



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

(21) PI 0716809-8 A2



(22) Data de Depósito: 12/09/2007
(43) Data da Publicação: 05/11/2013
(RPI 2235)

(51) Int.Cl.:
G01V 3/30

(54) Título: MÉTODO E APARELHO PARA CRIAÇÃO DE IMAGEM POR RESISTIVIDADE EM FUROS PREENCHIDOS COM FLUIDOS DE BAIXA CONDUTIVIDADE **(57) Resumo:**

(30) Prioridade Unionista: 14/09/2006 US 11/521,016,
10/09/2007 US 11/852,900, 10/09/2007 US 11/852,900, 14/09/2006
US 11/521,016

(73) Titular(es): Baker Hughes Incorporated

(72) Inventor(es): Alexandre N. Bespalov, Leonty A. Tabarovsky,
Randy Gold, Rashid W. Khokhar

(74) Procurador(es): Dannemann ,Siemens, Bigler &
Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2007078223 de
12/09/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/033885de
20/03/2008

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO E APARELHO PARA CRIAÇÃO DE IMAGEM POR RESISTIVIDADE EM FUROS PREENCHIDOS COM FLUIDOS DE BAIXA CONDUTIVIDADE"**.

Antecedentes da Invenção

5 Campo da Invenção

Essa descrição refere-se geralmente à exploração de hidrocarbonos envolvendo investigações elétricas de um furo penetrando uma formação terrestre. Mais especificamente, essa descrição se refere a investigações de furo altamente localizadas empregando a introdução e medição de correntes de pesquisa independentes injetadas na parede de um furo.

Antecedentes da Técnica

Logging elétrico de furo terrestre é bem-conhecido e vários dispositivos e várias técnicas foram descritos para essa finalidade. De forma ampla, existem duas categorias de dispositivos utilizadas em dispositivos de "logging" elétrico. Na primeira categoria, um eletrodo de medição (fonte ou depósito de corrente) é utilizado em conjunto com um eletrodo de retorno difuso (tal como o corpo da ferramenta). Uma corrente de medição flui em um circuito que conecta uma fonte de corrente ao eletrodo de medição, através da formação terrestre para o eletrodo de retorno e de volta para a fonte de corrente na ferramenta. Nas ferramentas de medição por indução, uma antena dentro do instrumento de medição induz um fluxo de corrente dentro da formação terrestre. A magnitude da corrente induzida é detectada utilizando-se a mesma antena ou uma antena receptora separada. A presente descrição é um híbrido dos dois.

Existem vários modos e operação dos dispositivos da técnica anterior: em um, a corrente no eletrodo de medição é mantida constante e uma voltagem é medida enquanto no segundo modo, a voltagem do eletrodo é fixa e a corrente que flui a partir do eletrodo é medida. De forma ideal, é desejável que se a corrente variar a fim de manter constante a voltagem medida em um eletrodo de monitor, a corrente é inversamente proporcional à resistividade da formação terrestre sendo investigada. Inversamente, é desejável que se essa corrente for mantida constante, a voltagem medida

em um eletrodo de monitor seja proporcional á resistividade da formação terrestre sendo investigada. A lei de Ohm ensina que se ambas a corrente e a voltagem variarem, a resistividade da formação terrestre é proporcional à razão de voltagem para corrente.

5 As técnicas para investigação da formação terrestre com conjuntos de eletrodos de medição foram propostas. Ver, por exemplo, patente U.S. Nº 2930969 de Baker, patente canadense Nº 685727 de Mann et al., patente U.S. nº 4468623 de Gianzero, e patente U.S. Nº 5502686 de Dory et al. e patente U.S. Nº 6714014 de Evans et al., cada uma das quais fornece
10 informação fundamental adicional para essa descrição.

 Nos dispositivos da técnica anterior, a corrente é ativamente focada na direção perpendicular à parede de furo do poço. Existe um desafio técnico para o fornecimento de condições de foco estáveis durante o logging se as paredes do furo forem ásperas ou a lama for muito condutora. Tão lo-
15 go as condições de foco não sejam encontradas, as medições respondem em muito às propriedades da lama. Os dispositivos da técnica anterior não solucionam especificamente os problemas decorrentes de irregularidades na superfície da parede do furo do poço. Se a parede do furo de poço for irregular, o percurso de corrente de medição se torna distorcido e a relação entre a
20 impedância medida e a resistividade da formação terrestre muda consequentemente.

Sumário da Invenção

 Uma modalidade da descrição é um aparelho para avaliação de uma formação terrestre. O aparelho inclui uma ferramenta de logging confi-
25 gurada para ser transportada em um furo, a ferramenta de logging incluindo pelo menos uma antena e pelo menos dois eletrodos. O aparelho também inclui um processador configurado para energizar um dentre (a) a antena e (b) os eletrodos para produção de uma corrente elétrica na formação terres-
tre e utilizar um sinal produzido por outro dentre (a) a antena e (b) os eletro-
30 dos para determinar uma propriedade de resistividade da formação. O processador pode ser configurado para ativar a antena, a corrente elétrica produzida pode ser uma corrente induzida, e o sinal produzido pode ser uma

voltagem entre os pelo menos dois eletrodos. O processador pode ser configurado para permitir que os dois eletrodos passem a corrente produzida na formação e o sinal é produzido pela antena em resposta a um campo magnético produzido pela corrente elétrica. A antena e/ou os eletrodos podem ser montados em um mandril de um conjunto de furo. A antena e/ou os eletrodos podem ser montados em uma parte extensível a partir de um mandril de um conjunto de furo. A pelo menos uma antena pode incluir três bobinas com eixos geométricos distribuídos por azimute em torno de um eixo geométrico da ferramenta de logging. Pelo menos uma das três bobinas pode se configurada para operar em uma frequência diferente da outra bobina. Os dois eletrodos podem ser configurados para fornecer uma corrente em uma direção que é substancialmente paralela a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de logging ou substancialmente ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de logging. Os pelo menos dois eletrodos podem incluir pelo menos três pares de eletrodos, cada um dos pares de eletrodos estando em uma posição de azimute diferente em uma parte. A ferramenta de logging pode ser configurada para ser transportada para dentro do furo em um cabo, uma perfuração tubular ou uma linha fina. O processador pode ser configurado para utilizar um componente do sinal em quadratura com a corrente elétrica.

Outra modalidade da descrição é um método de avaliação de uma formação terrestre. O método inclui o transporte de uma ferramenta de logging incluindo pelo menos uma antena e pelo menos dois eletrodos em um furo. A antena ou os eletrodos são energizados para produzir uma corrente elétrica na formação terrestre, e um sinal produzido pelo outro dentre a antena e os dois eletrodos é utilizado para estimar a propriedade de resistividade da formação. A corrente elétrica produzida pode ser uma corrente induzida resultando a ativação da antena e o sinal produzido pode ser uma voltagem entre os pelo menos dois eletrodos. A corrente elétrica produzida pode ser uma corrente galvânica entre os dois eletrodos e o sinal produzido pela antena em resposta a um campo magnético produzido pela corrente elétrica. O método pode incluir o posicionamento da antena e/ou dos eletro-

dos em um mandril e um conjunto de furo. O método pode incluir o posicionamento da antena e/ou dos eletrodos em uma parte extensível a partir de um mandril de um conjunto de furo. Três bobinas de antena com eixos geométricos distribuídos por azimuth podem ser utilizadas. Uma das três bobinas pode ser operada em uma frequência diferente a outra das três bobinas. Os dois eletrodos podem ser configurados para fornecer um fluxo de corrente em uma direção que é substancialmente paralela a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta, ou substancialmente ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta. Três pares de eletrodos podem ser utilizados. A ferramenta de logging pode ser transportada para dentro do furo em um cabo, uma perfuração tubular, ou uma linha fina.

Outra modalidade da descrição é um meio legível por computador para uso com um aparelho para avaliação de uma formação terrestre. O aparelho inclui uma ferramenta de logging incluindo pelo menos uma antena e pelo menos dois eletrodos configurados para serem transportados em um furo. O meio inclui instruções que permitem que uma ferramenta de processador energize um dentre (a) a pelo menos uma antena e (b) os pelo menos dois eletrodos para produzir uma corrente elétrica na formação e utilizar um sinal produzido pelo outro de (a) a pelo menos uma antena e (b) os pelo menos dois eletrodos para determinar uma propriedade de resistividade da formação. O meio pode incluir uma memória RAM, ROM, EPROM, EAPROM, flash e/ou um disco ótico.

Breve Descrição das Figuras

A presente descrição é mais bem compreendida com referência às figuras em anexo nas quais referências numéricas similares se referem a elementos similares e nas quais:

a figura 1 ilustra uma ferramenta de logging ilustrativa suspensa em um furo;

a figura 2 é uma vista esquemática mecânica de uma ferramenta de formação de imagem ilustrativa;

a figura 3a é uma ilustração esquemática de três bobinas em uma ferramenta da presente descrição;

a figura 3b ilustra uma modalidade da presente descrição ilustrando uma única bobina em um mandril e eletrodos montados na parte;

a figura 3c é um diagrama de circuito equivalente e uma ferramenta de criação de imagem de resistividade;

5 as figuras 4 e 5 ilustram modelos ilustrativos utilizados para a avaliação da configuração de ferramenta da figura 3b;

a figura 6 ilustra a resposta a azimutes diferentes par ao modelo da figura 4 sem qualquer rugosidade;

10 a figura 7 ilustra o fator K para as curvas da figura 6 para azimutes de 10° e 20°;

a figura 8 ilustra os resultados e aplicação do fator K às curvas de azimuth de 10° e 20°;

a figura 9 ilustra a resposta em diferentes afastamentos para o modelo da figura 4;

15 a figura 10 ilustra o efeito de rugosidade nas medições feitas por uma ferramenta ilustrativa da presente descrição;

a figura 11 ilustra uma modalidade da descrição utilizando um sensor de indução em uma parte;

20 a figura 12 ilustra uma modalidade da descrição utilizando um sensor de indução e uma fonte de corrente em uma parte; e

a figura 13 ilustra uma modalidade da descrição possuindo sensibilidade a azimuth utilizando um sensor indutor e uma fonte de corrente em uma parte.

Descrição Detalhada da Invenção

25 A figura 1 ilustra uma ferramenta de criação de imagem 10 suspenso em um furo 12, que penetra as formações terrestres tal como 13, a partir de um cabo adequado 14 que passa através de uma roldana 16 montada no equipamento de perfuração 18. O cabo 14 inclui um elemento de tensão e sete condutores para a transmissão de comandos para a ferramenta e para o recebimento de dados de volta da ferramenta além de potência para a ferramenta. A ferramenta 10 é erguida e abaixada por guincho 20. O módulo eletrônico 22, na superfície 23, transmite os comandos operacionais

30

necessários para dentro do furo e em troca recebe de volta os dados que podem ser gravados em um meio de armazenamento de arquivo de um tipo desejado de processamento simultâneo ou posterior. Os dados podem ser transmitidos de forma analógica ou digital. Os processadores de dados tal
5 como o computador adequado 24 podem ser fornecidos para realizar a análise dos dados no campo em tempo real ou os dados gravados podem ser enviados para um centro de processamento ou ambos para pós-processamento dos dados.

A figura 2a é uma vista externa esquemática de um sistema de
10 criação de imagem de parede lateral do furo. A ferramenta 10 compreendendo o sistema de criação de imagem inclui conjuntos de resistividade 26. Opcionalmente, o sistema de criação de imagem pode incluir outros sensores, tal como uma célula de lama 30 ou um teleobservador acústico circunferencial 32. Os módulos eletrônicos 28 e 38 podem ser localizados em locais
15 adequados no sistema e não necessariamente nas localizações indicadas. Os componentes podem ser montados em um mandril 34 de uma forma convencional bem-conhecida. O diâmetro externo do conjunto pode ter cerca de 12,7 cm (5 pol) e cerca de 4,5 metros (15 pés) de comprimento. Um módulo de orientação 36 incluindo um magnetômetro e um acelerômetro ou
20 sistema de orientação inercial pode se montado acima os conjuntos de criação de imagem 26 e 32. A parte superior 38 da ferramenta 10 contém um módulo de telemetria para amostragem, digitalização e transmissão das amostras de dados a partir de vários componentes acima do furo para as partes eletrônicas de superfície 22 de forma convencional. Se dados acústicos
25 forem adquiridos, os mesmos são preferivelmente digitalizados, apesar de, em uma disposição alternativa, os dados poderem ser retidos na forma analógica para transmissão para a superfície onde são posteriormente digitalizados pelas partes eletrônicas de superfície 22. Ilustrados também na figura 2a encontram-se três conjuntos de resistividade 26 (um quarto conjunto é
30 escondido da vista).

Voltando-se à figura 3a, um diagrama ilustrativo simplificado de três bobinas verticais 101, 103, 105 da presente invenção em um mandril

(não ilustrado) a presente invenção é ilustrado. A figura 3b ilustra uma das bobinas 103 montada dentro ou na superfície do mandril 121. Braços representados de forma esquemática por 131, 137 estendem uma parte 133 radialmente para fora a partir do mandril para fazer contato com a parede do furo (não ilustrada). Dispostos na parte 133 encontram-se eletrodos representados de forma esquemática por 135a, 135b. Outra parte (não ilustrada) pode ser posicionada no lado oposto da bobina 103 a partir da parte 133. Em uma modalidade alternativa da invenção, uma única bobina pode ser montada no mandril com seu eixo geométrico ao longo do eixo geométrico da ferramenta.

Essa ferramenta pode ser referida como uma ferramenta de "modo misto" visto que uma fonte indutora é utilizada e correntes galvânicas são detectadas pelos eletrodos. Especificamente, uma pluralidade de bobinas retangulares transversais longas com o momento magnético perpendicular ao eixo geométrico do furo é utilizada. Cada circuito de transmissor é centralizado no furo e pares de eletrodo são localizados na parte anexada à parede do furo. Esse é um desenho geral e variações adicionais são identificadas abaixo. Em um desenho prático cada bobina transmitida serve duas partes com um número de pares de eletrodos em cada parte. Cada bobina de transmissor pode ter sua própria frequência operacional para evitar a interferência as bobinas indutoras vizinhas. Pela utilização de um transmissor indutor, uma corrente elétrica pode ser injetada na formação. Em uma frequência baixa e relativamente próxima do circuito de indução, o campo elétrico não depende da condutividade da formação e pode ser aumentado simplesmente pelo aumento da frequência operacional ω . No caso de uma injeção galvânica e lama não condutora a corrente por injeção deve atravessar uma resistência capacitiva bem grande. Isso pode ser mais bem compreendido a partir dos esquemas simplificados na figura 3c onde o capacitor C_m representa a capacitância entre os eletrodos de injeção e a formação e R_f corresponde à resistividade da formação. A corrente I_f injetada na formação pode então ser expressa como:

$$I_f = \frac{U_{ab}}{2X_c + R_f}, X_c = \frac{1}{i\omega C_m}, C_m \approx \varepsilon \frac{S}{d} \quad (1),$$

onde S é a área do eletrodo, U_{ab} é a diferença potencial aplicada entre os eletrodos de injeção a e b. Visto que C_m é inversamente proporcional à distância d entre o eletrodo de corrente e a formação, a quantidade de corrente
 5 injetada na formação cairá com o afastamento crescente. Um transmissor de indução longo está livre de tal alta sensibilidade ao valor de afastamento e bem-adequado para o ambiente não condutor.

Se apenas o campo elétrico for médio, as medições serão muito sensíveis a uma variação relativa da resistividade na formação adjacente.

10 Para derivar a resistividade absoluta da formação, algumas medições de indução adicionais e sua combinação com as leituras galvânicas são úteis.

A resposta ao desenho de ferramenta da figura 3b foi testada em vários modelos diferentes. Um desses é ilustrado na figura 4. É ilustrado aqui um furo 151 com um diâmetro de 21,6 cm (8,5 pol). O mandril é ilustrado
 15 como 121, uma parte por 132 e um braço no qual a parte é transportada, por 131. A ferramenta possui um afastamento variável 133. A formação compreende leitos de espessura de 12,7 cm, 2,54 cm, 5,08 cm, 7,62 cm e 10,16 cm (5 pol., 1 pol., 2 pol., 3 pol., 4 pol.), respectivamente. As camadas possuem resistividades ρ e constante dielétrica relativa ε de 10 Ω -m, 10 e 1 Ω -m, 20,
 20 respectivamente.

Em um segundo modelo ilustrado na figura 5, a formação apresentou uma ρ uniforme = 1 Ω -m, ε = 20. O afastamento foi fixado em 3,18 mm (1/8 pol.). No entanto, o furo é rugoso, com uma profundidade de rugosidade que varia entre 6,35 mm e 19,1 mm (1/4 pol. e 3,4 pol.). A resposta a
 25 outros modelos que representavam uma combinação as características dos modelos das figuras 4 e 5 também foi simulada.

Na modelagem, um transmissor longo de 0,914-m com uma largura de 0,1524 m foi utilizado. A frequência operacional foi de 100 kHz. No caso de frequências mais baixas ou mais altas (até vários MHz), a resposta
 30 pode ser aproximadamente derivada simplesmente pelo novo escalonamento linear do sinal correspondente à frequência de 100 kHz. um circuito

transmissor é localização no ambiente não condutor do furo com o raio do furo igual a 10,795 cm. Um espaçamento de eletrodo de 0,63 cm (0,25 pol.) ou 1,27 cm (0,5 pol.) foi utilizado para medir uma queda potencial U_z na direção vertical paralela ao eixo geométrico do furo.

5 O comportamento típico do sinal elétrico para o modelo é apresentado na figura 6. As três curvas 201, 203 e 205 nessa figura correspondem aos azimutes e 0° , 10° e 20° dos pares de eletrodos do receptor. A abscissa na figura é a profundidade de logging em centímetros e a ordenada é o sinal (a diferença de voltagem entre os eletrodos de botão). As curvas de
10 azimute de 10° e 20° podem ser alteradas para uma curva e 0 pela aplicação de um fator K que é de cerca de 1,07 para a curva de 10° e 1,27 para a curva de 20° . O resultado da divisão das curvas de 10° e 20° pela curva de 0° é apresentado na figura 7 como as curvas 221 e 223, enquanto o resultado da aplicação do fator K às curvas originais da figura 7 é apresentado na figura
15 8. 241 é a resposta de azimute de 0° original para o modelo da figura 7. 243 é a resposta de azimute de 10° corrigida para o modelo enquanto 245 é a resposta de azimute de 20° corrigida. A partir da figura 8, pode-se observar que é possível se cobrir uma faixa de azimute de 40° (de -20° para $+20^\circ$) possuindo-se colunas adicionais de eletrodos na parte da figura 3b.

20 A faixa dinâmica, que é a razão entre a leitura máxima e a mínima ao longo da profundidade de logging, está mudando entre 5 e 6 considerando-se camadas de 2,54 cm (1 pol.) ou mais. Define-se uma Faixa Dinâmica Normalizada (NDR) como uma razão de uma faixa dinâmica de sinal para um contraste de resistividade da mídia correspondente. No modelo da
25 figura 5, o contraste de resistividade das camadas vizinhas é 10, de forma que NDR da disposição de modo misto seja de aproximadamente 0,55.

A seguir, exemplos ilustrando a influência da distância entre os eletrodos receptores e a parede do furo são apresentados. Os resultados da modelagem matemática para o mesmo modelo da figura 5 são apresentados
30 na figura 9. O espaçamento de eletrodo é de 6,35 mm. Para afastamento de 3,18 mm (1/8 pol.) 263 a NDR cai para 0,3 na camada com 2,54 cm (1 pol.) e espessura e reduz para 0,2 e 0,13 para afastamentos de 6,35 mm (1/4

pol.) 265 e 1,27 cm (1/2 pol.) 267, correspondentemente. Para as camadas de 5,08 cm (2 pol.) de espessura o parâmetro NDR é o dobro do que para as camadas de 2,54 cm (2 pol.). As imperfeições decorrentes do afastamento são mais perceptíveis nas camadas condutoras, e não há sinal de imperfeição nas camadas resistivas com espessura superior a 5,08 cm (2 pol.).

Voltando-se a seguir para a figura 10, a sensibilidade do campo elétrico medido para o modelo da figura 6 como uma função da rugosidade do furo é ilustrada. As curvas 281, 283 e 285 correspondem à rugosidade de 6,3 mm (1/4 pol.), 1,27 cm (1/2 pol.) e 1,91 cm (3/4 pol.), respectivamente. Esse é um modelo sem contraste de resistividade, mas o sinal da parede rugosa possui todas as características de uma estrutura – limites e contraste de resistividade. Obviamente, esses artefatos são mais pronunciados para rugosidade de 1,27 cm (1/2 pol.) e 1,91 cm (3/4 pol.) do que para rugosidade de 6,3 mm (1/4 pol.). Com base nos resultados de modelagem extensiva (não ilustrados), se conclui que no caso de uma profundidade de rugosidade de 6,3 mm (1/4 pol.), todos os leitos de 2,54 cm (1 pol.) são bem resolvidos ($NDR > 0,2$) e a presença da rugosidade em alguns leitos não destroi as leituras na frente dos leitos vizinhos. A situação se deteriora à medida que a rugosidade é aumentada para 1,27 cm (3/4 pol.) e 1,91 cm.

As modalidades da descrição discutidas acima utilizam eletrodos de botão para medir uma diferença de voltagem resultante as correntes induzias na formação por uma antena. A antena é energizada para produzir uma corrente induzida na formação e um sinal de voltagem entre os eletrodos é utilizado para determinar a propriedade de resistividade. Outras modalidades da descrição utilizam o princípio da reciprocidade para modificar os desenhos discutidos acima. Nessas outras modalidades, uma corrente é transportada para dentro da formação por (energização) um par de eletrodos para transportar uma corrente (galvânica) para dentro da formação e uma antena é utilizada para medir o campo magnético na formação decorrente do fluxo de corrente. Esse campo magnético é relacionado com a condutividade da formação.

Um exemplo é ilustrado na figura 11. É ilustrada uma parte re-

presentada por 26. As molas em forma de arco são representadas por 42. A corrente é transportada para dentro da formação utilizando-se eletrodos (não ilustrados) em um ponto adequado no mandril. Como seria conhecido dos versados na técnica, esses eletrodos devem ser grandes o suficiente de forma que o resultado das variações no afastamento nos eletrodos sejam niveladas. Com um eletrodo acima e um eletrodo abaixo a parte 26, o fluxo de corrente na formação é substancialmente vertical. Tal fluxo de corrente vertical produzirá um campo magnético que depende da condutividade da formação. Pelo menos uma antena (bobina) tal como 301 com um eixo geométrico transversal pode ser utilizada para medir o campo magnético.

Outra modalidade é ilustrada na figura 12. É ilustrada uma parte representada por 26. As molas em forma de arco são representadas por 42. A corrente é transportada para dentro da formação utilizando os eletrodos 311a, 311b na parte. Esses eletrodos fornecem um fluxo de corrente vertical na formação. O campo magnético produzido pela corrente é uma função da condutividade da formação. Pelo menos uma antena (bobina) tal como 312 com um eixo geométrico transversal pode ser utilizada para medir o campo magnético.

Outra modalidade adicional é ilustrada na figura 13. Os eletrodos 331a, 331b são utilizados para transportar uma corrente na direção horizontal na formação. Uma antena tipo bobina 341 com um eixo geométrico vertical é utilizada para fornecer um sinal indicativo da condutividade da formação.

Deve-se notar que nas modalidades discutidas nas figuras de 11 a 13 mais de uma bobina pode ser utilizada para fornecer medições para uma imagem de resistividade. Deve-se notar adicionalmente que para aplicações MWD, pode não ser necessário se utilizar as medições de conjunto visto que a rotação da ferramenta e o movimento de avanço da broca de perfuração podem ser utilizados para realizar as medições para uma imagem de resistividade utilizando uma antena tipo bobina única.

Deve-se notar adicionalmente que se o meio for anisotrópico, a configuração das figuras 11 e 12 medirá a resistividade vertical enquanto a

configuração da figura 13 medirá a resistividade horizontal da formação.

As medições de resistividade processadas podem ser gravadas em um meio adequado. Adicionalmente, as medições de resistividade podem ser utilizadas na avaliação do reservatório. As imagens de resistividade
5 criadas com os instrumentos de cabo são úteis na determinação das imersões de formação, limites de reservatório e direções de falha. Tudo isso fornece uma visão útil no estabelecimento de reservas recuperáveis e produtividade dos reservatórios. Isso inclui a determinação as operações de finalização, configuração do envoltório, fratura das operações e similares. Adicionalmente, as medições realizadas em uma configuração MWD são úteis na
10 navegação e reservatório onde a perfuração direcional pode ser controlada com base em uma imagem de resistividade.

O processamento dos dados pode ser realizado com o uso de um programa de computador implementado em um meio legível por máquina
15 adequado que permite que o processador realize o controle e o processamento. O termo processador como utilizado nesse pedido é utilizado em seu sentido tradicionalmente amplo e pretende incluir tais dispositivos como computadores núcleo singulares, múltiplos computadores núcleo, sistemas de computação distribuídos, conjuntos de porta programáveis em campo
20 (FPGA) e similares. O meio legível por máquina referido nessa descrição é qualquer meio que possa ser lido por uma máquina e pode inclui mídia magnética, memória ROM, RAM, EPROM, EAROM, flash e discos óticos. O processamento pode ser realizado dentro o furo ou na superfície. Em uma modalidade alternativa, parte do processamento pode ser feita dentro do furo
25 com o restante conduzido na superfície.

A invenção foi descrita com referência a uma ferramenta de logging transportada por cabo. Os princípios discutidos acima também podem ser utilizados em uma implementação de medição durante perfuração (MWD) na qual a ferramenta de logging é parte de um conjunto de furo inferior (BHA) transportado em um elemento tubular de perfuração. O método
30 também pode ser utilizado com a ferramenta de logging transportada em uma linha fina. Para fins da presente descrição, o termo "conjunto de furo"

pode ser utilizado para descrever um BHA além de configurações nas quais a ferramenta de logging é parte de um conjunto transportado em um cabo ou linha fina.

5 As seguintes definições são úteis na compreensão da presente descrição.

bobina: uma ou mais voltas, possivelmente circulares ou cilíndricas, de um condutor de transporte de corrente capaz de produzir um campo magnético;

10 EAROM: ROM eletricamente alterável;

EPROM: ROM programável eliminável;

memória flash: uma memória não-volátil que pode ser rescrita;

indução: com base em uma relação entre um campo magnético alterável e o campo elétrico criado pela mudança;

15 meio legível por máquina: algo no qual a informação pode ser armazenada em uma forma que pode ser compreendida por um computador ou um processador;

20 mandril: uma barra, eixo em torno o qual outros componentes são dispostos ou montados. O termo foi estendido na terminologia de poços de óleo e gás para incluir componentes tubulares especializados que são partes chave de um conjunto ou sistema;

falta de alinhamento: a condição de estar fora de linha ou ajustado de forma inadequada;

disco ótico: um meio em formato de disco no qual os métodos óticos são utilizados para armazenar e recuperar informação;

25 posição: um ato de colocação ou disposição; o ponto ou área ocupado por um objeto físico;

ROM: memória de leitura apenas;

30 Resistividade: resistência elétrica de um condutor a área transversal unitária e comprimento unitário. Determinação de resistividade é equivalente à determinação de sua inversão (condutividade);

Rugosidade: uma descrição qualitativa a aspereza da parede de um furo. Alternativamente, o termo pertence a um furo cujo diâmetro muda

rapidamente com a profundidade.

Enquanto a descrição acima é direcionada às modalidades preferidas da descrição, várias modificações serão aparentes aos versados na técnica. Pretende-se que todas as variações dentro do escopo e espírito das

5 reivindicações em anexo sejam englobadas pela descrição a seguir.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para avaliar uma formação terrestre, o aparelho compreendendo:

5 uma ferramenta de logging configurada para ser transportada em um furo, a ferramenta de logging incluindo pelo menos uma antena e pelo menos dois eletrodos; e

 um processador configurado para:

 energizar um dentre (i) a pelo menos uma antena, e (ii) os pelo menos dois eletrodos para produzir uma corrente elétrica na formação terrestre; e

10 utilizar um sinal, responsivo à corrente elétrica gerada, produzido por outro de (a) pelo menos uma antena e (b) pelo menos dois eletrodos para determinar uma propriedade de resistividade da formação.

2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que:

15 (i) o processador é configurado para ativar a pelo menos uma antena;

 (ii) a corrente elétrica produzida compreende uma corrente induzida; e

20 (iii) o sinal produzido compreende uma voltagem entre os pelo menos dois eletrodos.

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que:

 (i) o processador é configurado para permitir que os pelo menos dois eletrodos conduzam a corrente elétrica produzida na formação terrestre; e

25 (ii) o sinal é produzido por pelo menos uma antena em resposta a um campo magnético produzido pela corrente elétrica.

4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que pelo menos um dentre: (i) a pelo menos uma antena, e (ii) os pelo menos dois eletrodos é montado em um mandril de um conjunto de fundo de poço.

30 5. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que pelo menos um dentre: a) a pelo menos uma antena e b) os pelo menos dois eletrodos é montado na parte extensível a partir de um mandril de um conjunto de

fundo de poço.

6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que a pelo menos uma antena adicionalmente compreende pelo menos três bobinas com eixos geométricos distribuídos em azimute em torno de um eixo geométrico da ferramenta de logging.

7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 6, em que pelo menos uma das pelo menos três bobinas é configurada para operar em uma frequência diferente com relação a outra das pelo menos três bobinas.

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 3, em que os pelo menos dois eletrodos são configurados para fornecer um fluxo de corrente em uma direção que é uma dentre: (i) substancialmente paralela a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de logging, e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de logging.

9. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que os pelo menos dois eletrodos adicionalmente compreendem pelo menos três pares de eletrodos, cada um dos pares de eletrodos estando em uma posição de azimute diferente em uma parte.

10. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que a ferramenta de logging é configurada para ser transportada para dentro do furo utilizando um dentre (i) um cabo, (ii) um elemento tubular de perfuração, e (iii) uma linha fina.

11. Aparelho, de acordo com a reivindicação 3, em que o processador é configurado para usar um componente do sinal em quadratura com a corrente elétrica.

12. Método para avaliar uma formação terrestre, o método compreendendo as etapas de:

transportar uma ferramenta de logging incluindo pelo menos uma antena e pelo menos dois eletrodos em um furo;

energizar um dentre: (a) pelo menos uma antena e (b) pelo menos dois eletrodos, e gerar uma corrente elétrica na formação terrestre; e

utilizar um sinal responsivo à corrente elétrica gerada, produzido por outro dentre (a) pelo menos uma antena, e (b) pelo menos dois eletrodos

para estimar uma propriedade de resistividade da formação.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, em que a corrente elétrica produzida compreende uma corrente induzida resultando da ativação de pelo menos uma antena, e o sinal produzido compreende uma voltagem entre os pelo menos dois eletrodos.

14. Método, de acordo com a reivindicação 12, em que a corrente elétrica produzida compreende uma corrente galvânica entre os pelo menos dois eletrodos, e o sinal produzido por pelo menos uma antena em resposta a um campo magnético produzido pela corrente elétrica.

15. Método, de acordo com a reivindicação 12, adicionalmente compreendendo a etapa de posicionar pelo menos um dentre: (i) pelo menos uma antena e (ii) pelo menos dois eletrodos em um mandril de um conjunto de fundo de poço.

16. Método, de acordo com a reivindicação 12, adicionalmente compreendendo a etapa de posicionar pelo menos um dentre: (i) pelo menos uma antena e (ii) pelo menos dois eletrodos na parte extensível a partir de um mandril de um conjunto de fundo de poço.

17. Método, de acordo com a reivindicação 12, adicionalmente compreendendo a etapa de utilizar, para pelo menos uma antena, pelo menos três bobinas planas com eixos geométricos distribuídos em azimute em torno de um eixo geométrico da ferramenta de logging.

18. Método, de acordo com a reivindicação 17, adicionalmente compreendendo a etapa de operar pelo menos um dentre pelo menos três bobinas em uma frequência diferente de outra das pelo menos três bobinas.

19. Método, de acordo com a reivindicação 14, adicionalmente compreendendo a etapa de utilizar pelo menos dois eletrodos para fornecer um fluxo de corrente em uma direção que é uma dentre: (i) substancialmente paralela a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de logging, e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de logging.

20. Método, de acordo com a reivindicação 12, adicionalmente compreendendo a etapa de utilizar para pelo menos dois eletrodos, pelo

menos três pares de eletrodos, cada um dos pares de eletrodos estando em uma posição de azimute diferente.

21. Método, de acordo com a reivindicação 12, adicionalmente compreendendo a etapa de transportar a ferramenta de logging para dentro
5 do furo utilizando um dentre (i) um cabo, (ii) um elemento tubular de perfuração e (iii) uma linha fina.

22. Método, de acordo com a reivindicação 14, adicionalmente compreendendo a etapa de utilizar um componente do sinal em quadratura com a corrente elétrica.

10 23. Meio legível por computador para uso com um aparelho para avaliar uma formação terrestre, o aparelho compreendendo:

uma ferramenta de logging configurada para ser transportada em um furo, a ferramenta de logging incluindo pelo menos uma antena e pelo menos dois eletrodos;

15 o meio compreendendo instruções que permitem um processador:

energizar um dentre: (i) pelo menos uma antena e (ii) pelo menos dois eletrodos, para produzir uma corrente elétrica na formação terrestre; e

20 utilizar um sinal, responsivo à corrente elétrica gerada, produzido por outro dentre: (a) pelo menos uma antena e (b) pelo menos dois eletrodos para determinar uma propriedade de resistividade da formação.

24. Meio, de acordo com a reivindicação 23, adicionalmente compreendendo pelo menos um dentre: (i) uma RAM, (ii) uma ROM, (iii) uma
25 EPROM, (iv) uma EAROM, (v) uma memória flash, e (vi) um disco ótico.

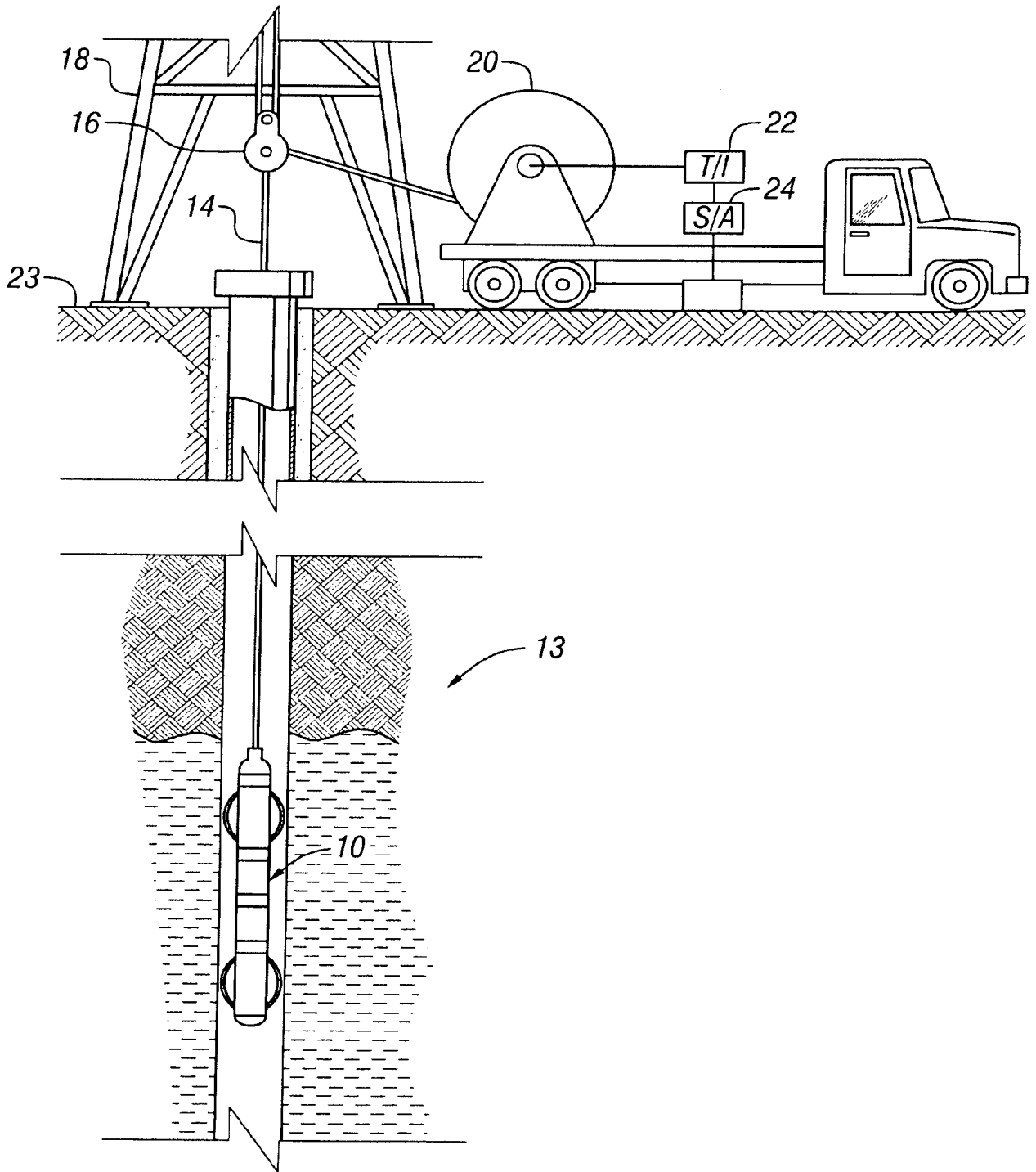
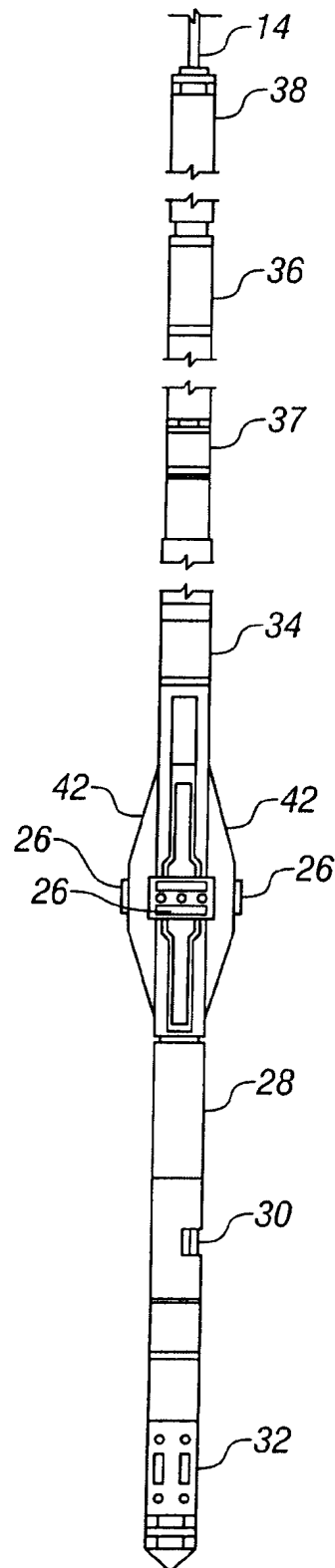


FIG. 1

FIG. 2

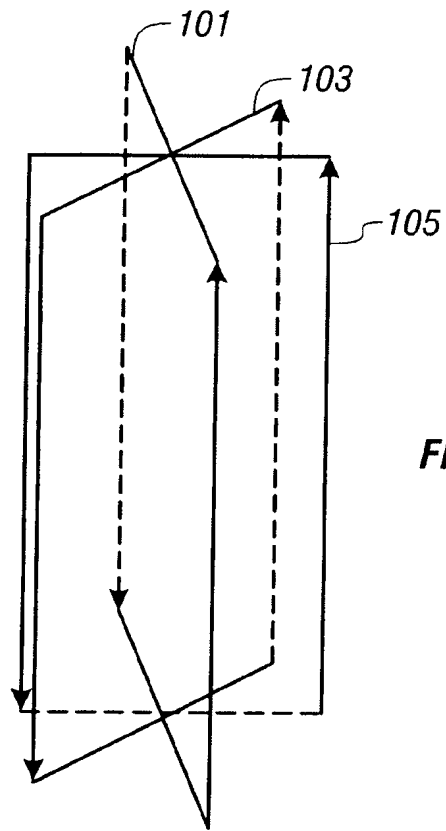
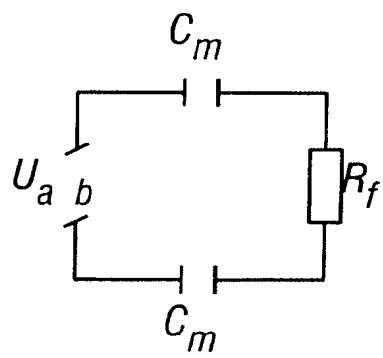


FIG. 3A



F I.3 C

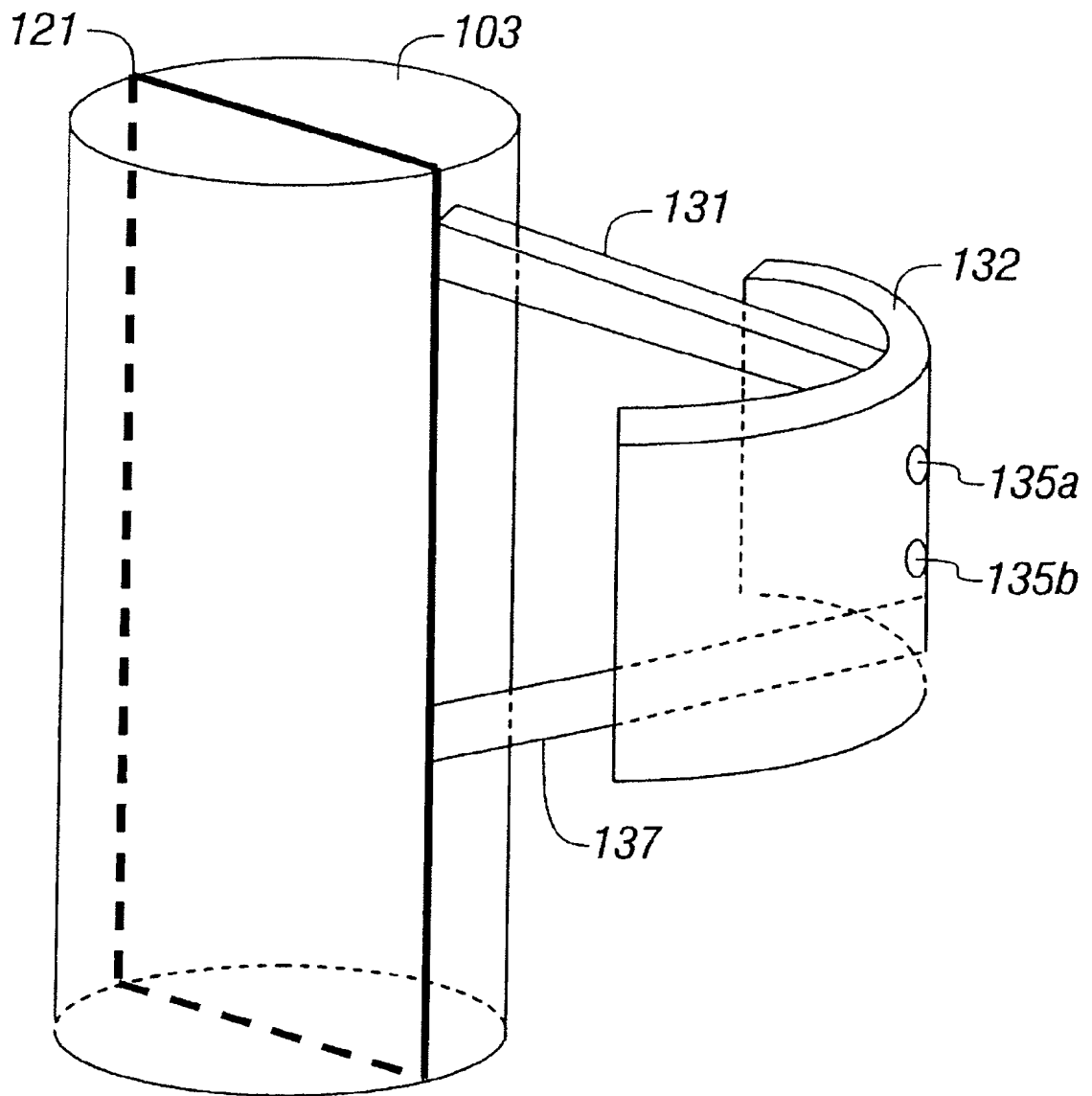


FIG. 3B

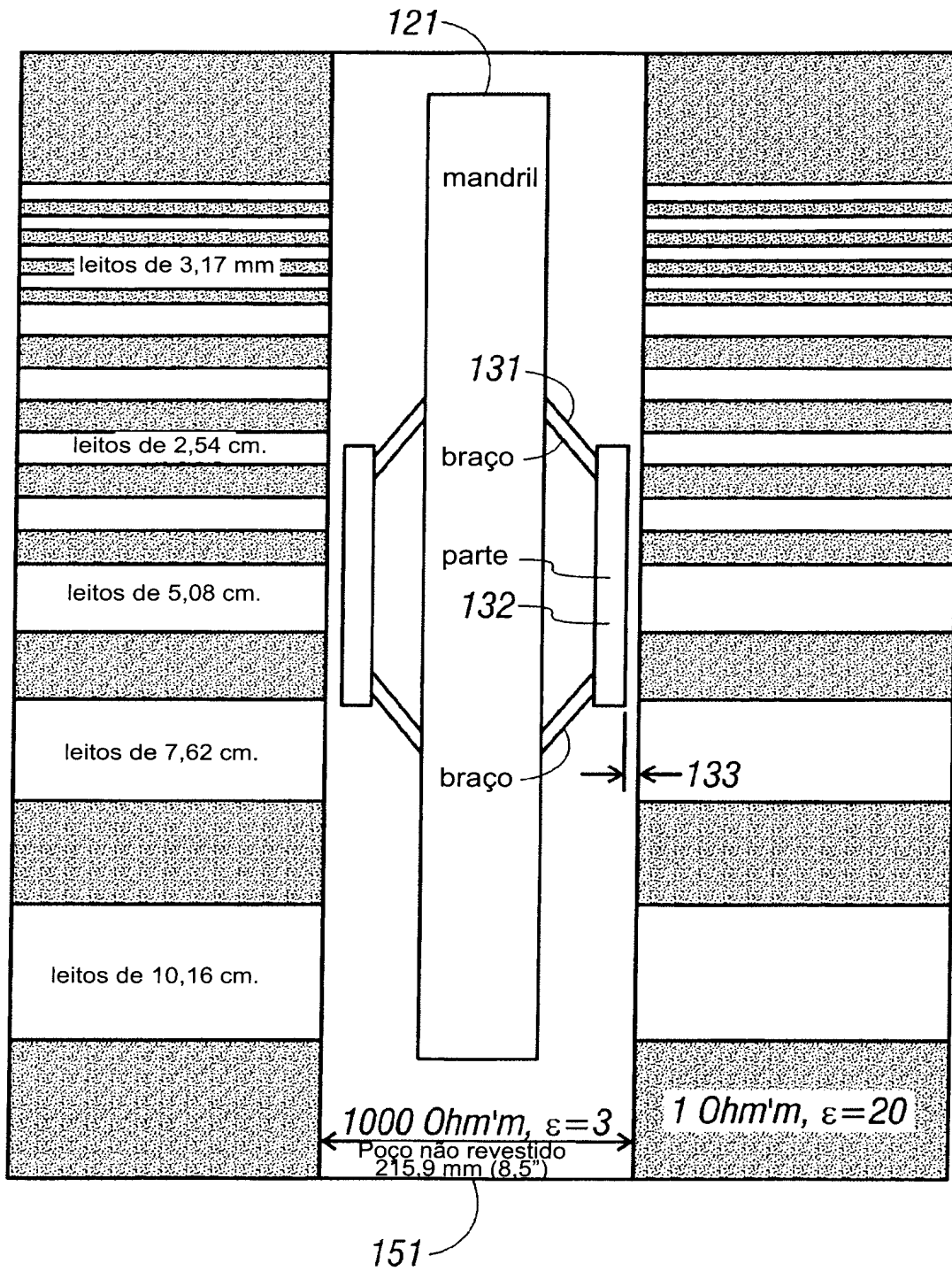
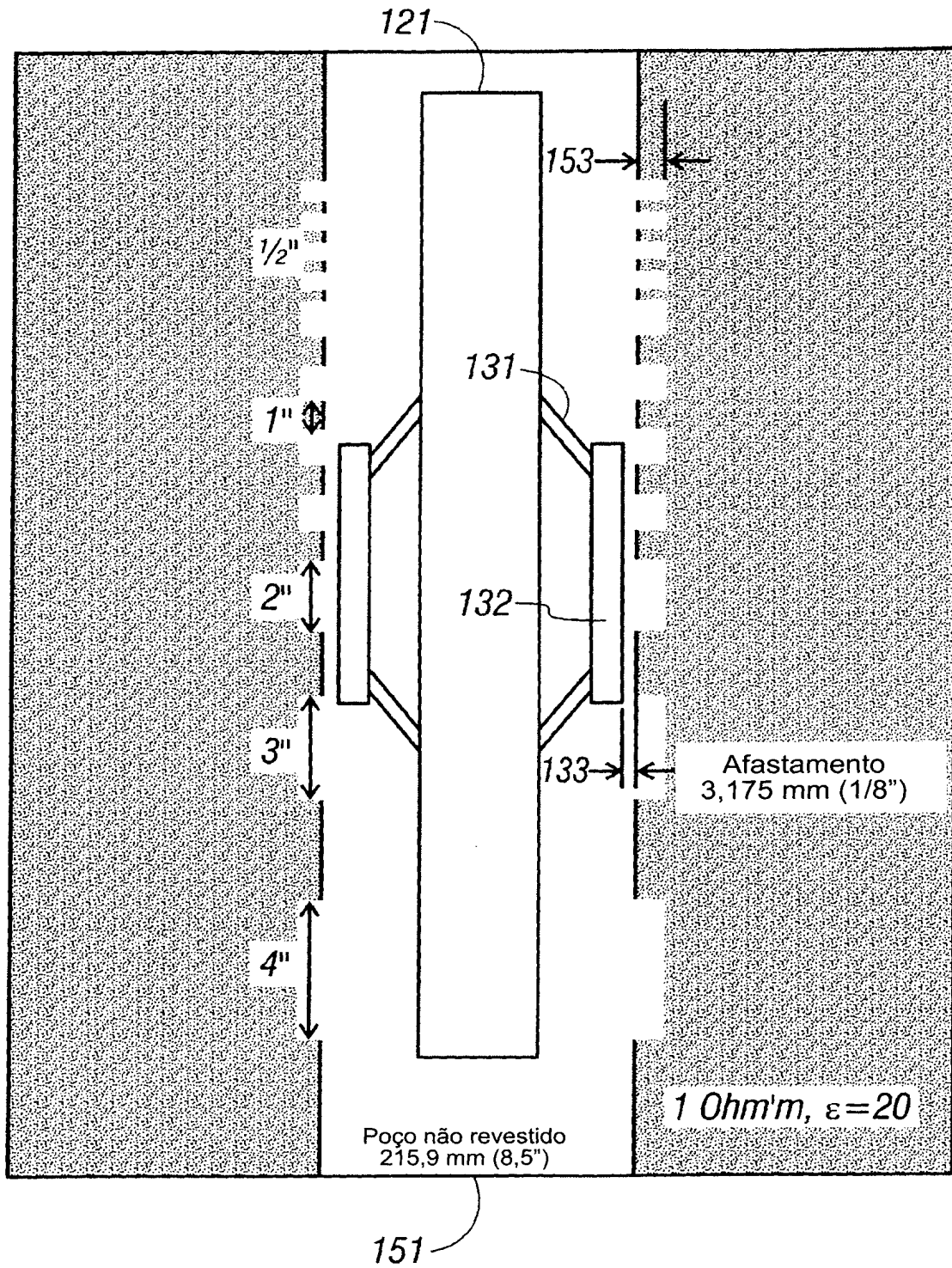
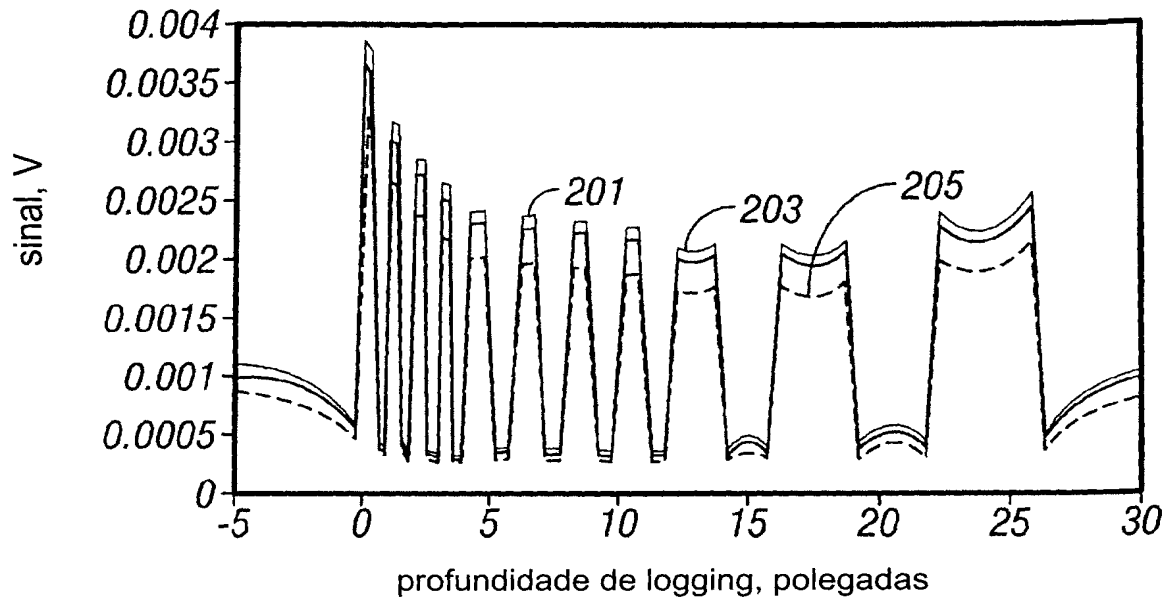
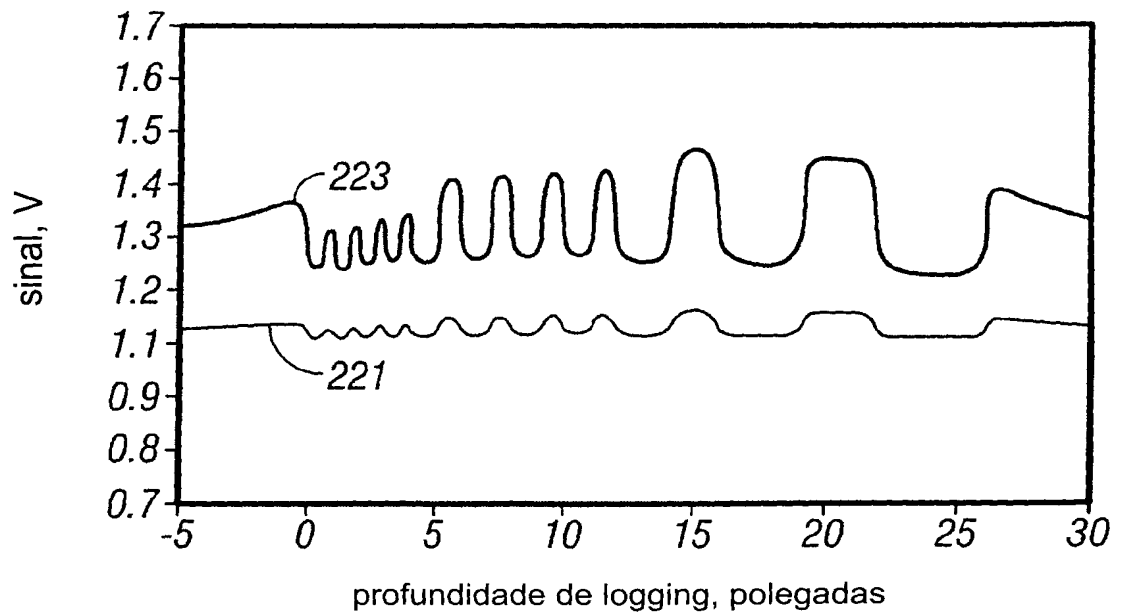
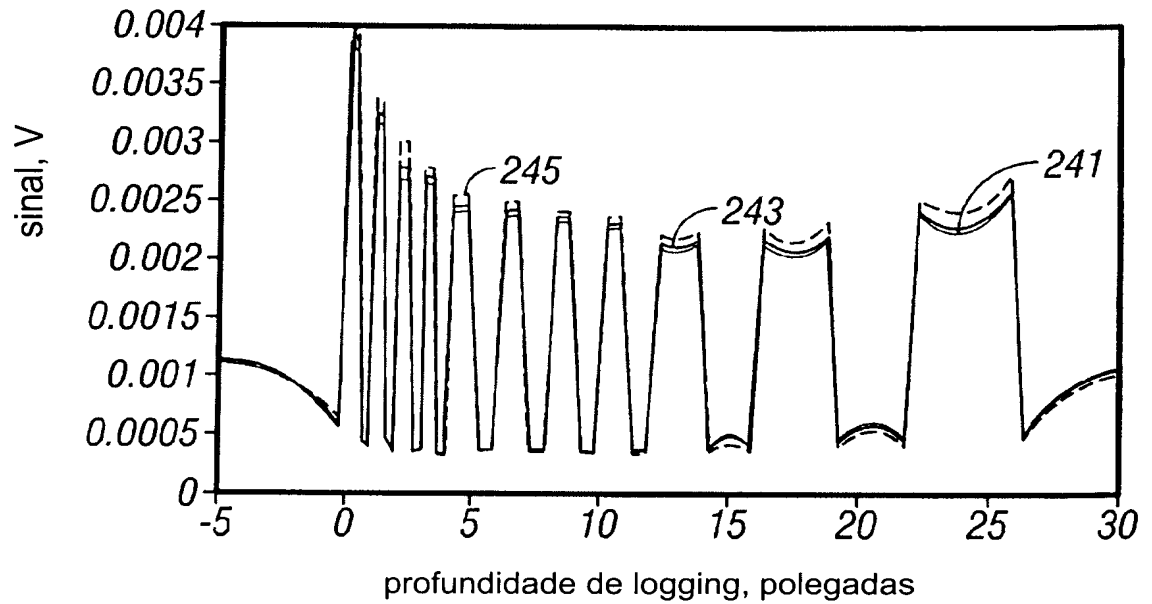
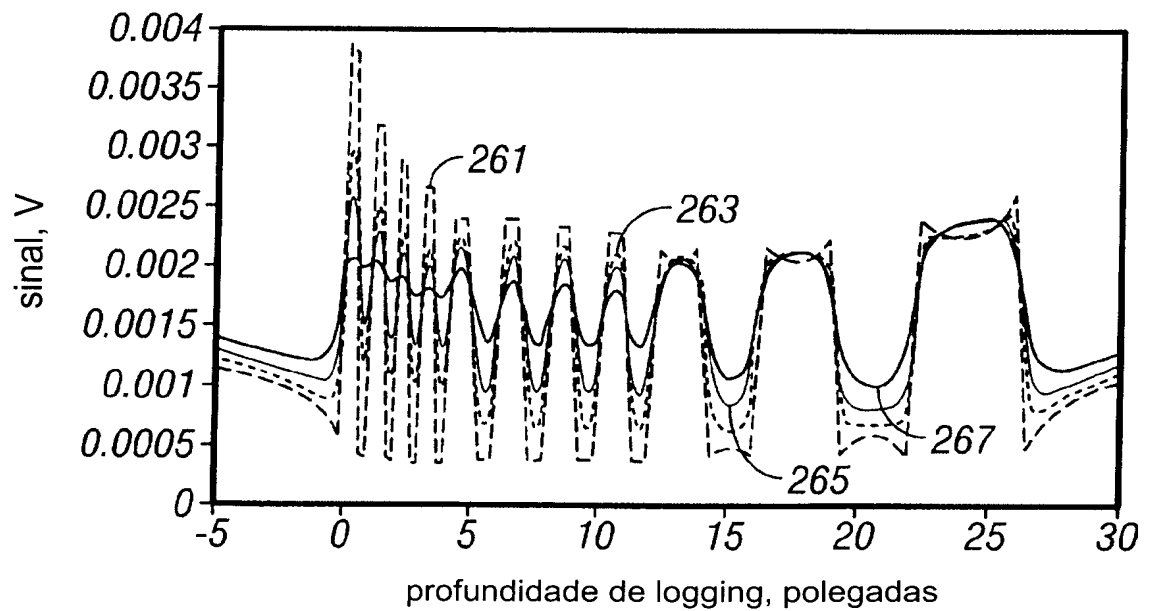


FIG. 4



F I . G 5

**FIG. 6****FIG. 7**

**FIG. 8****FIG. 9**

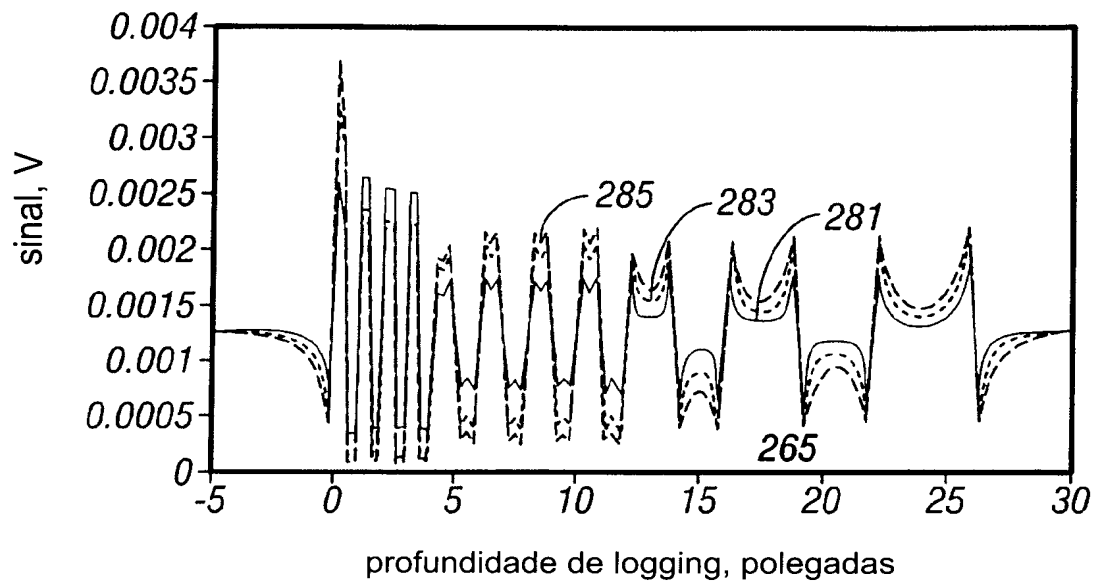


FIG. 10

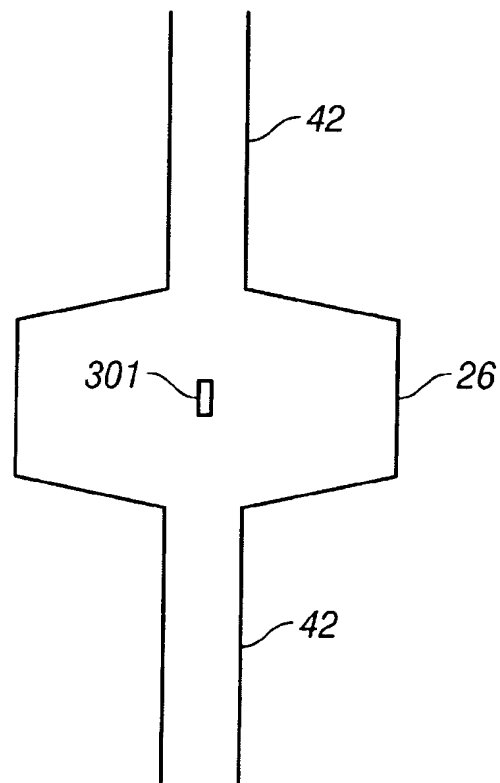


FIG. 11

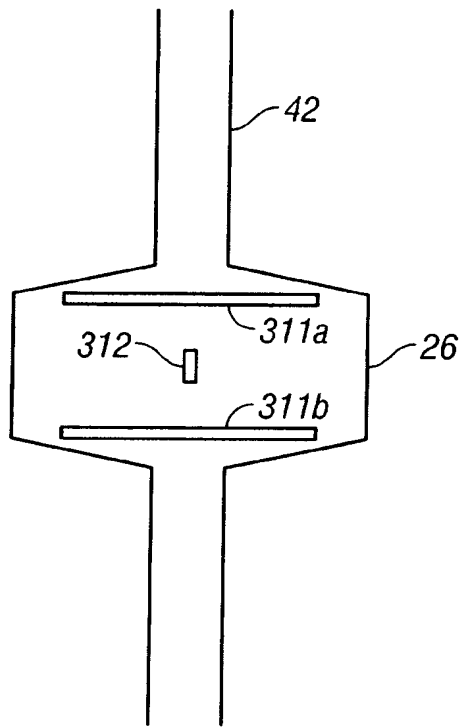


FIG. 12

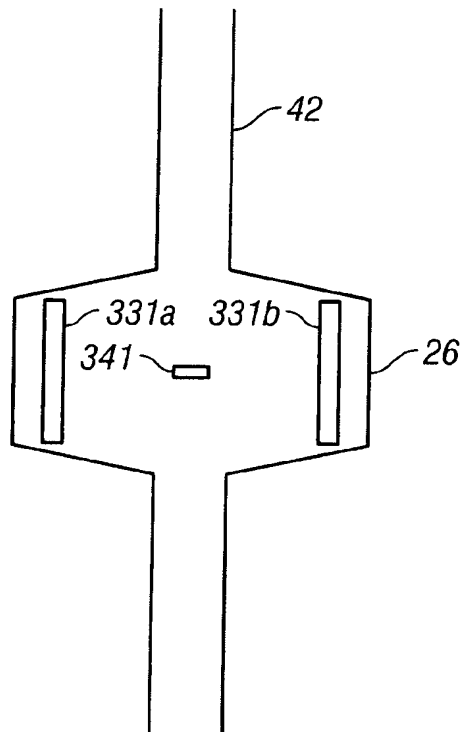


FIG. 13

RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO E APARELHO PARA CRIAÇÃO DE IMAGEM POR RESISTIVIDADE EM FUROS PREENCHIDOS COM FLUIDOS DE BAIXA CONDUTIVIDADE"**.

5 A presente invenção refere-se a uma ferramenta de modo misto que utiliza uma fonte indutora e detecta as correntes galvânicas e/ou potenciais nos eletrodos na proximidade de uma parede de furo para produzir uma imagem de resistividade da formação terrestre. Alternativamente, o campo magnético produzido por uma corrente galvânica é detectado por uma bobina
10 de antena e utilizado para produzir uma imagem de resistividade.