



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

(21) PI 0813559-2 A2



(22) Data do Depósito: 01/07/2008

(43) Data da Publicação Nacional: 15/01/2009

(54) Título: MÉTODO PARA DETERMINAR UM OU MAIS PARÂMETROS DE UMA FORMAÇÃO ATRAVESSADA POR UM FURO DE POÇO, MÉTODO PARA DETERMINAR UM TENSOR DE ACOPLAMENTO ELETROMAGNÉTICO DE UMA FORMAÇÃO ATRAVESSADA POR UM FURO DE POÇO, E FERRAMENTA DISPOSTA EM UM FURO DE POÇO PENETRANDO NUMA FORMAÇÃO

(51) Int. Cl.: G01V 3/28.

(30) Prioridade Unionista: 10/07/2007 US 11/755.435.

(71) Depositante(es): PRAD RESEARCH AND DEVELOPMENT LIMITED.

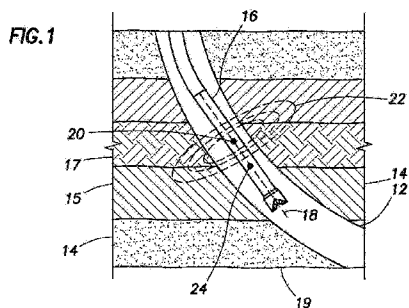
(72) Inventor(es): JIAN YANG; QIMING LI; JEAN SEYDOUX.

(86) Pedido PCT: PCT US2008068883 de 01/07/2008

(87) Publicação PCT: WO 2009/009342 de 15/01/2009

(85) Data da Fase Nacional: 08/01/2010

(57) Resumo: MÉTODO PARA DETERMINAR UM OU MAIS PARÂMETROS DE UMA FORMAÇÃO ATRAVESSADA POR UM FURO DE POÇO, MÉTODO PARA DETERMINAR UM TENSOR DE ACOPLAMENTO ELETROMAGNÉTICO DE UMA FORMAÇÃO ATRAVESSADA POR UM FURO DE POÇO, E FERRAMENTA DISPOSTA EM UM FURO DE POÇO PENETRANDO NUMA FORMAÇÃO Um método para determinar um ou mais parâmetros de uma formação atravessada por um furo de poço, pelo menos uma porção da formação tendo contornos substancialmente paralelos, o método compreendendo a disposição de uma ferramenta no furo de poço, onde a ferramenta inclui um transmissor tendo um momento bipolar em um ângulo TETA t com relação a um eixo longitudinal da ferramenta, e um receptor tendo um momento bipolar em um ângulo TETA r com relação ao eixo longitudinal da ferramenta, o transmissor e receptor compreendendo um par de transmissor/ receptor; transmissão de um sinal eletromagnético durante a rotação da ferramenta; recepção do sinal eletromagnético para produzir um sinal medido pelo par de transmissor/ receptor; e determinação de um ou mais parâmetros da formação para a porção da formação tendo contornos substancialmente paralelos, com base no sinal medido pelo par de transmissor/ receptor. Uma ferramenta disposta num furo de poço penetrando numa formação, pelo menos uma (...).



MÉTODO PARA DETERMINAR UM OU MAIS PARÂMETROS DE UMA
FORMAÇÃO ATRAVESSADA POR UM FURO DE POÇO, E FERRAMENTA
DISPOSTA EM UM FURO DE POÇO PENETRANDO NUMA FORMAÇÃO

Campo da Invenção

5 A presente invenção se refere, de modo geral, à
perfilagem de poços e, de modo particular, a técnicas
usando um ou mais pares de transmissor/ receptor inclinados
para aprimoradas medições eletromagnéticas de formações
subterrâneas.

10 Antecedentes da Invenção

Várias técnicas para perfilagem de poços são
conhecidas no campo da exploração e produção de
hidrocarbonetos. Essas técnicas usam tipicamente
ferramentas equipadas com fontes adaptadas para emitir
15 energia para dentro de uma formação subterrânea, que foi
penetrada por um furo de poço. A energia emitida pode
interagir com a formação vizinha para produzir sinais, que
podem ser detectados e medidos com um ou mais sensores.
Baseado nos dados dos sinais detectados, um perfil das
20 propriedades da formação (p. ex., resistividade em função
da profundidade do furo de poço) pode ser obtido.

Exemplos de ferramentas para perfilagem de poços
podem incluir ferramentas de resistividade eletromagnética

("EM"), como ferramentas de indução e propagação. As ferramentas de resistividade EM podem ser dispostas dentro de um furo de poço para medir a condutividade elétrica (ou seu inverso, a resistividade) da formação vizinha ao furo de poço. Uma ferramenta convencional de resistividade eletromagnética inclui pelo menos um transmissor e dois receptores, cada receptor sendo disposto a uma certa distância do transmissor ao longo do eixo da ferramenta. Transmissores e receptores convencionais compreendem antenas formadas de bobinas tendo uma ou mais espirais de arame condutor isolado, enroladas em volta de um suporte. Conforme é conhecido na arte, de acordo com o princípio da reciprocidade, cada uma dessas antenas pode operar como um transmissor e/ou um receptor.

Ferramentas de indução EM medem a resistividade da formação, por medição da voltagem induzida num receptor por correntes fluindo na formação em resposta a um sinal EM emitido por um transmissor. Em uma ferramenta de indução, um transmissor acoplado a uma fonte de corrente alternada, tal como um oscilador, produz um sinal EM com tempo variável. O sinal EM do transmissor é transmitido para dentro da formação vizinha, que induz uma corrente flutuante ou "corrente parasita" na formação próxima ao transmissor. A corrente parasita na formação dá origem a um sinal EM com tempo variável, que induz uma voltagem elétrica no receptor. Se um par de receptores espaçados for

usado, as voltagens induzidas nos dois receptores terão geralmente diferentes fases e amplitudes, devido, p. ex., à dispersão geométrica e absorção pela formação vizinha. Ferramentas de propagação EM operam de maneira similar, mas tipicamente em maiores frequências do que ferramentas de indução EM.

Em muitas ferramentas convencionais para perfilagem de indução e propagação EM, as antenas do transmissor e do receptor são montadas com seus eixos ao longo do eixo longitudinal da ferramenta. Assim, essas ferramentas são implementadas com antenas tendo momentos bipolares magnéticos longitudinais ou axiais. Uma antena ou bobina "transversal" possui um momento bipolar magnético, que é perpendicular ao eixo da ferramenta, e uma antena "inclinada" possui um momento bipolar magnético, que não é paralelo, nem perpendicular, ao eixo da ferramenta.

Devido ao fato dos sinais EM transmitidos e recebidos por uma ferramenta de resistividade EM passarem através da formação vizinha, medições feitas por essas ferramentas podem fornecer informações sobre as propriedades EM dos meios, através de quais os sinais passam. Informações, como distância até os contornos de leito, mergulho da formação, e anisotropia podem ser extraídas dos sinais recebidos.

No setor de perfuração, existe a crescente necessidade de localização precisa dos poços. Uma

localização ideal do furo de poço no reservatório requer medições direcionais, nas quais decisões de controle de direção possam ser fundamentadas. Outra necessidade na exploração de hidrocarbonetos é identificar e caracterizar reservas de hidrocarbonetos. Por exemplo, a anisotropia da formação pode ser usada para identificar baixa produção de resistividade residindo em formações com lâminas finas.

Muitas patentes recentes divulgam métodos e aparelhos para realizar medições direcionais e obter anisotropia de resistividade. Para aplicativos de perfilagem durante a perfuração, a Patente norte americana U.S. N° 5.508.616 de Sato e outros divulga uma ferramenta do tipo de indução com duas bobinas inclinadas em diferentes direções não alinhadas com o eixo longitudinal da ferramenta. A ferramenta pode ser adaptada para possíveis aplicações de geodirecionamento. A capacidade direcional da medição é ilustrada, através de um simples argumento de que a função de sensibilidade das duas bobinas inclinadas está concentrada na região de sobreposição da área de sensibilidade de cada bobina. Através da rotação da ferramenta, Sato e outros reivindicam, que uma imagem de resistividade azimutal profunda da formação pode ser obtida para ajudar a tomar decisões de controle de direção. No entanto, essa patente não apresenta quaisquer detalhes acerca de como a resistividade azimutal pode ser obtida, nem descreve quaisquer outras técnicas para detecção,

caracterização de contorno demandadas para tomada de decisões da geodirecionamento quantitativo.

A Patente norte americana U.S. N° 6.181.138 de Hagiwara e Song amplia as bobinas direcionais fixas singelas de Sato e outros para bobinas triplas de indução ortogonal co-localizadas nos locais do transmissor e do receptor. Nenhuma rotação da ferramenta é dita como sendo necessária, visto que a direção pretendida pode ser sintonizada para orientação arbitrária através da combinação linear das reações da bobina ortogonal.

A Patente norte americana U.S. N° 6.297.639 de Clark e outros, concedida ao cessionário da presente invenção, divulga um método e aparelho para fazer medições direcionais, usando vários modelos de blindagem para fornecer atenuação seletiva da energia de ondas EM para bobinas de antenas axiais, inclinadas, e transversais. Essa patente descreve, dentre outras coisas, medições de propagação e indução direcional geral com bobinas inclinadas e blindagens apropriadas, em conjunto com o processo para conduzir compensação do furo de poço. Uma combinação de bobinas de um transmissor e de um receptor, pelo menos uma delas sendo inclinada com relação ao eixo da ferramenta, é descrita de modo explícito por Clark e outros, em conjunto com sua aplicação para detecção da direção dos contornos de leito, por observação da variação azimutal do sinal induzido, conforme a ferramenta gira. A

variação azimutal do acoplamento pode ser usada para guiar poços durante a perfuração. Outras patentes sobre blindagens têm sido concedidas desde então, incluindo a Patente norte americana U.S. N° 6.351.127 de Rosthal e outros, e a Patente norte americana U.S. N° 6.566.881 de Omeragic e outros, ambas sendo concedidas ao cessionário da presente invenção.

A Patente norte americana U.S. N° 6.476.609 de Bittar amplia uma patente sobre anisotropia anterior (Patente norte americana U.S. N° 6.163.155, também de Bittar) para a área de aplicação sobre geodirecionamento. A resposta de acomodação do aparelho de indução e propagação inclinada para cima/ para baixo é descrita através da diferença ou razão de sinais em duas orientações distintas, mas nenhuma blindagem é mencionada. Nem os efeitos da anisotropia ou mergulho são considerados. Falta também uma descrição de como usar essas medições para produzir uma distância precisa até um contorno de leito da formação. A patente '609 supõe implicitamente que a orientação da acomodação seja conhecida com precisão, a fim de calcular a resposta para cima/ para baixo. No entanto, nenhuma técnica é divulgada para localizar a direção precisa para cima ou para baixo, antes do cálculo dos sinais direcionais para cima/ para baixo.

A Patente norte americana U.S. N° 696.994 de Minerbo e outros, concedida ao cessionário da presente

invenção, divulga configurações de ferramenta e técnicas de simetrização, que simplificam as respostas das medições direcionais até o ponto em que ela se tornam praticamente independentes do ângulo de anisotropia ou de mergulho. As
5 respostas aos contornos de leito, tendo diferente mergulho e anisotropia, se sobrepõem de modo essencial, exceto próximo ao contorno do leito. Ambas as medições no estilo de indução com duas bobinas (um transmissor e um receptor: "TR") e no estilo de propagação com três bobinas (um
10 transmissor e dois receptores: "TRR") podem ser simetrizadas para alcançar essa simplificação. A simetrização é feita, usando-se dois pares de TR inclinados do mesmo espaçamento, mas com o ângulo de inclinação do transmissor e o ângulo de inclinação do receptor trocados.

15 A Patente norte americana U.S. N° 6.998.844 de Omeragic e outros, também concedida ao cessionário da presente invenção, divulga medições direcionais no estilo de propagação para determinação de anisotropia em poços próximos à vertical como compensação do furo de poço.
20 Técnicas de invenção são também usadas para obter a propriedade anisotrópica da formação.

A Patente norte americana U.S. N° 7202670 de Li e outros divulga um método para extrair e analisar a dependência azimutal das medições de perfilagem direcional,
25 usando medições realizadas em todos os ângulos azimutais, para caracterizar a formação terrestre e para controle de

direção dos conjuntos de perfuração no fundo do poço com elevada precisão. Ela ensina como determinar o azimute da acomodação através das medições direcionais, e gera medições que podem ser usadas para localização de poços em controle de direção azimutal ou para cima/ para baixo. Ela também ensina maneiras para utilizar essas medições direcionais em tempo real para obter distâncias até contornos de leito, e obter modelos terrestres precisos, de forma que decisões sobre geodirecionamento possam ser tomadas para localização de poços. Ela ainda divulga um método para detectar a presença da anisotropia de resistividade em camadas da formação adjacentes aos poços próximos à vertical. Além disso, ela ensina um método para obter informações de mergulho da estrutura através de medições direcionais em poços verticais e de baixa inclinação.

Como acima descrito, ferramentas de indução EM medem a resistividade da formação, por medição da voltagem induzida num receptor por correntes fluindo na formação em resposta a um sinal EM emitido por um transmissor. Em geral, a voltagem induzida num receptor é uma combinação linear de todos os componentes de acoplamento eletromagnético, V_{ij} ($i, j = x, y, z$), formando um tensor de acoplamento EM 3×3 . Numa formação de geometria plana, onde todos os contornos de acomodação relevantes são paralelos, existem apenas cinco elementos diferentes de

zero na matriz de acoplamento EM 3 x 3, chamados de V_{xx} , V_{yy} , V_{zz} , V_{xz} , e V_{zx} . O sistema de coordenadas é escolhido, de modo que o eixo dos z permaneça ao longo do eixo da ferramenta, e o eixo dos y fique paralelo ao plano do contorno. Visto que esses componentes de acoplamento EM medem as características da formação, é desejável ter um aparelho e método para determiná-los.

Uma recente melhoria na análise de dados de resistividade EM, divulgada na Patente norte americana U.S. N° 696994 de Minerbo e outros, e na Patente norte americana U.S. N° 7202670 de Li e outros, envolve a superposição das medições de dois pares de transmissor/ receptor ("TR") distintos para obter respostas simetrizadas e anti-simetrizadas. Em uma modalidade, uma das antenas de cada par de TR é axial e a outra é inclinada. Um par de TR fornece o componente de acoplamento eletromagnético V_{xz} , e outro par de TR fornece o componente de acoplamento eletromagnético V_{zx} . Através da adição ou subtração dos componentes de acoplamento eletromagnético específicos, obtidos pelas duas medições dos pares de TR, as respostas simetrizadas ($V_{xz} - V_{zx}$) e anti-simetrizadas ($V_{xz} + V_{zx}$) podem ser obtidas. A resposta simetrizada é particularmente útil para localização de poços em poços horizontais e de alta inclinação. A resposta anti-simetrizada pode ser usada para obter anisotropia da formação e mergulho. No entanto, as referências acima necessitam de dois pares de TR

distintos. É desejável fornecer um aparelho e método para determinar V_{xz} e V_{zx} , usando somente um par de TR. Também desejável fornecer um aparelho e método para determinar todos os cinco componentes de acoplamento EM diferentes de zero V_{xx} , V_{yy} , V_{zz} , V_{xz} , e V_{zx} numa formação de geometria plana, usando somente dois transmissores e um receptor.

Sumário da Invenção

Método para determinar um ou mais parâmetros de uma formação atravessada por um furo de poço, pelo menos uma porção da formação tendo contornos substancialmente paralelos, o método compreendendo a disposição de uma ferramenta no furo de poço; onde a ferramenta inclui um transmissor tendo um momento bipolar em um ângulo θ_T com relação a um eixo longitudinal da ferramenta, e um receptor tendo um momento bipolar de receptor em um ângulo θ_R com relação ao eixo longitudinal da ferramenta, o transmissor e receptor compreendendo um par de transmissor/ receptor; transmissão de um sinal eletromagnético durante a rotação da ferramenta; recepção do sinal eletromagnético para produzir um sinal medido pelo par de transmissor/ receptor; e determinação de um ou mais parâmetros da formação para a porção da formação tendo contornos substancialmente paralelos, com base no sinal medido pelo par de transmissor/ receptor. Uma ferramenta disposta em um furo de poço penetrando numa formação, pelo menos uma porção da

formação tendo contornos substancialmente paralelos, a ferramenta compreendendo um transmissor singelo tendo um momento bipolar de transmissor em um ângulo θ_T com relação a um eixo longitudinal da ferramenta; um receptor singelo tendo um momento bipolar de receptor em um ângulo θ_R com relação ao eixo longitudinal da ferramenta; e um indicador rotativo de posição.

Breve Descrição dos Desenhos

O anterior e outros recursos e aspectos da presente invenção serão mais bem entendidos com referência à descrição detalhada a seguir, quando lida em conjunto com os desenhos anexos, onde:

a fig. 1 é uma ilustração esquemática de uma operação de perfilagem, de acordo com a presente invenção;

as figs. 2A e 2B são diagramas esquemáticos de configurações exemplares de um par de transmissor/receptor, de acordo com a presente invenção;

a fig. 2C é um diagrama esquemático de uma vista extrema da configuração exemplar da fig. 2A;

a fig. 3A é um diagrama esquemático de uma configuração exemplar de um transmissor e dois receptores, de acordo com a presente invenção;

a fig. 3B é um diagrama esquemático de uma vista extrema da configuração exemplar da fig. 3A;

a fig. 4 é um diagrama esquemático de uma

configuração exemplar de dois transmissores e dois receptores, de acordo com a presente invenção;

Descrição Detalhada

5 É feita agora referência aos desenhos, onde elementos ilustrados não são necessariamente mostrados em escala, e onde elementos semelhantes ou similares são indicados pelo mesmo algarismo de referência nas diversas vistas.

Conforme aqui usados, os termos "para cima" e "para
10 baixo"; "superior" e "inferior"; e outros termos semelhantes indicando posições relativas para um determinado ponto ou elemento são usados para descrever com mais clareza alguns elementos das modalidades da invenção. De modo geral, esses termos se referem a uma referência, de
15 forma que a superfície, a partir da qual operações de perfuração são iniciadas, seja a porção superior, e a profundidade total do poço seja a porção inferior.

Conforme aqui usado, o termo "ferramenta" pode ser usado de modo intercambiável para indicar, p. ex. e sem
20 limitação, uma ferramenta a cabo elétrico ou uma ferramenta de perfilagem durante a perfuração. As pessoas versadas na técnica saberão como adaptar uma ferramenta a cabo elétrico, p. ex., para resistir e operar no ambiente severo de uma ferramenta de perfilagem durante a perfuração.
25 Embora implementações de várias tecnologias aqui descritas sejam com referência a uma ferramenta de indução e/ou a uma

ferramenta de propagação, deve ficar claro que algumas implementações podem ser usadas em outras operações, tais como perfilagem durante manobras, monitoração permanente, perfilagem da constante dielétrica, e semelhantes. Além disso, conforme aqui usado, qualquer referência à condutividade pode servir para englobar seu inverso, resistividade, ou vice versa. Além disso, as pessoas versadas na técnica irão apreciar que a mesma antena pode ser usada como um transmissor, em um momento, e como um receptor, em outro.

A fig. 1 é um desenho esquemático de uma operação de perfilagem usando uma modalidade da presente invenção para obter parâmetros dos estratos subterrâneos. Um furo de poço 12 é perfurado, penetrando nos estratos subterrâneos 14, tipicamente em um ângulo diferente da perpendicular com relação aos estratos 14. Um estrato específico 15 pode ter um contorno superior e inferior. A camada 17 logo acima do estrato específico 15 é geralmente chamada de "ombro superior", e a camada 19 logo abaixo é o "ombro inferior". Disposta dentro do furo de poço 12 existe uma ferramenta 16 tendo um único par de transmissor/ receptor (TR) de antenas, ambas as antenas sendo inclinadas com relação ao eixo de ferramenta 18 da ferramenta 16. A ferramenta 16 pode ainda conter os eletrônicos e circuitos associados (não mostrados) necessários para operar a ferramenta 16, mas a inversão não é limitada a esses. Quando energizado, o

transmissor 20 transmite energia EM para dentro dos estratos vizinhos 14, o que induz uma corrente 22 (corrente parasita) nos estratos 14 em volta do transmissor 20. A corrente parasita 22 induz uma voltagem na antena do receptor 24. O ângulo ϕ_B entre o eixo de ferramenta 18 (que é substancialmente igual ao eixo do furo de poço) e a normal ao plano de um estrato específico, tal como o estrato 15, é chamado de mergulho relativo da formação, ou do ângulo de orientação da acomodação.

10 Certas implementações da presente invenção aqui descritas usam as respostas simetrizadas e anti-simetrizadas obtidas através de um único par de TR, para fornecer medições direcionais e informações sobre anisotropia. As figs. 2A, 2B e 2C ilustram configurações específicas, que podem ser usadas nesse particular. Nessas
15 figuras, o eixo de ferramenta 18 é ilustrado por uma linha tracejada em vista lateral e um pontilhado na vista extrema. A configuração 10 inclui um transmissor inclinado 20 e um receptor inclinado 24, significando que os momentos
20 bipolares magnéticos do transmissor 20 e do receptor 24 não são, nem paralelos, nem perpendiculares, ao eixo de ferramenta 18. O transmissor 20 e o receptor 24 podem ser aproximados como bipolos magnéticos pontuais. De acordo com a presente invenção, os momentos bipolares magnéticos do
25 transmissor 20 e do receptor 24 podem estar, mas não é necessário que estejam, no mesmo plano, e em algumas

modalidades, é desejado que os momentos bipolares magnéticos do transmissor 20 e do receptor 24 estejam em dois planos não-paralelos, tais como em dois planos octogonais.

5 Na fig. 2A, os momentos bipolares magnéticos do transmissor e do receptor 24 são orientados em ângulos iguais com relação ao eixo de ferramenta 18. Uma modalidade preferida usa um ângulo de orientação de 45° para ambos. O ângulo do momento bipolar magnético do transmissor 20 é
 10 mostrado como θ_T , e o ângulo do momento bipolar magnético do receptor 24 é mostrado como θ_R . Em outras modalidades, tal como aquela ilustrada na fig. 2B, θ_T e θ_R podem ser diferentes entre si. Quando o transmissor 20 for ativado, a voltagem induzida no receptor 24 é medida. A partir dos
 15 dados obtidos pelo único par de TR inclinado, as respostas simétricas ($V_{xz} - V_{zx}$) e anti-simétricas ($V_{xz} + V_{zx}$) podem ser computadas. Respostas adicionais, que são sensíveis aos parâmetros da formação, podem ser também computadas. Por exemplo, a soma dos acoplamentos V_{xx} e V_{yy} ($V_{xx} + V_{yy}$) pode
 20 ser sensível à anisotropia. Em geral, os componentes do tensor de acoplamento podem ser usados de forma individual, ou em combinação, para inferir propriedades da formação, tais como resistividade horizontal e vertical e distância até os contornos de leito, como é bem conhecido na arte.

25 Embora a discussão abaixo seja enfocada em medições

da ferramenta de propagação EM, ela se aplica também a medições da ferramenta de indução EM. A teoria matemática fundamentando a inversão é agora apresentada.

A voltagem no receptor 24 induzida pelo sinal EM transmitido pelo transmissor 20 pode ser escrita em termos de uma série de Fourier do ângulo de azimute ϕ até a segunda ordem, onde ϕ é o ângulo de azimute do receptor 24. A voltagem medida no receptor 24 pode ser descrita como:

$$V_{kf}(\phi) = C_0 + C_{1c} \cos(\phi) + C_{1s} \sin(\phi) + C_{2c} \cos(2\phi) + C_{2s} \sin(2\phi). \quad (1)$$

Essa equação é expressa num sistema de coordenadas baseado na ferramenta, onde os pontos do eixo dos z para baixo ao longo de eixo de ferramenta 18 e o eixo dos x é direcionado ao longo da projeção do negativo do vetor de aceleração da gravidade sobre um plano perpendicular ao eixo de ferramenta 18. O eixo dos y completa o sistema à direita. Um conjunto de coeficientes complexos C_0 , C_{1c} , C_{1s} , C_{2c} , e C_{2s} , representando os coeficientes harmônicos da 0ª, 1ª, 2ª ordem da voltagem, são definidos como:

$$C_0 = \begin{bmatrix} V_{xz} \cos(\theta_R) \cos(\theta_T) + \frac{1}{2}(V_{xx} + V_{yy}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_T) \\ + \frac{1}{2}(V_{xy} - V_{yx}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(\phi_T) \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$C_{1c} = V_{xz} \sin(\theta_R) \cos(\theta_T) + V_{yx} \cos(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_T) + V_{zy} \cos(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(\phi_T); \quad (3)$$

$$C_{1s} = V_{xz} \sin(\theta_R) \cos(\theta_T) + V_{zy} \cos(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_T) - V_{yx} \cos(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(\phi_T); \quad (4)$$

$$C_{2c} = \frac{1}{2}(V_{xx} - V_{yy}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_T) + \frac{1}{2}(V_{xy} + V_{yx}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(\phi_T); \quad (5)$$

$$C_{2s} = \frac{1}{2}(V_{xy} + V_{yx}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_T) - \frac{1}{2}(V_{xx} - V_{yy}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(\phi_T); \quad (6)$$

onde θ_R e θ_T são os ângulos do receptor e do transmissor, respectivamente, com relação ao eixo de ferramenta, e ϕ_T é o ângulo de azimute do transmissor 20 com relação ao receptor 24.

Se os estratos 14 forem dispostos em camadas paralelas, de forma que os contornos sejam paralelos, um grupamento estratigráfico, conhecido como "formação planar", o sistema de coordenadas baseado na ferramenta 10 pode ser girado em volta do eixo dos z, de forma que o eixo dos y fique paralelo às camadas da formação ou contornos do leito. O eixo dos x estará no plano formado pelo eixo de ferramenta e a normal do plano de acomodação e perpendicular ao eixo dos z e ao eixo dos y. Os principais 15 contornos de leito são aqueles detectáveis pela ferramenta. Nesse sistema de coordenadas giratórias, os acoplamentos cruzados "y", V_{xy} , V_{yx} , V_{uz} , e V_{zy} são zero, e existem somente cinco acoplamentos diferentes de zero. Se as camadas forem

apenas aproximadamente paralelas, um pequeno erro é introduzido, visto que aqueles termos de acoplamento cruzado não mais serão iguais a zero. O presente método pode ser usado em tais camadas substancialmente paralelas, se o erro introduzido estiver dentro de um limite aceitável. Assim, se os termos de acoplamento cruzado forem zero ou próximos de zero, a equação da voltagem pode ser simplificada como:

$$V_{RT}(\phi) = \tilde{C}_0 + \tilde{C}_{1c} \cos(\phi - \phi_B) + \tilde{C}_{1s} \sin(\phi - \phi_B) + \tilde{C}_{2c} \cos(2(\phi - \phi_B)) + \tilde{C}_{2s} \sin(2(\phi - \phi_B)); \quad (7)$$

onde

$$\tilde{C}_0 = V_{zz} \cos(\theta_R) \cos(\theta_T) + \frac{1}{2} (V_{xx} + V_{yy}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_T); \quad (8)$$

$$\tilde{C}_{1c} = V_{xz} \sin(\theta_R) \cos(\theta_T) + V_{zx} \cos(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_T); \quad (9)$$

$$\tilde{C}_{1s} = -V_{yx} \cos(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(\phi_T); \quad (10)$$

$$\tilde{C}_{2c} = \frac{1}{2} (V_{xx} - V_{yy}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_T); \quad (11)$$

$$\tilde{C}_{2s} = -\frac{1}{2} (V_{xx} - V_{yy}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(\phi_T); \quad (12)$$

onde ϕ_B não é somente o ângulo de rotação entre os dois sistemas de coordenadas, mas também o ângulo de azimute (mergulho relativo) do contorno e leito. As equações acima simplificadas podem ser reescritas como:

$$V_{RT}(\phi) = C_0 + C_{1c} \cos(\phi) + C_{1s} \sin(\phi) + C_{2c} \cos(2\phi) + C_{2s} \sin(2\phi); \quad (13)$$

onde

$$C_{0j} = V_{zz} \cos(\theta_R) \cos(\theta_T) + \frac{1}{2} (V_{xx} + V_{yy}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_T); \quad (14)$$

$$C_{1c} = V_{xz} \sin(\theta_R) \cos(\theta_T) \cos(\phi_B) + V_{zx} \cos(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(\phi_B - \phi_T); \quad (15)$$

$$C_{1s} = V_{yz} \sin(\theta_R) \cos(\theta_T) \sin(\phi_B) + V_{zy} \cos(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(\phi_B - \phi_T); \quad (16)$$

$$C_{2c} = \frac{1}{2} (V_{xx} - V_{yy}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \cos(2\phi_B - \phi_T); \text{ and} \quad (17)$$

$$C_{2s} = \frac{1}{2} (V_{xx} - V_{yy}) \sin(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(2\phi_B - \phi_T). \quad (18)$$

Observe nas Equações (14) a (18), embora usemos as mesmas variáveis V_{xx} , V_{yy} , V_{zz} , V_{xz} , e V_{zx} para os componentes de acoplamento eletromagnético, elas são definidas no sistema de coordenadas giratórias, e são em geral diferentes daquelas usadas nas Equações (2) a (6).

As duas equações de coeficiente harmônico da 2ª ordem acima podem ser resolvidas, para se obter o ângulo de orientação da acomodação ϕ_B e o acoplamento $(V_{xx} - V_{yy})$.

Isso resulta em:

$$\phi_B = \frac{1}{2} \left[\phi_T + \tan^{-1} \left(\frac{C_{2s}}{C_{2c}} \right) \right]; \text{ and} \quad (19)$$

$$V_{xx} - V_{yy} = 2 \frac{C_{2c} \cos(2\phi_B - \phi_T) + C_{2s} \sin(2\phi_B - \phi_T)}{\sin(\theta_R) \sin(\theta_T)}. \quad (20)$$

Podem-se usar esses resultados para resolver as equações do coeficiente harmônico de 1ª ordem para obter V_{xz} e V_{zx} , se o transmissor e o receptor estiverem em planos diferentes ($\phi_T \neq 0$). As soluções são:

$$V_{zx} = \frac{C_{1c} \sin(\phi_B) - C_{1s} \cos(\phi_B)}{\cos(\theta_R) \sin(\theta_T) \sin(\phi_T)}; \text{ and} \quad (21)$$

$$V_{xz} = -\frac{C_{1c} \sin(\phi_B - \phi_T) - C_{1s} \cos(\phi_B - \phi_T)}{\sin(\theta_R) \cos(\theta_T) \sin(\phi_T)}. \quad (22)$$

As respostas simetrizadas ($V_{xz} - V_{zx}$) e anti-simetrizadas ($V_{xz} + V_{zx}$) podem ser, então, geradas a partir dessas soluções.

- 5 No entanto, se o transmissor 20 e o receptor 24 estiverem no mesmo plano ($\phi_T = 0$), então o ângulo de orientação da acomodação ϕ_B e a combinação de V_{xz} e V_{zx} podem ser encontrados, como a seguir:

$$\phi_B = \tan^{-1} \left(\frac{C_{1s}}{C_{1c}} \right); \text{ and} \quad (23)$$

$$V_{xz} \sin(\theta_R) \cos(\theta_T) + V_{zx} \cos(\theta_R) \sin(\theta_T) = C_{1c} \cos(\phi_B) + C_{1s} \sin(\phi_B). \quad (24)$$

- 10 Quando $\theta_R = \theta_T$, o componente anti-simetrizado ($V_{xz} + V_{zx}$) pode ser extraído. Quando $\theta_R = -\theta_T$, o componente simetrizado ($V_{xz} - V_{zx}$) pode ser extraído.

- Quando o transmissor 20 e o receptor 24 estiverem em planos ortogonais, $\cos(\phi_T) = 0$ e, assim, o coeficiente
- 15 harmônico da 0ª ordem é proporcional a V_{zz} , assim que:

$$C_0 = V_{zz} \cos(\theta_R) \cos(\theta_T). \quad (25)$$

Portanto, as medições simetrizadas e anti-simetrizadas podem ser respectivamente definidas, como:

$$\frac{V_{zz} + V_{xz}}{V_{zz} - V_{xz}} \bullet \frac{V_{zz} - V_{zx}}{V_{zz} + V_{zx}}; \text{ and} \quad (26)$$

$$\frac{V_{zz} + V_{yz}}{V_{zz} - V_{yz}} \bullet \frac{V_{zz} + V_{zy}}{V_{zz} - V_{zy}}. \quad (27)$$

Outra resposta sensível à anisotropia da formação pode ser gerada, na forma de:

$$\frac{V_{zz} - \lambda(V_{xx} - V_{yy})}{V_{zz} + \lambda(V_{xx} - V_{yy})}; \quad (28)$$

5 onde λ é uma constante.

Se o transmissor 20 e o receptor 24 estiverem em planos diferentes, mas não ortogonais, o coeficiente harmônico da 0ª ordem pode produzir somente uma combinação linear de V_{zz} e $(V_{xx} + V_{yy})$. As medições simetrizadas e anti-
10 simetrizadas podem ser respectivamente definidas, como:

$$\frac{V_{zz} + \lambda(V_{xx} + V_{yy}) + V_{xz}}{V_{zz} + \lambda(V_{xx} + V_{yy}) - V_{xz}} \bullet \frac{V_{zz} + \lambda(V_{xx} + V_{yy}) - V_{zx}}{V_{zz} + \lambda(V_{xx} + V_{yy}) + V_{zx}}; \text{ and} \quad (29)$$

$$\frac{V_{zz} + \lambda(V_{xx} + V_{yy}) + V_{yz}}{V_{zz} + \lambda(V_{xx} + V_{yy}) - V_{yz}} \bullet \frac{V_{zz} + \lambda(V_{xx} + V_{yy}) - V_{zy}}{V_{zz} + \lambda(V_{xx} + V_{yy}) + V_{zy}}. \quad (30)$$

Outra resposta pode ser também definida, na forma de:

$$\frac{V_{zz} + \lambda V_{xx}}{V_{zz} + \lambda V_{yy}}; \quad (31)$$

onde λ é uma constante. Essa resposta é sensível à
15 anisotropia.

Embora a modalidade acima descrita use um único par de TR tendo ambas as antenas inclinadas, a invenção não é limitada a essa configuração. Por exemplo, uma antena de um

par de TR pode ser axialmente alinhada com o eixo de ferramenta 18, enquanto que a outra antena é inclinada. Em uma dessas configurações, onde o transmissor é axialmente alinhado, o ângulo de acomodação da orientação ϕ_B e os acoplamentos V_{zz} e V_{xz} são fornecidos por:

$$\phi_B = \tan^{-1}\left(\frac{C_{1s}}{C_{1c}}\right); \quad (32)$$

$$V_{xz} = \frac{C_{1c}\cos(\phi_B) + C_{1s}\sin(\phi_B)}{\sin(\theta_R)}; \text{ and} \quad (33)$$

$$V_{zz} = \frac{C_0}{\cos(\theta_R)} \quad (34)$$

Se o transmissor for transversal (perpendicular) ao eixo de ferramenta 18, e o receptor for inclinado, os acoplamentos V_{xx} , V_{yy} e V_{zx} , bem como o ângulo de orientação da acomodação ϕ_B , são fornecidos por:

$$\phi_B = \frac{1}{2}\left[\phi_T + \tan^{-1}\left(\frac{C_{2s}}{C_{2c}}\right)\right] = \phi_T + \tan^{-1}\left(\frac{C_{1s}}{C_{1c}}\right); \quad (35)$$

$$V_{xz} = \frac{C_0 + C_{2c}\cos(2\phi_B - \phi_T) + C_{2s}\sin(2\phi_B - \phi_T)}{\sin(\theta_R)}; \quad (36)$$

$$V_{yy} = \frac{C_0 - C_{2c}\cos(2\phi_B - \phi_T) - C_{2s}\sin(2\phi_B - \phi_T)}{\sin(\theta_R)}; \text{ and} \quad (37)$$

$$V_{zx} = \frac{C_{1c}\sin(\phi_B - \phi_T) + C_{1s}\cos(\phi_B - \phi_T)}{\cos(\theta_R)}; \quad (38)$$

Observe que o ângulo de orientação da acomodação ϕ_B pode ser computado, usando-se os coeficientes harmônicos de primeira ou segunda ordem e, através da resolução dos dois, o ângulo de azimuth do transmissor pode ser deduzido como:

$$\phi_r = \tan^{-1}\left(\frac{C_{2s}}{C_{2c}}\right) - 2 \tan^{-1}\left(\frac{C_{1s}}{C_{1c}}\right) \quad (39)$$

Em outra modalidade da presente invenção, os componentes de acoplamento eletromagnético com ganho corrigido podem ser obtidos para uma configuração de dois transmissores/ um receptor, como mostrado nas figs. 3A e 3B. Nessa modalidade, os dois transmissores 20, 21 operam de preferência em tempos distintos, ou em frequências distintas (mas de preferência próximas entre si). Eles estão estreitamente localizados ou, de preferência, co-localizados. Presumindo-se uma formação planar e um sistema de coordenadas giratórias, como acima descrito, as Equações (7) - (24) podem ser estendidas e usadas.

Usando as Equações 19 e 20, o ângulo de orientação da acomodação ϕ_B e a combinação de acoplamentos ($V_{xx} - V_{yy}$) podem ser determinados para o primeiro par de transmissor/ receptor:

$$\phi_B = \frac{1}{2} \left[\phi_r^{(1)} + \tan^{-1} \left(\frac{C_{2s}^{(1)}}{C_{2c}^{(1)}} \right) \right]; \text{ and} \quad (40)$$

$$V_{xx}^{(1)} - V_{yy}^{(1)} = 2 \frac{C_{2c}^{(1)} \cos(2\phi_B - \phi_r^{(1)}) + C_{2s}^{(1)} \sin(2\phi_B - \phi_r^{(1)})}{\sin(\theta_R) \sin(\theta_r^{(1)})} \quad (41)$$

O ângulo de orientação da acomodação ϕ_B pode ser também computado, usando-se medições do segundo par de transmissor/ receptor e mediado com resultado do primeiro par de TR, se desejado, ou o valor obtido de qualquer um

dos pares de TR pode ser usado. A combinação de acoplamentos ($V_{xx} - V_{yy}$) pode ser também determinada para o segundo par de transmissor/ receptor:

$$V_{xx}^{(2)} - V_{yy}^{(2)} = 2 \frac{C_{2c}^{(2)} \cos(2\phi_B - \phi_T^{(2)}) + C_{2s}^{(2)} \sin(2\phi_B - \phi_T^{(2)})}{\sin(\theta_R) \sin(\theta_T^{(2)})}. \quad (42)$$

5 A correção de ganho do segundo par de transmissor/ receptor com relação ao primeiro par de transmissor/ receptor pode ser calculada como:

$$g_2 = \frac{V_{xx}^{(2)} - V_{yy}^{(2)}}{V_{xx}^{(1)} - V_{yy}^{(1)}} = \frac{[C_{2c}^{(2)} \cos(2\phi_B - \phi_T^{(2)}) + C_{2s}^{(2)} \sin(2\phi_B - \phi_T^{(2)})] \sin(\theta_T^{(1)})}{[C_{2c}^{(1)} \cos(2\phi_B - \phi_T^{(1)}) + C_{2s}^{(1)} \sin(2\phi_B - \phi_T^{(1)})] \sin(\theta_T^{(2)})}. \quad (43)$$

Da mesma forma, as Equações 21 e 22 podem ser usadas para
10 resolver as equações de coeficiente harmônico da 1ª ordem, se os ângulos de azimuth dos transmissores não forem iguais a zero:

$$V_{zx}^{(j)} = \frac{C_{1c}^{(j)} \sin(\phi_B) - C_{1s}^{(j)} \cos(\phi_B)}{\cos(\theta_R) \sin(\theta_T^{(j)}) \sin(\phi_T^{(j)})}, \quad (44)$$

$$V_{xz}^{(j)} = -\frac{C_{1c}^{(j)} \sin(\phi_B - \phi_T^{(j)}) - C_{1s}^{(j)} \cos(\phi_B - \phi_T^{(j)})}{\sin(\theta_R) \cos(\theta_T^{(j)}) \sin(\phi_T^{(j)})} \quad (45)$$

onde $j = 1$ ou 2 . Uma média ou uma média ponderada dos
15 valores de componente acima para ambos os pares de transmissor/ receptor pode ser usada para obter resultados mais confiáveis.

Se os ângulos de azimuth do transmissor forem diferentes de zero, a correção de ganho do segundo par de
20 transmissor/ receptor, com relação ao primeiro par de transmissor/ receptor, para esses componentes de

acoplamento pode ser também calculada, como:

$$g_2 = \frac{V_{xz}^{(2)}}{V_{zx}^{(1)}} = \frac{[C_{1c}^{(2)} \sin(\phi_B) - C_{1s}^{(2)} \cos(\phi_B)] \sin(\theta_r^{(1)}) \sin(\phi_r^{(1)})}{[C_{1c}^{(1)} \sin(\phi_B) - C_{1s}^{(1)} \cos(\phi_B)] \sin(\theta_r^{(2)}) \sin(\phi_r^{(2)})}; \text{ or} \quad (46)$$

$$g_2 = \frac{V_{xz}^{(2)}}{V_{zx}^{(1)}} = \frac{[C_{1c}^{(2)} \sin(\phi_B - \phi_r^{(2)}) - C_{1s}^{(2)} \cos(\phi_B - \phi_r^{(2)})] \cos(\theta_r^{(1)}) \sin(\phi_r^{(1)})}{[C_{1c}^{(1)} \sin(\phi_B - \phi_r^{(1)}) - C_{1s}^{(1)} \cos(\phi_B - \phi_r^{(1)})] \cos(\theta_r^{(2)}) \sin(\phi_r^{(2)})}. \quad (47)$$

Quando os ângulos de azimuth dos transmissores forem iguais a zero, então o ângulo de orientação da acomodação ϕ_B é encontrado, usando-se a Equação (23), e os coeficientes de acoplamento V_{xz} e V_{zx} são encontrados, usando-se a Equação (24). De modo particular, a equação (24) pode ser escrita para cada par de transmissor/ receptor. As duas Equações resultantes podem ser resolvidas, para produzir:

$$V_{xz}^{(1)} = - \frac{(C_{1c}^{(1)} \sin(\theta_r^{(2)}) - C_{1c}^{(2)} \sin(\theta_r^{(1)}) / g_2) \cos(\phi_B) + (C_{1s}^{(1)} \sin(\theta_r^{(2)}) - C_{1s}^{(2)} \sin(\theta_r^{(1)}) / g_2) \sin(\phi_B)}{\sin(\theta_B) \sin(\theta_r^{(1)} - \theta_r^{(2)})}; \quad (48)$$

$$V_{zx}^{(1)} = \frac{(C_{1c}^{(1)} \cos(\theta_r^{(2)}) - C_{1c}^{(2)} \cos(\theta_r^{(1)}) / g_2) \cos(\phi_B) + (C_{1s}^{(1)} \cos(\theta_r^{(2)}) - C_{1s}^{(2)} \cos(\theta_r^{(1)}) / g_2) \sin(\phi_B)}{\cos(\theta_B) \sin(\theta_r^{(1)} - \theta_r^{(2)})}; \quad (49)$$

Como pode ser visto nas Equações (48) e (49), quando ambos os ângulos de azimuth do transmissor forem iguais a zero com relação ao receptor, os ângulos de inclinação dos transmissores com relação ao eixo de ferramenta devem ser diferentes.

A correção de ganho e o ângulo de orientação da acomodação, acima obtidos, podem ser usados para obter certos componentes de acoplamento, usando-se a equação de coeficiente harmônico da 0ª ordem. Os acoplamentos são fornecidos por:

$$V_{xz}^{(1)} = \frac{C_0^{(1)} \sin(\theta_r^{(2)}) \cos(\phi_r^{(2)}) - C_0^{(2)} \sin(\theta_r^{(1)}) \cos(\phi_r^{(1)}) / g_2}{\cos(\theta_r) [\cos(\theta_r^{(1)}) \sin(\theta_r^{(2)}) \cos(\phi_r^{(2)}) - \cos(\theta_r^{(2)}) \sin(\theta_r^{(1)}) \cos(\phi_r^{(1)})]}; \quad (50)$$

$$V_{xz}^{(1)} + V_{yz}^{(1)} = 2 \frac{C_0^{(1)} - V_{xz}^{(1)} \cos(\theta_r) \cos(\theta_r^{(1)})}{\sin(\theta_r) \sin(\theta_r^{(1)}) \cos(\phi_r^{(1)})}. \quad (51)$$

Assim, usando o acima, a solução para os cinco componentes diferentes de zero V_{zz} , V_{xx} , V_{yy} , V_{xz} , e V_{zx} , do tensor de acoplamento para uma formação planar no sistema de coordenadas giratórias pode ser obtida.

Numa modalidade alternativa da invenção, um sinal de resposta pode ser calculado para uma configuração de um transmissor/ dois receptores, onde os dois receptores são afastados entre si. Como acima descrito, ao usar uma configuração de um transmissor/ um receptor, certos componentes de acoplamento eletromagnético, ou suas combinações, podem ser obtidos. Para a modalidade alternativa de um transmissor/ dois receptores, um sinal de resposta pode ser definido, como uma combinação de pelo menos um dos componentes de acoplamento eletromagnético do par de transmissor/ primeiro receptor, e de pelo menos um dos componentes de acoplamento eletromagnético do par de transmissor/ segundo receptor. Um exemplo de tal combinação é:

$$\frac{V_{xz}^{(1)} + \lambda(V_{xz}^{(1)} - V_{yz}^{(1)})}{V_{xz}^{(2)} + \lambda(V_{xz}^{(2)} - V_{yz}^{(2)})}; \quad (52)$$

onde λ é uma constante, e os sobrescritos (1) e (2) indicam os componentes de acoplamento eletromagnético de cada um

dos respectivos pares de transmissor/ receptor.

Em outra modalidade ainda da invenção (fig. 4), um sinal de resposta pode ser calculado para uma configuração de dois transmissores e dois receptores, onde os dois
5 transmissores estão localizados próximos entre si ou, de preferência, co-localizados, e os dois receptores estão afastados entre si. Visto que os componentes de acoplamento eletromagnético podem ser obtidos para uma configuração de dois transmissores/ um receptor, como acima descrito, um
10 sinal de resposta pode ser definido como uma combinação de pelo menos um dos componentes de acoplamento eletromagnético do par de dois transmissores/ primeiro receptor e de um dos componentes de acoplamento eletromagnético do par de dois transmissores/ segundo
15 receptor. Um exemplo dessa combinação é:

$$\frac{V_{xr}^{(1)}}{V_{xr}^{(2)}}; \quad (53)$$

onde os sobrescritos (1) e (2) indicam os componentes de acoplamento eletromagnético de cada um dos respectivos pares de transmissor/ receptor.

20 Através da descrição detalhada anterior das modalidades específicas da invenção, deve ficar claro que um método novo e útil para obtenção de parâmetros da formação subterrânea, tais como respostas simetrizadas e anti-simetrizadas usando um único par inclinado de
25 transmissor/ receptor, foi divulgado. Além disso, foram

divulgadas várias modalidades, que exploram a simetria inerente às formações planares, para um único par de TR e para uma configuração de dois transmissores/ um receptor. Por reciprocidade, as funções dos transmissores e receptores podem ser invertidas, assim que, p. ex., uma configuração de um transmissor/ dois receptores pode ser usada. Embora modalidades específicas da invenção tenham sido aqui divulgadas em certos detalhes, isso foi feito exclusivamente com o intuito de descrever vários recursos e aspectos da invenção, e não visa ser limitada com relação ao escopo da invenção. É contemplado que várias substituições, alterações, e/ou modificações, incluindo, mas não limitado àquelas variações de implementação, que possam ter sido aqui sugeridas, podem ser feitas nas modalidades divulgadas, sem se afastarem do escopo da invenção, conforme definido pelas reivindicações apensas.

- REIVINDICAÇÕES -

1. MÉTODO PARA DETERMINAR UM OU MAIS PARÂMETROS DE
UMA FORMAÇÃO ATRAVESSADA POR UM FURO DE POÇO, caracterizado
pelo fato de pelo menos uma porção da formação ter
5 contornos substancialmente paralelos, o método
compreendendo:

disposição de uma ferramenta no furo de poço,
onde a ferramenta inclui um transmissor tendo um momento
bipolar de transmissor em um ângulo θ_T com relação a um
10 eixo longitudinal da ferramenta, e um receptor tendo um
momento bipolar de receptor em um ângulo θ_R com relação ao
eixo longitudinal da ferramenta, o transmissor e receptor
compreendendo um par de transmissor/ receptor;

transmissão de um sinal eletromagnético durante a
15 rotação da ferramenta;

recepção do sinal eletromagnético para produzir
um sinal medido pelo par de transmissor/ receptor;

medição de um ângulo de azimuth de rotação da
ferramenta; e

20 determinação de um ou mais parâmetros da formação
para a porção da formação tendo contornos substancialmente
paralelos, com base no sinal medido pelo par de
transmissor/ receptor.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1,
25 caracterizado pelo fato de um ou mais parâmetros incluírem
um ângulo de orientação de acomodação, uma resistividade

horizontal, uma resistividade vertical, um indicador de contorno, uma distância ao contorno do leito, um ou mais componentes de acoplamento eletromagnético, ou uma combinação de um ou mais componentes de acoplamento eletromagnético, incluindo uma resposta simetrizada ou uma
5 resposta anti-simetrizada.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato transmissor e do receptor operarem de modo recíproco.

10 4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do momento bipolar de transmissor e do momento bipolar de receptor serem inclinados com relação ao eixo longitudinal da ferramenta.

5 5. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de um e somente um dos momentos bipolares de transmissor e receptor ser paralelo ao eixo longitudinal da ferramenta, sendo que de um e somente um dos momentos bipolares de transmissor e receptor ser perpendicular ao eixo longitudinal da ferramenta.

20 6. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de θ_T e θ_R serem iguais.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do momento bipolar de transmissor e do momento bipolar de receptor estarem no mesmo plano.

25 8. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do sinal medido ser uma voltagem

complexa.

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de um ou mais parâmetros incluírem uma razão de componentes de acoplamento eletromagnético.

5 10. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da determinação compreender:

uso de coeficientes harmônicos para computar um ou mais componentes de acoplamento eletromagnético, ou uma combinação de um ou mais componentes de acoplamento
10 eletromagnético; e

uso de um ou mais componentes de acoplamento eletromagnético, ou da combinação de um ou mais componentes de acoplamento eletromagnético, para computar uma ou mais propriedades da formação.

15 11. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do transmissor ser contido ou estar dentro de um primeiro módulo da ferramenta, e do receptor ser contido ou estar dentro de um segundo módulo da ferramenta, onde os primeiro e segundo módulos são unidos
20 de modo removível entre si, ou a um módulo interveniente, ou conjunto de módulos.

12. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de parâmetro de formação ser um tensor de acoplamento eletromagnético, onde a ferramenta
25 inclui um primeiro transmissor tendo um primeiro momento bipolar de transmissor em um ângulo θ_{T1} com relação a um

eixo longitudinal da ferramenta, um segundo transmissor tendo um segundo momento bipolar de transmissor em um ângulo θ_{T2} com relação ao eixo longitudinal da ferramenta, e um receptor tendo um momento bipolar de receptor em um
5 ângulo θ_R com relação ao eixo longitudinal da ferramenta, o primeiro transmissor e receptor constituindo um primeiro par de transmissor/ receptor, e o segundo transmissor e o receptor constituindo um segundo par de transmissor/ receptor.

10 13. Método, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de ainda compreender o uso de um ou mais componentes do tensor de acoplamento eletromagnético, ou uma combinação desses componentes, para determinar um ângulo de orientação de acomodação, uma resistividade
15 horizontal, uma resistividade vertical, um indicador de contorno, uma distância ao contorno do leito, e/ou uma combinação de um ou mais componentes de acoplamento eletromagnético.

20 14. Método, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de um ou mais componentes do tensor de acoplamento eletromagnético terem seu ganho corrigido.

25 15. FERRAMENTA DISPOSTA EM UM FURO DE POÇO PENETRANDO NUMA FORMAÇÃO, pelo menos uma porção da formação tendo contornos substancialmente paralelos, caracterizada pelo fato dela compreender:

transmissor singelo tendo um momento bipolar de

transmissor em um ângulo θ_T com relação ao eixo longitudinal da ferramenta;

receptor singelo tendo um momento bipolar de receptor em um ângulo θ_R com relação ao eixo longitudinal da ferramenta; e

indicador rotativo de posição.

16. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato de θ_T e θ_R serem iguais.

17. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato do momento bipolar de transmissor e do momento bipolar de receptor estarem em planos distintos.

18. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato dos planos distintos serem ortogonais.

19. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato transmissor e do receptor operarem de modo recíproco.

20. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato de um e somente um dos momentos bipolares de transmissor e receptor ser paralelo ao eixo longitudinal da ferramenta.

21. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato de um e somente um dos momentos bipolares de transmissor e receptor ser perpendicular ao eixo longitudinal da ferramenta.

22. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato do transmissor ser contido ou estar dentro de um primeiro módulo da ferramenta, e do receptor ser contido ou estar dentro de um segundo módulo da
5 ferramenta, onde os primeiro e segundo módulos são unidos de modo removível entre si, ou a um módulo interveniente, ou conjunto de módulos.

23. FERRAMENTA DISPOSTA EM UM FURO DE POÇO PENETRANDO NUMA FORMAÇÃO, pelo menos uma porção da formação
10 tendo contornos substancialmente paralelos, caracterizada pelo fato dela compreender:

primeiro transmissor tendo um primeiro momento bipolar de transmissor em um ângulo θ_{T1} com relação a um eixo longitudinal da ferramenta;

15 segundo transmissor tendo um segundo momento bipolar de transmissor em um ângulo θ_{T2} com relação ao eixo longitudinal da ferramenta;

receptor singelo tendo um momento bipolar de receptor em um ângulo θ_R com relação ao eixo longitudinal
20 da ferramenta; onde pelo menos um dentre θ_{T1} e θ_{T2} é igual a θ_R ; e

indicador rotativo de posição.

24. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato de pelo menos um dos primeiro e
25 segundo momentos bipolares de transmissor estar num

primeiro plano, do momento bipolar de receptor estar num segundo plano, e dos primeiro e segundo planos serem distintos.

25. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato dos primeiro e segundo planos serem ortogonais.

26. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato dos transmissores e dos receptores operarem de modo recíproco.

27. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato de um e somente um dos momentos bipolares de transmissor e receptor ser paralelo ao eixo longitudinal da ferramenta.

28. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato de um e somente um dos momentos bipolares de transmissor e receptor ser perpendicular ao eixo longitudinal da ferramenta.

29. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato do primeiro transmissor ser contido ou estar dentro de um primeiro módulo da ferramenta, do segundo transmissor ser contido ou estar dentro de um segundo módulo da ferramenta, e do receptor ser contido ou estar dentro de um terceiro módulo da ferramenta, onde os primeiro, segundo e terceiro módulos são unidos de modo removível entre si, ou a um módulo interveniente, ou conjunto de módulos.

FIG. 1

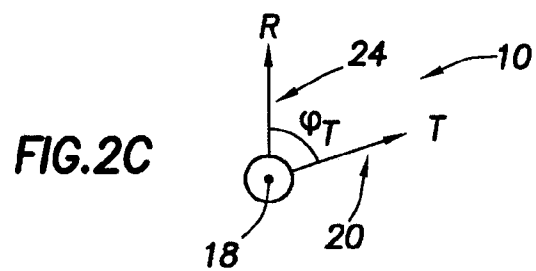
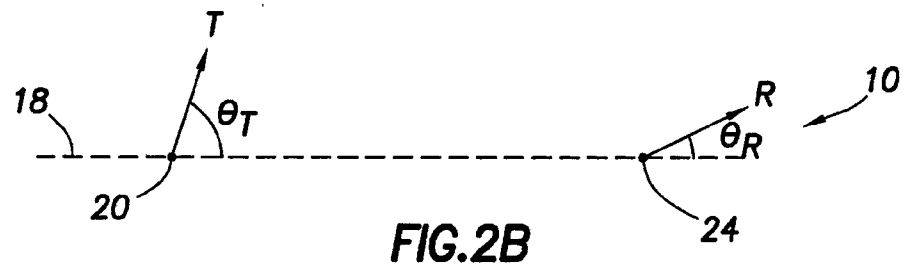
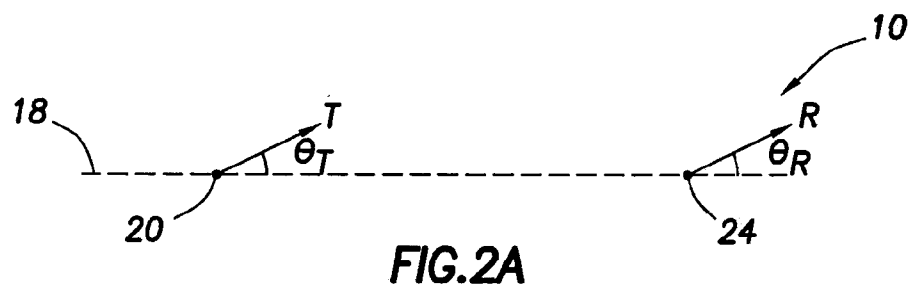
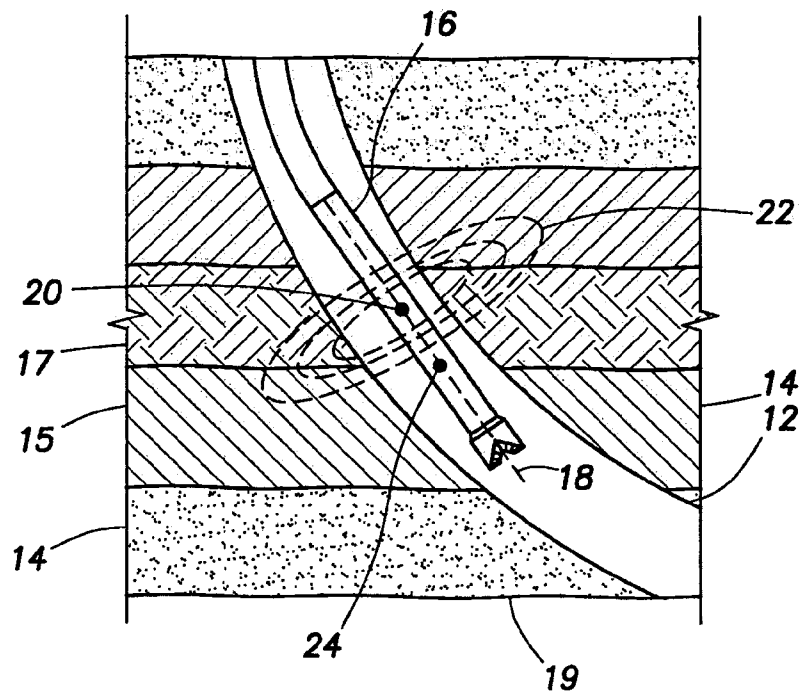




FIG. 3A

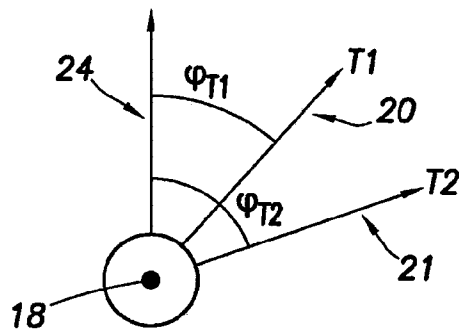


FIG. 3B

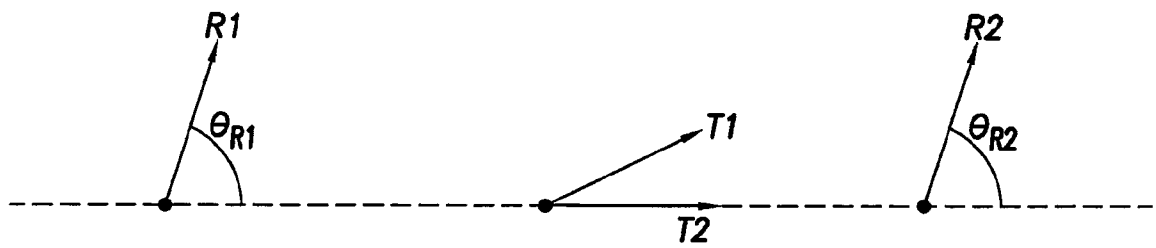


FIG. 4

- RESUMO -

MÉTODO PARA DETERMINAR UM OU MAIS PARÂMETROS DE UMA FORMAÇÃO ATRAVESSADA POR UM FURO DE POÇO, E FERRAMENTA DISPOSTA EM UM FURO DE POÇO PENETRANDO NUMA FORMAÇÃO

5 Um método para determinar um ou mais parâmetros de uma formação atravessada por um furo de poço, pelo menos uma porção da formação tendo contornos substancialmente paralelos, o método compreendendo a disposição de uma ferramenta no furo de poço, onde a ferramenta inclui um

10 transmissor tendo um momento bipolar em um ângulo θ_T com relação a um eixo longitudinal da ferramenta, e um receptor tendo um momento bipolar em um ângulo θ_R com relação ao eixo longitudinal da ferramenta, o transmissor e receptor compreendendo um par de transmissor/ receptor; transmissão

15 de um sinal eletromagnético durante a rotação da ferramenta; recepção do sinal eletromagnético para produzir um sinal medido pelo par de transmissor/ receptor; e determinação de um ou mais parâmetros da formação para a porção da formação tendo contornos substancialmente

20 paralelos, com base no sinal medido pelo par de transmissor/ receptor. Uma ferramenta disposta num furo de poço penetrando numa formação, pelo menos uma porção da formação tendo contornos substancialmente paralelos, a ferramenta compreendendo um único transmissor tendo um

momento bipolar de transmissor em um ângulo θ_T com relação ao eixo longitudinal da ferramenta; um único receptor tendo um momento bipolar de receptor em um ângulo θ_R com relação ao eixo longitudinal da ferramenta, e um indicador rotativo de posição.