



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

(21) PI 0715832-7 A2



* B R P I 0 7 1 5 8 3 2 A 2 *

(22) Data de Depósito: 28/08/2007
(43) Data da Publicação: 23/07/2013
(RPI 2220)

(51) Int.Cl.:
G01V 3/12

(54) Título: APERFEIÇOAMENTO EM EXPLORAÇÃO MARINHA

(30) Prioridade Unionista: 25/08/2006 GB 06 16870.2

(73) Titular(es): Mtem Ltd.

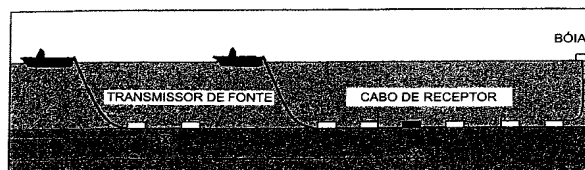
(72) Inventor(es): Anton Ziolkowski

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

(86) Pedido Internacional: PCT GB2007003245 de 28/08/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/023194de 28/02/2008

(57) Resumo: APERFEIÇOAMENTOS EM EXPLORAÇÃO MARINHA. A presente invenção refere-se a um método para estimar os efeitos de uma onda aérea em dados eletromagnéticos marinhos medidos utilizando uma fonte e pelo menos um receptor. O método envolve medir a resposta eletromagnética em duas separações de fonte - receptor sob a água diferentes e utilizando as medições na separação maior para estimar a resposta de onda aérea naquela separação. O efeito da onda aérea na resposta medida na separação mais curta pode então ser determinado utilizando a resposta de onda aérea estimada na separação maior.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**APERFEIÇOAMENTOS EM EXPLORAÇÃO MARINHA**".

A presente invenção refere-se a um método para remover a onda de ar de dados eletromagnéticos marinhos. Especificamente, a invenção refere-se a uma técnica para reduzir o impacto da onda área nas medições eletromagnéticas marinhas de transientes de múltiplos canais (MTEM).

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

As rochas porosas estão saturadas com fluidos. Os fluidos podem ser água, gás ou óleo ou uma mistura de todos os três. O fluxo de corrente dentro da terra é determinado pelas resistividades de tais rochas, as quais são afetadas pelos fluidos de saturação. Por exemplo, as rochas porosas saturadas com salmoura são muito menos resistivas do que as mesmas rochas cheias com hidrocarbonetos. Pela medição da resistividade de formações geológicas, os hidrocarbonetos podem ser detectados. Com isto, as medições de resistividade podem ser feitas em uma fase de exploração para detectar os hidrocarbonetos antes da perfuração.

Várias técnicas para medir a resistividade de formações geológicas são conhecidas, por exemplo, as técnicas eletromagnéticas de domínio de tempo, como descrito na WO 03/023452, o conteúdo da qual está aqui incorporado por referência. Convencionalmente, as investigações eletromagnéticas de domínio de tempo utilizam um transmissor e um ou mais receptores. O transmissor pode ser uma fonte elétrica, isto é, um bipolo aterrado, ou uma fonte magnética, isto é, uma corrente em um laço ou múltiplos laços de fio. Os receptores podem ser bipolos aterrados para medir as diferenças de potencial, ou um laço ou múltiplos laços de fio ou magnetômetros para medir os campos magnéticos e/ou as derivadas de tempo de campos magnéticos. O sinal transmitido é frequentemente formado por uma mudança em degrau na corrente em ou uma fonte elétrica ou magnética, mas qualquer sinal transiente pode ser utilizado, incluindo, por exemplo, uma sequência binária pseudorrandômica. As medições podem ser feitas em terra ou em um ambiente submarino.

A Figura 1 mostra uma vista plana de uma montagem típica para

um levantamento marinho eletromagnético transiente. Esta tem uma fonte de corrente bipolo no ou próximo do fundo do mar para transmitir uma corrente transiente entre dois eletrodos. A função de tempo da corrente pode ser uma simples mudança de degrau em corrente ou um sinal mais complicado tal como uma sequência binária pseudorrandômica. A resposta do sistema terra - água é medida por uma linha de receptores bipolos sobre o ou próximo do fundo do mar, cada receptor medindo a diferença de potencial entre um par de eletrodos. Todos os eletrodos estão essencialmente no mesmo plano vertical. Em uso, o sinal eletromagnético gerado pela fonte da Figura 1 pode seguir três percursos de transmissão para os eletrodos de receptor, estes sendo através da terra, através da água e através do ar. Em águas profundas, a onda de ar tem um impacto insignificante. Em contraste em águas rasas, o sinal que é transmitido através da água é insignificante, mas a onda de ar pode ter um impacto significativo e assim tornar a interpretação dos dados difícil.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

De acordo com um aspecto da invenção, é provido um método para remover os efeitos de uma onda de ar de dados eletromagnéticos marinhos que compreende prover uma fonte e pelo menos um receptor dentro da água; medir a resposta eletromagnética a duas separações de fonte - receptor; e utilizar as duas medições para remover a contribuição de onda de ar da medição na separação mais curta, por meio disto provendo uma estimativa aperfeiçoada da resposta de terra na separação mais curta. Isto pode ser feito escalando a medição na separação maior por um fator que é uma função da ou relativo à razão da maior distância de separação para a menor e subtraindo esta medição escalada da medição na separação mais curta. Deste modo, uma medição aperfeiçoada da resposta de terra na separação mais curta pode ser recuperada.

Este método é especificamente útil para a exploração de hidrocarbonetos, na qual as profundidades de investigação são da ordem de, diz-se, 200 m a 4 km.

A função pode ser igual ou relativa ao cubo da razão da maior

distância de separação para a menor.

A razão das separações pode ser aproximadamente cinco ou mais. A maior separação pode ser selecionada de modo que a resposta de terra no receptor seja insignificante, ideal e substancialmente zero, e a resposta medida seja essencialmente a resposta de onda de ar.

Ambas as separações podem ser grandes comparadas com a profundidade de água; isto é, pelo menos cinco vezes maior. A profundidade da fonte pode ser a mesma em ambas as medições e a profundidade do receptor pode ser a mesma em ambas as medições.

De acordo com ainda outro aspecto da invenção, está provido um sistema para medir a resposta de terra a sinais eletromagnéticos aplicados em um ambiente de águas rasas, o sistema compreendendo uma fonte e pelo menos um receptor dentro da água dispostos para permitir que medições sejam feitas a duas ou mais separações de fonte - receptor; e um meio para utilizar uma medição em uma maior das separações para estimar uma contribuição de onda de ar na medição na separação mais curta. Isto pode ser feito escalando a medição na separação maior por um fator que é uma função da ou relativo à razão da maior distância de separação para a menor e subtraindo esta medição escalada da medição na separação mais curta. Deste modo, a resposta de terra na separação mais curta pode ser recuperada.

A função pode ser igual ou relativa ao cubo da razão da maior distância de separação para a menor. A razão das separações pode ser aproximadamente cinco ou mais.

Ambas as separações podem ser grandes comparadas com a profundidade de água; isto é, pelo menos cinco vezes maior. A profundidade da fonte pode ser a mesma em ambas as medições e a profundidade do receptor pode ser a mesma em ambas as medições.

De acordo com ainda outro aspecto da invenção, está provido um programa de computador, de preferência sobre um meio legível por computador ou um portador de dados, ou um processador para remover os efeitos de uma onda de ar de dados eletromagnéticos marinhos de águas

rasas como medidos por pelo menos uma fonte e pelo menos um receptor, o programa de computador ou processador tendo um código ou instruções para utilizar duas medições feitas a duas separações de fonte - receptor diferentes para estimar a contribuição de onda de ar na separação mais curta e
5 utilizar esta para determinar a resposta de terra na separação mais curta.

Códigos ou instruções podem ser providos para escalar a medição na separação maior por um fator que é uma função da ou relativa à razão da maior distância de separação para a menor, por meio disto estimando a contribuição de onda de ar para a medição na separação mais curta, e
10 subtraindo esta medição escalada na separação mais curta. Deste modo, a resposta de terra na separação mais curta pode ser recuperada.

De acordo com ainda outro aspecto da invenção está provido um método para medir uma resposta eletromagnética, o método compreendendo posicionar uma fonte eletromagnética e pelo menos um receptor eletromagnético sob a água; transmitir um sinal eletromagnético da fonte para o receptor, em que o sinal transmitido compreende um componente de terra e
15 um componente de onda de ar, e o receptor está posicionado em relação à fonte de modo que a resposta medida seja substancialmente devido à onda de ar.

20 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Vários aspectos da invenção serão agora descritos como exemplo somente e com referência aos desenhos acompanhantes, dos quais:

a Figura 2 é um modelo do sistema de Figura 1;

a Figura 3 mostra um impulso computado em um dos receptores da Figura 2, juntamente com uma estimativa do impulso de terra e o impulso
25 de onda de ar;

a Figura 4 mostra uma resposta de impulso de terra sem dimensões;

a Figura 5 mostra uma resposta de impulso a 2 km para um meio-espaco de 1 ohm m sob 100 m de água para uma fonte dipolo de 1 A
30 m e um receptor no fundo do mar;

a Figura 6 mostra uma resposta de impulso a 10 km para um

meio-espaco de 1 ohm m sob 100 m de água para a mesma fonte e receptor como para a Figura 5;

5 a Figura 7(a) mostra a resposta de impulso de terra recuperada comparada com a função analítica ao longo de um período de tempo de 0 a 1 s;

a Figura 7(b) mostra a mesma resposta de impulso de terra e a função analítica que a Figura 7(a), mas ao longo de um período de tempo de 0 a 9 s;

10 a Figura 8 mostra a resposta de impulso de terra recuperada, utilizando uma estimativa aperfeiçoada da onda de ar comparada com a função analítica; e

a Figura 9 mostra um espectro de amplitude para a resposta de impulso da Figura 4 como uma função de uma frequência sem dimensões.

DESCRIÇÃO DETALHADA DOS DESENHOS

15 A presente invenção provê um método para remover os efeitos de uma onda de ar de dados eletromagnéticos marinhos de águas rasas variando a separação de fonte - receptor e utilizando as medições feitas a diferentes separações de fonte - receptor para estimar a contribuição que a onda de ar faz para o sinal medido no receptor. A invenção está ilustrada utilizando o modelo da Figura 2, o qual é lateralmente invariável, de modo que as respostas dependam somente da separação de fonte - receptor r e do tempo t .

25 A Figura 2 mostra um modelo simplificado do sistema da Figura 1, no qual a fonte e o receptor são substituídos por dipolos no fundo do mar. Aqui, a água do mar tem uma profundidade d e uma resistividade ρ_w sobrepondo a terra, a qual tem uma resistividade que é normalmente maior do que ρ_w . O receptor em linha sobre o fundo do mar está separado da fonte dipolo por uma distância r . Em uso, um sinal eletromagnético gerado pela fonte pode seguir três percursos de transmissão diferentes para os eletrodos de receptor, o primeiro sendo através da terra, o qual é, é claro, o percurso desejado e fornece uma medida da resposta da terra, o segundo sendo através da água e o terceiro sendo através do ar. Como mostrado, a onda de ar con-

siste em três partes: um componente de propagação difusiva da fonte para a superfície do mar, um efeito indutivo instantâneo no ar, e um efeito de propagação difusiva da superfície do mar para o receptor. Isto está indicado por uma seta para cima na fonte, uma linha na superfície do mar, e uma seta para baixo no receptor.

Após a desconvolução dos dados medidos para a resposta de sistema, os dados de resposta de impulso resultantes podem ser expressos como:

$$x(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_r, t) = a(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_r, t) + w(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_r, t) + g(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_r, t), \quad (1)$$

na qual $x(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_r, t)$ é a resposta de impulso marinho, $a(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_r, t)$ é a resposta de onda de ar, $w(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_r, t)$ é a resposta da camada de água e $g(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_r, t)$ é a resposta de impulso de terra. Se a água for rasa (isto é, se $d \ll r$), o volume da onda de ar chega antes do volume da resposta de terra e, como a terra é geralmente mais resistiva do que a água do mar, o volume da resposta de terra chega antes do volume da transmissão através da água. Como a resistividade da água ($\sim 0,3 \text{ ohm m}$) é usual e substancialmente menor do que a resistividade da terra, a propagação horizontal através da água é mais lenta e mais atenuada do que a resposta de terra, e assim a resposta de camada de água $w(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_r, t)$ pode frequentemente ser ignorada. Com isto, para as águas rasas, somente a onda de ar e a resposta de impulso de terra precisam ser consideradas.

A Figura 3 mostra a forma da resposta de impulso marinho e dois dos seus componentes: a onda de ar e a resposta de impulso de terra. A onda de ar inicia com um aumento agudo para um pico seguido por um longo decaimento monotônico para zero. Isto contrasta com o caso em terra, no qual a onda de ar é um impulso confinado ao tempo de partida $t = 0$. No caso em terra a onda de ar impulsiva chega antes da resposta de impulso de terra e está separada deste no tempo. No caso marinho, a amplitude e a forma da onda de ar dependem da distância de fonte - receptor; da profundidade de água na fonte e no receptor; da resistividade da água e da resistividade da terra abaixo do fundo do mar. Como a profundidade de água tende a zero, a onda de ar torna-se um impulso perfeito; isto é, tende ao caso em

terra. Em águas profundas, diga-se maior do que 1 km, a amplitude da onda de ar é insignificante para as frequências eletromagnéticas úteis e assim é impossível utilizar os sinais de fonte de onda quadrada contínuos para gerar os dados de EM utilizáveis. Em contraste, em águas rasas, digamos menos do que 300 m, a onda de ar não é insignificante e a interpretação dos dados é difícil.

Como mostrado na Figura 3, a resposta de impulso de terra $g(r, t)$ inicia em zero, aumenta para um pico, e decai novamente; em vezes suficientemente grandes esta decai para zero. Apesar de somente um único pico ser mostrado, é possível que existam mais do que um. Considere o caso de um meio-espaço uniforme. A resposta de impulso de terra para um meio-espaço uniforme de resistividade ρ ohm m está descrita pela seguinte função analítica:

$$g(\rho, r, t) = \frac{\rho}{8\pi\sqrt{\pi c^3}} \exp\left(\frac{-r^2}{c^2 4t}\right) t^{-\frac{5}{2}} \quad (2)$$

na qual t é o tempo em segundos, r é a separação de fonte - receptor em metros, $c^2 = \rho / \mu$ e $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ henry/m. Esta função inicia em zero, aumenta para um pico, e decai para zero novamente. O tempo do pico é

$$t_{peak,r} = \frac{\mu r^2}{10\rho} \quad (3)$$

A Figura 4 mostra a forma da resposta de impulso de terra registrada como uma função de tempo sem dimensões τ onde

$$\tau = \frac{t}{t_{peak,r}} \quad (4)$$

O tempo do pico aumenta como o quadrado da separação de fonte - receptor. A amplitude da resposta de impulso de terra no momento de pico é obtida substituindo a fórmula (3) na (2) para fornecer

$$g(\sigma, r, t_{peak}) = \frac{10^{\frac{5}{2}}}{8\pi\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{-5}{2}\right) \frac{\rho^2}{\mu r^5}, \quad (5)$$

da qual é claro que a amplitude diminui como r^{-5} . Isto é, é claro, verdadeiro para toda a função de tempo e não apenas para o valor de pico.

No ar existe uma atenuação insignificante de ondas eletromag-

néticas e a amplitude do campo elétrico em linha do dipolo de fonte decai como r^{-3} . Se a água for de profundidade uniforme, os efeitos de propagação vertical na fonte e no receptor são os mesmos, independentemente do deslocamento. Portanto, a forma da onda de ar como uma função de tempo é independente de deslocamento, mas decai com r^{-3} . Isto pode ser expresso como segue:

$$a(r, t) = \left(\frac{r_0}{r} \right)^3 a_0(r_0, t), \quad (6)$$

na qual r_0 é algum deslocamento de referência; tipicamente, r_0 é pelo menos $5r$. Assim a amplitude da onda de ar decai como r^{-3} , enquanto que a amplitude da resposta de terra decai como r^{-5} . Mais ainda, o tempo para o pico da resposta de impulso de terra aumenta como r^2 . Segue que a um deslocamento grande o bastante a resposta de terra é insignificante comparada com a onda de ar - até um certo tempo. Para os propósitos de interpretação e de inversão dos dados, é conhecido que os tempos de interesse não são maiores do que $10t_{\text{peak},r}$. E, princípio, portanto, a onda de ar pode ser estimada fazendo uma medição de um deslocamento r_0 grande o bastante, onde, para os tempos de interesse, a resposta de terra e a resposta horizontal através da água são insignificantes. A medição resultante pode ser considerada uma onda de ar quase pura $a_0(r_0, t)$. A medição em r_0 pode então ser utilizada na fórmula (6) para estimar a onda de ar no deslocamento r , a qual é subtraída dos dados em r para recuperar a resposta de impulso de terra.

A Figura 5 mostra uma resposta de impulso de terra a um deslocamento de 2 km para um meio-espaço de 1 ohm m sob uma camada de água de 100 m de profundidade e com uma resistividade de 0,3 ohm m; a fonte e o receptor dipolo de 1 A m estão sob o fundo do mar. O pico inicial agudo ocorre a 0,008 s e tem uma amplitude de $1,82E-10$ V/m/s. Existe um segundo pico muito mais largo a aproximadamente 0,45 s com uma amplitude de $2,4E-11$ V/m/s. A derivada da resposta de degrau sintética é a resposta de impulso. A forma da onda de ar pode ser estimada observando um deslocamento que é grande o bastante comparado com este deslocamento para a resposta de terra ser insignificante nos tempos de interesse.

A Figura 6 mostra uma resposta de impulso de terra a um deslocamento de 10 km para um meio-espaço de 1 ohm m sob 100 m de água; a fonte e o receptor dipolo estão sob o fundo do mar. O pico inicial agudo ocorre a 0,008 s e tem uma amplitude de $1,46E-12$ V/m/s. Não existe nenhum segundo pico discernível. No entanto, pode ser visto que o pico da onda de ar ocorre exatamente ao mesmo tempo que para a resposta de impulso de 2 km. Portanto, isto pode ser considerado como uma onda de ar quase pura $a_0(r_0, t)$, na qual r_0 é 10 km. Escalando-a de acordo com a fórmula (5), utilizando $r = 2$ km fornece a $(r, t) = 125 a_0(r_0, t)$. O resultado está mostrado na Figura 3. A resposta de terra estimada na Figura 3 é obtida subtraindo a forma de onda estimada da resposta de impulso marinho.

Uma medida da qualidade deste resultado é comparar a resposta de impulso recuperada com a função analítica: a resposta de impulso de um meio-espaço de 1 ohm m a um deslocamento de 2 km, calculada utilizando a fórmula (2). Esta comparação está mostrada na Figura 7(a) para 0 a 1 s e na Figura 7(b) para 0 a 9 s. A resposta de impulso de terra recuperada e a função analítica assemelham-se precisamente, apesar de existirem erros em tempos iniciais e em tempos finais. Nos tempos iniciais, especialmente antes de 0,2 s, existe um desvio que é provavelmente causado por erros na modelagem numérica, na interpolação e na diferenciação numérica, não na teoria. Nos tempos finais, a resposta recuperada torna-se negativa após aproximadamente 5,1 s. Isto é porque a onda de ar está ligeiramente superestimada, já que a medição na separação maior não é puramente o resultado da onda de ar, mas ao contrário inclui alguma resposta de impulso de terra. Uma estimativa aperfeiçoada da onda de ar no deslocamento r poderia ser feita modificando a estimativa de ar em r_0 . Subtraindo uma estimativa da resposta de terra da resposta de impulso em r_0 fornece uma melhor estimativa da onda de ar. O resultado está mostrado na Figura 8.

Em resumo, a onda de ar decai como r^{-3} , enquanto que a resposta de terra decai como r^{-5} . Segue que em deslocamentos grandes o suficiente, a resposta da terra é insignificante comparada com a onda de ar - até algum limite de tempo. Em tais deslocamentos, tipicamente cinco ou mais

vezes o deslocamento de interesse, a resposta de impulso é quase uma onda de ar pura e isto pode ser escalado pelo cubo da razão deste deslocamento para o deslocamento de interesse para prover uma estimativa da onda de ar no deslocamento de interesse. A subtração desta onda de ar estimada da resposta de impulso no deslocamento de interesse resulta em uma aproximação precisa para a resposta de impulso da terra sem uma camada de água presente.

Considerando o problema no domínio de frequência permite que mais restrições sejam postas sobre as especificações para este método. O espectro de amplitude da resposta de impulso de terra sem dimensões da Figura 4 está mostrado na Figura 9. O parâmetro de frequência sem dimensões ν é definido como

$$\nu = f t_{peak,r} \quad (7)$$

Da Figura 9 fica claro que a frequência de interesse sem dimensões mais alta utilizável não é mais alta do que $\nu_H = 2$. Observando a Figura 4, fica claro que o volume da resposta é terminado após aproximadamente $\tau = 10$, correspondendo a uma frequência sem dimensões de $\nu_L = 1/10$. Com isto, a razão de frequências utilizáveis mais altas para mais baixas é de aproximadamente $\nu_H / \nu_L = 20$.

Considere as medições em dois deslocamentos r e r_0 , com r_0 sendo maior do que r . Na largura de banda de frequência de interesse um deslocamento r na resposta de terra está contaminado pela onda de ar. No deslocamento maior r_0 fica claro de uma consideração da fórmula (3) que o tempo do pico é maior do que aquele no deslocamento r por um fator $(r_0 / r)^2$ e a largura de banda do espectro de amplitude da resposta de terra é deslocada para frequências mais baixas pelo mesmo fator. No entanto, a largura de banda da onda de ar fica inalterada. Fazendo o fator $(r_0 / r)^2 \geq 20$, a largura de banda das respostas de terra em r e r_0 não sobrepõe. Portanto, dentro da largura de banda de interesse em r , a medição em r_0 contém a onda de ar não contaminada pela resposta de terra. Segue que $(r_0 / r) \geq \sqrt{20} = 4,5$.

O princípio de reciprocidade declara que a resposta da terra é a mesma quando a fonte e o receptor são intercambiados. É feito com que a

resposta seja medida com uma separação de fonte e de receptor r , uma profundidade de fonte a , e uma profundidade de receptor b . Aplicando o princípio de reciprocidade, a resposta é a mesma quando a fonte e o receptor são intercambiados. A resposta inclui a resposta de terra e a onda de ar. A parte

5 de onda de ar da resposta é lateralmente invariável, de modo que esta é a mesma no deslocamento r estando a fonte na profundidade a e o receptor na profundidade b , ou quando a fonte está na profundidade b , e o receptor na profundidade a . Em um deslocamento r_0 o mesmo argumento aplica-se. Com isto, desde que as profundidades da fonte e do receptor abaixo da su-

10 perfície da água sejam as mesmas, somente uma única medição da onda de ar precisa ser feita para qualquer largura de banda de frequência de medição selecionada. Esta medição pode então ser utilizada para corrigir os efeitos de onda de ar nas medições feitas em muitos outros pares de fonte - receptor, desde que profundidades de fonte / receptor correspondentes sejam

15 utilizadas, assim como a largura de banda selecionada.

Uma pessoa versada na técnica apreciará que variações das disposições descritas são possíveis sem afastar-se da invenção. Por exemplo, apesar da descrição estar focalizada primariamente na recuperação da resposta de impulso da terra de dados de resposta de impulso de EM mari-

20 nhos, a invenção poderia igualmente ser aplicada a métodos de coletamento de dados de EM contínuos. Consequentemente, a descrição acima da modalidade específica é feita como exemplo somente e não para os propósitos de limitação. Ficará claro para a pessoa versada na técnica que modificações menores podem ser feitas sem mudanças significativas na operação

25 descrita.

REIVINDICAÇÕES

- 5 1. Método para estimar os efeitos de uma onda de ar em dados eletromagnéticos marinhos medidos utilizando uma fonte e pelo menos um receptor, o método compreendendo medir a resposta eletromagnética em duas separações de fonte - receptor sob a água diferentes; utilizar uma ou mais medições na separação maior para estimar a resposta de onda aérea naquela separação, e utilizar esta para estimar o efeito de onda aérea na resposta medida na separação mais curta.
- 10 2. Método de acordo com a reivindicação 1, compreendendo escalar a medição na separação maior por um fator que é uma função da razão da separação maior para a separação menor, por meio disto determinando uma estimativa da onda aérea na separação mais curta, e subtraindo esta da medição na separação mais curta.
- 15 3. Método, de acordo com a reivindicação 2, em que a razão das separações é aproximadamente cinco ou mais.
- 20 4. Método, de acordo com a reivindicação 2 ou 3, em que a função é igual ou relativa ao cubo da razão da maior distância de separação para a menor.
- 25 5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, em que ambas as separações são grandes comparadas com a profundidade de água.
- 30 6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, em que a profundidade da fonte (a) é a mesma em ambas as medições e a profundidade do receptor (b) é a mesma em ambas as medições.
7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, em que para uma medição a profundidade da fonte é (a) e a profundidade do receptor é (b), e para a outra medição a profundidade da fonte é (b) e a profundidade do receptor é (a).
8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, em que a fonte é um bipolo de corrente ou um laço magnético.
9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, em que o receptor é um receptor bipolo.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, em que as medições eletromagnéticas são medições eletromagnéticas transientes, por exemplo MTEM, ou medições eletromagnéticas contínuas.

5 11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, em que as medições são feitas em mais do que duas diferentes separações de fonte - receptor sob a água.

10 12. Sistema para medir a resposta de terra a sinais eletromagnéticos aplicados em um ambiente de águas rasas, o sistema compreendendo uma fonte e pelo menos um receptor dentro da água dispostos para permitir que medições sejam feitas em duas ou mais separações de fonte - receptor diferentes; e um meio para utilizar uma medição em uma maior das separações para estimar uma contribuição de onda de ar na medição na separação mais curta.

15 13. Sistema, de acordo com a reivindicação 12, compreendendo um meio para escalar a medição na separação maior por um fator que é uma função da ou relativo à razão da maior distância de separação para a menor distância de separação.

20 14. Sistema, de acordo com a reivindicação 13, compreendendo um meio para subtrair a medição escalada da medição na separação mais curta.

15. Sistema, de acordo com a reivindicação 13 ou 14, em que a função é igual ou relativa ao cubo da razão da maior distância de separação para a menor.

25 16. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 15, em que a maior separação é aproximadamente cinco ou mais vezes maior do que a separação mais curta.

17. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 16, em que ambas as separações são pelo menos cinco vezes maiores do que a profundidade de água.

30 18. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 17, em que a maior separação é selecionada de modo que a resposta de terra medida no receptor seja insignificante, de preferência substancialmente

zero.

5 19. Programa de computador, de preferência sobre um meio legível por computador ou um portador de dados, para remover os efeitos de uma onda de ar de dados eletromagnéticos marinhos de águas rasas como medidos por pelo menos uma fonte e pelo menos um receptor, o programa de computador tendo um código ou instruções para utilizar duas medições feitas a duas separações de fonte - receptor diferentes para estimar a contribuição de onda aérea na separação mais curta e utilizar esta para determinar a resposta de terra na separação mais curta.

10 20. Programa de computador, de acordo com a reivindicação 19, compreendendo um código ou instruções para escalar a medição na separação maior por um fator que é uma função da ou relativa à razão da maior distância de separação para a menor, por meio disto estimando a contribuição de onda aérea para a medição na separação mais curta.

15 21. Programa de computador de acordo com a reivindicação 20, que compreende um código ou instruções para subtrair a medição escalada da medição na separação mais curta.

20 22. Método para medir uma resposta eletromagnética, o método compreendendo posicionar uma fonte eletromagnética e pelo menos um receptor eletromagnético sob a água; transmitir um sinal eletromagnético da fonte para o receptor, em que o sinal transmitido compreende um componente de terra e um componente de onda de ar, e o receptor está posicionado em relação à fonte de modo que a resposta medida seja substancialmente devido à onda aérea.

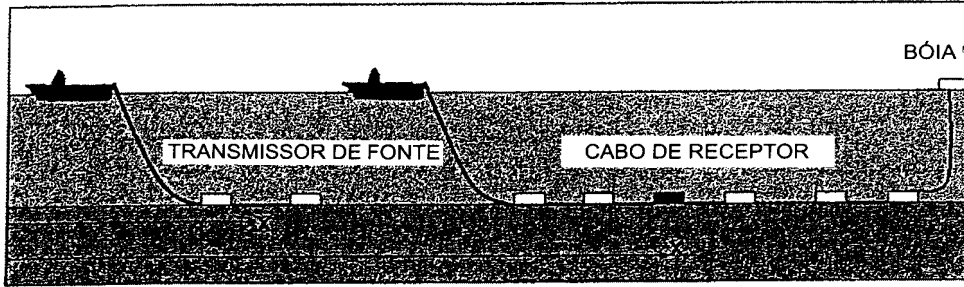


Fig 1

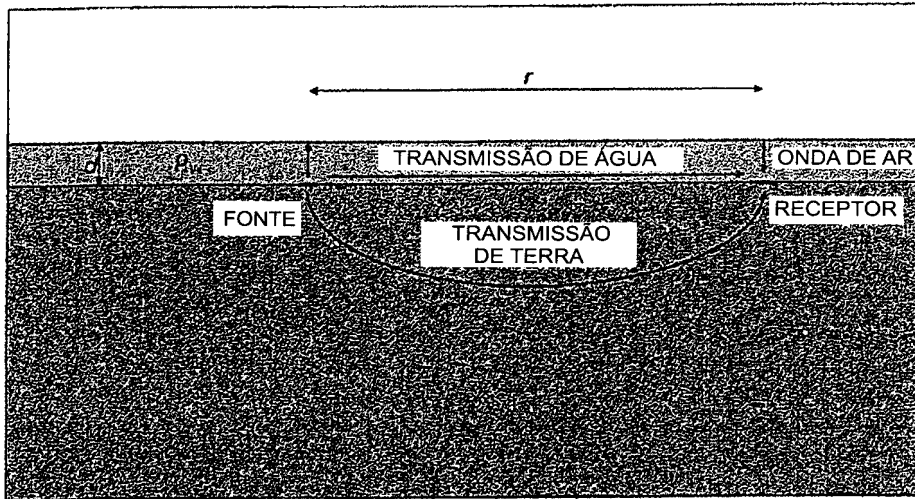


Fig 2

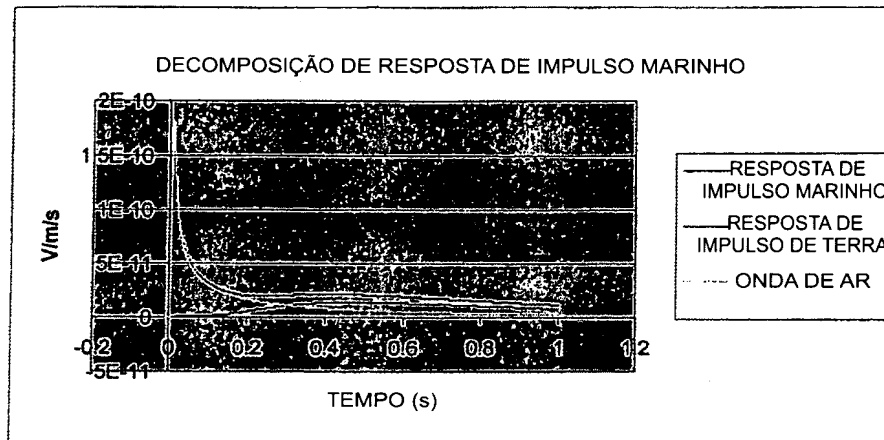


Fig 3

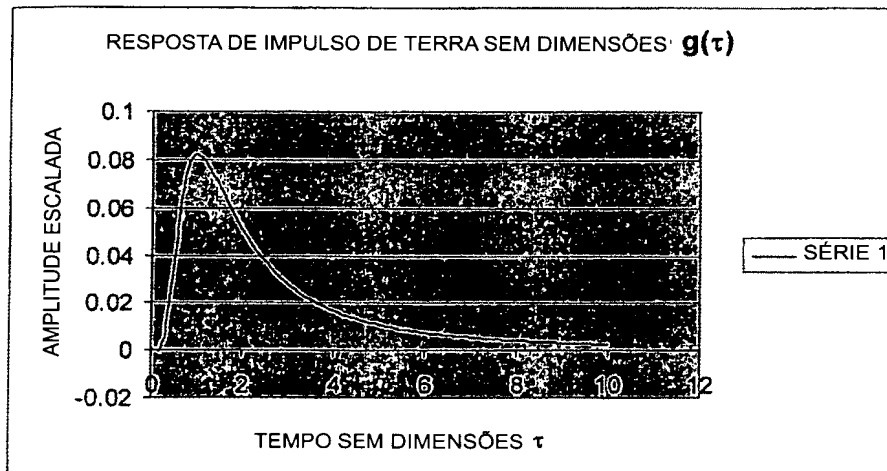


Fig 4

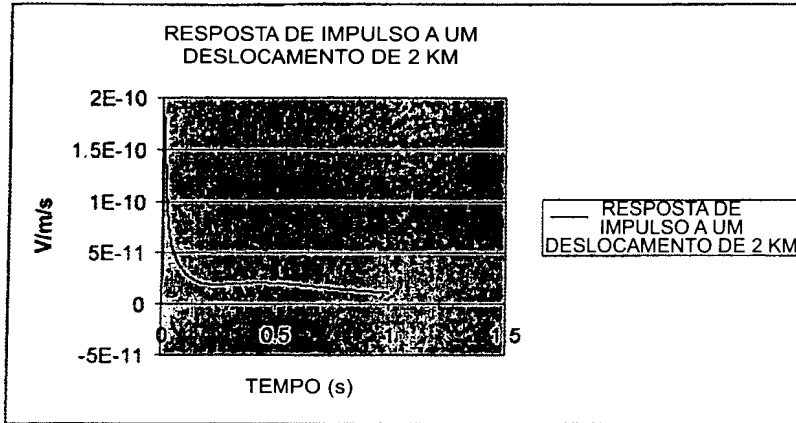


Fig 5

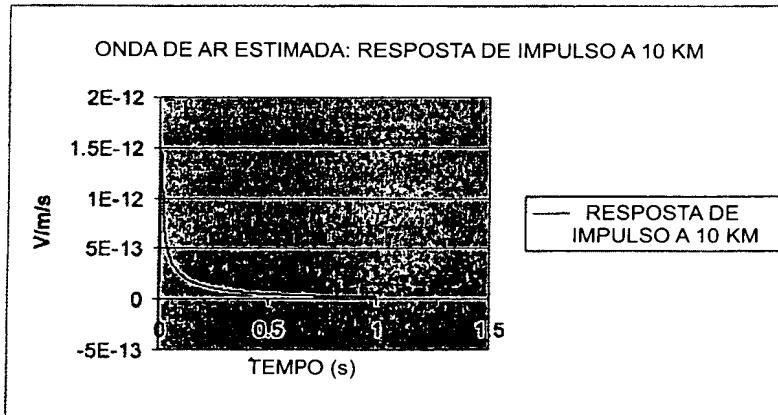


Fig 6

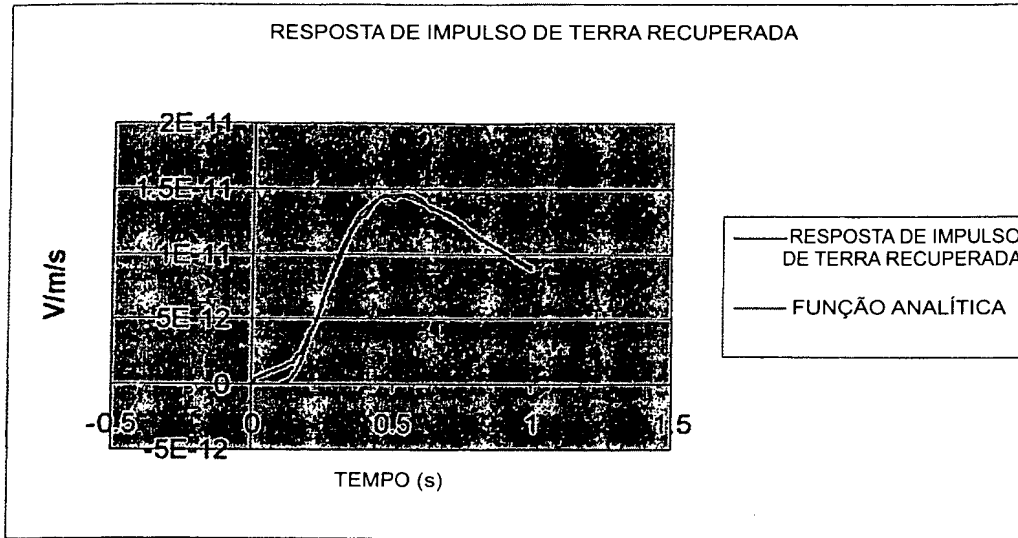


Fig 7(a)

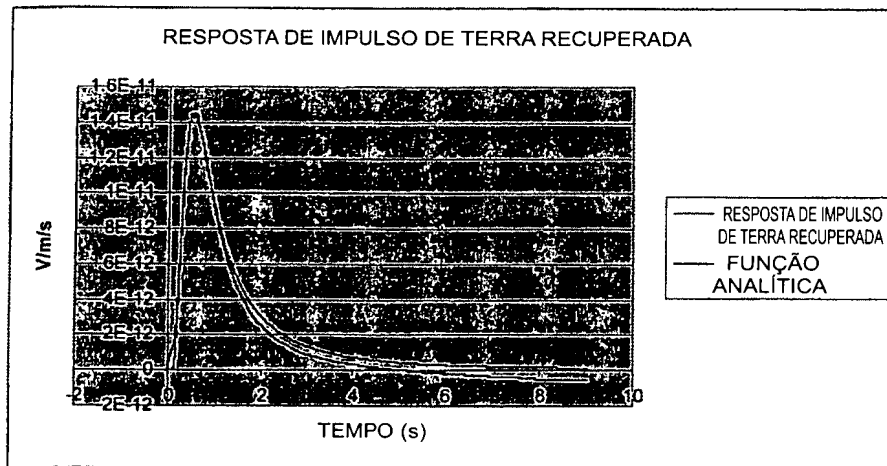


Fig 7(b)

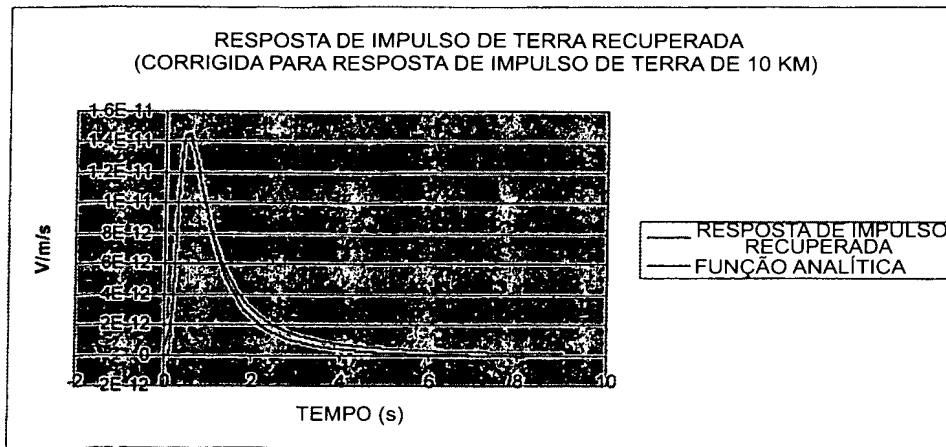


Fig 8

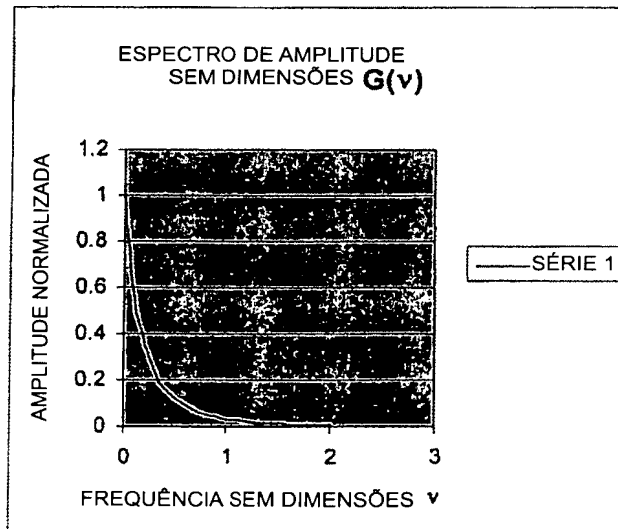


Fig 9

'RESUMO

Patente de Invenção: "**APERFEIÇOAMENTOS EM EXPLORAÇÃO MARINHA**".

5 A presente invenção refere-se a um método para estimar os efeitos de uma onda aérea em dados eletromagnéticos marinhos medidos utilizando uma fonte e pelo menos um receptor. O método envolve medir a resposta eletromagnética em duas separações de fonte - receptor sob a água diferentes e utilizando as medições na separação maior para estimar a resposta de onda aérea naquela separação. O efeito da onda aérea na resposta
10 medida na separação mais curta pode então ser determinado utilizando a resposta de onda aérea estimada na separação maior.