



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

(21) **PI0618149-0 A2**

(22) Data de Depósito: 25/09/2006  
(43) Data da Publicação: 16/08/2011  
(RPI 2119)



(51) *Int.Cl.:*  
G01V 3/12 2006.01  
G01V 1/00 2006.01

(54) Título: **MÉTODOS PARA ESTIMAR ERRO EM DADOS MEDIDOS PROVENIENTES DE UMA PROSPECÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE FONTE CONTROLADA DE UMA REGIÃO DE SUB-SUPERFÍCIE E PARA PRODUZIR HIDROCARBONETOS A PARTIR DE UMA REGIÃO DE SUB-SUPERFÍCIE**

(57) Resumo: MÉTODOS PARA ESTIMAR ERRO EM DADOS MEDIDOS PROVENIENTES DE UMA PROSPECÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE FONTE CONTROLADA DE UMA REGIÃO DE SUB-SUPERFÍCIE E PARA PRODUZIR HIDROCARBONETOS A PARTIR DE UMA REGIÃO DE SUB-SUPERFÍCIE O método para corrigir a fase de sinais elétricos ou sinais magnéticos medidos de dados de campo a partir de uma prospecção eletromagnética de fonte controlada (CSES) através da comparação dos dados de campo medidos correspondentes a uma frequência selecionada com os dados simulados para vários desvios (71) fonte-receptor, e corrigir as fases dos dados reais com base na diferença de fase para uma faixa selecionada de pequenos desvios de sinal (76) com base em um modelo geo-elétrico

(30) Prioridade Unionista: 01/11/2005 US 60/732336

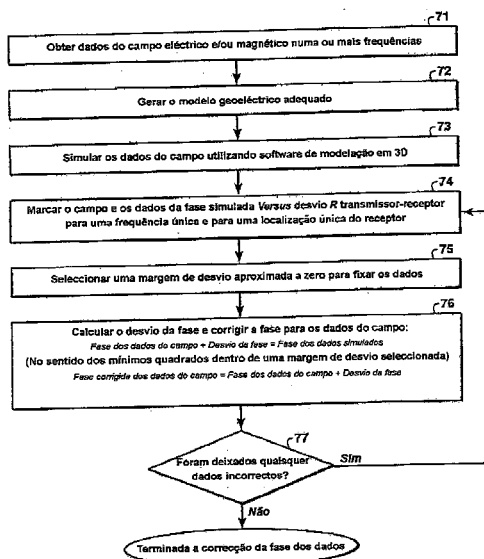
(73) Titular(es): Exxonmobil Upstream Research Company

(72) Inventor(es): Dennis E. Willen, Dmitry A. Pavlov, James J. Carazzone

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

(86) Pedido Internacional: PCT US2006037386 de 25/09/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/053251 de 10/05/2007



“MÉTODOS PARA ESTIMAR ERRO EM DADOS MEDIDOS  
PROVENIENTES DE UMA PROSPECÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE  
FONTE CONTROLADA DE UMA REGIÃO DE SUB-SUPERFÍCIE E  
PARA PRODUZIR HIDROCARBONETOS A PARTIR DE UMA REGIÃO  
5 DE SUB-SUPERFÍCIE”

Este pedido reivindica os benefícios do Pedido de Patente  
Provisório US 60/732,336 depositado em 1 de Novembro de 2005.

#### CAMPO DA INVENÇÃO

Esta invenção refere-se, em termos genéricos, à prospecção  
10 geofísica e, em particular, à prospecção eletromagnética de fonte controlada  
("CSEM"), incluindo a delineação do campo. Em termos específicos, esta  
invenção constitui um método para corrigir os erros de fase e de amplitude  
dos dados CSEM.

#### FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

15 As prospecções eletromagnéticas de fonte controlada são um  
importante instrumento geofísico para avaliar a existência de hidrocarbonetos  
no interior do estrato terrestre. Habitualmente, as prospecções CSEM  
registram o sinal eletromagnético induzido na terra por uma fonte  
(transmissor) e este é medido num ou mais receptores. O comportamento  
20 deste sinal como função de localização do transmissor, da frequência, e da  
separação (desvio) entre o transmissor e o receptor pode ser diagnosticado nas  
propriedades da rocha associadas com a presença ou ausência dos  
hidrocarbonetos. Especificamente, as medições CSEM são utilizadas para  
determinar a resistividade espacialmente variável da sub-superfície.

25 Num meio marinho, os dados CSEM são habitualmente  
adquiridos rebocando uma antena de transmissão elétrica bipolar 11 entre um  
determinado número de receptores 12 colocados no solo marítimo 13 (figura  
1). Habitualmente a antena do transmissor é rebocada a algumas dezenas de  
metros por cima do solo marítimo. Os receptores têm múltiplos sensores que

se destinam a registrar um ou mais componentes vetoriais dos campos elétricos e/ou magnéticos. As configurações alternativas incluem o transmissores fixos no solo marítimo ou na coluna de água, assim como antenas de transmissores magnéticos. Habitualmente os sistemas de transmissão e de recepção funcionam de forma autônoma (sem qualquer tipo de ligação), de forma a que os dados do receptor possam ser sincronizados com as medições do transmissor colocado a bordo do navio comparando os tempos dos receptores com o tempo de relógio a bordo de um navio ou num GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Habitualmente, os dados MCSEM recolhidos em águas profundas são interpretados no domínio da frequência do tempo, cada sinal representa a resposta terrestre a uma energia eletromagnética nessa frequência temporal. Nos dados não modificados, a variação da resistência de cada componente da frequência depende de quanta energia o transmissor transmite e da sensibilidade do receptor para essa frequência. Habitualmente, estes efeitos são extraídos dos dados antes da sua interpretação. As figuras 2A e 2B representam os dados não modificados do receptor 21 juntamente com a (na figura 26) a forma da onda do transmissor 22 que a origina. A figura 2A apresenta exemplos de sinais CSEM num intervalo de tempo de várias horas, enquanto que a figura 2B mostra o mesmo sinal recebido num intervalo de tempo muito mais curto 23, quando comparados com o período,  $T$ , da forma de onda do transmissor. Os valores habituais de  $T$  estão entre 4 e 64 segundos. A forma de onda do transmissor está representada com uma linha tracejada sobreposta à forma de onda do receptor. (A forma de onda do transmissor é apenas mostrada a título indicativo, porque a escala vertical só é aplicada ao sinal do receptor).

Na prática, os dados do receptor são convertidos em frequência temporal pela divisão (ou "binarização") dos dados do domínio temporal registrado sem intervalos de tempo iguais ao período da forma da

onda do transmissor (figura 3A) e determinando o espectro (figura 3B) no interior de cada ficheiro bin ( $x_n$ ,  $x_2$ ,  $x_1$ ) por métodos standards baseados na Transformada de

Fourier. Não são mostradas as fases dos componentes espectrais. Cada um dos ficheiros bin na sua parte central está associado ao tempo, habitualmente a data Juliana. Desde que a posição do transmissor seja conhecida como função tempo, estes ficheiros bin podem ser marcados alternadamente, de diversas formas, nomeadamente: data Juliana no centro do ficheiro bin; posição do transmissor; distância do desvio sinalizado entre a fonte e o receptor; ou pela distância acumulada percorrida pelo transmissor em relação a um determinado ponto de partida.

O sinal do transmissor pode ser uma forma de onda mais complexa do que a representada nas figuras 2B e 3A.

Habitualmente, os receptores MCSEM (figura 4) incluem:

- 15 • uma fonte de energia, por exemplo baterias, (dentro do processador de dados e caixa de pressão 40);
- uma ou mais antenas do campo eléctrico (E) ou do campo magnético (B) (bipolares 41 recebe + e - campos  $E_x$ , dipolares 42 + e - bobinas 43 para  $B_x$  e bobinas 44 para  $B_y$ );
- 20 • outros dispositivos de medição, como uma bússola e um termómetro (não representados);
- pacotes eletrónicos que começam por detectar, digitar, e armazenar estas medições a uma hora pré-programada (dentro da caixa 40);
- meios para a extrair os dados do receptor para um computador a bordo de um navio depois de que o receptor tenha regressado à superfície (não mostrado);
- 25 • um peso (por exemplo uma âncora de cimento 49) suficiente para fazer com que o receptor caia no solo marítimo;
- um mecanismo 45 para libertar o receptor do seu peso ao receber

(libertação acústica e unidade de navegação 46) um sinal acústico proveniente de um navio à superfície (14 na fig. 1);

- esferas flutuantes de vidro 47;
  - prumo flutuante 48; e
- 5       • vários (não mostrados) ganchos, bandeirolas, luzes estroboscópicas, e rádio faróis para simplificar o emprego e a recuperação do receptor a partir de um navio à superfície.

É evidente, que são possíveis outras configurações, como por exemplo a conexão de vários receptores na fonte acústica rebocada (ver, por exemplo, o Pedido de Patente norte-americana N°. 4.617.518 de Srnka). O receptor representado na figura 4 é um receptor CSEM com 4 componentes ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $B_y$ , e  $B_x$ ) colocados no solo marítimo. Os dispositivos podem ser configurados para registrar tipos de campos diferentes, incluindo os campos elétricos verticais ( $E_z$ ) e magnéticos ( $B_z$ ).

15               Geralmente, os sinais recebidos são compostos com componentes em fase (in-phase) assim como com componentes defasados (out-of-phase) com o sinal do transmissor. Assim os sinais são devidamente representados como números complexos em qualquer forma retangular (real e imaginária) ou polar (amplitude e fase). Como pode ser observado nas figuras

20       5 e 6, a fase assim como a amplitude dos dados MCSEM podem ser indicativas do estrato resistivo (e potencialmente portadora de hidrocarbonetos). Tanto a fase como a amplitude devem ser exatamente determinadas para distinguir as características do sinal associadas com os hidrocarbonetos, a partir da parte muito maior do sinal associada a outras

25       características geológicas da sub-superfície. A figura 5 mostra uma vista de corte transversal de uma prospecção MCSEM habitual. O sinal medido no receptor 12 tem a cooperação de vários trajetos através da sub-superfície, incluindo os trajetos associados com o estrato resistivo (e potencialmente portadores de hidrocarbonetos), tais como 51. A figura 6A mostra a amplitude

do campo elétrico e a figura 6B mostra as respostas da fase correspondente que podem resultar das medições MCSEM representadas na figura 5. A linha curva tracejada mostra os sinais na ausência da unidade resistiva 51. Os sinais na presença da unidade resistiva (linha curva contínua) mostram uma amplitude maior, assim que a corrente é forçada para a superfície, e uma fase retardada, devido aos comprimentos de onda mais longos das ondas eletromagnéticas na unidade resistiva.

Cada sinal de frequência CSEM,  $\omega$ , medido em radianos por segundo, está associado a um período de sinal, em que  $T=2\pi/\omega$  medido em segundos. O valor para qualquer fase,  $\phi$ , ou desvio de fase,  $\Delta\phi$ , está associado a um desvio temporal equivalente,  $\Delta t$ , através da fórmula

$$\Delta\phi = 2\pi(\Delta t/T)$$

Enquanto que habitualmente a fase é medida como um ângulo entre 0 e  $2\pi$ -radianos, pode ser igualmente pensada como um tempo entre 0 e T segundos.

Enquanto que a amplitude e a fase dos dados MCSEM podem prover consideráveis limitações na presença ou ausência dos hidrocarbonetos, na prática, cada uma delas poderá ser difícil de medir com exatidão devido a determinados fatores, como por exemplo:

- A forma de onda real do transmissor deve ser exatamente medida e transmitida a partir de centenas ou milhares de metros abaixo da superfície;
- As respostas dos amplificadores do receptor devem ser exatamente conhecidas nas frequências em que os dados foram medidos;
- Geralmente, as antenas do receptor (designadamente, as antenas magnéticas) dão uma resposta dependente da frequência, e a resposta combinada do circuito de antena amplificador pode diferir das respostas combinadas dos componentes;
- Pequenas alterações na resistividade da terra, perto do receptor,

podem alterar os valores dos campos elétricos e magnéticos; e,

- A inteiração química dos eletrodos da antena transmissora com a água do mar, que é condutora e corrosiva, não é totalmente compreendida e pode causar alguns efeitos, tais como, uma resistêcia acrescida dos eletrodos com o uso.

Além disso, podem ocorrer erros da fase porque os sinais do transmissor e do receptor são registrados separadamente usando bases temporais diferentes (cronômetros) e estes devem estar sincronizadas com uma base de tempo GPS comum.

O problema dos erros da fase e da amplitude tem sido reconhecidos em diversas publicações da especialidade. A abordagem do problema inclui as seguintes soluções:

- Empregar cronômetros de alta precisão e de temperatura compensada nos receptores localizados no solo marítimo. A medição direta do desvio (erro do relógio) destes cronômetros em relação a uma referência da hora (como por exemplo o GPS) no início e no final da prospecção permite ao utilizador descomprimir ou comprimir os dados medidos para uma estimativa do tempo de referência (S. C. Constable, et al., "Marine magnetotellurics for petroleum exploration Part 1: A seafloor equipment system," *Geophysics* 63, 816-825 (1998)).
- Montar um receptor independente para o transmissor para controlar a corrente do transmissor que é efetivamente injetada na água (L. M. MacGregor, et al., "The RAMESSES experiment - III. Controlled-source electromagnetic sounding of the Reykjanes Ridge at 5T 45' N", *Geophys. J. Int.* 135, 773-789 (1998)). Como referido anteriormente, os dados do receptor são corrigidos com o comportamento medido no transmissor.
- Recolher as medições realizadas em laboratório da resposta do

sistema antena amplificador do receptor (calibrando a amplitude e a fase do receptor versus à frequência) e compensar os dados do campo CSEM para estes valores (S. Ellingsrud, et al., "Remote sensing of hydrocarbon layers by seabed logging (SBL): Results from a cruise offshore Angola", The Leading Edge 21, 972-982 (2002)).

No entanto, a experiência tem demonstrado que, apesar de o desvio do cronômetro ser compensado e ajustado para as variações do transmissor, e de serem aplicadas calibrações ao receptor podem ainda manter-se erros residuais de amplitude e de fase dos dados – a julgar pela incapacidade em fazer corresponder os dados corrigidos com os sintéticos a partir de um modelo da resistividade da terra. Além de que, a combinação do hardware com o software necessário para controlar a corrente injetada do transmissor é bastante dispendiosa e está sujeita a avarias, e como as medições devem ser realizadas em tempo real (sem interrupção) durante o seu arrastamento em águas profundas. O que é necessário é um método que possa ser utilizado enquanto que o transmissor continue a funcionar corretamente, mesmo que o sistema de controlo tenha falhado. No entanto, deve ser salientado que as técnicas de compensação do desvio do cronômetro, do ajustamento das variações do transmissor, e a aplicação das calibrações do receptor, anteriormente descritas, podem ser utilizadas com a presente invenção tanto individualmente como conjuntamente.

A aplicação das correções do tempo, dos dados reais medidos no transmissor, e funções da resposta do receptor, melhora significativamente a correspondência entre os dados reais e os dados simulados. Todavia, normalmente, e apesar destas correções, continuam a existir diferenças de cerca de 5 a 10 graus. Possíveis explicações para este fato poderão ser os desvios dos cronômetros do transmissor e do receptor, razões atinentes à calibração do instrumento, e a anomalias da resistividade localizadas

próximas à superfície.

Estes erros mantêm-se nos dados e impedem o intérprete de desenvolver um modelo geoeétrico da terra que permita interpretar os dados em todas as freqüências e em todos os desvios. A capacidade de emparelhar os dados do campo com os dados simulados é fundamental na interpretação MCSEM porque geralmente o intérprete utiliza este método para inferir a presença ou ausência de reservas de hidrocarbonetos na sub-superfície.

Adicionalmente, estes erros residuais podem conduzir a erros nos cálculos da resistividade da sub-superfície quando os dados CSEM são utilizados por inversão ou formação de imagens. A inversão constitui um método iterativo para determinar a resistividade da sub-superfície a partir dos dados CSEM medidos na superfície terrestre ou no solo marítimo. Ver, por exemplo, D. L. Alumbaugh & G. A. Newman, "3-D massively parallel electromagnetic inversion - Part II, Analysis of a cross well experiment", *Geophysical J. Int.* 128, 355 - 363 (1997). O resultado da inversão é um modelo geoeétrico da sub-superfície obtido através da atualização automática de um modelo inicial da resistividade terrestre para minimizar a discrepância entre os dados medidos e os dados simulados. Os erros nos dados podem impedir o processo de inversão a partir da convergência de uma imagem fidedigna da sub-superfície.

Os métodos para a correção dos dados sísmicos para os erros de amplitude e de fase não são aplicáveis diretamente ao problema CSEM porque, no seu núcleo, todos os métodos sísmicos calculam os erros de fase ou de tempo a partir das diferenças nos tempos de chegada ou de amplitudes de impulsos sísmicos diferentes. Geralmente, os impulsos chegados não aparecem nitidamente nos dados CSEM, que são adquiridos em freqüências muito mais baixas, com largura de banda significativamente inferiores, e com maiores comprimentos de onda do que os dados sísmicos.

Os métodos de correção dos dados registrados são

normalmente específicos de medições realizadas em perfurações e não são facilmente adaptáveis às prospecções CSEM. Por exemplo, as medições da propagação acústica nas perfurações são muitas vezes corrigidas com instrumentos de oscilação calculando as médias da propagação a partir dos transmissores se localizam por cima e por baixo dos receptores ("R. E. Sheriff, Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics, Society of Exploration Geophysicists, Fourth edition, p. 325 (2002)). Os registros de densidade compensam as irregularidades da perfuração e o efeito do "bolo de lama" na parede da perfuração através do contraste da quantidade do retrodifusão dos raios gama medidos pelos dois detectores a distâncias diferentes da fonte (Sheriff; loc. cit, p. 83). Os instrumentos de série de registro por indução compensam por invasão da formação de fluidos da perfuração através da combinação das medições feitas em diferentes intervalos entre a fonte e o receptor para preferencialmente responder à resistividade a distâncias diferentes do centro da perfuração (Sheriff, loc. cit., p. 22).

## SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Numa forma de realizar a presente invenção, esta é um método para estimar o erro nos dados medidos a partir de uma prospecção eletromagnética de fonte controlada de uma região de sub-superfície, que inclui:

(a) a seleção dos dados a partir dos dados da prospecção dos campos elétrico ou magnético, ditos dados selecionados, que correspondem a uma pluralidade de desvios (intervalos ente fonte e receptor) e a uma única frequência selecionada no espectro da frequência do sinal da fonte;

(b) a criação de um modelo geoeletrico da região de sub-superfície, dito "modelo" que inclui, pelo menos, resistividade ou condutividade como função de posição na região;

(c) a resolução das equações do campo eletromagnético para

simular as respostas das prospecções eletromagnéticas para a dita frequência selecionada e para a localização da fonte e do receptor correspondente aos dados selecionados, utilizando o modelo geoeletrico da região de sub-superfície e parâmetros da prospecção da fonte;

5 (d) seleção de um desvio com um valor próximo de zero; e

(e) estimar os erros dos dados em todos os desvios através da comparação dos dados da prospecção medidos com os dados simulados pelo menos um desvio dentro desses desvios próximos de zero, ditos erros calculados provêm meios para corrigir os dados medidos.

## 10 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

À continuação a presente invenção e as suas vantagens serão melhor compreendidas com a descrição detalhada e com os desenhos anexos em que:

15 A figura 1 ilustra o emprego habitual de um equipamento para uma prospecção CSEM;

As figuras 2A e 2B representam um sinal CSEM recebido e a forma da onda do transmissor que lhe deu origem como função de tempo;

20 As figuras 3A e 3B ilustram o processo de binarização do sinal do receptor no tempo e o cálculo do espectro da frequência no interior de cada ficheiro bin pela Análise de Fourier;

A figura 4 representa um receptor CSEM do solo marítimo com 4 componentes ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $B_x$  e  $B_y$ )

A figura 5 representa uma vista de corte transversal de uma prospecção MCSEM típica;

25 A figura 6A mostra a resposta habitual da amplitude do campo elétrico para uma prospecção como é mostrada na figura 5, e a figura 6B mostra a resposta da fase associada;

A figura 7 é um fluxograma que descreve as diversas fases de realizar o presente método inventivo; e

A figura 8 compara os dados do campo e os dados simulados antes e depois da correção da fase através do presente método inventivo.

A invenção será descrita em relação com as suas formas de realização preferidas. No entanto, o âmbito da seguinte descrição detalhada é específico a uma forma particular de realizar ou a uma utilização específica da invenção, deve ser entendido que esta é apenas ilustrativa, e não deve ser considerada como limitativa do objetivo da invenção. Pelo contrário, esta se destina a abranger todas as alternativas, modificações e equivalentes que poderão ser incluídas dentro do espírito e âmbito da invenção, tal e como é definida nas reivindicações anexas.

#### DESCRICÃO DETALHADA DAS FORMAS DE REALIZAÇÃO PREFERIDAS

A presente invenção atenua os erros de fase e de amplitude nas prospecções MCSEM, explorando o fato dos dados marinhos eletromagnéticos gerados pela fonte próxima do receptor serem dominados pela condutividade da água e influenciados, embora em menor escala, pela condutividade dos sedimentos pouco profundos. A condutividade da água do mar é normalmente de 3.3 Sim e muitas vezes pode ser medida diretamente, enquanto que a condutividade dos sedimentos pouco profundos pode ser ajustada de forma a que corresponda melhor aos dados através das frequências múltiplas. Além de que, quando o transmissor elétrico bipolar se aproxima do desvio zero, desde o receptor, o campo elétrico paralelo ao transmissor bipolar deveria se aproximar da fase zero relativamente ao transmissor e aproximar o limite da amplitude. Isto provê um meio para determinar a amplitude requerida e a correção da fase através de modelação numérica num computador, desde que um modelo da terra com a condutividade da água correta e uma condutividade do sedimento aproximadamente correto dê origem a dados sintéticos com a amplitude correta e uma fase próxima do transmissor. A presente invenção provê um

método para corrigir os dados MCSEM do campo baseados na modelagem em três dimensões. Depois de corrigidos, os dados tornam-se coerentes com a física subjacente dos campos eletromagnéticos que por seu lado, são utilizados para simular dados a partir do modelo geoeletrico.

5                   As fases básicas de uma forma de realizar o presente método inventivo para corrigir a fase dos dados MCSEM são ilustradas no fluxograma da figura 7. Na fase 71, são obtidos os dados MCSEM. Se o sinal da fonte inclui mais do que uma frequência com amplitude significativa no seu espectro de frequência, os dados eletromagnéticos devem ser transformados no domínio da frequência para possibilitar a identificação dos valores dos dados correspondentes a cada frequência. O impacto dos parâmetros do equipamento específico, como por exemplo, a corrente e o comprimento da antena do transmissor e o comprimento da antena do receptor, e a função de resposta é opcionalmente, removida dos dados ou incluída na fase posterior de modelação numérica. Na fase 72, é construído um modelo geoeletrico adequado tomando considerando o desenho da prospecção, a água e a condutividade da terra utilizando software de modelação geológica num computador. Um modelo geoeletrico consiste numa representação numérica da condutividade complexa, da permeabilidade magnética, e da estrutura da permitividade dielétrica da terra. Este pode incluir apenas variação vertical ou pode variar nas três dimensões e incluir uma camada de ar no topo. Na maioria dos casos, a permeabilidade magnética pode ser considerada como sendo  $4\pi \times 10^{-7}$  e a permitividade dielétrica como sendo de  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m. Na fase 73, uma modelação numérica em três dimensões num computador para gerar dados do campo eletromagnético com a utilização das posições do campo do transmissor e do receptor e os parâmetros de funcionamento do transmissor. A modelação em três dimensões é necessária para simular com maior exatidão os efeitos da orientação do transmissor, da orientação do receptor, e do desvio entre

10

15

20

25

transmissor receptor nos dados sintéticos; no entanto, esta invenção não está limitada a modelos em três dimensões ou simulação. Os técnicos especializados reconhecerão que o software do computador está preparado para resolver as equações de Maxwell do campo eletromagnético para os meios representadas pelo modelo geoeletrico. Os métodos para resolver as equações de Maxwell, com um determinado modelo geoeletrico da terra dado, têm sido discutidas em diversas publicações (G. A. Newman & D. A. Alumbaugh, "Frequency-domain modeling of airborne electromagnetic responses using staggered finite differences," *Geophysical Prospecting*, 43,1021-1042 (1995)) e são incluídos em pacotes de software disponíveis no mercado, como por exemplo, o pacote "COMSOL Multiphysics" comercializado por COMSOL Inc., 744 Cowper Street, Paio Alto, CA. A fase 74 consiste na marcação da fase dos dados do campo eletromagnético medidos na fase 71, bem como os dados simulados da fase 73 versus  $l$ ? para uma única frequência angular e para uma localização do receptor selecionado.  $l$ ? é o (assinalado) desvio horizontal entre o transmissor e o receptor selecionado e  $w$  é a frequência angular. Na fase 75, a faixa do desvio próximo de zero é selecionada onde o desvio de fase será computurizado. Na fase 76, um desvio de fase é computado como um valor escalar que proverá o melhor ajustamento numa norma adequada (por exemplo método dos mínimos quadrados) aos dados simulados dentro do intervalo selecionado:

$$\textit{Fase dos dados do campo} + \textit{Desvio de fase} = \textit{Fase dos dados simulados}$$

A fase corrigida dos dados do campo é:

$$\textit{Fase corrigida dos dados do campo} = \textit{Fase dos dados do campo} + \textit{Desvio de fase}$$

O desvio de fase calculado neste intervalo selecionado é aplicado a todos os dados recolhidos por este receptor nesta frequência ao longo da linha de reboque, incluindo os dados fora do intervalo selecionado. Seguidamente, o processo de correção (fases de 74 a 76) pode ser repetido em

todas as freqüências e em todos os receptores selecionados (fase 77), o que equivale a uma repetição através das fases 74 a 77 até que os dados estejam todos corrigidos. Resultando que a fase dos dados do campo corrigidos assemelham-se à fase dos dados simulados que possuem um desvio reduzido entre transmissor receptor.

5                    Numa formulação mais geral da invenção, a fase 74 pode ser realizada por qualquer método de comparação entre os dados de prospecção medidos e os dados simulados; isto é, apesar da marcação constituir um modo de comparação muito útil, os dados não têm necessariamente de serem  
10                    marcados conjuntamente, ou nem sequer ser marcados, para que possam ser comparados. Além de que, os dados comparados podem, umas vezes, representar uma única localização da fonte e, outras vezes, diferentes localizações do receptor. Por outras palavras, nestas formas de realização, o método apresenta-se em diferentes desvios (intervalos entre o receptor e o  
15                    transmissor), com a localização do transmissor (isto é, a fonte) ou a localização do receptor fixas. Ainda noutras formas de realização, os diferentes desvios podem ser obtidos a partir de diferentes localizações da fonte e do receptor, isto é, em que posição da fonte assim como a posição do receptor não são mantidas fixas. Um exemplo deste último tipo de realização  
20                    poderá ser N diferentes colocações da fonte emparelhadas com N diferentes colocações do receptor de forma a que, todos os desvios sejam diferentes. A situação de um transmissor fixo com muitos receptores ou, alternadamente, de um receptor fixo e muitos transmissores são as mais eficazes ao nível de computação.

25                    Se necessário, poderá ser aplicado um processo semelhante para a amplitude dos dados do campo. Neste caso, no entanto, um fator de escala multiplicativo é calculado para ajustar os dados medidos:

*Amplitude corrigida dos dados do campo = Amplitude dos dados do campo \* Fator da escala de amplitude*

A condutividade dos sedimentos poucos profundos, se não for conhecida através da medição direta ou através do conhecimento geológico da área, pode ser calculada através da seleção de uma condutividade que forneça uma correspondência mais aproximativa entre os dados do campo e os dados sintéticos com desvios aproximados numa faixa de frequências angulares.

Quando um transmissor está colocado muito perto do receptor, a eletrônica do receptor pode ficar saturada com um campo eletromagnético muito grande. Como norma genérica, poder-se-á dizer que os desvios que oscilam entre 0.5 e 2.0 km são mais úteis para realizar as correções da amplitude e da fase no âmbito desta invenção. Dito de forma mais genérica, uma faixa de desvio útil pode ser até, aproximadamente, 1.5 km além da zona de saturação nos dois lados dessa zona, mas excluindo a zona de saturação. Ao restringir a análise a estes pequenos desvios, o deslocamento da fase computada ou do fator da escala da amplitude dependerá principalmente da condutividade da água do mar e da condutividade do sedimento pouco profundo e ser relativamente insensível aos detalhes mais profundos do modelo geoeletrico. O método não se limita a um transmissor elétrico bipolar estático ou em movimento. São possíveis outros transmissores que incluem, mas não se limitam a: pólo elétrico estático ou em movimento, dipolo magnético, ciclo elétrico, e uma série de todos os transmissores referidos anteriormente. A título de exemplo, a figura 8 mostra os dados de fase do campo elétrico em linha horizontal num dado receptor para uma única frequência. A linha contínua 81 representa os dados do campo registrados, enquanto que a linha tracejada 82 mostra os dados simulados, e a outra linha tracejada 83 mostra os dados do campo registrados corrigidos após a aplicação da invenção. As diferenças entre a linha corrigida 83 e a linha simulada 82 com desvios superiores a, aproximadamente, 2 km são indicativas das diferenças entre o modelo geoeletrico aproximativo utilizado na invenção e as propriedades geoeletricas reais da terra. Estas diferenças

residuais são objeto de uma análise posterior, como por exemplo a interpretação ou a inversão.

Um técnico especializado em processamento e interpretação de dados eletromagnéticos reconhecerá facilmente variações e aperfeiçoamentos do método básico exemplificado na figura 7, sendo que todos estes se consideram abrangidos pelo âmbito da presente invenção. Entre estes, incluem-se os seguintes:

1. A marcação e utilização de dados provenientes de mais do que um componente do campo eletromagnético do vetor para determinar o erro da fase ou fator da escala de amplitude.

2. A utilização de dados redundantes a partir do mesmo componente de vetor no cálculo do erro da fase ou fator da escala de amplitude. Os receptores são normalmente disponíveis para fazer as medições redundantes de alguns componentes do campo.

3. A utilização dos dados a partir do campo elétrico e do campo magnético.

4. A medição da distância do desvio que é utilizada ao longo da linha de reboque do transmissor.

5. Ainda a decomposição dos erros em erros de superfície consistente através do método dos mínimos quadrados (ver, por exemplo, M. Taner & F. Koehler, "Surface consistent corrections," *Geophysics* 46,17-22 (1981).) Cada erro de superfície consistente da fase é a soma de um erro de fase associado com o transmissor e um erro de fase associado com o receptor. Cada fator

da superfície consistente do fator da escala de amplitude seria o produto de um fator de escala da amplitude associado com o transmissor e um fator de escala da amplitude associado com o receptor.

6. A utilização dos erros calculados pelo método básico ou pela variação nº. 5 acima referida para corrigir dados, não utilizados

originalmente, para determinar estes erros. Dando um exemplo específico, os erros de fase calculados pelo método básico poderiam ser aplicados a outros receptores na mesma linha de reboque e os erros consistentes à superfície encontrados pela variação n°. 5 poderiam ser aplicados aos dados que não faziam parte dos dados originais – cálculo ajustado.

7. A utilização do presente método inventivo juntamente com outras técnicas utilizadas para aumentar a fiabilidade da amplitude e fase dos dados, como por exemplo, através da compensação do desvio dos cronômetros do receptor, do ajustamento das variações de transmissão, da aplicação das calibrações do receptor, e da aplicação de uma correção baseada no escalonamento da frequência.

8. Qualquer das técnicas referidas, em que as correções são determinadas separadamente para diferentes componentes de vetor dos dados; e,

9. Qualquer das técnicas acima mencionadas, em que as correções determinadas de um componente dos dados do vetor são aplicadas a outros componentes do vetor.

10. A utilização das técnicas nas variações n°s- 5 ou 6 acima referidas para identificar os dados não fiáveis, que poderão ser seguidamente rejeitados a partir da interpretação ou da inversão.

A variação n°. 5 acima referida provê uma explicação adicional. O requisito de que os dados medidos têm fase e amplitude ajustadas para serem consistentes com os dados simulados com desvios semelhantes é válido, quer a linha de reboque passe diretamente por cima do receptor ou não. No entanto, no caso de linhas de reboque que se encontrem bastante distantes de um receptor, os desvios próximos podem não estar disponíveis. Como resultado, pode ser preferível que a correção da fase e da amplitude, estejam baseadas em correções específicas do receptor e da linha de reboque geradas por outros dados com um desvio mais aproximado.

Os especialistas em análise de dados CSEM reconhecerão que situações ambíguas podem surgir para combinações excepcionais de fase, frequência, e orientação do receptor. Por exemplo, uma onda quadrada transmitida contém as frequências  $1/T$ ,  $3/T$ ,  $5/T$  etc. em que T corresponde ao período em forma de onda. Se  $T=4$  segundos, por exemplo, então um erro de 2 segundos nos tempos de sincronização, poderá resultar no deslocamento da fase de exatamente  $180^\circ$  em cada frequência. Os especialistas reconhecerão ainda que os desvios de fase de  $180^\circ$  (ou  $-1$ ) são equivalentes a variações de  $180^\circ$  na orientação das antenas do receptor horizontal. A experiência tem demonstrado que, às vezes, é necessário comparar correções da fase em relação a múltiplas linhas de reboque no mesmo receptor para separar claramente os efeitos da orientação do receptor a partir do erro de fase.

Os receptores CSEM, tais como os ilustrados na figura 4, geralmente têm uma faixa dinâmica finita. Isto é, os campos elétrico ou magnético demasiado grandes poderão provocar a saturação dos digitalizadores de forma a que os dados numéricos registrados serão "arrumados" entre determinados valores máximos e mínimos. Esta situação geralmente se dá quando a fonte passa a poucas centenas de metros do receptor, a distância exata varia de acordo com a intensidade do transmissor. Os técnicos especializados em análise de dados CSEM facilmente reconhecerão esta zona da saturação e ignorarão essa faixa de desvio ao aplicarem a presente invenção.

A aplicação anterior refere-se a formas específicas de realizar a presente invenção, com o fim de a ilustrar. No entanto, para os técnicos especializados, será evidente que são possíveis modificações e aplicações às formas de realização descritas. Por exemplo, ainda que esta invenção é descrita em termos de dados marítimos da prospecção CSEM, este método pode também ser aplicado a dados recolhidos em terra ou utilizando técnicas por via aérea. Além de que, o modelo geoeletrico e a simulação das respostas

eletromagnéticas podem ser feitas em uma, duas, ou três dimensões, incluindo a denominada aproximação dois e meio, na qual é assumido que o modelo se mantém invariável ao longo de uma única direção. A correção da amplitude e da fase na presente invenção é preferencialmente executada, pelo menos parcialmente, em computador, ou seja, é preferível que as formas de realizar a presente invenção sejam implementadas por computador, mas não é essencial. Todas estas modificações e variações estão destinadas a estar dentro do âmbito da presente invenção, como definidas nas reivindicações anexas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para estimar erro em dados medidos provenientes de uma prospecção eletromagnética de fonte controlada de uma região de sub-superfície, caracterizado pelo fato de que compreende:

5 (a) selecionar dados a partir dos dados da prospecção dos campos elétrico ou magnético, ditos dados selecionados, que correspondem a uma pluralidade de desvios (espaçamentos fonte e receptor) e a uma única frequência selecionada no espectro da frequência do sinal da fonte;

10 (b) criar um modelo geoeletrico na região de sub-superfície, dito "modelo" que inclui, pelo menos, resistividade ou condutividade como função de posição na região;

15 (c) resolver equações do campo eletromagnético para simular as respostas das prospecções eletromagnéticas para a dita frequência selecionada e para a localização da fonte e do receptor correspondente aos dados selecionados, utilizando o modelo geoeletrico da região de sub-superfície e parâmetros da prospecção da fonte;

(d) selecionar uma faixa de desvio próximo de zero; e

20 (e) estimar erro de dados em todos os desvios através da comparação dos dados da prospecção medidos com os dados simulados em menos um desvio dentro da dita faixa selecionada de desvios próximos de zero, ditos erros calculados proporcionando meios para corrigir dados medidos.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os dados de prospecção são dados de fase.

25 3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os dados de prospecção são dados de amplitude.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o erro é estimado por ajuste de dados em uma norma selecionada, tal como por exemplo, mínimos quadrados para pelo menos um desvio dentro

da dita faixa selecionada de desvios de faixa selecionados próximos de zero.

5 5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito modelo geoeletrico também inclui pelo menos um modelo de um grupo consistindo de condutividade complexa, permeabilidade e permitividade, cada um deles como uma função de posição na região de sub-superfície.

6. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a etapa de estimar erro de dado resulta em uma única mudança de fase que pode ser aplicada aos dados para corrigir dados de fase medidos.

10 7. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que a etapa de estimar erro de dados resulta em um único fator de escala de amplitude que pode ser aplicado para corrigir dados de amplitude medidos.

15 8. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda repetir as etapas (a) a (e) para todos os locais de fonte e receptor na prospecção e para todas as frequências no espectro de frequência de fonte tendo amplitude associada dentro de uma faixa pré-selecionada.

20 9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o mesmo modelo geoeletrico é usado para cada repetição das etapas (a) a (e).

25 10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda plotar dados medidos e simulados versus desvio e usar esta plotagem para selecionar faixa de desvio próximo de zero e para estimar o erro de dados na dita faixa.

11. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a faixa do desvio próximo de zero é de cerca de -2 km a cerca de +2 km, mas excluindo uma sub-faixa próxima de zero determinada com base na observação dos efeitos de saturação do receptor dentro da dita sub-

faixa.

12. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito modelo geoeletrico e dita simulação das respostas eletromagnéticas são tridimensionais.

5 13. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os ditos dados de prospecção selecionados são registrados em uma única localização de receptor.

10 14. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os ditos dados de prospecção selecionados corresponderem a um única localização de fonte.

15 15. Método para produzir hidrocarbonetos a partir de uma região de sub-superfície, caracterizado pelo fato de que compreende

(a) executar uma prospecção eletromagnética de fonte controlada da região de sub-superfície;

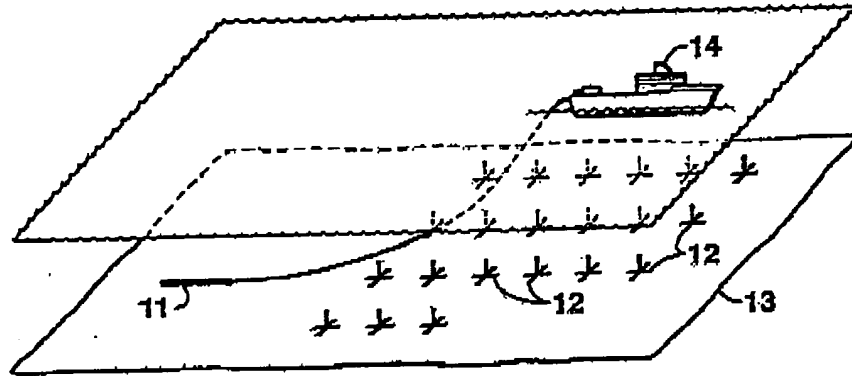
(b) obter dados a partir da dita prospecção, corrigidos quanto a erro com o método de acordo com a reivindicação 1;

(c) usar os dados corrigidos para identificar uma camada que mostre uma anomalia de resistividade que indica a presença de hidrocarbonetos; e

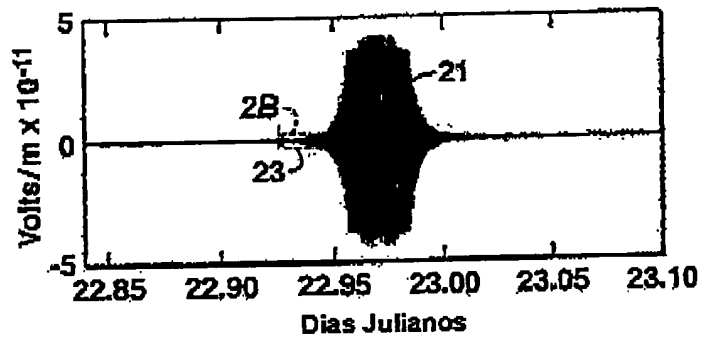
20 (d) perfurar um poço em dita camada anômala e produzir hidrocarbonetos.

16. Método de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que os dados de prospecção corrigidos são dados de fase.

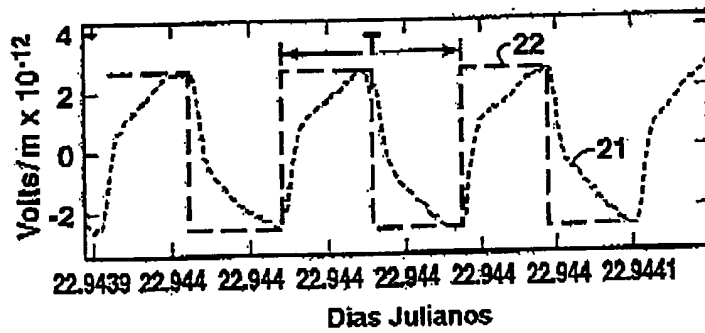
25 17. Método de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que os dados de prospecção corrigidos são dados de amplitude.



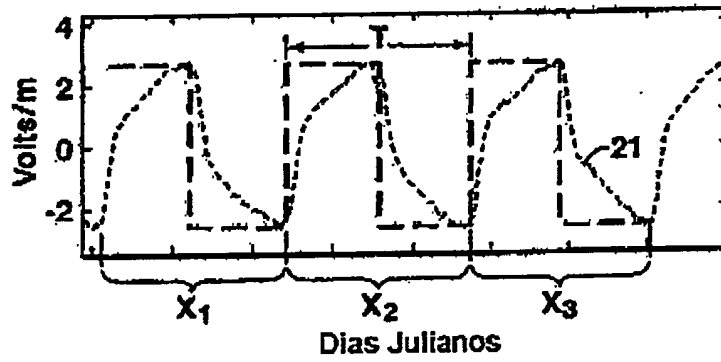
**FIG. 1**  
(Técnica anterior)



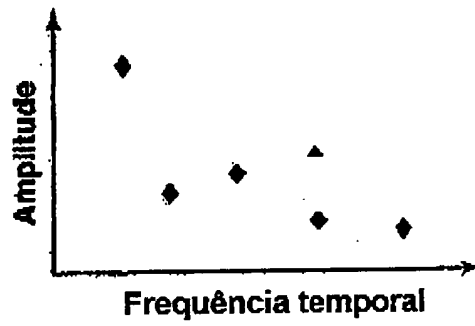
**FIG. 2A**  
(Técnica anterior)



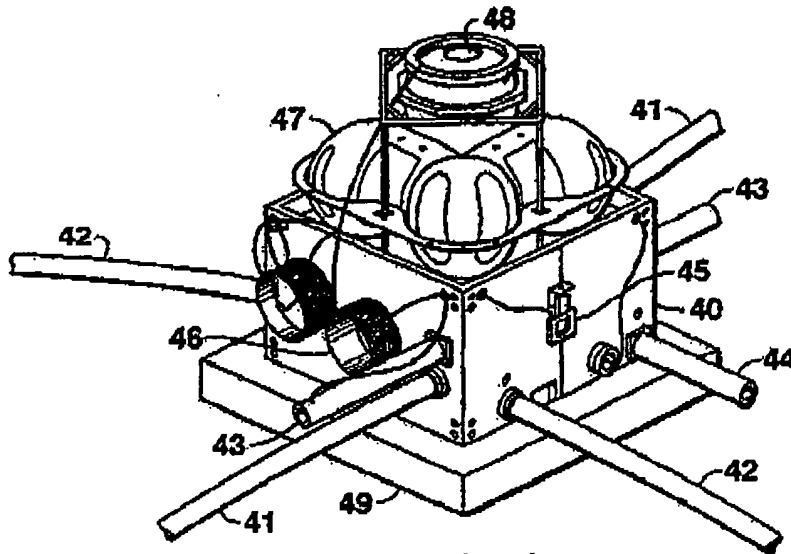
**FIG. 2B**  
(Técnica anterior)



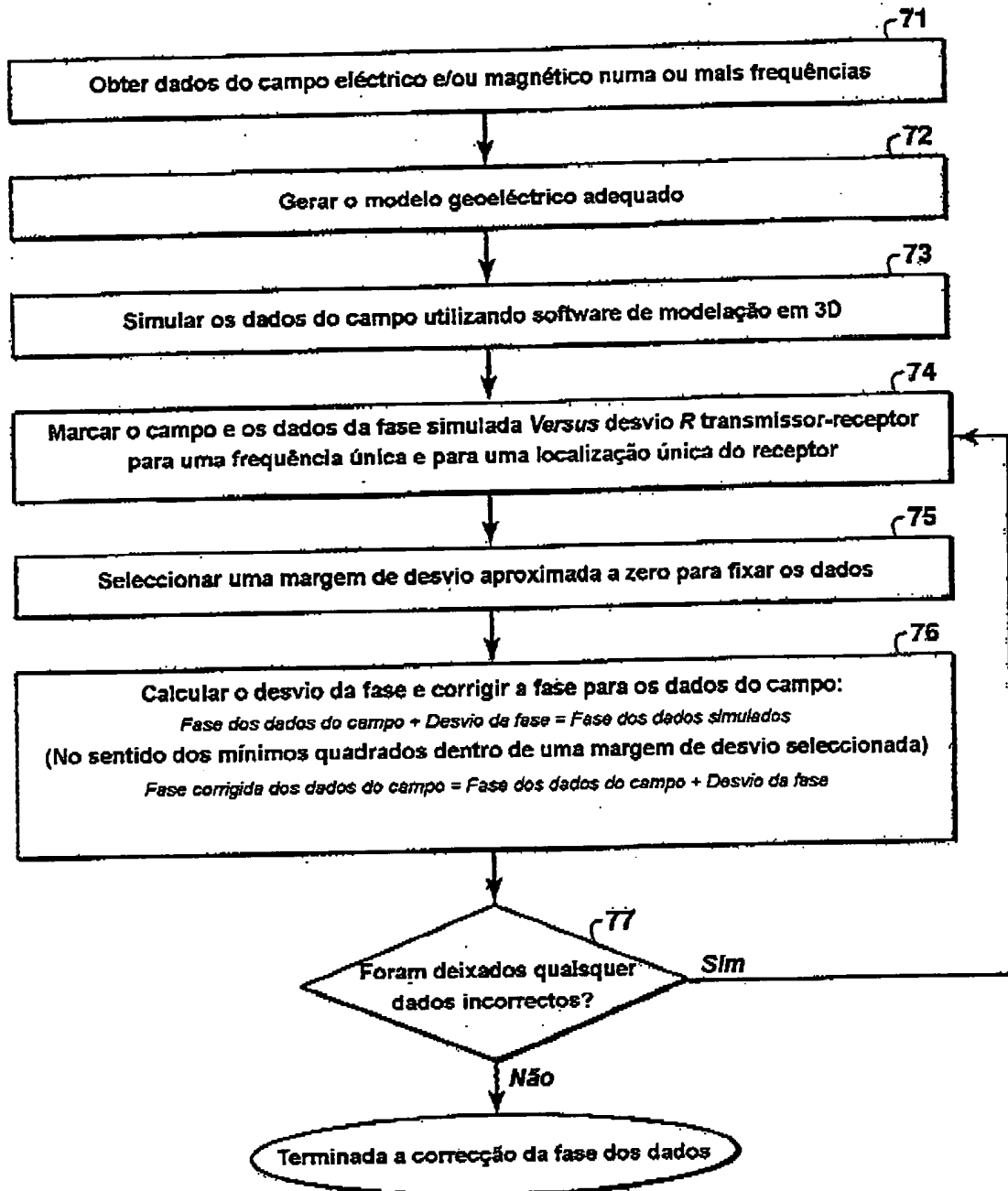
**FIG. 3A**  
(Técnica anterior)



**FIG. 3B**  
(Técnica anterior)

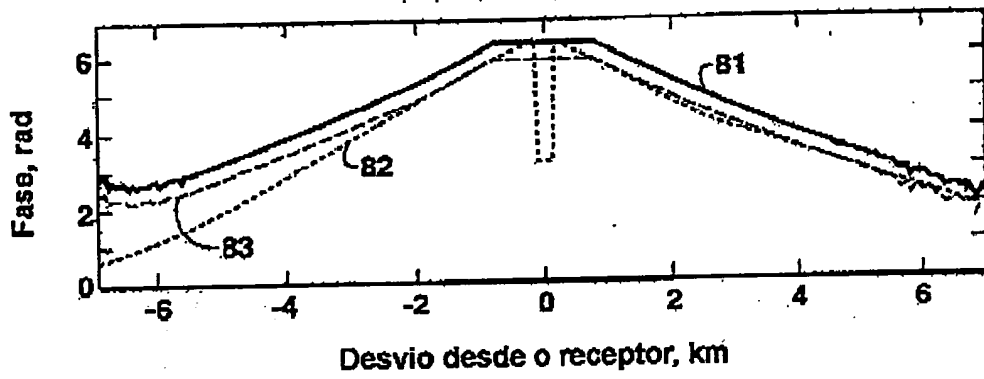


**FIG. 4**  
(Técnica anterior)

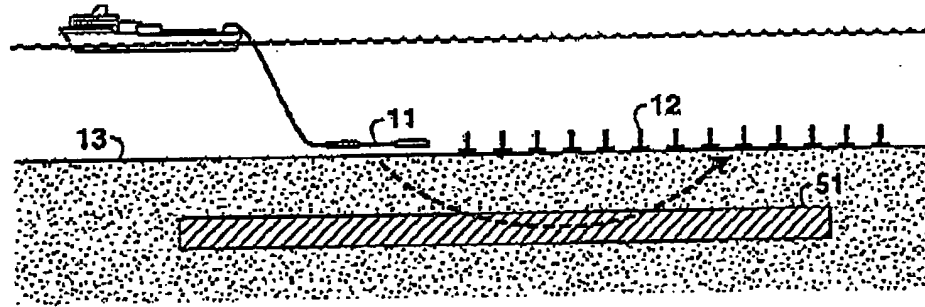


**FIG. 7**

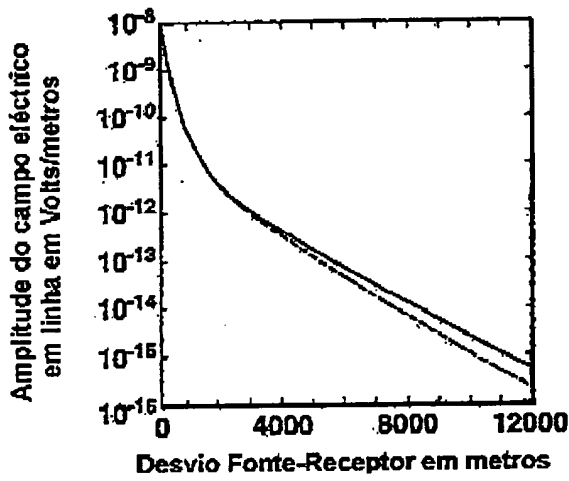
Fase do componente do campo eléctrico paralelo ao transmissor  
medido no receptor



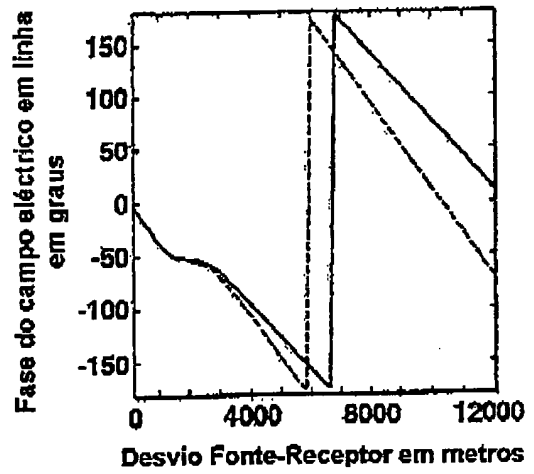
**FIG. 8**



**FIG. 5**  
(Técnica anterior)



**FIG. 6A**  
(Técnica anterior)



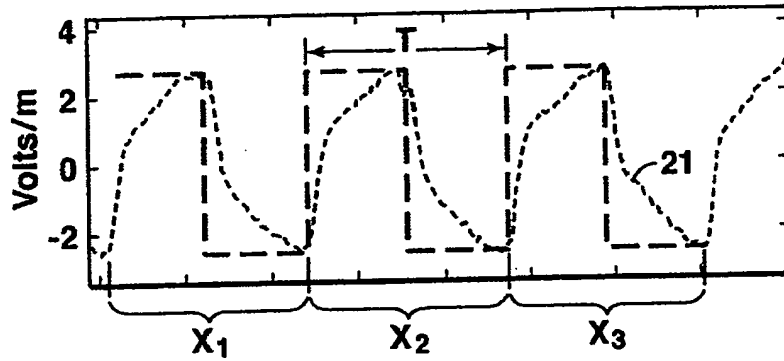
**FIG. 6B**  
(Técnica anterior)

RESUMO

“MÉTODOS PARA ESTIMAR ERRO EM DADOS MEDIDOS  
PROVENIENTES DE UMA PROSPECÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE  
FONTE CONTROLADA DE UMA REGIÃO DE SUB-SUPERFÍCIE E  
5 PARA PRODUZIR HIDROCARBONETOS A PARTIR DE UMA REGIÃO  
DE SUB-SUPERFÍCIE”

Método para corrigir a fase de dados de sinal (71) de campo  
elétrico ou magnético medidos a partir de uma prospecção eletromagnética de  
fonte controlada (CSEM) através da comparação de dados medidos  
10 correspondentes a uma frequência selecionada com dados simulados em  
modelo (74) para vários desvios fonte-receptor, e corrigir as fases (76) dos  
dados reais com base na diferença de fase para uma faixa selecionada (75) de  
pequenos desvios. Erros da amplitude podem ser corrigidos de forma idêntica.

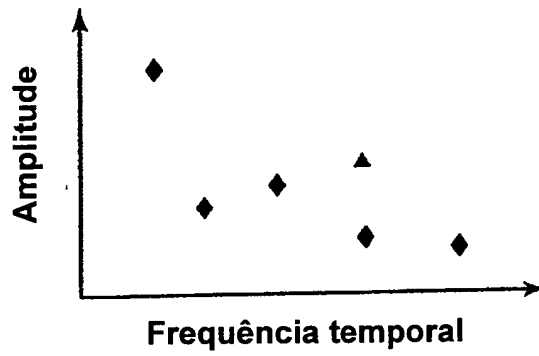
A requerente apresenta novas vias do resumo e da folha 2/5 dos desenhos para melhor esclarecer e definir o invento descrito no presente pedido.



Dias Julianos

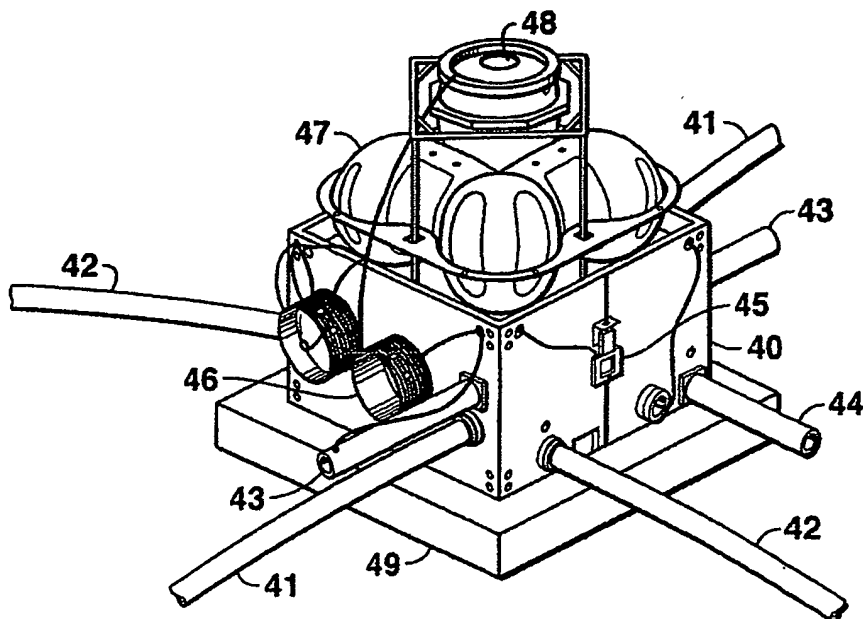
**FIG. 3A**

Técnica anterior



**FIG. 3B**

Técnica anterior



**FIG. 4** Técnica anterior

RESUMO

“MÉTODOS PARA ESTIMAR ERRO EM DADOS MEDIDOS  
PROVENIENTES DE UMA PROSPECÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE  
FONTE CONTROLADA DE UMA REGIÃO DE SUB-SUPERFÍCIE E  
5 PARA PRODUZIR HIDROCARBONETOS A PARTIR DE UMA REGIÃO  
DE SUB-SUPERFÍCIE”

O método para corrigir a fase de sinais elétricos ou sinais  
magnéticos medidos de dados de campo a partir de uma prospecção  
eletromagnética de fonte controlada (CSES) através da comparação dos dados  
10 de campo medidos correspondentes a uma frequência selecionada com os  
dados simulados para vários desvios (71) fonte-receptor, e corrigir as fases  
dos dados reais com base na diferença de fase para uma faixa selecionada de  
pequenos desvios de sinal (76) com base em um modelo geo-elétrico