



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

(11) PI 0921553-0 B1



(22) Data do Depósito: 10/11/2009

(45) Data de Concessão: 24/04/2019

(54) Título: MEDIÇÃO DE SINAL ACÚSTICO DE EMAT UTILIZANDO ONDULAÇÃO GAUSSIANA MODULADA E DEMODULAÇÃO DE HILBERT

(51) Int.Cl.: G01V 1/40; G01N 29/00; E21B 47/14.

(30) Prioridade Unionista: 10/11/2008 US 12/268,110.

(73) Titular(es): BAKER HUGHES INCORPORATED.

(72) Inventor(es): JINSONG ZHAO.

(86) Pedido PCT: PCT US2009063876 de 10/11/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/054375 de 14/05/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 09/05/2011

(57) Resumo: MEDIÇÃO DE SINAL ACÚSTICO DE EMAT UTILIZANDO ONDULAÇÃO GAUSSIANA MODULADA E DEMODULAÇÃO DE HILBERT. Os sinais de revestimento gerados por um EMAT dentro de um furo de poço são processados utilizando um ou mais filtros Gaussianos limitados em banda. Pela utilização da transformada de Hilbert, um envelope dos sinais filtrados é determinado e as amplitudes e os tempos de chegadas individuais são estimados. Estes podem ser utilizados para estimar as propriedades de revestimento e de cimento.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MEDIÇÃO DE SINAL ACÚSTICO DE EMAT UTILIZANDO ONDULAÇÃO GAUSSIANA MODULADA E DEMODULAÇÃO DE HILBERT**".

CAMPO DA DESCRIÇÃO

5 A descrição refere-se genericamente ao campo da avaliação de revestimento de furo de poço. Mais especificamente a presente descrição refere-se a um método e aparelho para prover a análise de revestimento dentro de um ambiente de furo de poço produzindo e gravando características de formas de onda que atravessam o revestimento e o cimento.

10 **ANTECEDENTES DA DESCRIÇÃO**

Como ilustrado na figura 1, os furos de poço tipicamente compreendem um revestimento 8 colocado dentro do furo de poço 5, onde o revestimento 8 está aderido ao furo de poço pela adição de cimento 9 dentro do espaço anular formado entre o diâmetro externo do revestimento 8 e o
15 diâmetro interno do furo de poço 5. A aderência de cimento não somente adere no revestimento 8 dentro de furo de poço 5, mas também serve para isolar as zonas adjacentes (por exemplo, Z_1 e Z_2) dentro de uma formação terrestre 18. O isolamento de zonas adjacentes pode ser importante quando uma das zonas contém óleo ou gás e a outra zona inclui um fluido não hidrocarboneto tal como a água. Caso o cimento 9 que circunda o revestimen-
20 to 8 esteja defeituoso e não consiga prover o isolamento das zonas adjacentes, a água ou outro fluido indesejável pode migrar para dentro da zona de produção de hidrocarboneto assim diluindo ou contaminando os hidrocarbonetos dentro da zona de produção, e aumentando os custos de produção, retardando a produção ou inibindo a recuperação de recursos.

25 Para detectar possíveis aderências de cimento defeituosas, ferramentas de fundo de poço 14 foram desenvolvidas para analisar a integridade do cimento 9 que adere o revestimento 8 no furo de poço 5. Estas ferramentas de fundo de poço 14 são baixadas para dentro do furo de poço 5
30 por um cabo 10 em combinação com uma polia 12 e tipicamente inclui transdutores 16 dispostos sobre a sua superfície externa formados para serem acusticamente acoplados ao fluido dentro do furo de poço. Estes trans-

dutores 16 são geralmente capazes de emitir ondas acústicas para dentro do revestimento 8 e gravar a amplitude das ondas acústicas conforme estas se deslocam, ou propagam, através do revestimento 8. As características da aderência de cimento, tais como a sua eficácia, integridade e aderência ao

5 revestimento, podem ser determinadas analisando as características da onda acústica tal como a atenuação. Tipicamente os transdutores 16 são dispositivos piezoelétricos que têm um cristal piezoelétrico que converte a energia elétrica em vibrações mecânicas ou oscilações que transmitem uma onda acústica para o revestimento 8. Os dispositivos piezoelétricos tipicamente

10 acoplam a um revestimento 8 através de um meio de acoplamento encontrado dentro do furo de poço. Os meios de acoplamento incluem líquidos que são tipicamente encontrados dentro de furos de poço. Quando os meios de acoplamento estão apresentados entre o dispositivo piezoelétrico e o revestimento 8, estes podem comunicar as vibrações mecânicas do dispositivo piezoelétrico para o revestimento 8. No entanto, os fluidos de densidade mais baixos tais como o gás ou o ar e os fluidos de alta viscosidade tais como algumas lamas de perfuração podem não prover um acoplamento adequado entre um dispositivo piezoelétrico e o revestimento 8. Mais ainda, a presença de lodo, incrustações, ou outra matéria similar sobre a circunferência

15 interna do revestimento 8 pode afetar prejudicialmente a eficácia de um perfil de aderência adquirido com um dispositivo piezoelétrico. Assim para que os dispositivos piezoelétricos provenham resultados de perfil de aderência significativos, estes devem contactar limpamente a superfície interna do revestimento 8 ou serem empregados em furos de poço, ou zonas de furo de

20 poço, que têm um líquido dentro do revestimento 8. Outra desvantagem encontrada quando empregando os dispositivos piezoelétricos para utilização em operações de perfilagem de aderência envolve a limitação de formas de onda variantes produzidas por estes dispositivos. Os fluidos requeridos acoplar a onda do transdutor para o revestimento somente conduzem as ondas

25 de compressão, assim limitando os tipos de onda que podem ser induzidos no ou recebidos do revestimento. Uma grande quantidade de informações é derivável das formas de onda acústicas variantes que poderiam ser utiliza-

30

das na avaliação do revestimento, adesões de revestimento, e possivelmente até condições na formação 18. Portanto, existe uma necessidade de conduzir as operações de perfilagem de aderência sem a presença de um acoplante específico. Uma necessidade existe para um dispositivo de perfilagem de aderência capaz de emitir e propagar para dentro do revestimento de furo de poço numerosos tipos de formas de onda, e gravar as formas de onda.

A U.S. Patente Número 7.311.143 para Engels et al., que tem o mesmo cessionário que a presente descrição e o conteúdo da qual está aqui incorporado por referência, descreve um método e aparelho para induzir e medir ondas acústicas, que incluem as ondas transversais, dentro de um revestimento de furo de poço para facilitar a análise do revestimento de furo de poço, o cimento e a aderência de formação. Um transdutor acústico está provido que está magneticamente acoplado ao revestimento de furo de poço e é compreendido de um ímã combinado com uma bobina, onde a bobina está ligada a uma corrente elétrica. O transdutor acústico é capaz de produzir e receber várias formas de onda, incluindo ondas de compressão, ondas transversais, ondas Rayleigh, e ondas Lamb. O transdutor permanece acoplado no revestimento de furo de poço conforme a ferramenta atravessa as porções do revestimento. Um aspecto importante do método de Engels é a capacidade de identificar os diferentes modos de propagação de sinais acústicos dentro do revestimento. A amplitude e os tempos de chegada dos diferentes sinais são indicativos de propriedades do revestimento. A presente descrição provê um método aperfeiçoado para a estimativa de tempos de chegada e amplitudes destes diferentes modos. Para os propósitos da presente descrição, as chegadas individuais podem ser referidas como "eventos".

SUMÁRIO DA DESCRIÇÃO

Uma modalidade descrição é um método para caracterizar um revestimento instalado em um furo de poço em uma formação terrestre. O método inclui ativar um transdutor em pelo menos uma orientação azimutal dentro do furo de poço e gerar um pulso acústico; receber um sinal que compreende uma pluralidade de eventos que resultam da geração do pulso

acústico; passar de banda o sinal recebido utilizando um filtro Gaussiano modulado e prover um sinal passado de banda; estimar um envelope do sinal passado de banda; e estimar do envelope do sinal passado de banda um tempo de chegada de cada um da pluralidade de eventos, os tempos de chegada sendo característicos de uma propriedade do revestimento e/ou um cimento dentro de um espaço anular entre o revestimento e a formação.

Outra modalidade da descrição é um aparelho para caracterizar um revestimento instalado dentro de um furo de poço em uma formação terrestre. O aparelho inclui um transdutor configurado para gerar um pulso acústico em pelo menos uma orientação azimutal dentro do furo de poço; um receptor configurado para receber um sinal que compreende uma pluralidade de eventos que resultam da geração do pulso acústico; e um processador configurado para: passar de banda o sinal recebido utilizando um filtro Gaussiano modulado e prover um sinal passado de banda; estimar um envelope do sinal passado de banda; e estimar do envelope do sinal recebido um tempo de chegada de cada um da pluralidade de eventos, os tempos de chegada sendo característicos de uma propriedade de pelo menos um de: (i) o revestimento, e (ii) um cimento dentro de um espaço anular entre o revestimento e a formação.

Outra modalidade da descrição é um meio legível por computador acessível a um processador. O meio legível por computador incluindo instruções as quais permitem ao processador caracterizar uma propriedade de um revestimento dentro de um furo de poço em uma formação terrestre utilizando um sinal que compreende uma pluralidade de eventos que resultam da geração de um pulso acústico por um transdutor dentro do furo de poço, as instruções incluindo passar de banda o sinal utilizando uma função Gaussiana modulada, estimar um envelope do sinal passado de banda e estimar do envelope um tempo de chegada de cada um da pluralidade de eventos.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A presente descrição e as suas vantagens serão melhor compreendidas referindo à descrição detalhada seguinte e aos desenhos anexos

nos quais:

Figura 1 apresenta um corte transversal parcial de uma ferramenta de perfil de aderência de cimento de fundo de poço disposta dentro de um furo de poço;

5 Figuras 2A-2B ilustram esquematicamente um transmissor de acoplamento magnético disposto para acoplar a uma seção de revestimento;

Figura 3 mostra uma ferramenta de EMAT exemplar disposta dentro de um furo de poço;

10 Figuras 4(a), 4(b) mostram sinais exemplares gravados utilizando seis transdutores;

Figura 5 mostra sinais exemplares de modos de SH0 e SH1 gravados em um transdutor;

Figuras 6(a), 6(b) mostram exemplos do operador Gaussiano no domínio de tempo e no domínio de frequência;

15 Figuras 7(a), 7(b) mostram uma função Gaussiana modulada em (a) o domínio de tempo (a) e (b) o domínio de frequência;

Figuras 8(a), 8(b) mostram um sinal e ruído exemplar (a) no domínio de tempo e no domínio de frequência (b);

20 Figuras 9(a), 9(b) mostram um sinal e ruído filtrado exemplar (a) no domínio de tempo e no domínio de frequência (b);

Figuras 10(a), 10(b) mostram um envelope de sinal demodulado e o pico do envelope;

Figuras 11(a), 11(b) mostram dados de bancada exemplares e uma sua janela detalhada;

25 Figura 12(a) mostra os operadores exemplares para as ondulações de SH0 e SH1;

Figura 12(b) mostra os espectros das ondulações de SH0 e SH1 da figura 12(a) e o sinal de entrada;

30 Figuras 13(a), 13(b) mostram as ondulações reconstruídas recuperadas do sinal de entrada;

Figura 14(a) mostra os espectros reconstruídos utilizando as ondulações de SH0 e SH1 juntamente com os dados da figura 11(b);

Figura 14(b) mostra o sinal de dados reconstruído utilizando as ondulações de SH0 e SH1;

Figura 15 mostra o envelope do sinal da figura 11(a) recuperado utilizando as ondulações de SH0 e SH1; e

5 Figura 16 é um fluxograma que ilustra algumas etapas da presente descrição.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA APRESENTAÇÃO

Como ilustrado na figura 2A, um transdutor magneticamente acoplado 20 está posicionado em qualquer atitude desejada próximo de uma
10 seção de revestimento 8. Para os propósitos de clareza, somente uma porção do comprimento e do diâmetro de uma seção de revestimento 8 está ilustrada e o transdutor magneticamente acoplado 20 está mostrado esquematicamente tanto na figura 2A quanto na figura 2B. O transdutor magneticamente acoplado 20 pode estar posicionado dentro da circunferência interna
15 do revestimento tubular 8, mas o transdutor magneticamente acoplado 20 pode também está posicionado em outras áreas.

Para qualquer transdutor 20 específico, mais do que um ímã (de qualquer tipo, por exemplo, permanente, eletromagnético, etc.) podem estar combinados dentro de uma unidade; tal configuração permite induzir várias
20 formas de onda e facilitar a medição e a aquisição de diversas formas de onda. Um transdutor 20 capaz de transmitir ou receber as formas de onda em direções ortogonais está esquematicamente ilustrado na figura 2B. Apesar de um ímã 22 esquemático com campos magnéticos ortogonais está ilustrado, um ímã relativamente grande de campo único com múltiplas bobinas menores 24 (cujas bobinas podem estar dispostas ortogonalmente) pode ser empregado para formar transdutores versáteis.
25

Em modalidades providas pela presente descrição que estão ilustradas esquematicamente na figura 2A e 2B, o transdutor magneticamente acoplado 20 está compreendido de um ímã 22 e uma bobina 24, onde a
30 bobina 24 está posicionada entre o ímã 22 e a circunferência interna do revestimento 8. Uma fonte de corrente elétrica (não mostrada) é conectável à bobina 24 capaz de prover uma corrente elétrica para a bobina 24. O ímã 22,

pode ser um ou mais ímãs permanentes em várias orientações ou pode também ser um eletroímã, energizado ou por corrente contínua ou alternada. A figura 2B ilustra esquematicamente as representações magnéticas e de bobina ortogonais. Um ou mais ímãs ou bobinas podem estar dispostos dentro de uma ferramenta de fundo de poço para efetuar o acoplamento desejado e/ou as formas de onda desejada tal como a indução direta de ondas transversais para dentro do revestimento 8. Apesar da bobina estar ilustrada como disposta entre o ímã e o revestimento, a bobina pode estar de outro modo disposta adjacente ao ímã.

10 A bobina 24 pode ser energizada quando o transdutor magneticamente acoplado 20 está mais próximo do revestimento 8 para produzir as ondas acústicas dentro do material do revestimento 8. Por exemplo, a bobina pode ser energizada com uma corrente elétrica modulada. Assim o transdutor magneticamente acoplado 20 opera como um transmissor acústico.

15 O transdutor magneticamente acoplado 20 pode também operar com um receptor capaz de receber as ondas que atravessaram o revestimento e o cimento. O transdutor magneticamente acoplado 20 pode ser referido como um dispositivo acústico. Como tal, os dispositivos acústicos da presente descrição funcionam como transmissores acústicos ou como receptores acústicos, ou como ambos.

20 Uma modalidade exemplar da ferramenta como ilustrada na figura 3 provê uma sonda 30 mostrada tendo dispositivos acústicos dispostos sobre a sua superfície externa. Os dispositivos acústicos compreendem uma série de transdutores acústicos, tanto transmissores 26 quanto receptores 28, onde a distância entre cada dispositivo acústico adjacente sobre a mesma linha pode ser substancialmente a mesma. Com referência à configuração dos transmissores acústicos 26 e dos receptores acústicos 28 mostrados na figura 3, apesar das filas 34 que circunscrevem radialmente a sonda 30 poderem compreender qualquer número de dispositivos acústicos (isto é, 25 transmissores 26 ou receptores 28), em uma modalidade, cada fila 34 compreende cinco ou mais destes dispositivos acústicos (a preferência para cinco ou mais dispositivos é para os dispositivos com os transmissores e os 30

receptores radialmente dispostos ao redor da circunferência). Os transmissores acústicos 26 podem ser transdutores magneticamente acoplados 20 do tipo das figuras 2A e 2B que compreendem um ímã 22 e uma bobina 24. Opcionalmente, os transmissores acústicos 26 podem compreender transdutores acústicos eletromagnéticos.

Referindo agora novamente à configuração dos transmissores acústicos 26 e dos receptores acústicos 28 da figura 3, os transdutores acústicos que compreendem os transmissores 26 e os receptores 28 podem estar dispostos em pelo menos duas filas onde cada fila compreende primariamente os transmissores acústicos 26 e a próxima fila adjacente compreende primariamente os receptores acústicos 28. Opcionalmente, como mostrado na figura 3, os dispositivos acústicos dentro de filas adjacentes nesta disposição estão alinhados em uma linha reta ao longo do comprimento da sonda 30.

Apesar de somente duas filas circunferenciais 34 de dispositivos acústicos serem mostradas na figura 3, variações e colocação de transdutores e disposições em filas podem ser incluídas dependendo da capacidade e da aplicação da sonda 30. Outra disposição é ter uma fila de transdutores acústicos 26 seguida por duas filas circunferências de receptores acústicos 28 seguidas por outra fila de transdutores acústicos 26. Como é conhecido na técnica, as vantagens desta disposição específica incluem a capacidade de fazer uma medição acústica autocorretora. As medições de atenuação são feitas em duas direções utilizando as disposições de dois transmissores e dois receptores para a aquisição de formas de onda acústicas. As medições de atenuação podem ser combinadas para derivar valores compensados que não dependem de sensibilidades de receptor ou de potência de transmissor.

A figura 4(a) mostra um corte transversal da sonda na qual seis transdutores D1, D2, D3, D4, D5 e D6 estão mostrados ao redor da circunferência da sonda. Os seis transdutores definem seis setores S1, S2, S3, S4, S5 e S6. Mostrados na figura 4(a) estão sinais exemplares 411 e 413. O sinal 411 apresenta um sinal no transdutor D2 que resulta da ativação do

transdutor D1, enquanto que o sinal 413 mostra o sinal no transdutor D3 que resulta da ativação do transdutor D1. Similarmente, 415 mostra o sinal em D2 que resulta da ativação do transdutor D4 e 417 mostra o sinal em D2 que resulta da ativação do transdutor D4.

- 5 Denotou-se por A_{ij} o sinal no transdutor j que resulta da ativação do transdutor i . Então a atenuação dos sinais no setor S2 pode ser representada por

$$A_{S2} = 10 \log_{10} \frac{\left(\frac{A_{12} A_{43}}{A_{13} A_{42}} \right)}{\Delta} \quad (I).$$

Devido à limitação de largura de banda, a ferramenta de fundo de poço precisa demodular os sinais recebidos para estimar as suas amplitudes (assim como os tempos de chegada). Idealmente, os sinais recebidos são esperados como mostrado nas curvas 411, 413, 415, 417 nas figuras 4(a), 4(b). A razão de sinal para ruído (SNR) de 60 dB provê uma boa estimativa de tempos de chegada e amplitudes. No entanto, na realidade, a SNR dos sinais recebidos é somente ao redor de 30 dB a 40 dB. Como discutido no Pedido de Patente U.S. Número de Série 11/358.172 (U.S. 2007/0206439) de Barolak et al., que tem o mesmo cessionário que a presente descrição e o conteúdo do qual está aqui incorporado por referência, ondas transversais e ondas Lamb podem ser utilizadas para determinar a integridade de uma aderência de cimento. Além disso, um problema surge do fato que SH0 e SH1 podem ser excitados simultaneamente devido ao amplo espectro do sinal de estímulo dos transdutores.

Para o propósito de ilustrar o método da presente descrição, uma referência é primeiro feita à Figura 5 a qual mostra os sinais exemplares gravados em uma bancada de teste. Dois sinais gravados sob diferentes condições de revestimento estão denotados por 501 e 503. O sinal de 0 a aproximadamente 130 está soando (do sistema). O sinal de 130 a aproximadamente 260 é SH0 com (a frequência central é de aproximadamente 200 KHz), enquanto que o sinal 180 a 420 é SH1 com a frequência central de aproximadamente 280 KHz. Como pode ser visto, os sinais de SH0 e o de

SH1 estão sobrepostos um ao outro. Em 501, o som também afeta o SH0. O método utilizado na presente descrição é para separar SH0 de SH1. Deve ser notado que a curva 501 tem um forte modo de SH0 enquanto que a curva 503 tem um forte modo de SH1. De interesse específico são os tempos de chegada dos diferentes modos que podem referidos como "eventos".

Um modo efetivo para estimar um tempo de chegada de um evento é estimar primeiramente o envelope de uma ondulação. Em uma modalidade da descrição, isto é feito utilizando a transformada de Hilbert. Um sinal acústico $f(t)$ tal como na figura 4(a) pode ser expresso em termos de uma amplitude dependente de tempo $A(t)$ e uma fase dependente de tempo $\theta(t)$ como:

$$f(t) = A(t)\cos \theta(t) \quad (2).$$

O seu traço de quadratura $f^*(t)$ então é

$$f^*(t) = A(t)\sin \theta(t) \quad (3),$$

e o traço complexo $F(t)$ é:

$$F(t) = f(t) + jf^*(t) = A(t)e^{j\theta(t)} \quad (4).$$

Se $f(t)$ e $f^*(t)$ são conhecidos, pode-se resolver para $A(t)$ como

$$A(t) = [f^2(t) + f^{*2}(t)]^{1/2} = |F(t)| \quad (5)$$

como o envelope do sinal $f(t)$.

Um modo para determinar o traço de quadratura $f^*(t)$ é pela utilização da transformada de Hilbert:

$$f^*(\tau) = p.v. \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(t)}{\tau - t} dt \quad (6),$$

onde p.v. representa o valor principal. A transformada de Hilbert precisa de um sinal de entrada limitado em banda e é sensível ao ruído de banda larga. Consequentemente, antes de aplicar a transformada de Hilbert, um filtro de passagem de banda é aplicado. No presente método, um filtro Gaussiano é utilizado como o filtro de passagem de banda.

As Figuras 6(a), 6(b) mostram representações de dois filtros Gaussianos diferentes no domínio de tempo (Figura 6(a)) e no domínio de frequência (Figura 6(b)). O filtro Gaussiano no domínio de tempo é dado por

$$g(t) = e^{-\pi \left(\frac{t}{\tau}\right)^2} \quad (7).$$

A sua transformada de Fourier é dada por

$$G(f) = \tau e^{-\pi(\tau f)^2} \quad (8)$$

Uma vantagem do filtro Gaussiano que pode ser vista nas figuras 6(a), 6(b) é que não existem ondulações nem no domínio de tempo nem no domínio de frequência. Escolhendo τ , é possível capturar as informações carregadas pelo sinal.

Se a função Gaussiana for modulada com uma frequência de portadora f_c no domínio de tempo, o resultado é um sinal

$$g_M(\tau, f_c, t) = g(\tau, t) \cos(2\pi f_c t) \quad (9),$$

10 e uma realização de domínio de frequência:

$$G_M(\tau, f_c, t) = G(\tau, f) \otimes \delta(f - f_c) \quad (10),$$

onde \otimes representa uma convolução e δ é a função delta de Kronecker. Portanto, o $g_M(\tau, t)$ parece um operador de ondulação. A localizabilidade (a extensão de tempo de informações no domínio de tempo e a sua largura de banda de frequência relativa) é determinada por τ e f_c . A figura 7(a) mostra um exemplo de $g_M(\tau, f_c, t)$ e a figura 7(b) mostra um exemplo $G_M(\tau, f_c, t)$.

No exemplo acima, f_c é igual a 1 Hz. O operador de ondulação está mostrado no domínio de tempo e a sua resposta espectral de amplitude está mostrada no domínio de frequência. Do ponto de vista de implementação, é desejável selecionar a atenuação e a largura de banda para controlar os comportamentos de operador de ondulação (digamos, -6 dB em potência com uma certa largura de banda nominal NBW) ao invés de selecionar τ . No exemplo acima, a largura de banda é de $-0,2 f_c$ a $+0,2 f_c$ ($NBW_{-6dB} = 40\%$). Da equação (7) temos

$$25 \quad g(t) = e^{-k t^2} \quad (11)$$

se define NBW como

$$\mu = \frac{\Delta f}{f_c} \quad (12)$$

e um fator de atenuação, α em dB, temos

$$k = \frac{5(\pi\mu f_c)^2}{\alpha * \ln 10}$$

(13)

É assim possível escolher α e μ para controlar o espectro do operador de ondulação $g_M(\alpha, \mu, f_c, t)$.

O operador de ondulação é utilizado para reconstruir o sinal adquirido com um ruído branco aditivo por uma operação de convolução. O
5 sinal adquirido pode ser denotado por

$$x_c(t) = x(t) + n(t) \quad (14)$$

onde, $x(t)$ é o sinal acústico e $n(t)$ é o ruído branco. A operação de convolução é

$$y(t) = x_c(t) \otimes g_M(\alpha, \mu, f_c, t) \quad (15)$$

10 Em teoria, $g_M(\alpha, \mu, f_c, t)$ é um filtro de passagem de banda (BPF). Este pode atenuar o ruído fora da banda de passagem. A figura 8(a) mostra um sinal 801 e o ruído branco aditivo 805 a uma SNR de aproximadamente 0 dB enquanto que a figura 8(b) mostra o sinal 803 no domínio de frequência e o ruído branco aditivo 807. 901 e 905 na figura 9(a) mostram o sinal filtrado
15 e o ruído respectivamente no domínio de tempo, enquanto que 903 e 905 na figura 9(b) mostram o sinal filtrado e o ruído no domínio de frequência.

A amplitude do sinal de portadora é, da equação (5), dado por:

$$A_{f_c} = \max[A(t)]_{t=t_c} \quad (16),$$

onde t_c é a localização do ponto de pico de $A(t)$. A curva de envelope demodulada e o valor detectado de pico estão mostrados por 1001 na figura 10(a)
20 e 1003 na figura 10(b).

Os princípios acima descritos são a seguir aplicados a dados adquiridos em um teste de bancada. Mostrados na figura 11(a) estão dois sinais exemplares 1101, 1103. Os sinais na figura 11(a) incluem múltiplas chegadas de SH0 e SH1. Uma janela dos sinais na figura 11(a) está mostrada em detalhes na figura 11(b) por 1151 e 1153. Na figura 11(b) somente as
25 primeiras chegadas estão mostradas, e correspondem aos sinais 501, 503 na figura 5. Os dados incluem as chegadas de SH0 ($a \approx 180$ kHz) e as che-

gadas de SH1 ($a \approx 280$ kHz), e dois operadores de ondulação são utilizados para reconstruir o sinal adquirido. Os operadores estão mostrados no domínio de tempo por 1201 e 1203 na figura 12(a), enquanto que a figura 12(b) mostra os espectros dos operadores de ondulação 1205 e 1207 juntamente com os espectros dos dois sinais de entrada. A figura 13(a) mostra o sinal original 1153 e o sinal de SH0 recuperado 1301 enquanto que a figura 13(b) mostra o sinal original 1153 e o sinal de SH1 recuperado 1303.

A figura 14(a) mostra o espectro 1401 dos dados 1153 na figura 11(b), juntamente com o espectro reconstruído utilizando a ondulação de SH0 1403, e o espectro reconstruído utilizando a ondulação de SH1 1405. A figura 14(b) mostra o envelope 1407 do sinal reconstruído utilizando a ondulação de SH0 e o envelope 1409 do sinal reconstruído utilizando a ondulação de SH1.

A figura 15 mostra o resultado de processamento do sinal da figura 11(a) utilizando a ondulação de SH0 1501 e a ondulação de SH1 1503 para estimar as amplitudes e os tempos de pico de envelope. Como pode ser visto, cada uma das curvas 1501 e 1503 mostra mais do que uma chegada (evento). Os diferentes eventos são o resultado de propagação através do revestimento em direções opostas, da chegada mais cedo sendo associada com o percurso mais curto do transmissor para o receptor. A geometria associada com as diferentes chegadas é direta, e a análise das amplitudes está discutida em Barolak.

A descrição acima foi para uma ferramenta de cabo específica utilizada para a análise do revestimento e a qualidade da aderência de cimento. Os princípios acima delineados podem também ser utilizados para análise de sinais de reflexão adquiridos com um cabo ou em aplicações de MWD. Ver, por exemplo, a Patente U.S. Número 5.491.668 para Priest et al., e US2007/0005251 de Chemali et al., tendo o mesmo cessionário que a presente descrição o conteúdo das quais está aqui incorporado por referência. Um ponto de diferença entre os sinais de revestimento discutidos na presente descrição e os sinais refletidos é que os últimos estão sujeitos a mais atenuação do que estão os sinais de revestimento guiados.

A figura 16 é um fluxograma que o resumo o método da presente descrição. Iniciando com um sinal 1601, uma ou mais ondulações são definidas 1603, 1611. Em uma modalidade, as ondulações são funções Gaussianas limitadas em banda, tais como dadas pela equação (9). As características de ondulação podem ser definidas pela largura de banda nominal e pela atenuação. As ondulações são aplicadas 1605, 1613 ao sinal, utilizando uma função de janela adequada tal como uma ponderação de Hanning ou uma ponderação de Hamming. Uma transformada de Hilbert é utilizada para estimar o envelope dos sinais filtrados e a amplitude de pico e os tempos de chegada no envelope são identificados 1607, 1615. Com base os tempos de chegada e amplitudes dos sinais estimados, os parâmetros de revestimento e de aderência de cimento são estimados 1609.

Com base nos tempos de deslocamento e nas amplitudes das chegadas detectadas, utilizando os métodos conhecidos, é então possível determinar um ou mais dos seguintes: (i) uma espessura do revestimento, (ii) a impedância acústica do cimento na proximidade do revestimento, (iii) uma posição e um tamanho de um vazio dentro do cimento, e (iv) uma posição e um tamanho de um defeito dentro do revestimento.

Implícita no processamento dos dados é a utilização de um programa de computador implementado em um meio legível por máquina adequado que permite o processador executar o controle e o processamento. O meio legível por máquina pode incluir ROMs, EPROMs, EAROMs, Memórias Instantâneas e Discos Óticos. As propriedades de formação determinadas podem ser gravadas em um meio adequado e utilizadas para um processamento subsequente quando da recuperação do BHA. As propriedades de formação determinadas podem adicionalmente ser telemetrizadas na superfície para exibição e análise.

A descrição acima está direcionada a modalidades específicas da presente descrição para o propósito de ilustração e explicação. Será aparente, no entanto, para alguém versado na técnica que muitas modificações e mudanças na modalidade acima apresentada são possíveis sem afastar do escopo e do espírito da descrição. É pretendido que as reivindicações

seguintes sejam interpretadas para abranger todas tais modificações e mudanças.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para caracterizar um revestimento instalado em um furo de poço em uma formação terrestre, o método compreendendo:
 - 5 ativar um transdutor em pelo menos uma orientação azimutal dentro do furo de poço e gerar um pulso acústico;
 - receber um sinal que compreende uma pluralidade de eventos que resultam da geração do pulso acústico;
 - passar de banda o sinal recebido utilizando um filtro Gaussiano modulado e prover um sinal passado de banda;
 - 10 estimar um envelope do sinal passado de banda; e
 - estimar do envelope do sinal passado de banda um tempo de chegada de cada um da pluralidade de eventos, os tempos de chegada sendo característicos de uma propriedade de pelo menos um de: (i) o revestimento, e (ii) um cimento dentro de um espaço anular entre o revestimento e
 - 15 a formação.
2. Método de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo estimar do envelope uma amplitude de cada um dos eventos.
3. Método de acordo com a reivindicação 1, em que estimar o envelope do sinal recebido ainda compreende aplicar uma transformada de
- 20 Hilbert.
4. Método de acordo com a reivindicação 1, em que ativar o transdutor em pelo menos uma orientação azimutal ainda compreende ativar o transdutor em uma pluralidade de orientações azimutais, o método ainda compreendendo estimar a propriedade na pluralidade de orientações azimutais.
- 25 tais.
5. Método de acordo com a reivindicação 4, em que estimar a propriedade na pluralidade de orientações azimutais ainda compreende estimar uma atenuação de um modo de propagação selecionado que caracteriza um evento.
- 30 6. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a propriedade é selecionada do grupo que consiste em: (i) uma espessura da carcaça, (ii) uma impedância acústica do cimento na proximidade do revestimento, (iii)

uma posição e tamanho de um vazio no cimento, e (iv) uma posição e tamanho de um defeito no cimento.

5 7. Método de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo transportar o transdutor sobre uma ferramenta de perfilagem para dentro do furo de poço utilizando um cabo.

8. Aparelho para caracterizar um revestimento instalado dentro de um furo de poço em uma formação terrestre, o aparelho compreendendo:
um transdutor configurado para gerar um pulso acústico em pelo menos uma orientação azimutal dentro do furo de poço;
10 um receptor configurado para receber um sinal que compreende uma pluralidade de eventos que resultam da geração do pulso acústico; e
um processador configurado para:
passar de banda o sinal recebido utilizando um filtro Gaussiano modulado e prover um sinal passado de banda;
15 estimar um envelope do sinal passado de banda; e
estimar do envelope do sinal recebido um tempo de chegada de cada um da pluralidade de eventos, os tempos de chegada sendo característicos de uma propriedade de pelo menos um de: (i) o revestimento, e (ii) um cimento dentro de um espaço anular entre o revestimento e a formação.

20 9. Aparelho de acordo com a reivindicação 8, em que o receptor faz parte do transdutor.

10. Aparelho de acordo com a reivindicação 8, em que o transdutor ainda compreende um transdutor acústico eletromagnético.

25 11. Aparelho de acordo com a reivindicação 8, em que o processador está ainda configurado para estimar do envelope uma amplitude de cada um dos eventos.

12. Aparelho de acordo com a reivindicação 8, em que o processador está ainda configurado para estimar o envelope do sinal recebido pela aplicação de uma transformada de Hilbert.

30 13. Aparelho de acordo com a reivindicação 8, em que o transdutor está ainda configurado para ser ativado em uma pluralidade de orientações azimutais e em que o processador está ainda configurado para esti-

mar a propriedade em uma pluralidade de orientações azimutais.

5 14. Aparelho de acordo com a reivindicação 11, em que o processador está ainda configurado para estimar a propriedade na pluralidade de orientações azimutais estimando uma atenuação de um modo de propagação selecionado que caracteriza um evento.

10 15. Aparelho de acordo com a reivindicação 8, em que o processador está ainda configurado para estimar uma propriedade que é selecionada do grupo que consiste em: (i) uma espessura da carcaça, (ii) uma impedância acústica do cimento na proximidade do revestimento, (iii) uma posição e tamanho de um vazio no cimento, e (iv) uma posição e tamanho de um defeito no cimento.

16. Aparelho de acordo com a reivindicação 9 ainda compreendendo um cabo configurado para transportar o transdutor sobre uma ferramenta de perfilagem para dentro do furo de poço.

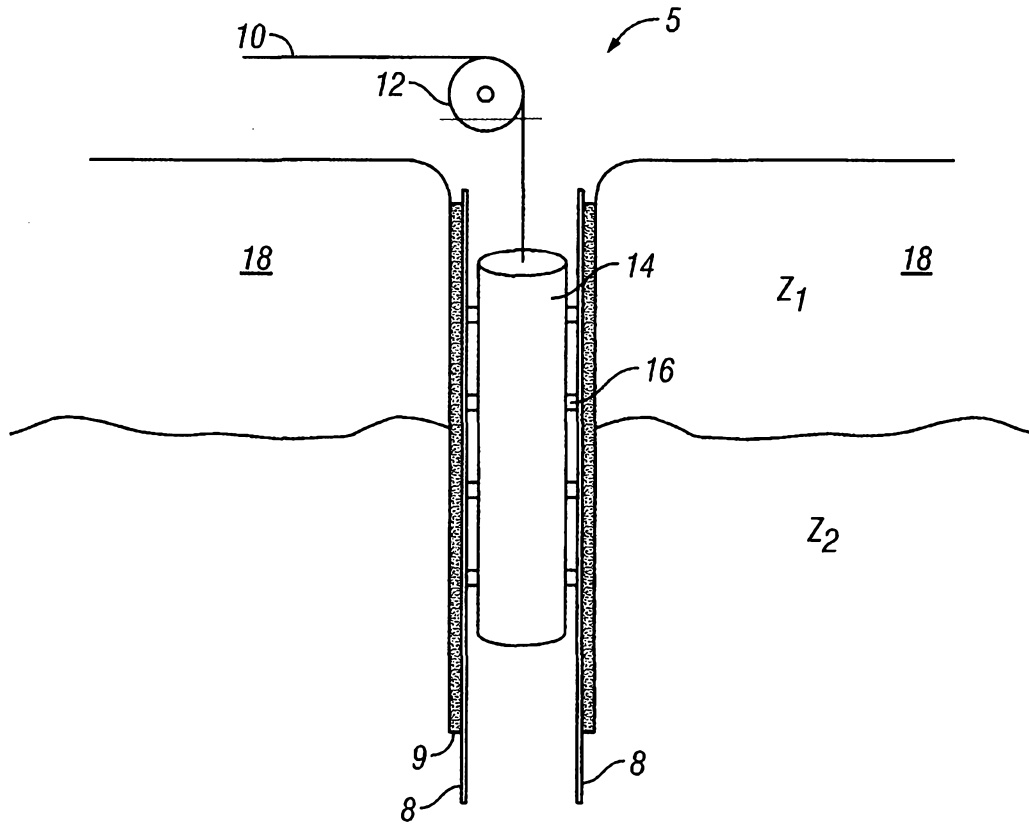


Fig 1
(TÉCNICA ANTERIOR)

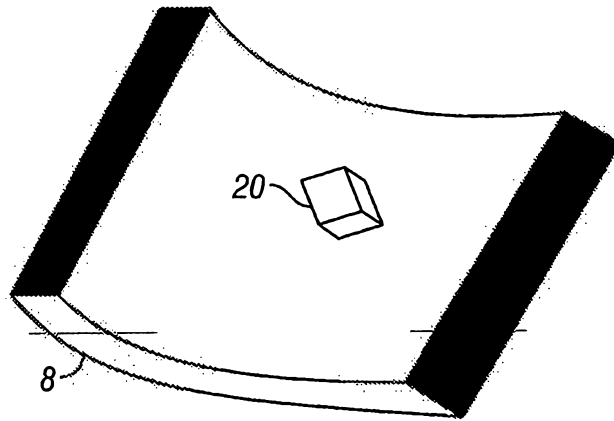


Fig 2A

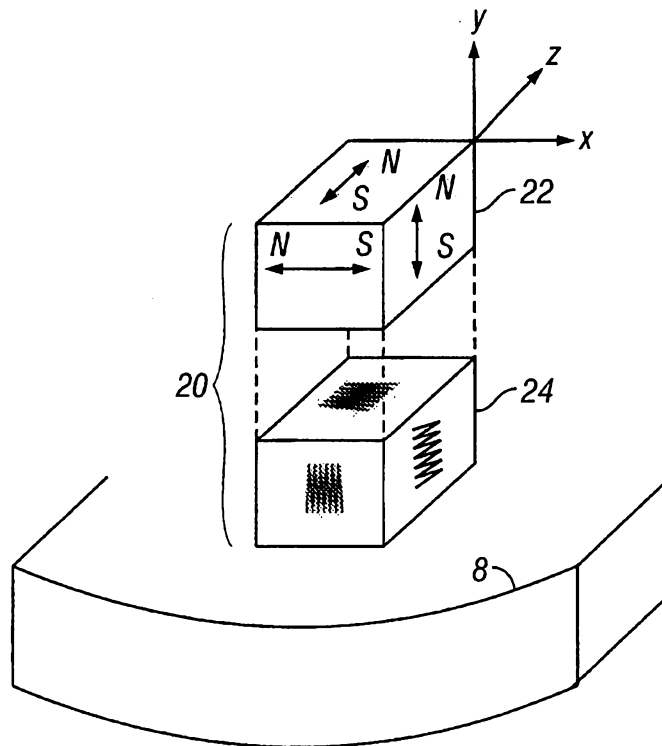


Fig 2B

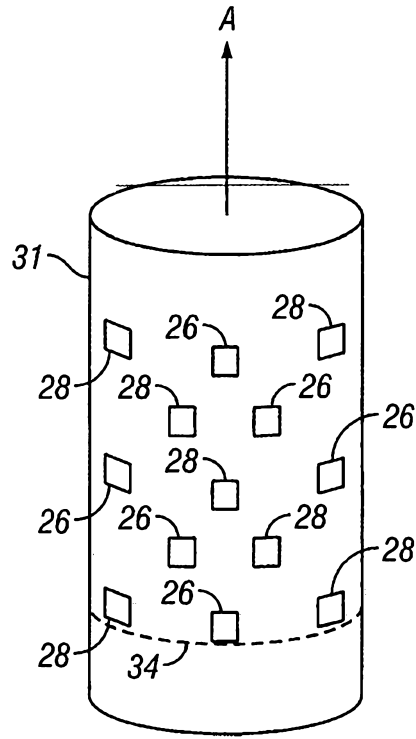


Fig 3

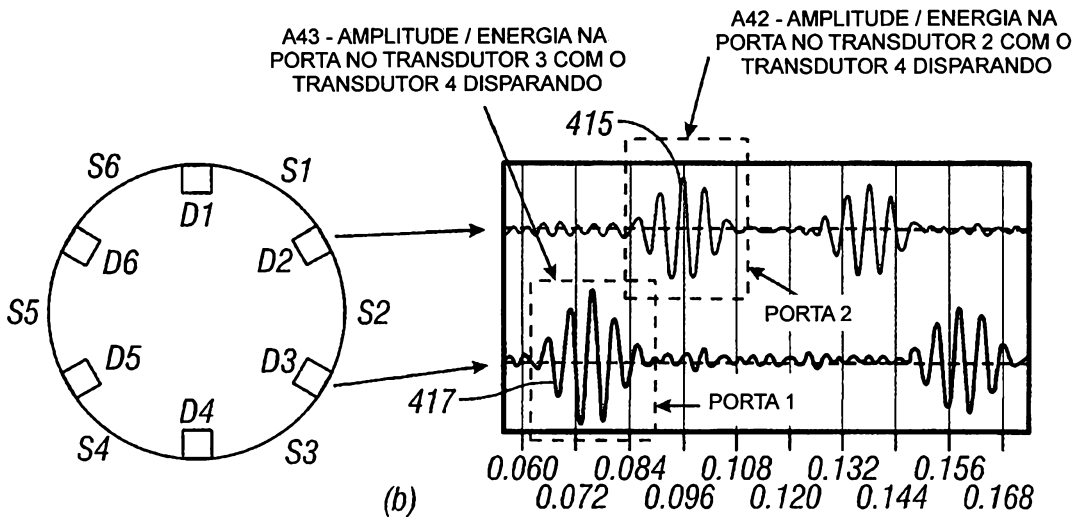
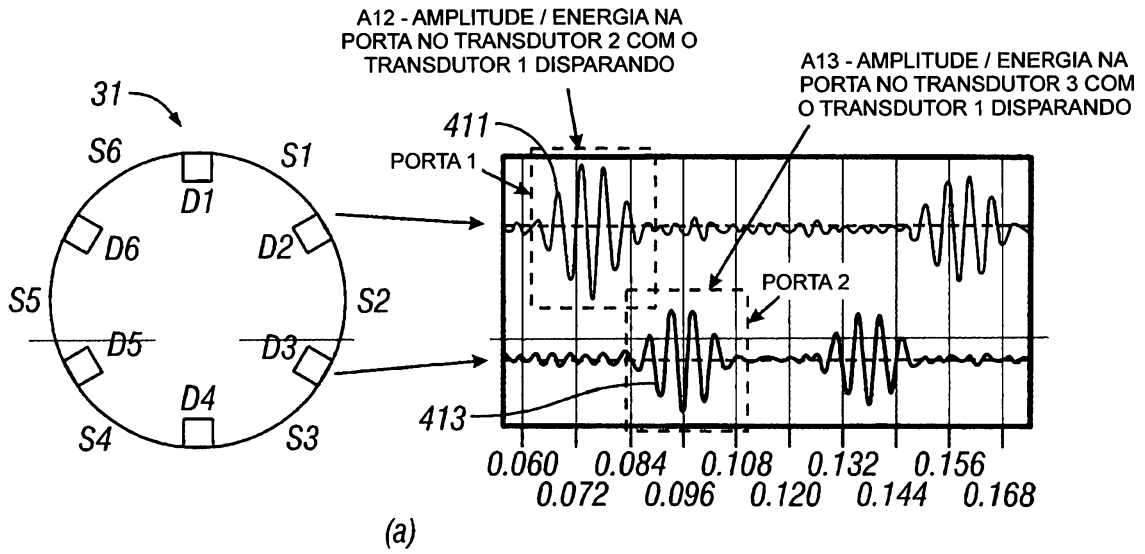


Fig 4

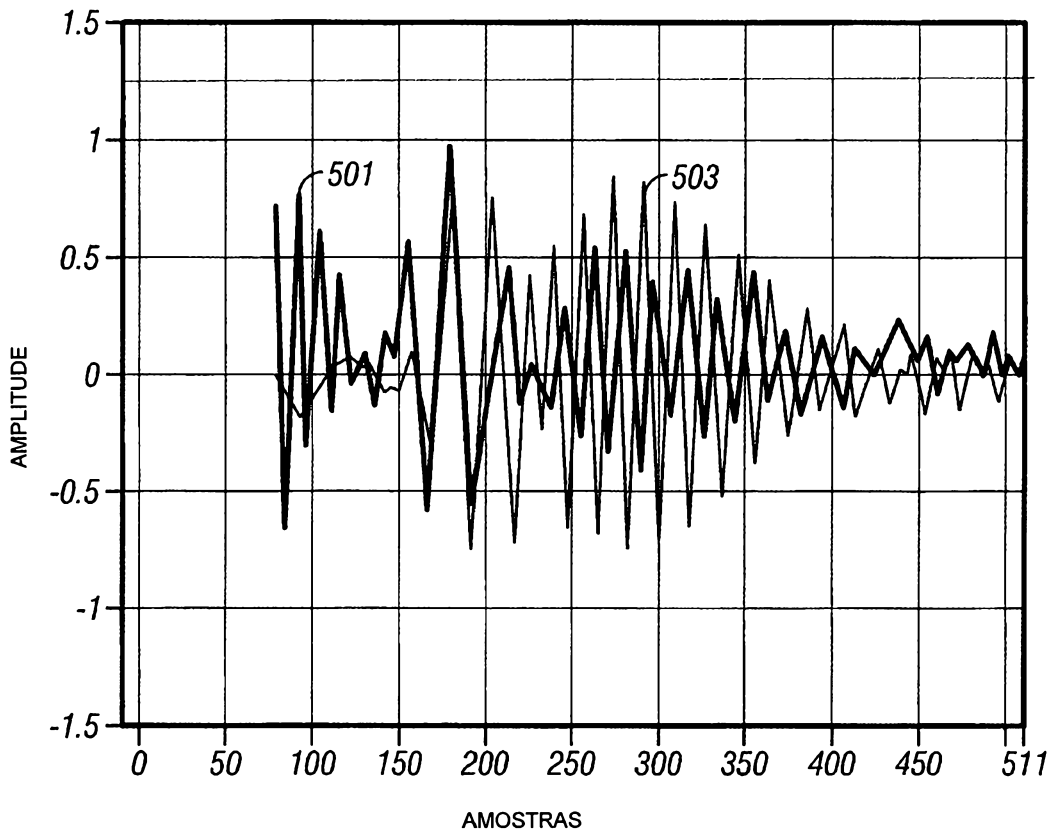


Fig 5

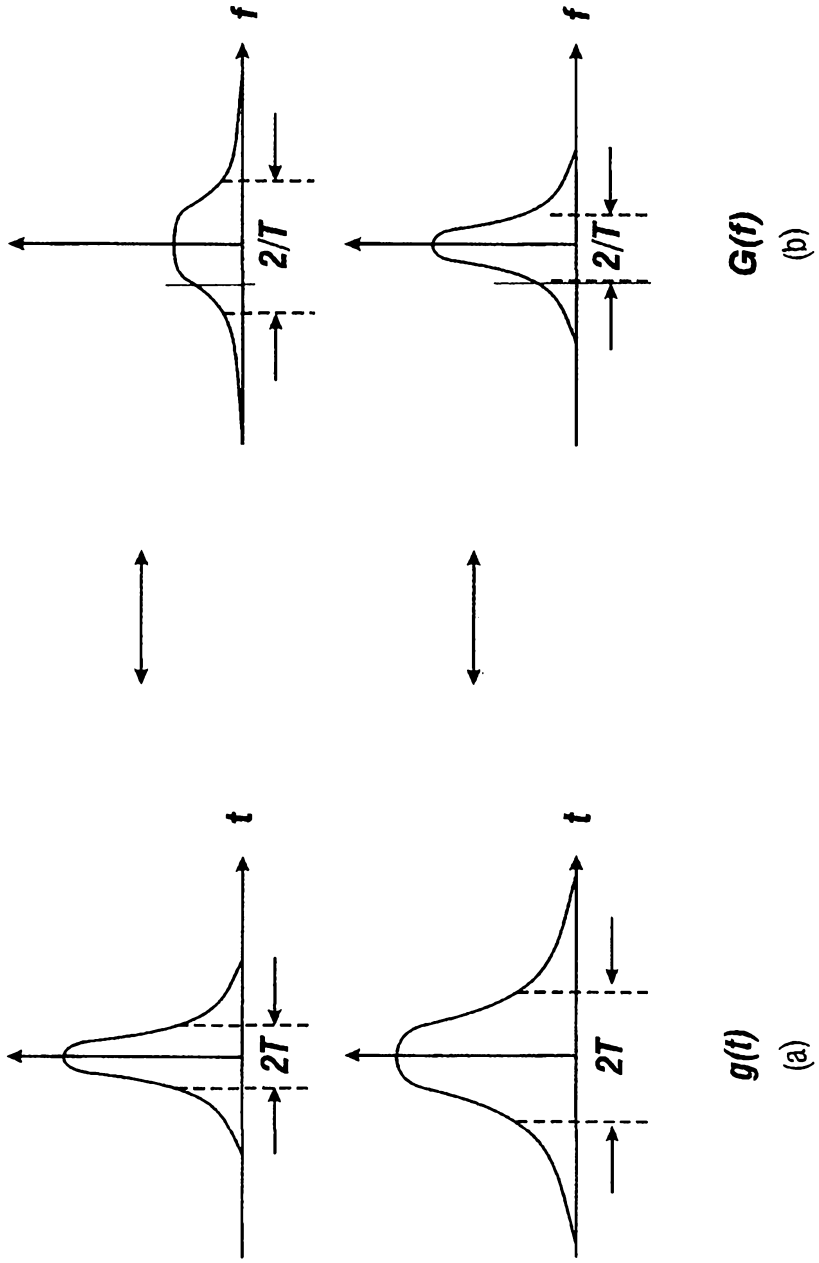


Fig 6

7/16

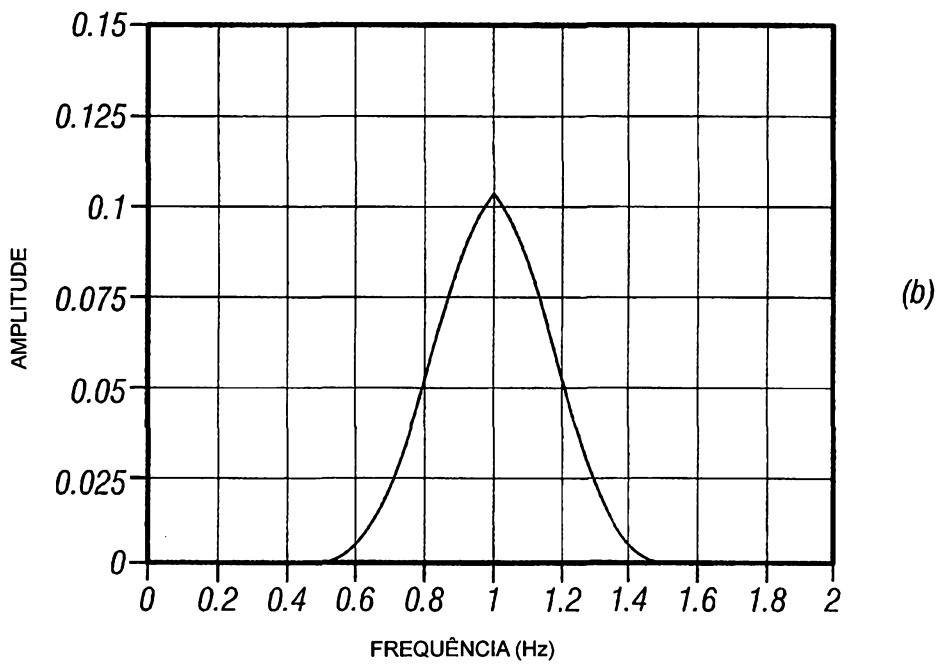
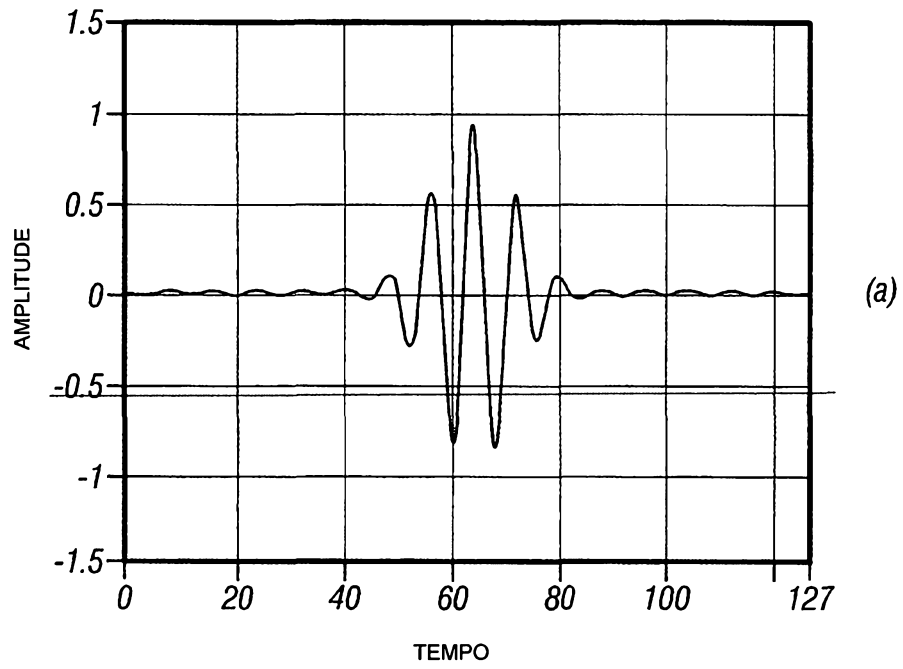


Fig 7

8/16

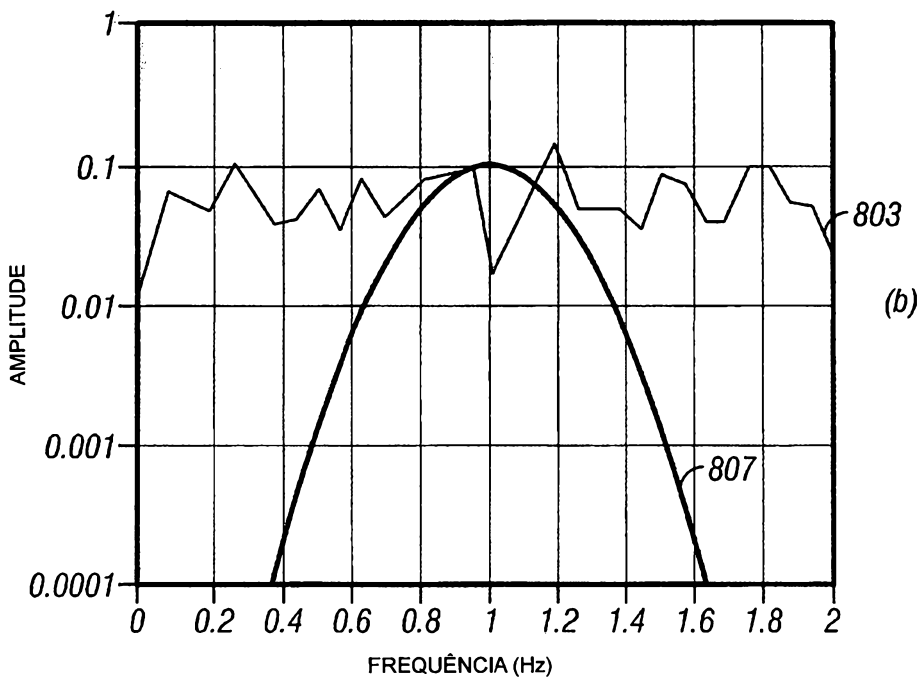
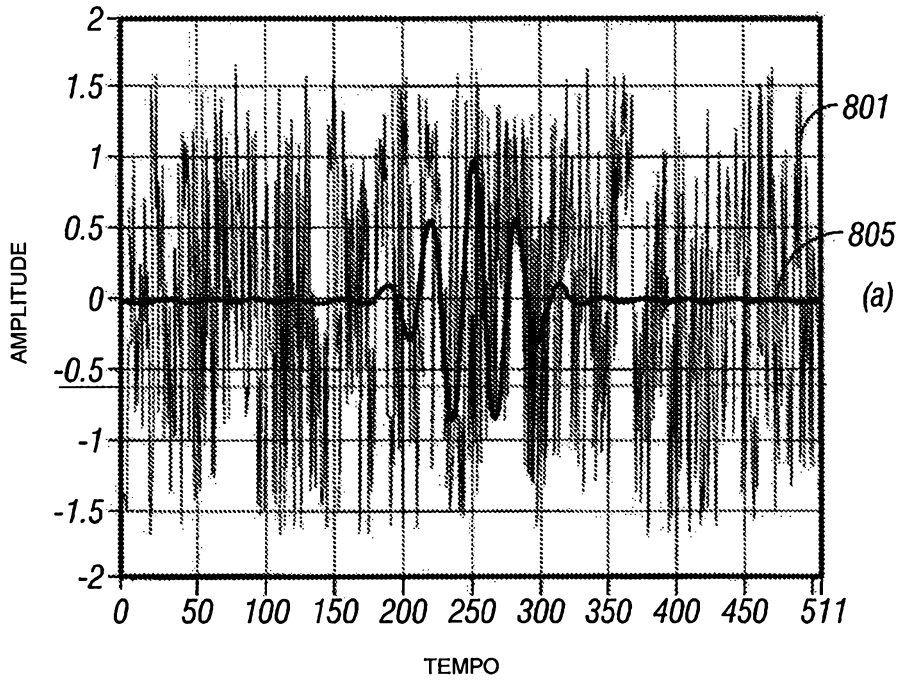


Fig 8

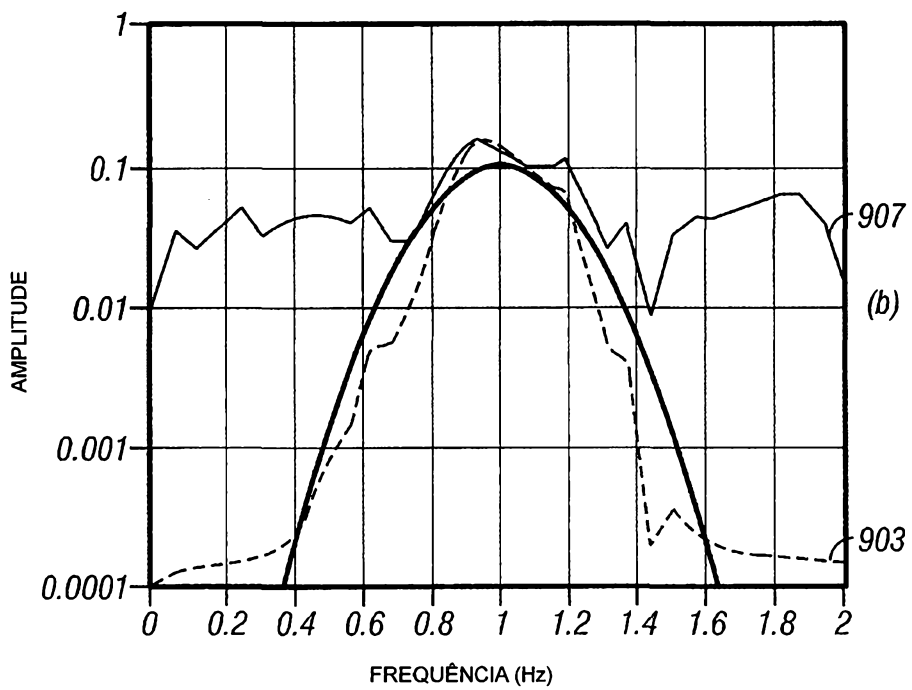
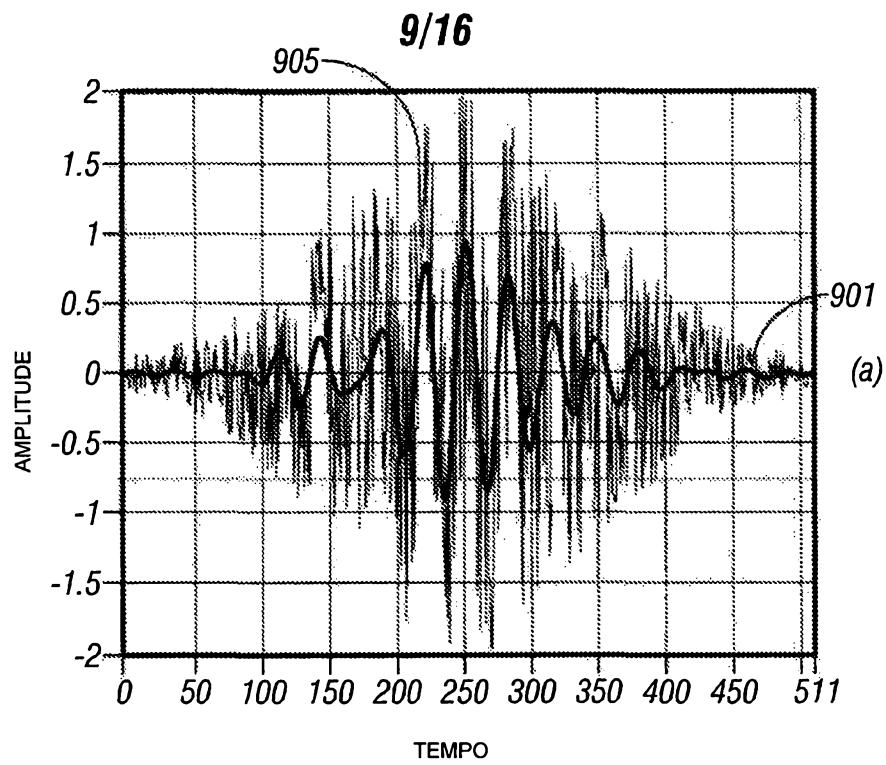


Fig 9

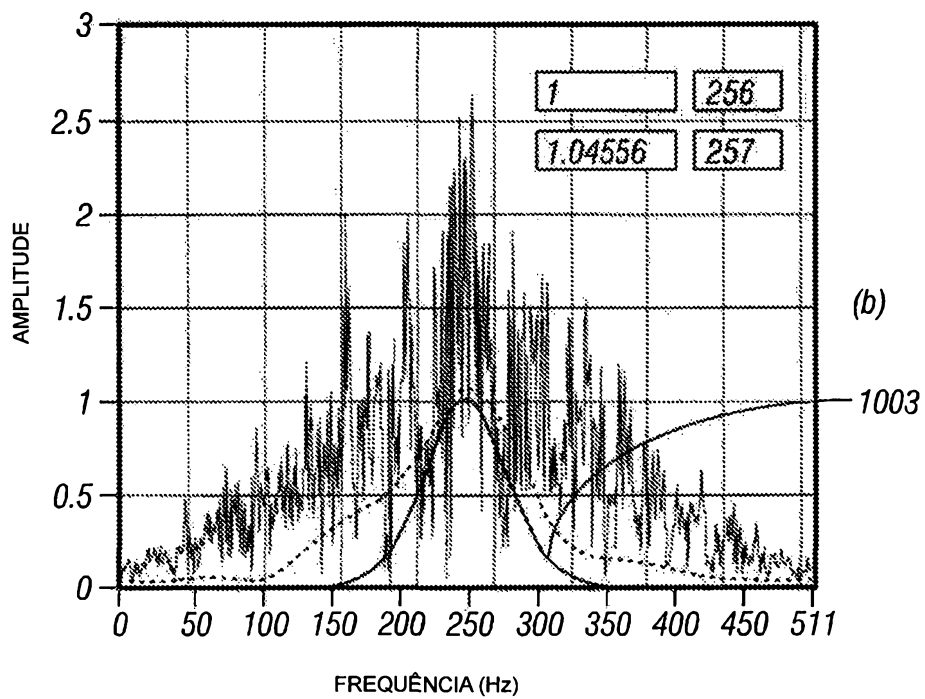
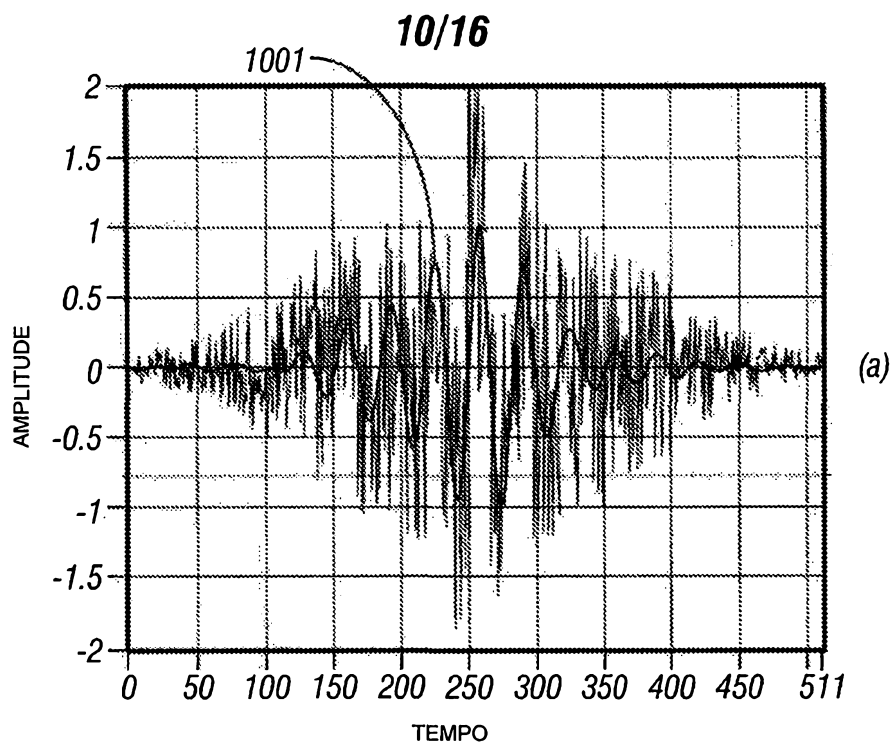


Fig 10

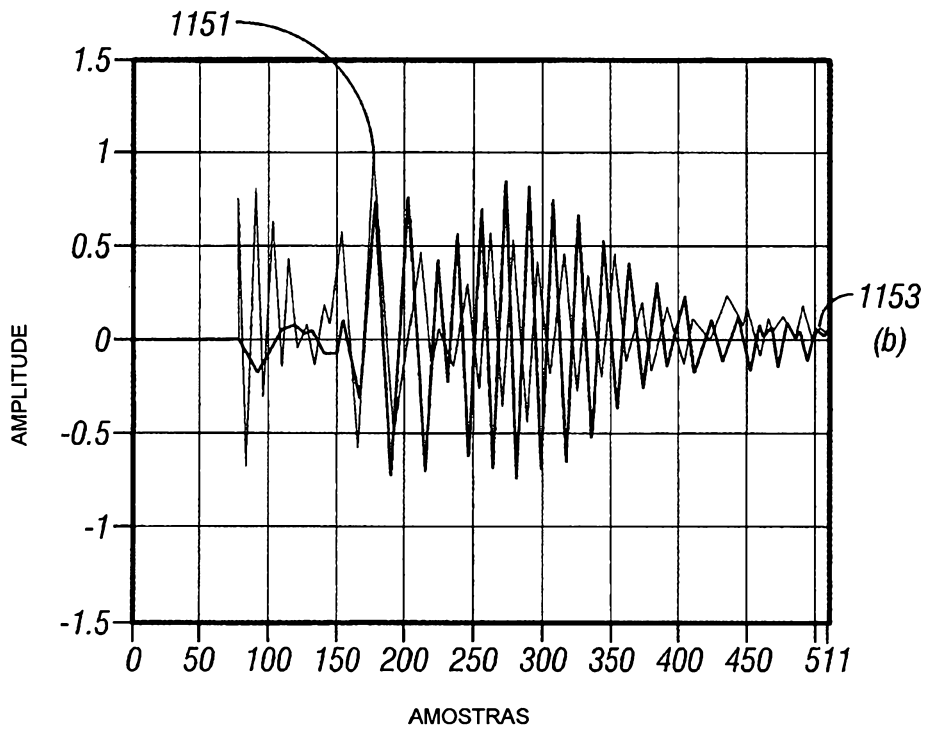
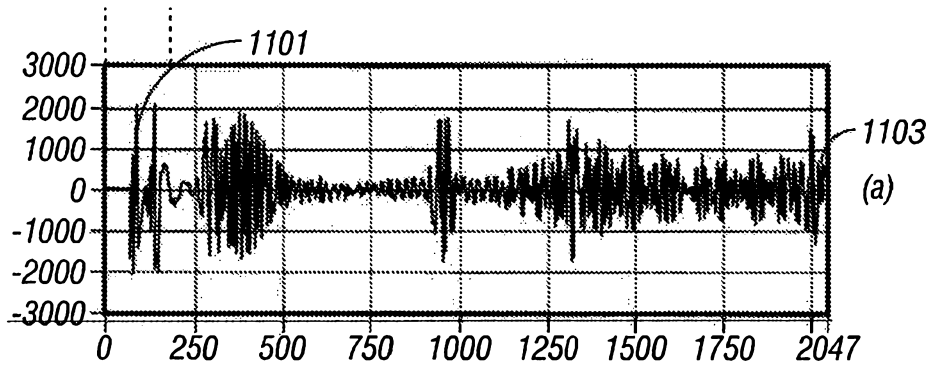


Fig 11

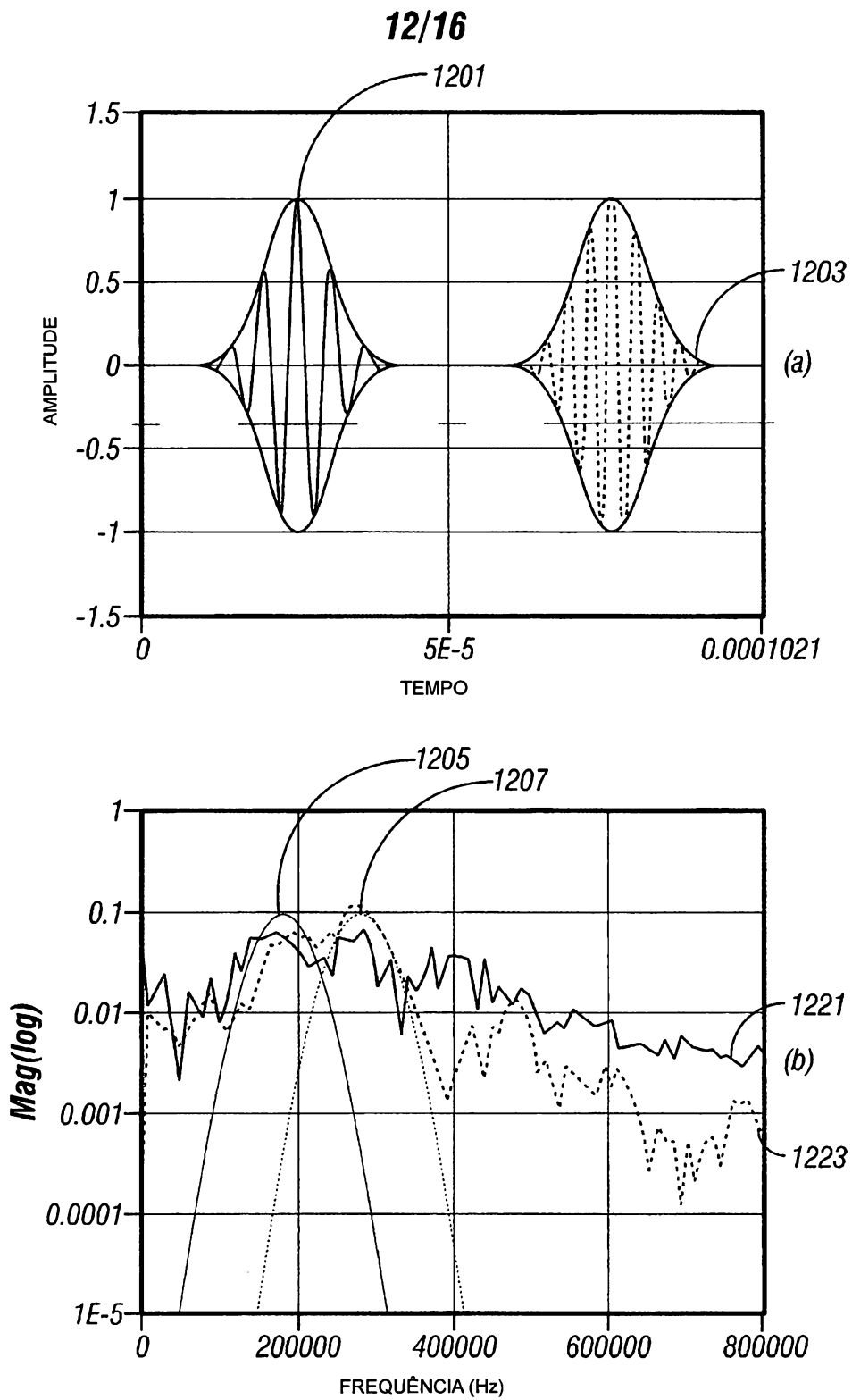


Fig 12

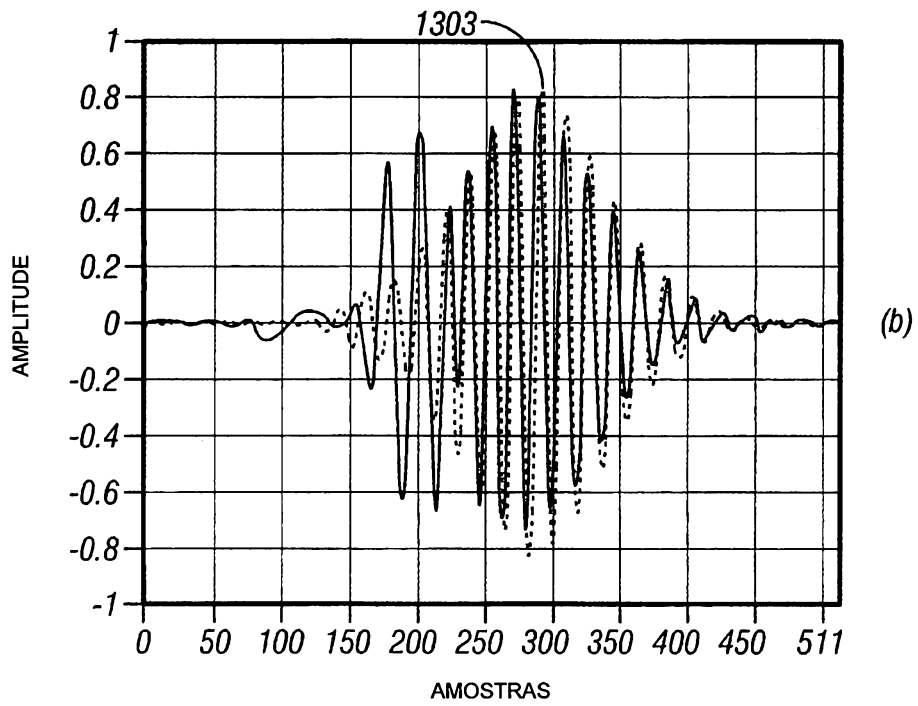
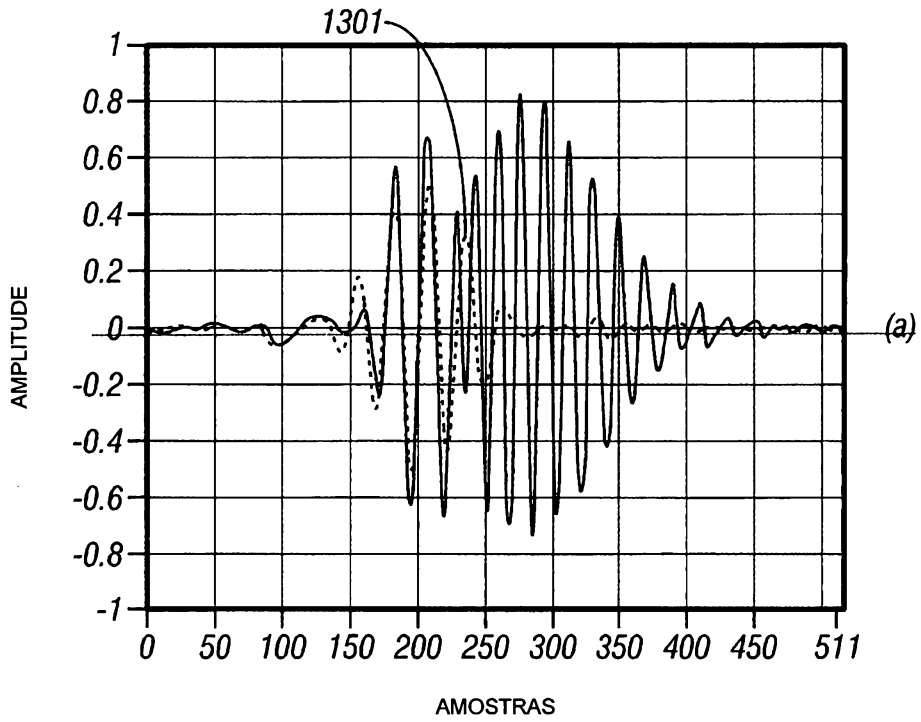


Fig 13

14/16

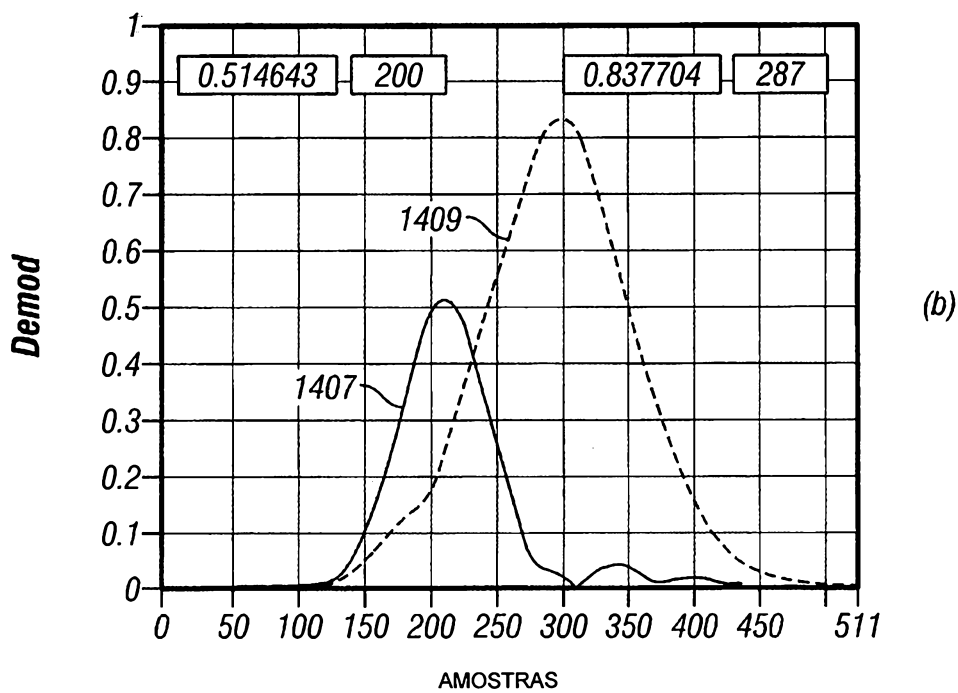
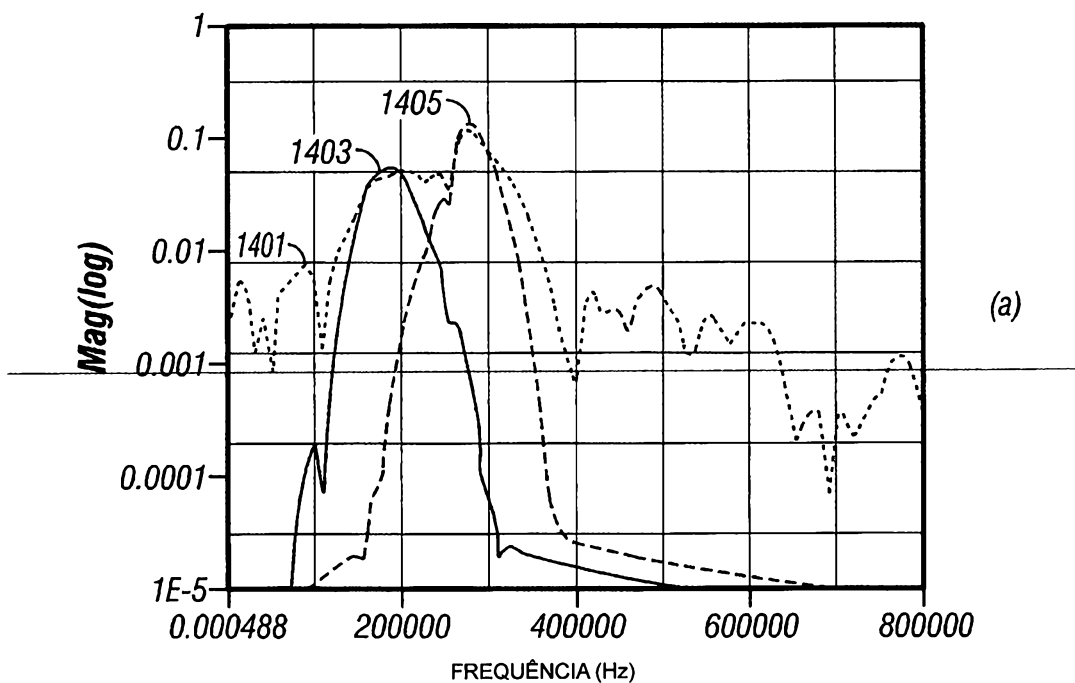


Fig 14

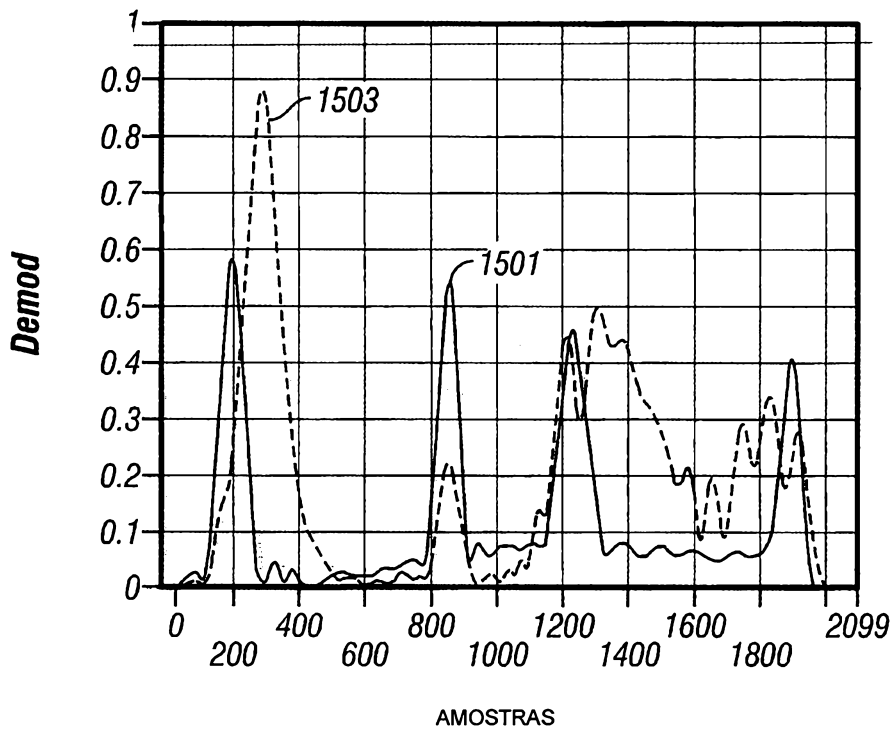


Fig 15

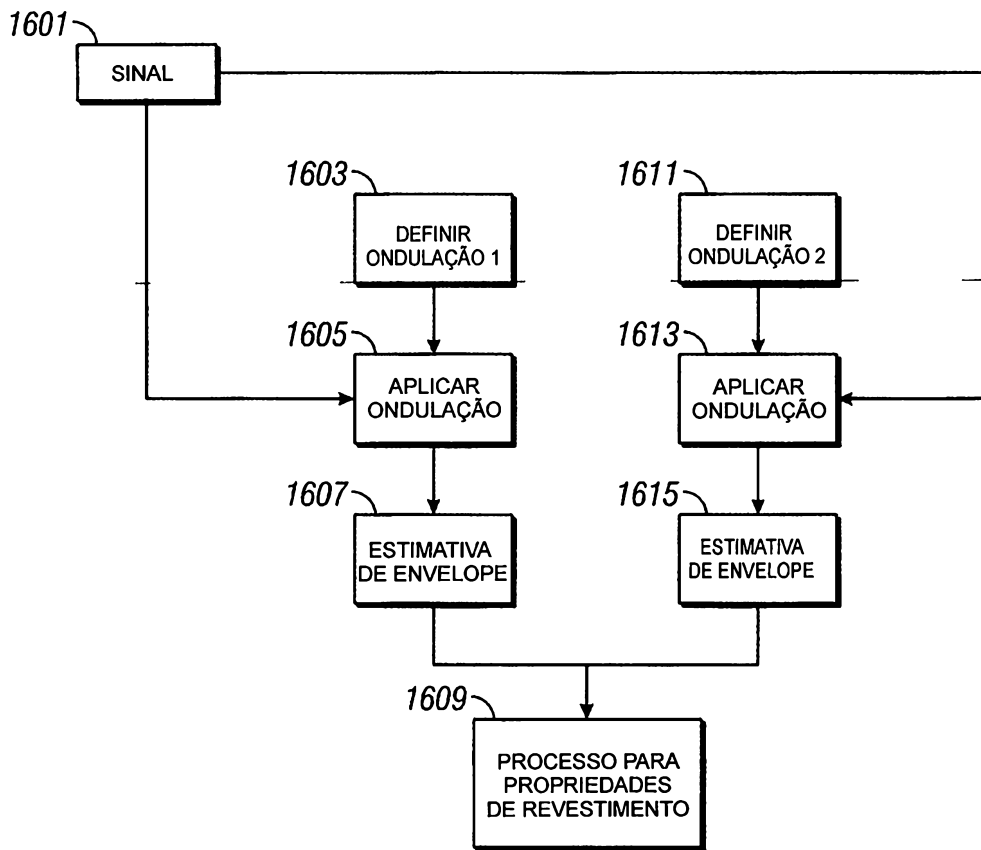


Fig 16