois eletrodos de corrente longitudinalmente espaçados para criar um fluxo de corrente em uma parede de furo de poço; uma primeira fileira de eletrodos de voltagem lateralmente espaçados; e

10 um eletrodo de voltagem compartilhado longitudinalmente espaçado a partir de dita fileira, em que para cada eletrodo de voltagem em dita fileira, a ferramenta mede uma voltagem em relação ao eletrodo de voltagem compartilhado, em que ditas voltagens resultam de dito fluxo de corrente.

2. Ferramenta de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que:

15 o eletrodo de voltagem compartilhado tem uma maior dimensão lateral que os eletrodos de voltagem em dita primeira fileira.

3. Ferramenta de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de que ainda compreende:

20 uma segunda fileira de eletrodos de voltagem lateralmente espaçados, em que os eletrodos em dita segunda fileira são lateralmente deslocados dos eletrodos em dita primeira fileira, e em que para cada eletrodo de voltagem em dita segunda fileira, a ferramenta mede uma voltagem em relação ao dito eletrodo de voltagem compartilhado.

25 4. Ferramenta de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de que:

dito eletrodo de voltagem compartilhado separa longitudinalmente dita primeira fileira de eletrodos de dita segunda fileira de eletrodos.

5. Ferramenta de acordo com a reivindicação 2, caracterizada

pelo fato de que:

dito eletrodo de voltagem compartilhado compreende uma pluralidade de eletrodos de voltagem.

5 6. Ferramenta de acordo com a reivindicação 2, caracterizada
pelo fato de que:

os pelo menos dois eletrodos de corrente são energizados por uma fonte de excitação para criar um campo elétrico oscilatório em uma parede de furo de poço.

10 7. Ferramenta de acordo com a reivindicação 2, caracterizada
pelo fato de que ainda compreende:

detectores de voltagem acoplados com dito eletrodo de voltagem compartilhado e com cada eletrodo de voltagem em dita fileira para medir uma voltagem para cada eletrodo de voltagem em dita fileira em relação ao eletrodo de voltagem compartilhado.

15 8. Ferramenta de acordo com a reivindicação 7, caracterizada
pelo fato de que:

o detector de voltagem é um amplificador de voltagem diferencial.

20 9. Ferramenta de acordo com a reivindicação 7, caracterizada
pelo fato de que ainda compreende:

pelo menos dois sensores de corrente acoplados entre os pelo menos dois eletrodos de corrente para medir um fluxo de corrente.

10. Ferramenta de acordo com a reivindicação 9, caracterizada
pelo fato de que ainda compreende:

25 um circuito em comunicação com dito primeiro sensor de corrente, dito segundo sensor de corrente e ditos detectores de voltagem para determinar um valor de resistividade de dito primeiro fluxo de corrente, dito segundo fluxo de corrente e dita voltagem.

11. Ferramenta de acordo com a reivindicação 2, caracterizada

pelo fato de que ainda compreende:

pelo menos um detector de voltagem acoplado com dito eletrodo de voltagem compartilhado para medir uma voltagem de modo comum; e

- 5 um circuito acoplado com dito pelo menos um detector de voltagem para minimizar a voltagem de modo comum.

12. Ferramenta de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que:

- 10 o detector de voltagem é um amplificador de voltagem diferencial.

13. Método de perfilagem, caracterizado pelo fato de que compreende:

- 15 criar um campo elétrico oscilatório em uma parede de furo de poço usando pelo menos dois eletrodos de corrente acionados por uma fonte de excitação; e

medir uma primeira voltagem diferencial entre um eletrodo compartilhado e cada de uma primeira fileira de eletrodos de voltagem.

14. Método de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que ainda compreende:

- 20 medir uma segunda voltagem diferencial entre dito eletrodo compartilhado e cada de uma segunda fileira de eletrodos de voltagem.

15. Método de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que:

- 25 dita primeira fileira de eletrodos de voltagem e dita segunda fileira de eletrodos de voltagem são separadas por dito eletrodo compartilhado.

16. Método de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que:

dita primeira fileira de eletrodos de voltagem e dita segunda

fileira de eletrodos de voltagem são lateralmente deslocadas.

17. Método de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que ainda compreende:

5 medir um fluxo de corrente para um primeiro de dito pelo menos dois eletrodos de corrente; e

 determinar valores de resistividade usando ditos fluxos de corrente medidos e ditas voltagens diferenciais medidas.

18. Método de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que ainda compreende:

10 correlacionar ditos valores de resistividade com posições sobre a parede de furo de poço e exibir uma imagem da parede de furo que representa pelo menos as posições sobre a parede de furo de poço associadas com ditos valores de resistividade.

15 19. Método de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que correlacionar os valores de resistividade com posições sobre a parede de furo de poço compreende:

20 alinhar ditos valores de resistividade determinados de ditas primeiras voltagens diferenciais com ditos valores de resistividade determinados de ditas segundas voltagens diferenciais para produzir altos valores de resistividade de resolução lateral.

20. Método de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que alinhar ditos valores de resistividade compreende:

25 recuperar a partir de um dispositivo de armazenamento, ditos valores de resistividade que correspondem a uma posição de parede de furo de poço.

21. Método de acordo com a reivindicação 20, caracterizado pelo fato de que alinhar os valores de resistividade compreende:

 determinar um valor de resistividade que corresponde a uma posição de parede de furo de poço por interpolação de ditos valores de

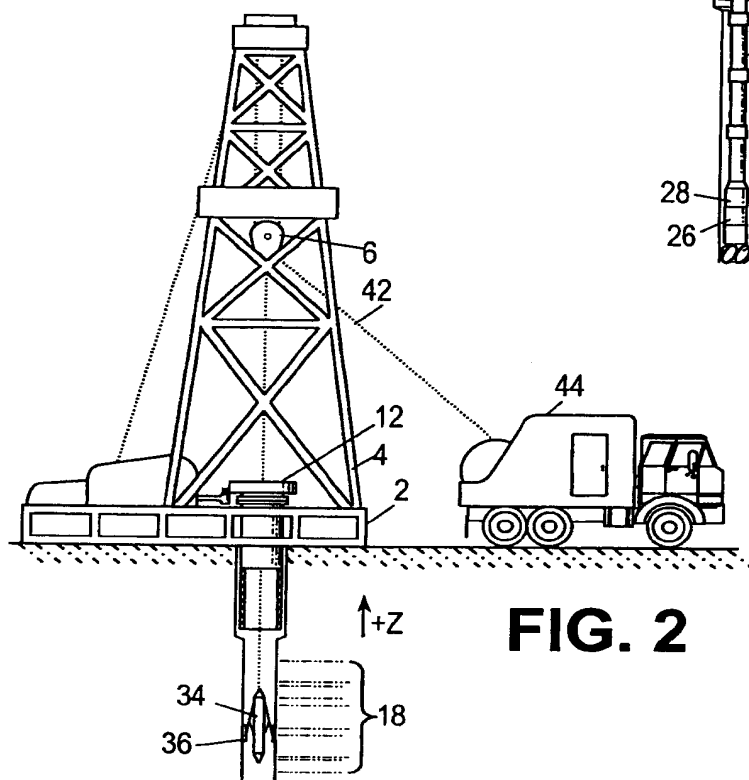
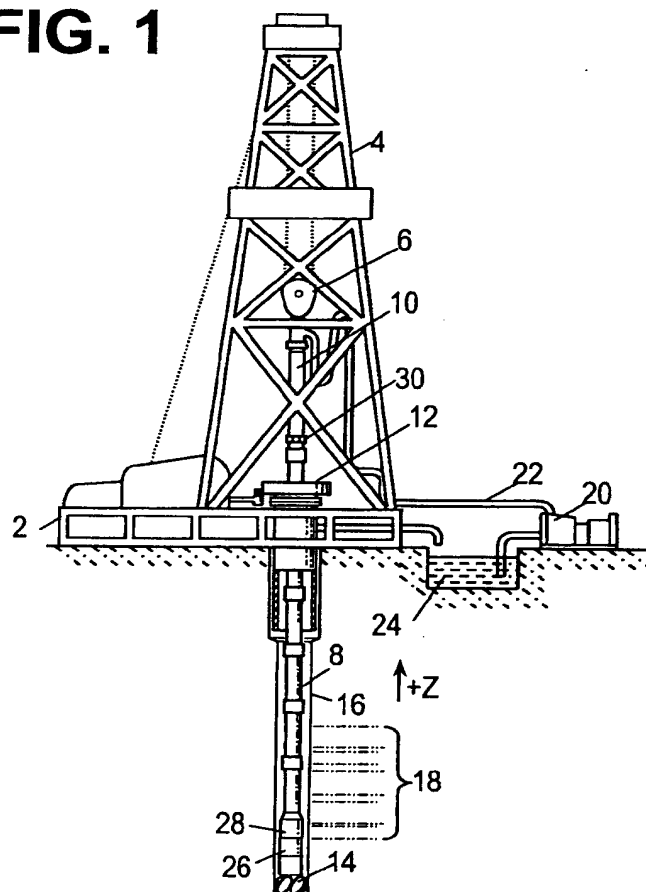
resistividade.

22. Método de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que ainda compreende:

5 medir uma voltagem de modo comum para dito eletrodo compartilhado em relação a uma terra de bloco.

23. Método de acordo com a reivindicação 22, caracterizado pelo fato de que ainda compreende:

 minimizar a voltagem de modo comum, medida para dito eletrodo compartilhado.

FIG. 1**FIG. 2**

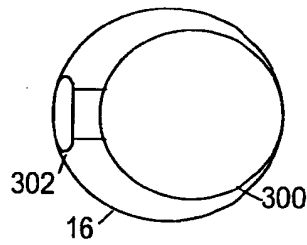


FIG. 3

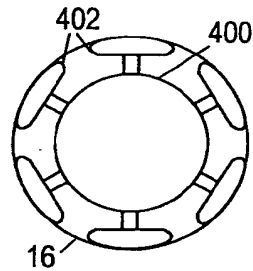


FIG. 4

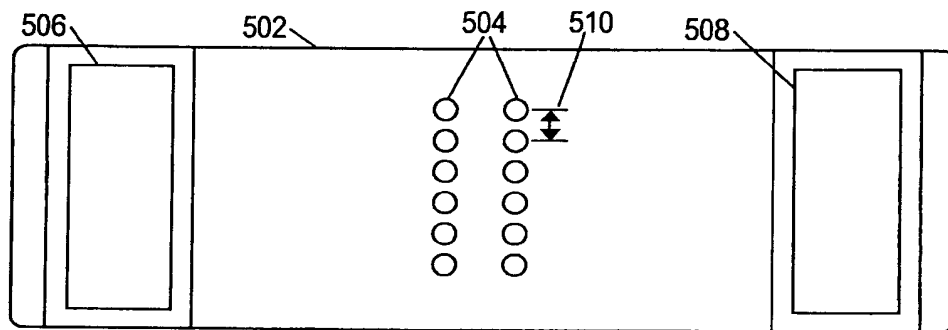


FIG. 5

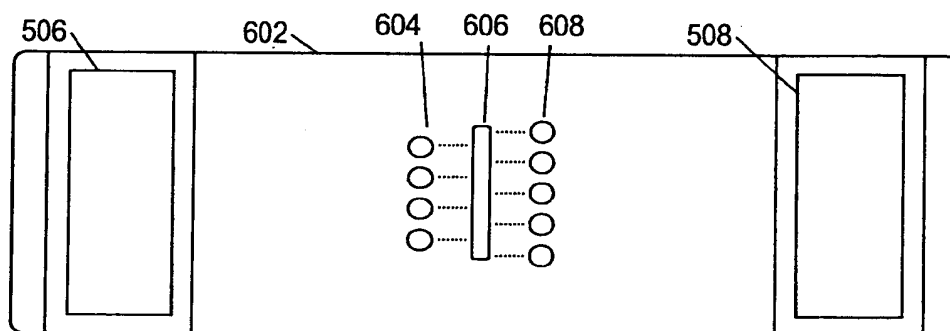


FIG. 6A

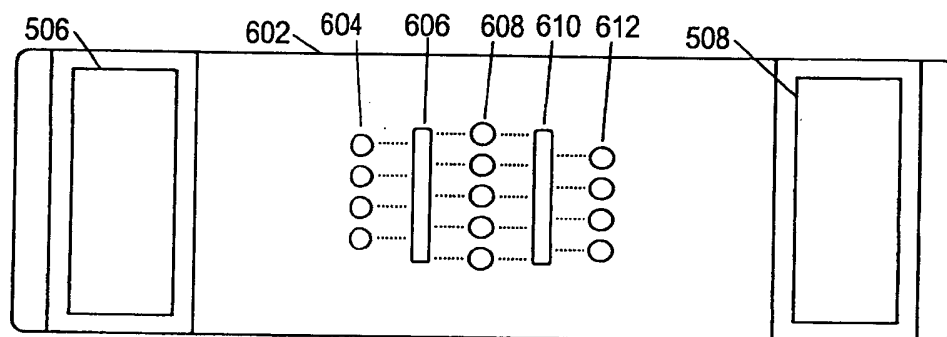


FIG. 6B

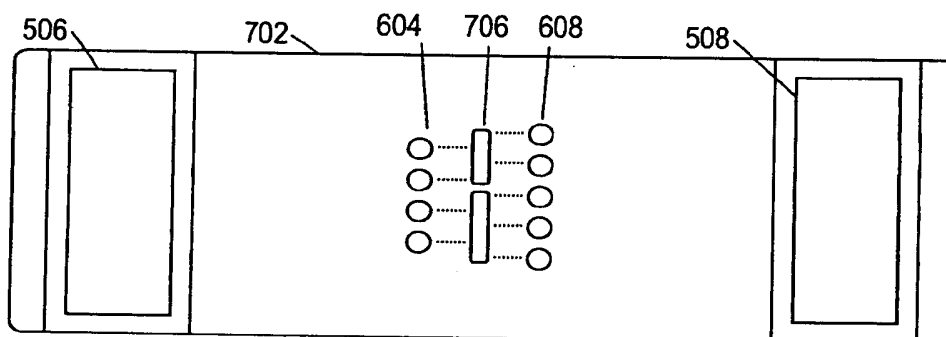


FIG. 7

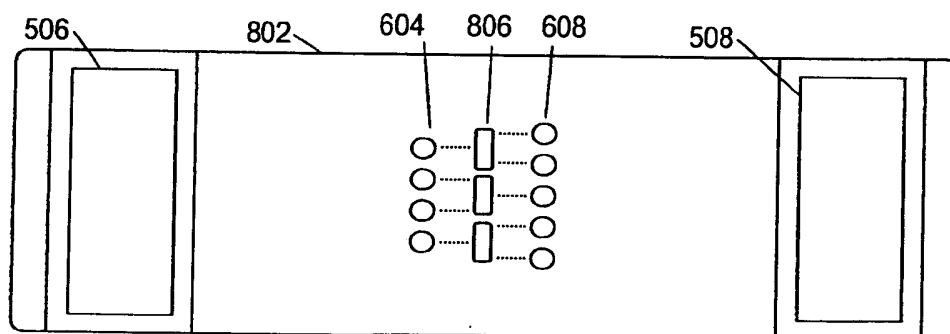


FIG. 8

FIG. 9

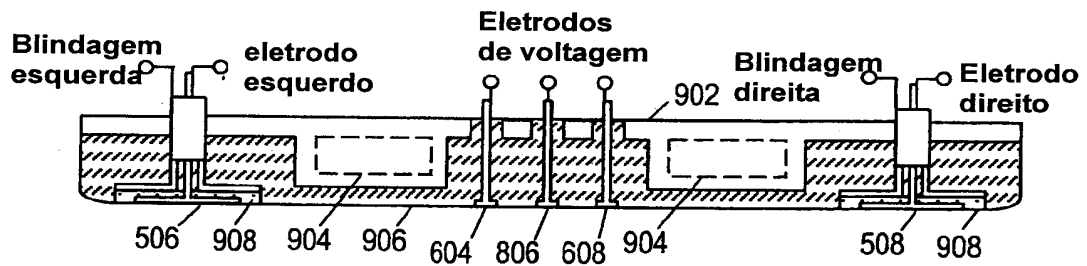
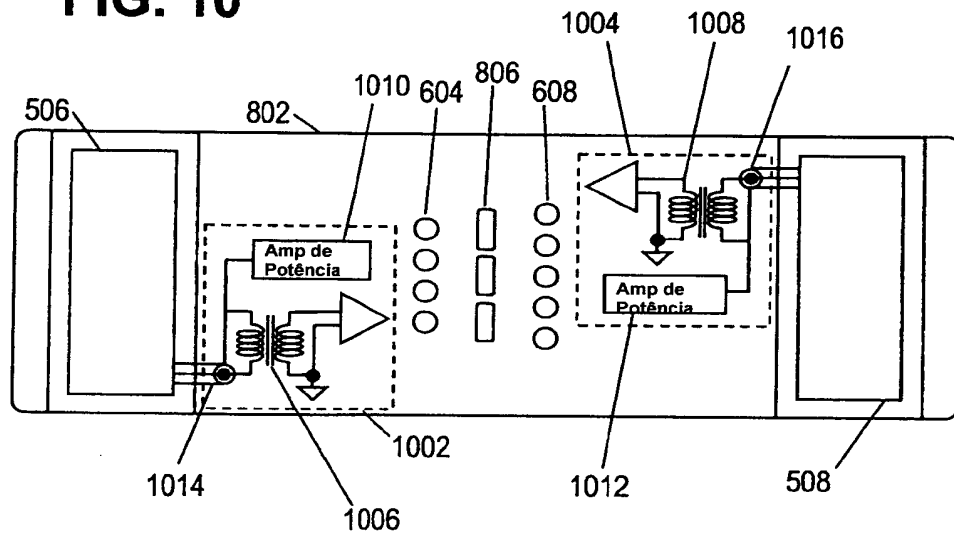


FIG. 10



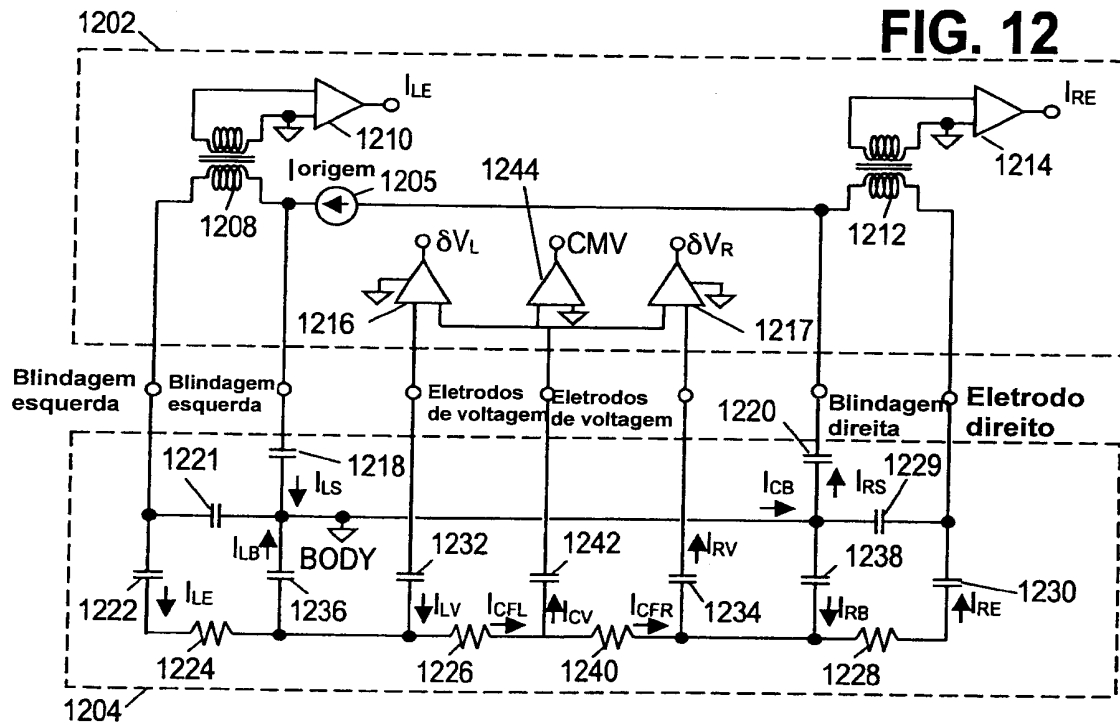
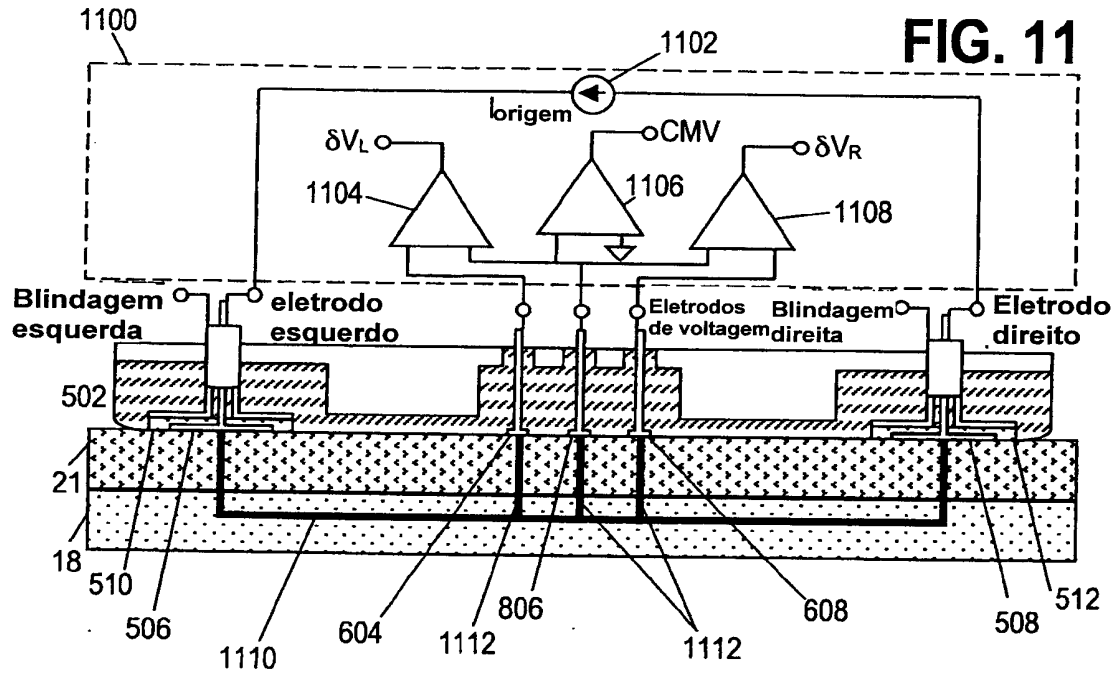
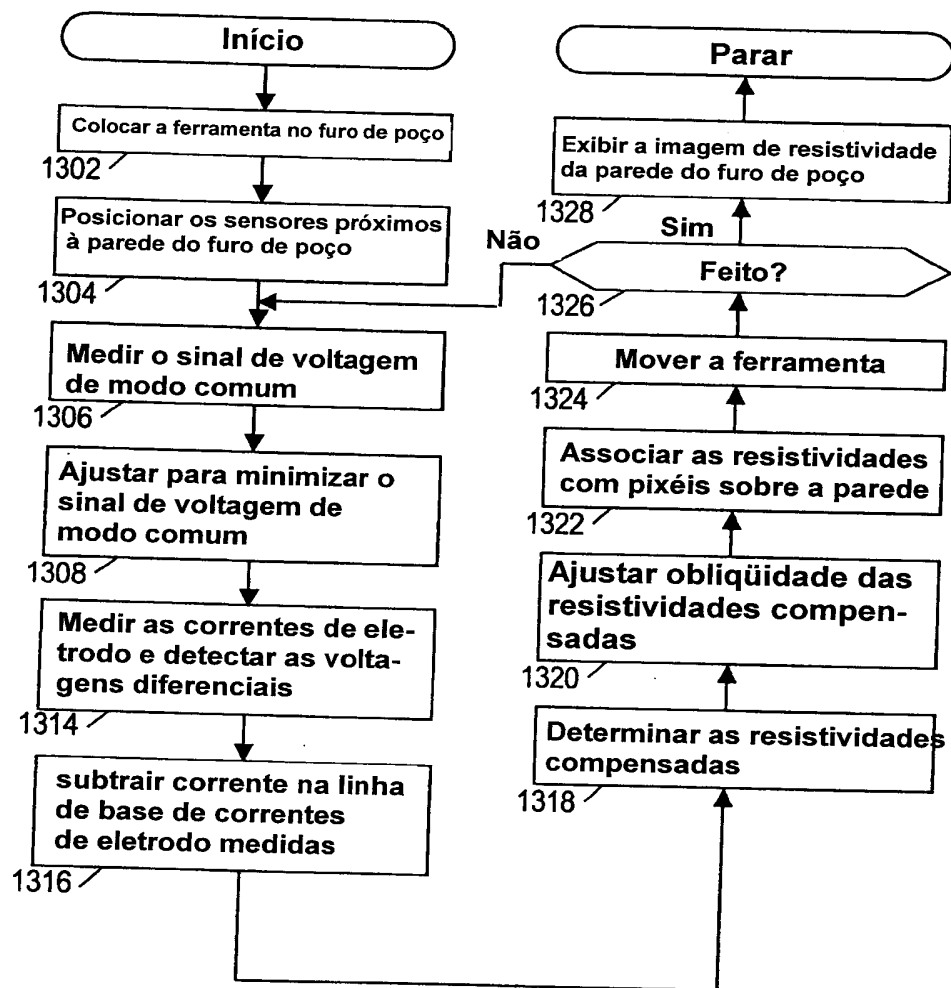


FIG. 13



RESUMO

“FERRAMENTA DE FORMAÇÃO DE IMAGEM EM LAMA À BASE DE ÓLEO, E, MÉTODO DE PERFILAGEM”

Um aparelho e método para executar medições de voltagem de alta resolução transversal em ferramentas de perfilagem de fundo do poço utilizadas para determinar a resistividade de uma porção adjacente de uma parede de furo de poço. Dois eletrodos de corrente 508 e 509 são energizados por uma fonte de excitação para criar um campo elétrico oscilatório em uma parede de furo de poço. A queda de voltagem de cada eletrodo de voltagem em uma fileira de eletrodos de voltagem lateralmente espaçados 604 é medida em relação a um eletrodo de voltagem compartilhado 606 longitudinalmente espaçado da fileira de eletrodos. A voltagem diferencial é usada em combinação com um fluxo de corrente medida para determinar um valor de resistividade para o furo de poço. Uma segunda fileira de eletrodos de voltagem lateralmente espaçados 608 tendo eletrodos lateralmente deslocados dos eletrodos da primeira fileira é incluída para prover alta resolução transversa. Uma voltagem de modo comum nos eletrodos de voltagem compartilhados é medida; e utilizada para minimizar o erro de medição de resistividade