



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

(21) PI 1004966-5 A2



(22) Data de Depósito: 15/12/2010

(43) Data da Publicação: 01/09/2015  
(RPI 2330)

(54) **Título:** MÉTODO PARA ATENUAR RUÍDO DE INTERFERÊNCIA EM DADOS SÍSMICOS DE SENSOR DUPLO

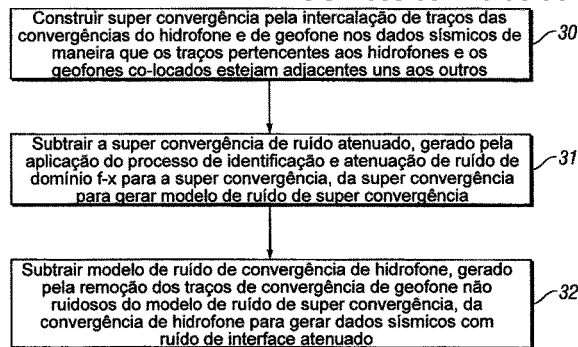
(51) **Int.Cl.:** G01V1/36; G01V1/00; G01V1/28

(30) **Prioridade Unionista:** 16/12/2009 US 12/653,688

(73) **Titular(es):** PGS Geophysical AS

(72) **Inventor(es):** John Brittan

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA ATENUAR RUÍDO DE INTERFERÊNCIA EM DADOS SÍSMICOS DE SENSOR DUPLO. A presente invenção refere-se à construção de uma superconvergência pela intercalação de traços de uma convergência de hidrofone e uma convergência de geofone nos dados sísmicos de maneira que os hidrofones e os geofones colocados estejam adjacentes uns aos outros. Uma superconvergência de ruído atenuado pela aplicação e um processo de identificação e atenuação de ruído de domínio f-x para a superconvergência, é subtraída da superconvergência para gerar um modelo de ruído de superconvergência. Um modelo de ruído de superconvergência, gerado pela remoção dos traços de convergência de geofone não ruidosos do modelo de ruído de superconvergência, é subtraído da convergência de hidrofone para gerar dados sísmicos com ruído de interferência atenuado.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO PARA ATENUAR RUÍDO DE INTERFERÊNCIA EM DADOS SÍSMICOS DE SENSOR DUPLO**".

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

5 1. Campo da Invenção

A presente invenção refere-se em geral ao campo da prospecção geofísica. Especificamente, esta invenção se refere ao campo da atenuação de ruído proveniente dos dados de galhardete sísmicos marítimos.

2. Descrição da Técnica Relacionada

10 Na indústria de petróleo e de gás a prospecção geofísica é comumente usada para auxiliar na pesquisa e avaliação das formações de subsuperfície de solo. As técnicas de prospecção geofísica produzem conhecimento da estrutura de subsuperfície do solo, que é útil para encontrar e extrair recursos minerais valiosos, especificamente depósitos de hidrocarbo-

15 neto como, por exemplo, petróleo e gás natural. Uma técnica bem conhecida de prospecção geofísica é a inspeção sísmica. Em uma inspeção sísmica baseada na terra, é gerado um sinal sísmico na ou próximo à superfície, e então percorre para baixo para a subsuperfície do solo. Em uma inspeção sísmica marítima, o sinal sísmico pode também percorrer para baixo através

20 de um corpo de água sobrepondo a subsuperfície do solo. As fontes de energia sísmica são usadas para gerar o sinal sísmico que, após se propagar no solo, é pelo menos parcialmente refletido pelos refletores sísmicos de subsuperfície. Os refletores sísmicos de subsuperfície estão tipicamente entre as formações subterrâneas dotadas de propriedades elásticas diferentes,

25 especificamente velocidade de onda sonora e densidade de rocha, que levam a diferenças na impedância acústica nas interfaces. A energia sísmica refletida é detectada pelos sensores sísmicos (também chamados receptores sísmicos) na ou próximo à superfície do solo, em um copo se sobrepondo a água, ou em profundidades conhecidas em furos de poço. Os sensores

30 sísmicos geram sinais, tipicamente elétrico ou ótico, da energia sísmica detectada, que são registrados para processamento posterior.

Os dados sísmicos resultantes obtidos na execução da inspeção

sísmica, representativos da subsuperfície do solo, são processados para produzirem informações relativas à estrutura geológica e às propriedades das formações de subsuperfície do solo na área sendo inspecionada. Os dados sísmicos processados são processados para exibição e análise do conteúdo potencial de hidrocarboneto dessas formações subterrâneas. O objetivo do processamento dos dados sísmicos é extrair dos dados sísmicos tanta informação quanto possível com relação às formações subterrâneas para imagear adequadamente a superfície geológica. Para identificar os locais na subsuperfície do solo há uma probabilidade de encontrar acúmulos de petróleo, grandes somas de dinheiro são despendidas para coletar, processar e interpretar os dados sísmicos. O processo de construção das superfícies refletoras que definem as camadas subterrâneas do solo de interesse dos dados sísmicos registrados fornece uma imagem do solo em profundidade ou tempo.

A imagem da estrutura da subsuperfície do solo é produzida para possibilitar que um intérprete selecione os locais com a maior probabilidade de ter acúmulos de petróleo. Para verificar a presença de petróleo, deve ser perfurado um poço. A perfuração de poços para determinar a existência de petróleo é uma tarefa demorada e extremamente característica. Por essa razão, é necessário aperfeiçoar o processamento e a exibição dos dados sísmicos, de maneira a produzir uma imagem da estrutura da subsuperfície do solo que irá aperfeiçoar a habilidade de um intérprete, se a interpretação for feita por um computador ou um humano, para acessar a probabilidade da existência de acúmulo de petróleo em um local específico na subsuperfície do solo.

As fontes sísmicas apropriadas para gerar o sinal sísmico nas inspeções sísmicas no solo podem incluir explosivos ou vibradores. As inspeções sísmicas marítimas empregam uma fonte sísmica submersa rebocada por uma embarcação e periodicamente ativada para gerar um campo de onda acústica. A fonte sísmica que gera o campo de onda pode ser de vários tipos, incluindo uma carga de explosivo pequena, uma fagulha ou arco elétrico, um vibrador marítimo, e, tipicamente uma arma. A arma de fonte

sísmica pode ser uma pistola d'água, máquina de geração de vapor, e, mais tipicamente, uma pistola de ar. Tipicamente, uma fonte sísmica marítima consiste não de um elemento fonte único, mas de um arranjo distribuído espacialmente de elementos fonte. Essa disposição é particularmente exata para ar armas, atualmente a forma mais comum de fonte sísmica marítima.

Os tipos apropriados dos sensores sísmicos tipicamente incluem sensores de velocidade de partícula, particularmente as inspeções em solo, e sensores de pressão de água, particularmente nas pesquisas marítimas. Algumas vezes são usados os sensores de aceleração de partícula ou sensores gradiente de pressão em vez ou além dos sensores de velocidade de partícula. Os sensores de velocidade de partícula e os sensores de pressão d'água são comumente conhecidos na técnica como geofones e hidrofones, respectivamente. Os sensores sísmicos podem ser desdobrados por eles mesmos, mas são mais comumente desdobrados em arranjos de sensor. Adicionalmente, os sensores de pressão e os sensores de velocidade de partícula podem ser desdobrados juntos em uma inspeção marítima, colocados em pares ou pares de arranjos.

Em uma inspeção sísmica marítima típica, uma embarcação de inspeção sísmica se movimenta na superfície, tipicamente em torno de 5 nós, e contém um equipamento de aquisição sísmica, como, por exemplo, controle de navegação, controle de fonte sísmica, controle de sensor sísmico, e equipamento de registro. O equipamento de controle de fonte sísmica leva uma onda sísmica rebocada no corpo da água por uma embarcação sísmica a acionar em períodos selecionados. Os galhardetes sísmicos, também chamados de canos sísmicos, são estruturas alongadas tipo cabo rebocadas no corpo da água por uma embarcação de inspeção sísmica que reboca a fonte sísmica ou por outra embarcação de inspeção sísmica. Tipicamente, uma pluralidade de galhardetes sísmicos é rebocada atrás de uma embarcação sísmica. Os galhardetes sísmicos contêm sensores para detectar os campos de onda refletidos pela fonte sísmica e refletidos das interfaces refletivas. Convencionalmente, os galhardetes sísmicos contêm sensores de pressão como, por exemplo, hidrofones, mas têm sido utilizados ga-

lhardetes sísmicos que contêm sensores de velocidade de partícula como, por exemplo, geofones ou sensores de aceleração de partícula como, por exemplo, acelerômetros, além de hidrofones. Os sensores de pressão e os sensores de movimento de partícula são tipicamente desdobrados próximos, colocado em pares ou pares de arranjos ao longo de um cabo sísmico.

O ruído de interferência é um problema comum crescente nos conjuntos de dados sísmicos. Isso é exato para dos dados sísmicos adquiridos para uso tanto nos ambientes de exploração quanto de produção, mas especialmente no último. O ruído de interferência é proveniente de muitas fontes, incluindo como exemplos, outras embarcações sísmicas, e equipamento e instalações de produção. Mesmo o ambiente natural, na forma de abalos sísmicos, pode ser uma fonte. A diversidade das fontes tem uma diversidade correspondente de características de ruído sísmico. Isso significa que os algoritmos dedicados para eliminar o ruído dentro do conjunto de dados sísmicos deve ser altamente adaptável tanto na sua identificação do ruído quanto na sua preservação do sinal básico.

Portanto, é preciso um método para atenuar o ruído de interferência proveniente dos dados sísmicos de sensor marítimo que identifique efetivamente o ruído de interferência para remoção.

#### 20 BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Esta invenção é um método para converter dados sísmicos registrados em galhardetes de sensor duplo nos dados sísmicos com ruído de interferência atenuado. É construída uma superconvergência pela intercalação dos traços de uma convergência de hidrofone e uma convergência de geofone dos dados sísmicos de maneira que os traços pertencentes aos hidrofones e geofones colocados são adjacentes uns aos outros. Uma superconvergência de ruído atenuado, gerado pela aplicação de um processo de identificação e atenuação de ruído de domínio f-x para a superconvergência, é subtraída da superconvergência para gerar um modelo de ruído de superconvergência. Um modelo de ruído de convergência em hidrofone, gerado pela remoção dos traços de convergência em geofone sem ruído do modelo de ruído de superconvergência, é subtraído da convergência em hidrofone

para gerar dados sísmicos com ruído de interferência atenuado.

### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

5 A invenção e suas vantagens podem ser mais bem compreendida por referência à descrição detalhada que se segue e aos desenhos anexados, nos quais:

As figuras 1a, 1b, e 1c são as três seções sísmicas que ilustram os dados com ruído de interferência, registradas pelos hidrofones;

10 As figuras 2a, 2b e 2c são seções sísmicas ilustrando dados, registrados pelos geofones colocados com os hidrofones nas figuras 1a, 1b e 1c, respectivamente;

A figura 3 é um fluxograma ilustrando uma modalidade da invenção para remover ruído de interferência dos dados de galhardete de sensor duplo sísmico marítimo;

15 A figura 4 é um fluxograma ilustrando uma modalidade adicional da invenção para remover ruído de interferência dos dados de galhardete de sensor duplo sísmico marítimo;

A figura 5 é um fluxograma ilustrando uma modalidade de uma identificação de ruído e processo de atenuação para uso na invenção;

20 A figura 6 é uma seção sísmica ilustrando dados com ruído de interferência, registrado por um hidrofone;

A figura 7 é uma seção sísmica ilustrando dados com ruído de interferência, registrado por um geofone colocado com o hidrofone na figura 6; e

25 A figura 8 é uma seção sísmica ilustrando o hidrofone da figura 6 com ruído de interferência atenuado pelo método da invenção.

Ao mesmo tempo em que a invenção será descrita com relação às suas modalidades preferidas, deve ser compreendido que a invenção não se limita às mesmas. Ao contrário, a invenção pretende cobrir todas as alternativas, modificações, e equivalentes que possam ser incluídos no escopo da invenção, conforme definido pelas reivindicações em anexo.

30

### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

O ruído de interferência sísmica marítima inclui ruído registrado

durante inspeções sísmicas marítimas e que é originado por pelo menos dois motivos. Primeiro, o ruído de interferência pode ser ocasionado pelas operações mecânicas de outras entidades dentro do local de uma inspeção sísmica. Essas outras entidades poderiam incluir, por exemplo, sondas, outras embarcações sísmicas, e embarcações não sísmicas. Esse ruído é comumente referido por um termo genérico “ruído de navio”. Segundo, o ruído de interferência pode ser ocasionado por energia sísmica gerada por uma fonte sísmica rebocada por uma embarcação sísmica que tenha sido retroespalhada de um difrator e chegue ao galhardete durante o ciclo de registro. Esses difradores de superfície deveriam incluir, por exemplo, uma sonda próxima. Esse ruído é geralmente referido como um “ruído retroespalhado”.

O ruído de interferência frequentemente aparece nos dados sísmicos de senso duplo com características diferentes em sensores colocados diferentes. Por exemplo, o ruído de interferência frequentemente aparece diferentemente nos registros dos hidrofones e geofones colocados. Geralmente, o ruído de interferência geralmente percorre através da camada de água em uma maneira preferencialmente horizontal. Portanto, o ruído de interferência aparece mais forte para um hidrofone omnidirecional do que para um geofone orientado verticalmente. Um exemplo dessa diferença no ruído de interferência detectado nas figuras 1a, 1b, e 1c e nas figuras 2a, 2b e 2c.

As figuras 1a, 1b, e 1c são três seções sísmicas ilustrando dados com ruído de interferência, registrado por hidrofones. Três tiros óticos estão ilustrados com ruído de interferência sísmica forte detectado pelos sensores de pressão onidirecional, os hidrofones. Esse ruído de interferência forte está indicado nos pontos 10, 11, 12, 13, 14 e 15 e nas figuras 1a, 1b, e 1c.

As figuras 2a, 2b e 2c são três seções sísmicas ilustrando dados, registrados pelos geofones colocados com os hidrofones das figuras 1a, 1b, e 1c, respectivamente. Os mesmos três tiros ilustrados nas figuras 1a, 1b, e 1c estão ilustrados, com, no máximo ruído de interferência sísmica muito fraco detectado pelos sensores de velocidade vertical, os geofones.

Por exemplo, há ouço ruído de interferência visível na figura 2a nas áreas correspondentes ao ruído de interferência em 10 e 11 na figura 1a. A invenção explora essas diferenças entre as características dos dados registrados de hidrofone e geofone para atenua efetivamente o ruído de interferência sísmica.

A figura 3 é um fluxograma ilustrando uma modalidade da invenção para remover ruído de interferência dos dados de galhardete do sensor duplo sísmico marítimo.

No bloco 30, é construído uma superconvergência pelo interca-  
10 lação dos traços de um galhardete de hidrofone e um galhardete de geofone nos dados sísmicos de maneira que os dados pertencentes aos hidrofones e geofones colocados sejam adjacentes uns aos outros.

No bloco 31, uma superconvergência de ruído atenuado, gerado pela aplicação de um processo de identificação e atenuação de ruído de domínio f-x para a superconvergência, é subtraído da superconvergência para gerar um modelo de ruído de superconvergência.

No bloco 32, um modelo de ruído de convergência em hidrofone, gerado pela remoção dos traços de convergência de geofone de não ruído do modelo de ruído de superconvergência é subtraído da convergência em  
20 hidrofone para gerar dados sísmicos com ruído de interferência atenuado.

A figura 4 é um fluxograma ilustrando uma modalidade adicional da invenção para remover ruído de interferência dos dados de galhardete de sensor duplo sísmico marítimo. A figura 4 ilustra uma versão mais detalhada da modalidade apresentada na figura 3 acima.

No bloco 40, são obtidos os dados sísmicos para atenuação de ruído de interferência. Os dados sísmicos são os dados sísmicos de sensor duplo marítimo que foram adquiridos usando os galhardetes rebocados. Os dados sísmicos de sensor duplo são adquiridos dos sensores de pressão colocados e dos sensores de movimento de partícula registrados nos galhardetes rebocados.

A invenção será aqui ilustrada com os sensores de pressão sendo hidrofones e os sensores de movimento de partícula sendo sensores de

velocidade vertical, particularmente, geofones. Portanto, nessa presente modalidade, o conjunto dos dados sísmicos compreende dados de hidrofone e dados de geofone. Contudo, a invenção não está limitada a esses tipos de sensores. Por exemplo, os sensores de movimento de partícula poderiam ser sensores de aceleração de partícula, particularmente, acelerômetros. Os hidrofones e os geofones serão usados apenas para fins ilustrativos.

Os hidrofones e os geofones não respondem mecanicamente aos efeitos físicos correspondentes da velocidade de pressão de partícula, respectivamente, de uma onda sísmica que passa com sinais da mesma amplitude. A diferença na resposta de sinal entre os hidrofones e os geofones são devido às constantes transduções diferentes ou repostas de fone para os diferentes sensores que determinam a conversão do efeito mecânico detectado para um sinal elétrico. Os hidrofones e os geofones também não acoplam fisicamente ao meio circundante com a mesma eficiência.

Os dados de hidrofone e os dados de geofone são ajustados ou filtrados para compensar as diferenças intrínsecas em sua resposta ao sinal sísmico, se as respostas não se equipararem. As diferenças na resposta e seus filtros corretivos são bem conhecidos na técnica do processamento de dados sísmicos. Essas diferenças na resposta incluem, mas não se limitam às diferenças entre os hidrofones e os geofones com relação à sua transdução, resposta de fone, e eficiência de acoplamento. Qualquer um desses filtros pode ser aplicado tanto para sinais de hidrofone e de geofone ou a ambos, como no estado da técnica.

No bloco 41, é selecionada uma convergência dos dados de hidrofone nos dados sísmicos obtidos no bloco 40. Similarmente, no bloco 42, é selecionada uma convergência de geofone dos dados de geofone nos dados sísmicos obtidos no bloco 40. A convergência de geofone é selecionada para corresponder à convergência de hidrofone selecionada no bloco 41 em que as duas convergências contêm traços de hidrofone e de geofone, respectivamente, que são registrados simultaneamente dos sensores colocados.

No bloco 43, é construída uma superconvergência da conver-

gência de hidrofone e da convergência de geofone selecionada nos blocos 41 e 42. A superconvergência é construída pela intercalação dos traços da convergência de hidrofone com os traços da convergência de geofone de maneira que os traços pertencentes aos hidrofones e aos geofones colocados sejam adjacentes uns aos outros na superconvergência.

No bloco 44, é gerado uma superconvergência de ruído atenuado pela aplicação de um processo de identificação e atenuação de ruído de domínio f-x para a superconvergência dos traços intercalados. O processo identifica os segmentos de traço de ruído, limita as amplitudes das frequências afetadas, aplica a filtragem de predição f-x iterativa, e substitui os segmentos de traço com suas versões filtradas. Os traços sem ruído não são alterados. O ruído de interferência sísmica deveria aparecer como altamente incoerente nas convergências intercaladas e, portanto, será especificamente identificado pelo processo para atenuação, assegurando que o ruído de interferência seja atenuado enquanto o sinal é preservado. O processo de atenuação de ruído está descrito mais detalhadamente abaixo no comentário com referência ao fluxograma na figura 5.

No bloco 43, é gerado um modelo de ruído de superconvergência pela subtração da superconvergência de ruído atenuado do bloco 44 da superconvergência original do bloco 43. O modelo de ruído de superconvergência substancialmente compreende (em princípio) os traços ruidosos contidos nas convergências de hidrofone e de geofone originais. No bloco 46, é gerado um modelo de ruído de convergência de hidrofone pela remoção dos traços da convergência de geofone sem ruído do modelo de ruído de superconvergência do bloco 45. Esse processo essencialmente separa a superconvergência, na forma de modelo de ruído de superconvergência vigente, para a convergência de geofone e a convergência de hidrofone, na forma de modelo de ruído de convergência de hidrofone vigente. O modelo de ruído de convergência de hidrofone substancialmente compreende (em princípio) os traços de ruído, aqueles traços contendo o ruído de interferência sísmica, da convergência de hidrofone original.

No bloco 47, os dados sísmicos com ruído de interferência ate-

nuado são gerados pela subtração do modelo de ruído de convergência de hidrofone do bloco 46 da convergência de hidrofone original do bloco 40. A subtração pode ser feita de qualquer maneira apropriada. A maneira de subtração inclui, mas não se limita à subtração direta, subtração adaptável usando filtros mínimos quadrados no tempo definido de uso e nas janelas de espaço, a subtração adaptável baseada em uma norma  $L^1$ , e em um método baseado no reconhecimento padrão.

Na subtração adaptável, é designado um conjunto de filtros, com base na extensão de janela e extensão de filtro selecionadas. Aqui, os filtros são convolvidos com o modelo de ruído de convergência de hidrofone e então a convolução é subtraída da convergência de hidrofone. A energia total dos dados sísmicos de ruídos atenuados resultantes será minimizada, no sentido do quadrado mínimo, quando os filtros forem apropriadamente determinados.

Em uma modalidade exemplificativa, o modelo de ruído da convergência de hidrofone e da convergência de geofone é separado em janelas separadas. Cada janela pode ter extensões de tempo específico de usuário e de janela de espaço. Na modalidade exemplificativa, as janelas se sobrepõem uma à outra em torno de 50% da extensão de janela na direção do tempo ou do espaço. Portanto, cada amostra de tempo (à parte das bordas do topo, do fundo, mão esquerda, e mão de direita de uma convergência de traço) será copiada para quatro janelas. Então, em algumas modalidades, é aplicado um estreitamento quadrado co-seno em cada janela para as amostras do centro da convergência para cima e para baixo (na direção do tempo) e para esquerda e direita (isto é, na direção do positivo x espaço).

A determinação do filtro mínimo quadrado é feita em uma base de janela por janela com resultados independentes de janela para janela. Portanto, as seções de sobreposição são copiadas múltiplas vezes, múltiplamente filtradas e então somadas juntas no final. Em uma modalidade desse tipo, os filtros para cada janela são filtros Wiener quadrados mínimo, que são calculados em uma maneira convencional usando o algoritmo Wiener-Levinson. Os filtros ótimos são filtros de convolução temporal que podem

variar de janela para janela. Quando os filtros são determinados e a energia em cada janela é minimizada, então o resultado representa os dados sísmicos dotados de ruído de interferência mínimo.

5 A figura 5 é um fluxograma ilustrando uma modalidade de um processo de identificação e atenuação de ruído para uso na invenção. Esse é o processo aplicado à superconvergência do bloco 43 da figura 4 para gerar uma superconvergência de ruído atenuado no bloco 44 da figura 4, acima. Esse processo inclui a detecção de segmentos de traço de ruído, e a substituição desses segmentos com a versão filtrada f-x em cada iteração,  
10 enquanto os segmentos de traço sem ruído permanecem inalterados.

No bloco 50, é selecionada uma variação de frequência de ruído para englobar a variação de frequência do ruído de interferência antecipado na superconvergência do bloco 43 da figura 4.

No bloco 51, a superconvergência é dividida em uma série de  
15 janelas temporais de sobreposição com um número limitado de traços em cada janela. No bloco 52, é selecionada uma das janelas espacial temporal do bloco 51.

No bloco 53, os dados de superconvergência na janela temporal espacial selecionada no bloco 52 são transferidos do domínio de tempo -  
20 espaço para o domínio de frequência – espaço. No bloco 54, é selecionado um dos traços nos dados de superconvergência transformados do bloco 53 na janela selecionada no bloco 53.

No bloco 55, os dados de superconvergência transformados no traço selecionado no bloco 54 são examinados para ruído de interferência. A  
25 energia no segmento do traço dentro da variação do ruído de interferência é comparada com a energia do restante dos segmentos de traço fora da variação do ruído de interferência para ver se a energia anterior é significativamente mais alta do que a última energia. Se a energia no segmento de traço da variação do ruído de interferência for significativamente mais alta, então o  
30 segmento de traço é designado como não ruidoso.

No bloco 56, as amplitudes do segmento de traço em um segmento de traço ruidoso são limitadas a um valor médio. A limitação é feita

apenas na variação de frequências de ruído. As amplitudes do segmento de traço nos segmentos de tração não ruidosos não são alteradas.

No bloco 57, é determinado se há traços adicionais remanescentes dentro da janela selecionada, se os traços permanecerem, então o processo retorna para o bloco 54 para selecionar outro traço. Se não permanecer nenhum traço, então o processo continua no bloco 58.

No bloco 58 é determinado se há janelas adicionais remanescentes dentro da superconvergência, se ainda houver janelas, então o processo retorna para o bloco 52 para selecionar outra janela. Se não houver nenhuma janela, então o processo continua para o bloco 59.

No bloco 59, é determinado se há iterações adicionais remanescentes do processo desejado. Se forem desejadas iterações adicionais, então o processo retorna para o bloco 51 onde a superconvergência com o ruído de interferência atenuado é novamente filtrado f-x.

Esse processo é um tipo de filtragem de erro de predição f-x. Após a primeira iteração da filtragem de predição f-x, os segmentos de traço que foram classificados como ruidosos são substituídos por suas versões filtradas. Em cada iteração realizada, os filtros de erro de predição são recalculados e serão filtros melhores uma vez que o ruído foi parcialmente atenuado. Ademais, esses filtros melhores de erro de predição serão aplicados para dados mais limpos para prever os traços de ruído de maneira que os resultados irão melhorar gradualmente. O número de iterações que são necessárias depende dos dados, particularmente o número de traços ruidosos, mas é tipicamente pequeno.

Em uma modalidade, a filtragem de erro de predição f-x iterativa usa filtros de predição para frente e para trás livres de transiente, separados, em cada iteração, e os resultados são calculados. As exceções são os primeiros traços em cada janela, onde é usada apenas a predição para trás, e os últimos traços, onde apenas é usada a predição para frente. Em uma modalidade alternativa, é empregada a minimização simultânea da predição para frente e para trás.

Em uma modalidade adicional, é aplicada a filtragem de predi-

ção f-x iterativa em um padrão de cascata para a mesma convergência ou outros tipos de convergências para atenuação de ruído adicional. Em uma modalidade exemplificativa, a filtragem de predição f-x iterativa é primeiro aplicada em uma convergência de tiro. O ruído remanescente está principal-  
5 mente presente nos traços que foram identificados como traços não ruidosos. A filtragem de predição f-x iterativa é então reaplicada para uma convergência receptora.

As figuras 6, 7 e 8 ilustram a eficácia do método da invenção para atenuar ruído de interferência em dados sísmicos de sensor duplo. A figura 6 é uma seção sísmica ilustrando dados com ruído de interferência, registrados por um hidrofone. O ruído de interferência está indicado nos pontos de referência 60 e 61. A figura 7 é uma seção sísmica ilustrando dados com ruído de interferência, registrados por um geofone colocado com o hidrofone na figura 6. Novamente, há pouco ruído de interferência visível na figura 7  
15 nas áreas que correspondem ao ruído de interferência em 60 e 61 na figura 6. A figura 8 é uma seção sísmica ilustrando os dados de hidrofone da figura 6 com o ruído de interferência atenuado pelo método da invenção. O ruído de interferência nas áreas correspondentes ao ruído de interferência em 60 e 61 na figura 6 está agora substancialmente atenuado.

A invenção foi comentada acima como um método, apenas para fins ilustrativos, mas pode ser também implementada como um sistema. O sistema da invenção é preferivelmente implementada por meio de computadores, especificamente computadores digitais, juntamente com outro equipamento de processamento de dados convencional. Tal equipamento de processamento de dados, bem conhecido na técnica, compreende qualquer  
25 combinação apropriada ou rede de equipamento de processamento de computador, incluindo, mas não se limitando a hardware (processadores, dispositivo de armazenamento temporário ou permanente, e qualquer outro equipamento de processamento de computador apropriado), software (sistemas de operação, programas de aplicação, bibliotecas de programa matemático,  
30 e qualquer outro software apropriado), conexões (elétrica, ótica, sem fio, ou de outra maneira), e periféricos (dispositivos de entrada e saída) como, por

exemplo, teclados, dispositivos de apontamento, e scanners, dispositivos de exibição como, por exemplo, monitores e impressoras; meio de armazenamento legíveis de computador como, por exemplo, fitas, discos e unidades rígidas, e qualquer outro equipamento apropriado.

5                   Em outra modalidade, a invenção poderia ser implementada como o método descrito acima, especialmente realizado usando um computador programável para executar o método. Em outra modalidade, a invenção poderia ser implementada como um programa de computador armazenado em um meio legível de computador, com um programa dotado de lógica operável para levar um computador programável a executar o método acima descrito. Em outra modalidade, a invenção poderia ser implementada como um meio legível de computador com um programa de computador armazenado no meio, de maneira que o programa tenha lógica operável para levar um computador programável a executar o método acima descrito.

15                   Deve ser compreendido que o antecedente é meramente uma descrição detalhada de modalidades específicas desta invenção e que podem ser feitas numerosas alterações, modificações, e alternativas nas modalidades descritas de acordo com a presente descrição sem se afastar do escopo da invenção. Portanto, a descrição precedente não pretende limitar o escopo da invenção. Ao contrário, o escopo da invenção deve ser determinado apenas pelas reivindicações em anexo e suas equivalências.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para converter dados sísmicos registrados dos galhardetes de sensor duplo marítimo para dados sísmicos com ruído de interferência atenuado, compreendendo:

- 5                   usar um computador programável para executar o seguinte:  
                  construir uma superconvergência pela intercalação dos traços de uma convergência de hidrofone e uma convergência de geofone nos dados sísmicos de maneira que os traços pertencentes a hidrofones e geofones colocados sejam adjacentes uns aos outros;
- 10                  subtrair uma superconvergência de ruído atenuado, gerado pela aplicação de um processo de identificação e atenuação de um ruído de domínio f-x para a superconvergência, da superconvergência gerar um modelo de ruído de superconvergência; e
- subtrair um modelo de ruído de convergência de hidrofone pela  
15                  remoção dos traços de convergência de geofone não ruidosos do modelo de ruído de superconvergência, da convergência de hidrofone para gerar dados sísmicos com ruído de interferência atenuado.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a superconvergência compreende:

- 20                  obter dados sísmicos registrados de galhardetes de sensor duplo marítimo, em que os dados sísmicos compreendem dados de hidrofone e dados de geofone; e
- usar um computador programável para executar o seguinte:  
                  selecionar uma convergência de hidrofone dos dados de hidro-  
25                  fone nos dados sísmicos obtidos;  
                  selecionar uma convergência de geofone dos dados de geofone nos dados sísmicos obtidos; e
- construir uma superconvergência pela intercalação de traços das convergência de hidrofone selecionadas com traços da convergência de ge-  
30                  ofone selecionada de maneira que os traços pertencentes aos hidrofones e geofones colocados sejam adjacentes uns aos outros na superconvergência.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, em que um super-

convergência de ruído atenuado compreende:

gerar uma superconvergência de ruído atenuado pela aplicação de um processo de identificação e atenuação de ruído de domínio f-x par a superconvergência; e

- 5 gerar um modelo de ruído de superconvergência pela subtração da superconvergência de ruído atenuado da superconvergência.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, em que a subtração de um modelo de ruído de convergência de hidrofone compreende:

- 10 gerar um modelo de ruído de convergência de hidrofone pela remoção dos traços de convergência de geofone não ruidosos do modelo de ruído de superconvergência; e

gerar dados sísmicos com ruído de interferência atenuado pela subtração do modelo de ruído de convergência de hidrofone da convergência de hidrofone.

- 15 5. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o processo de identificação e atenuação de ruído de domínio f-x compreende:

selecionar uma variação de frequência de ruído par englobar o ruído de interferência antecipado na superconvergência;

- 20 dividir a superconvergência em uma série de janelas espacial – temporal de sobreposição com um número limitado de traços em cada janela;

executar o que se segue para cada janela:

- 25 transformar os dados de superconvergência na janela espacial temporal do domínio de tempo – espaço para o domínio de frequência – espaço;

executar o que se segue para cada traço dos dados de superconvergência transformados na janela

- 30 designar um segmento de traço na variação de frequência de ruído no traço como ruidosa se a energia no segmento de traço for significativamente mais alta do que o restante do traço;

limitar as amplitudes de segmento de traço em um segmento de traço ruidoso para um valor médio.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, em que o processo de identificação e atenuação de ruído de domínio f-x é executado iterativamente.

5 7. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a subtração do modelo de ruído de convergência de hidrofone da convergência de hidrofone é feita por um método selecionado do grupo compreendendo subtração direta, subtração adaptável, e métodos de reconhecimento padrão.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, em que a subtração adaptável usa filtros menos quadrados em tempo definido de usuário e janelas de espaço.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, em que a subtração adaptável é baseada em uma norma  $L^1$ .

10. Meio legível de computador com um programa de computador armazenado no mesmo, o programa sendo lógica operável para levar um computador programável a executar as etapas compreendendo:

construir uma superconvergência pela intercalação de traços da uma convergência de hidrofone e uma convergência de geofone nos dados sísmicos que os traços pertencem para que os hidrofones e geofones colocados sejam adjacentes uns aos outros;

20 subtrair uma superconvergência de ruído atenuado, gerado pela aplicação do processo de identificação e atenuação de ruído de domínio f-x para a superconvergência, da superconvergência gerar um modelo de ruído de superconvergência; e

25 subtrair um modelo de ruído de convergência de hidrofone =, gerada pela remoção da convergência de hidrofone não ruidosa do modelo de ruído de superconvergência da convergência de hidrofone para gerar dados sísmicos com ruído de interferência atenuado.

11. Meio, de acordo com a reivindicação 8, em que a construção de uma superconvergência compreende:

30 selecionar dados sísmicos para atenuação de ruído de interferência, em que os dados sísmicos compreendem dados de hidrofone e dados de geofone;

selecionar uma convergência de hidrofone dos dados de hidrofone nos dados sísmicos selecionados;

selecionar uma convergência de geofone dos dados de geofone nos dados sísmicos selecionados; e

- 5           construir uma superconvergência pela intercalação de traços da convergência de hidrofone com os traços da convergência de geofone de maneira que os traços pertencentes aos hidrofones e geofones colocados estejam adjacentes uns aos outros na superconvergência.

12. Meio, de acordo com a reivindicação 8, em que a subtração da superconvergência do ruído atenuado compreende:

gerar uma superconvergência de ruído atenuado pela aplicação do processo e identificação e atenuação do ruído de domínio f-x para a superconvergência; e

- 15           gerar um modelo de ruído de superconvergência pela subtração da superconvergência do ruído atenuado da superconvergência.

13. Meio, de acordo com a reivindicação 8, em que a subtração do modelo de ruído de convergência de hidrofone compreende:

- 20           gerar um modelo de ruído de convergência de hidrofone pela remoção dos traços de convergência de geofone não ruidosa do modelo de ruído de superconvergência; e

gerar dados sísmicos atenuados de ruído de interferência pela subtração do modelo de ruído de convergência de hidrofone da convergência de hidrofone.

- 25           14. Meio, de acordo com a reivindicação 8, em que o processo de identificação e atenuação do ruído de domínio f-x compreende:

selecionar uma variação de frequência de ruído para englobar o ruído de interferência antecipado na superconvergência;

dividir a superconvergência em uma série de janelas espacial – temporal de sobreposição com um número limitado de traços em cada janela;

- 30           executar o que se segue para cada janela:

transformar os dados de superconvergência na janela temporal espacial do domínio de tempo – espaço para o domínio de frequência – es-

paço;

executar o que se segue para cada traço nos dados de superconvergência transformados na janela

5      designar um segmento de traço na variação de frequência de ruído no traço como ruidosa se a energia no segmento de traço for significativamente mais alta do que o restante do traço;

limitar as amplitudes do segmento de traço em um segmento de traço para um valor médio.

10      15. Meio, de acordo com a reivindicação 14, em que o processo de identificação e atenuação do ruído de domínio f-x é iterativamente executado.

15      16. Meio, de acordo com a reivindicação 8, em que a subtração do modelo de ruído da convergência de hidrofone da convergência de hidrofone é feita por um método selecionado do grupo consistindo de subtração direta, subtração adaptável, e métodos de reconhecimento padrões.

17. Meio, de acordo com a reivindicação 16, em que a subtração adaptável usa filtros menos quadrados nas janelas de tempo definido de usuário de espaço.

20      18. Meio, de acordo com a reivindicação 16, em que a subtração adaptável é baseada em uma norma  $L^1$ .

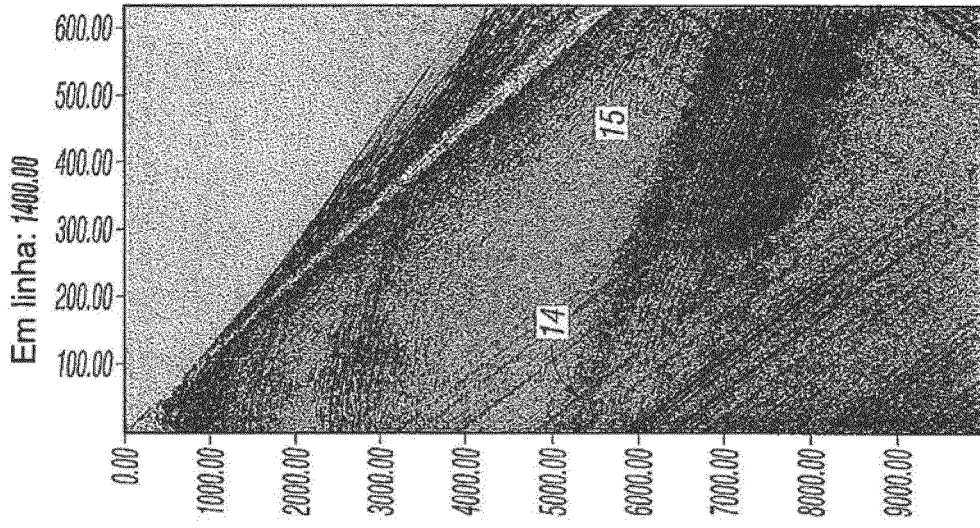


FIG. 1C

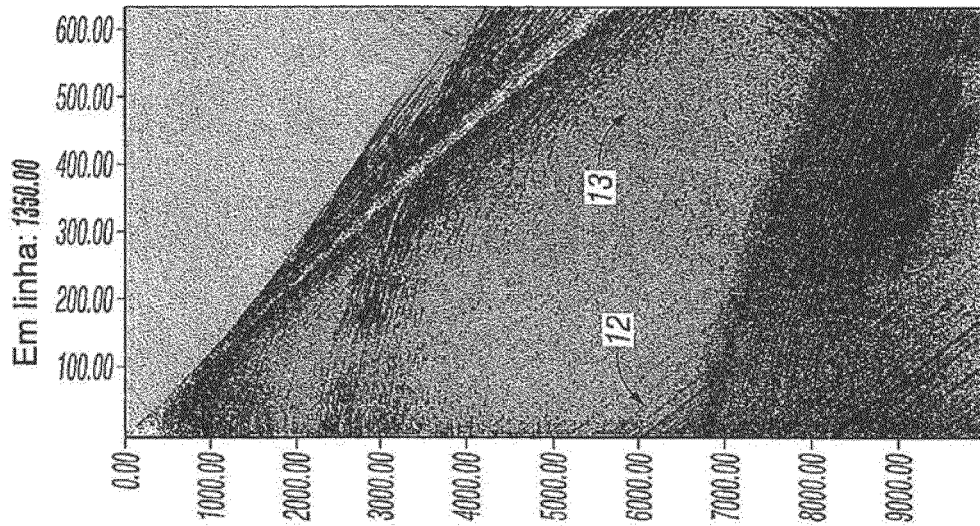


FIG. 1B

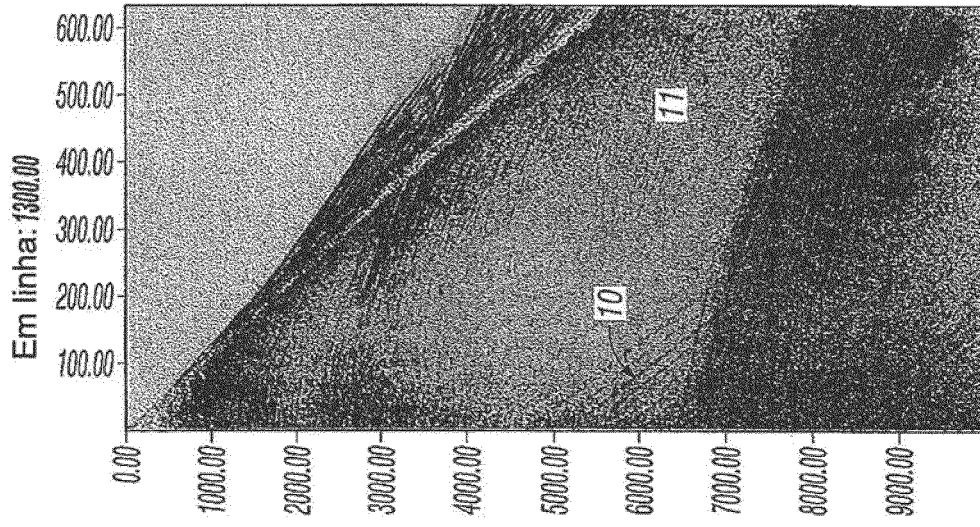


FIG. 1A

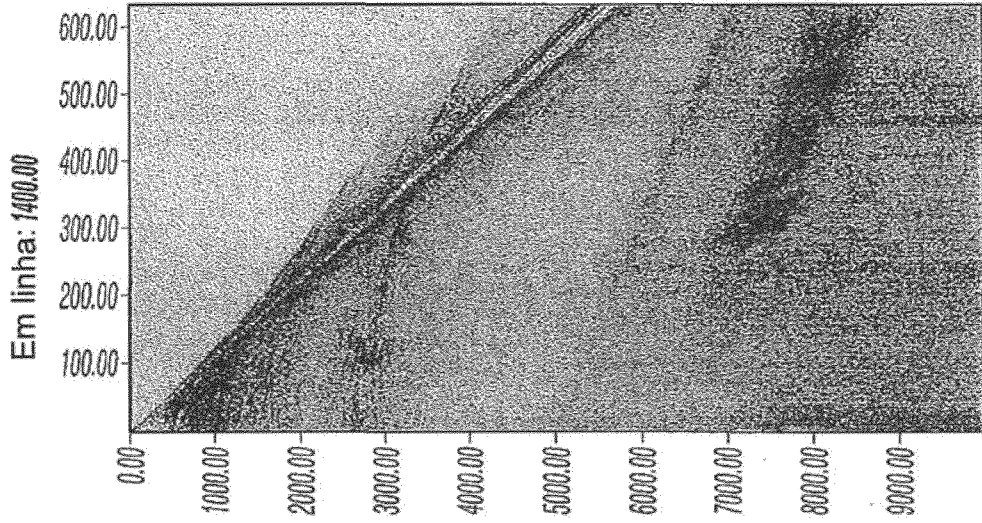


FIG. 2C

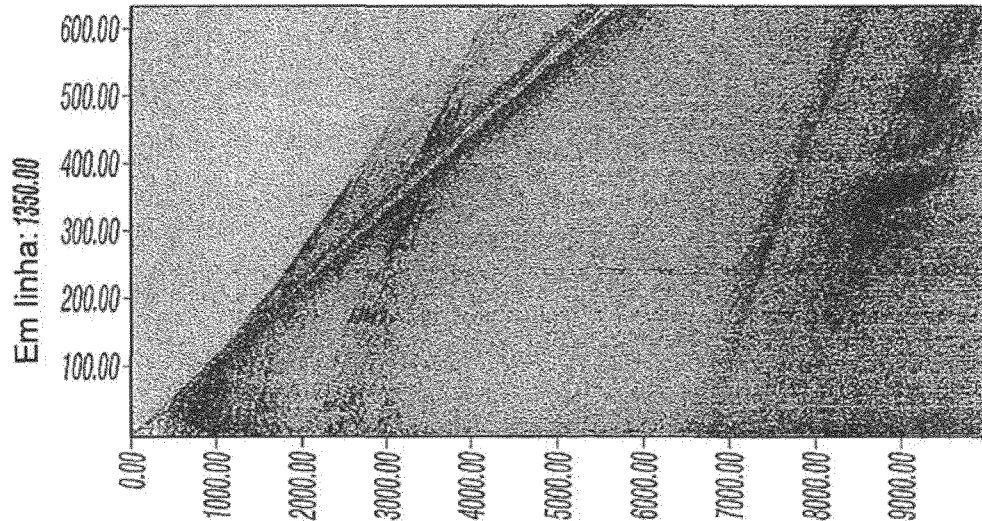


FIG. 2B

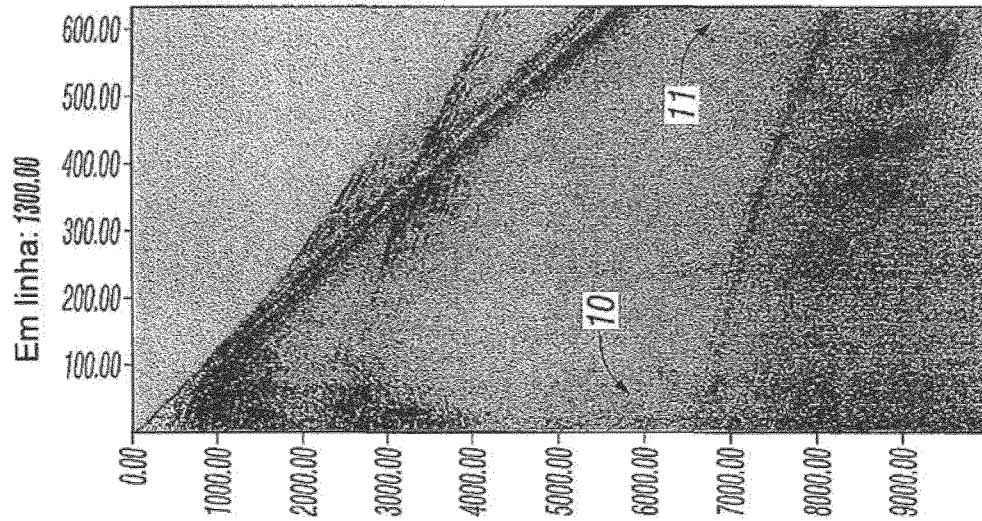
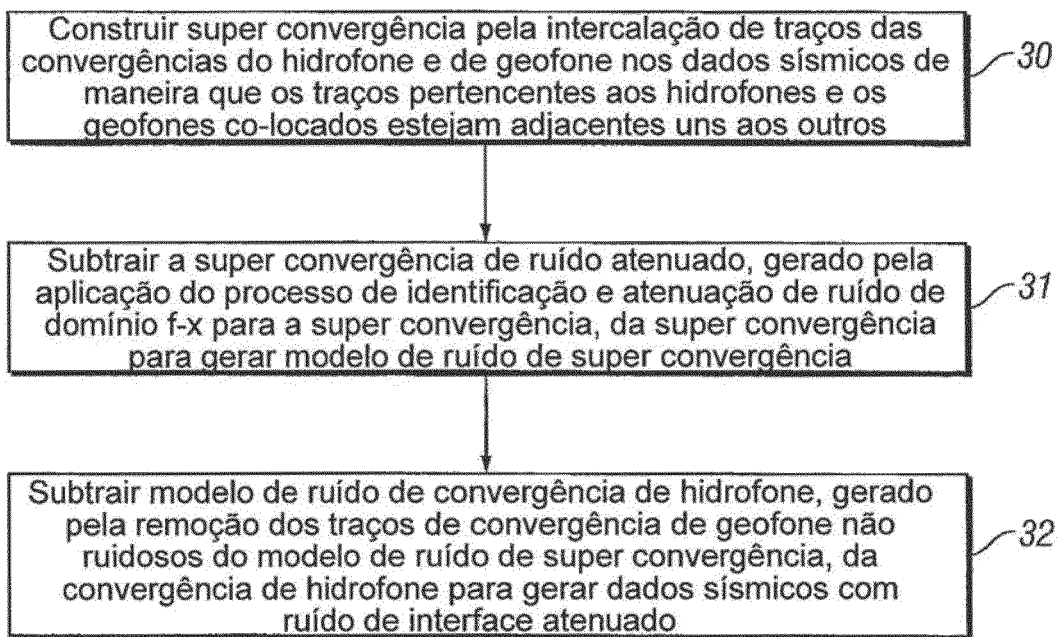


FIG. 2A

**FIG. 3**

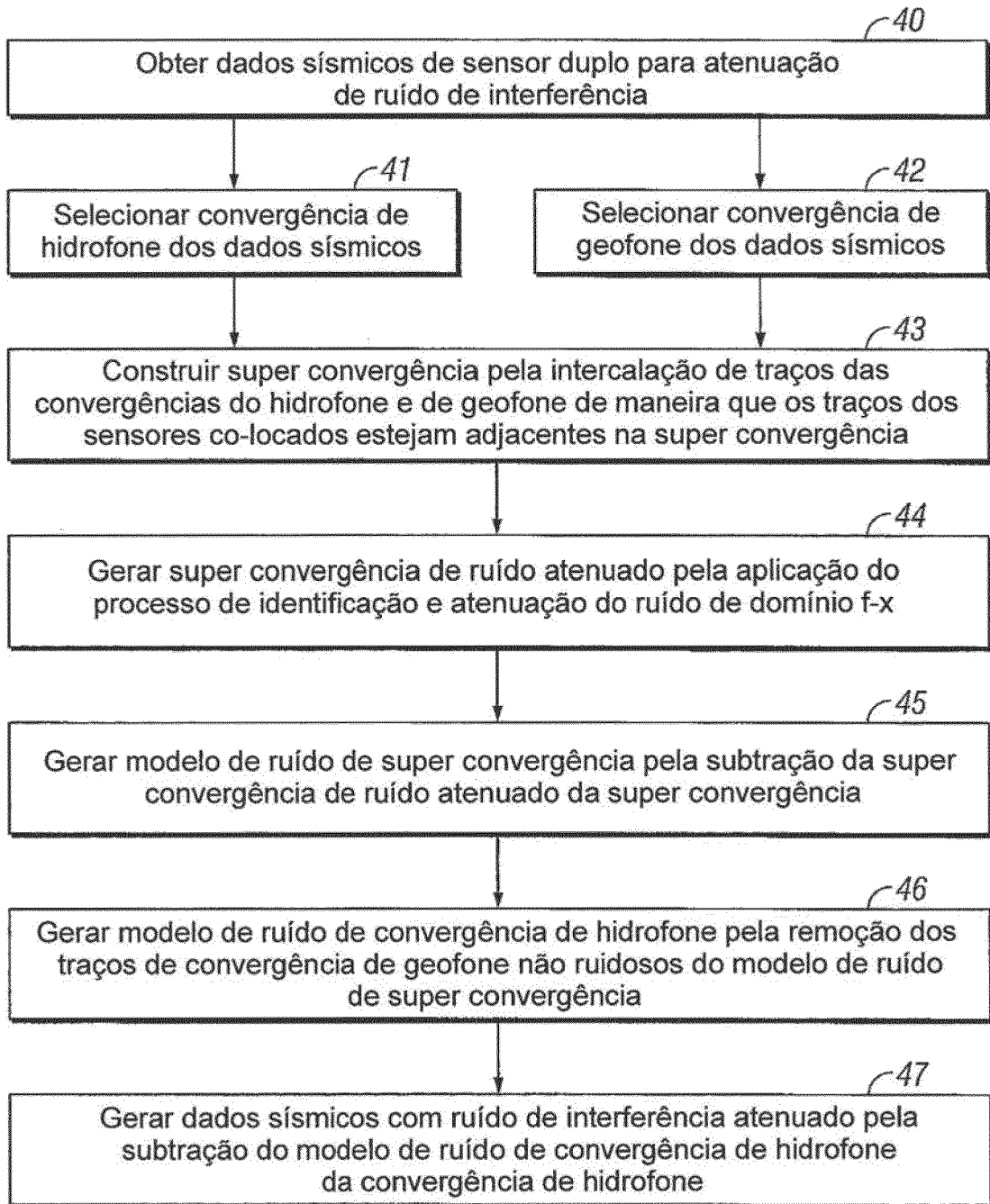


FIG. 4

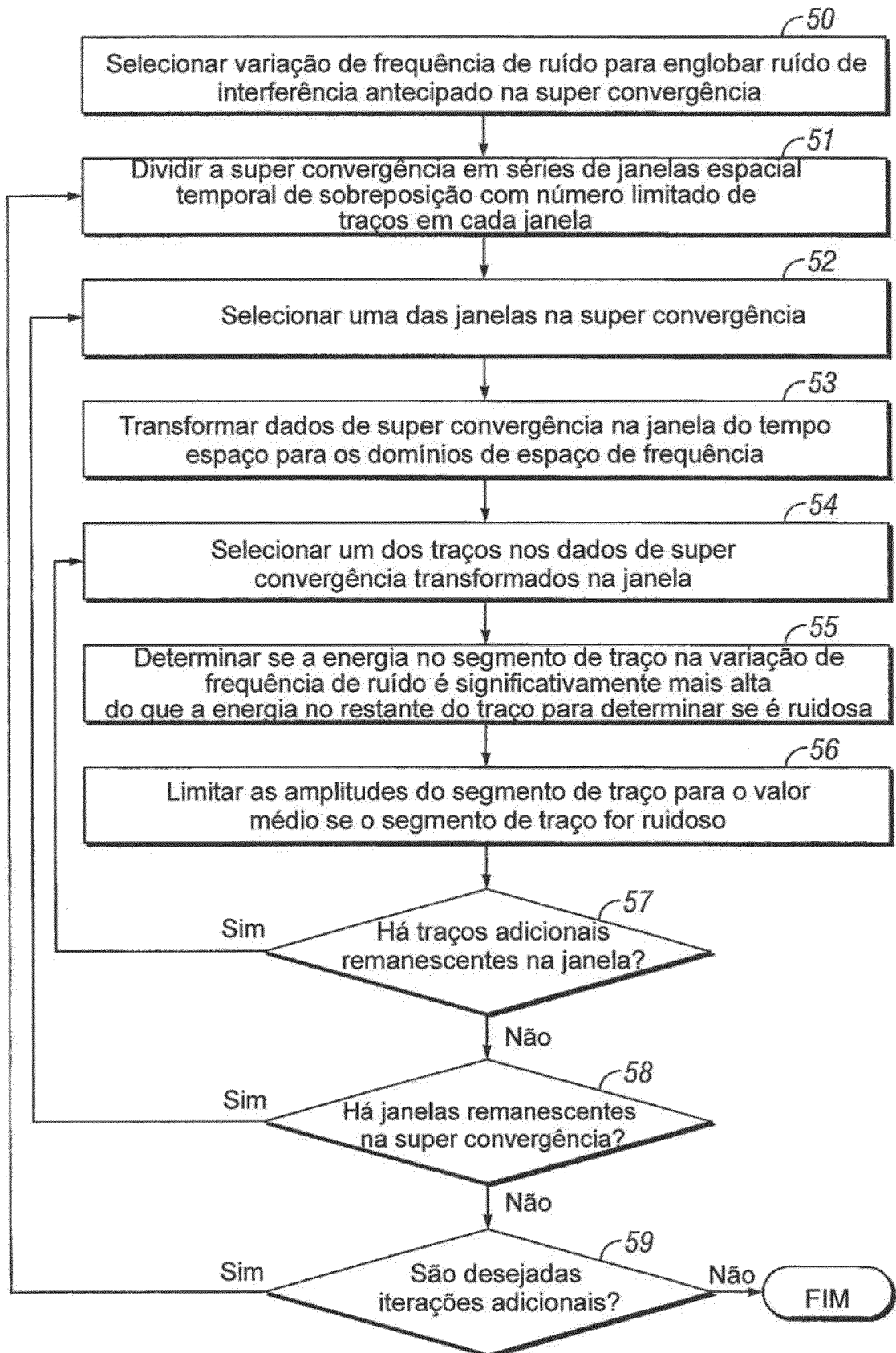


FIG. 5

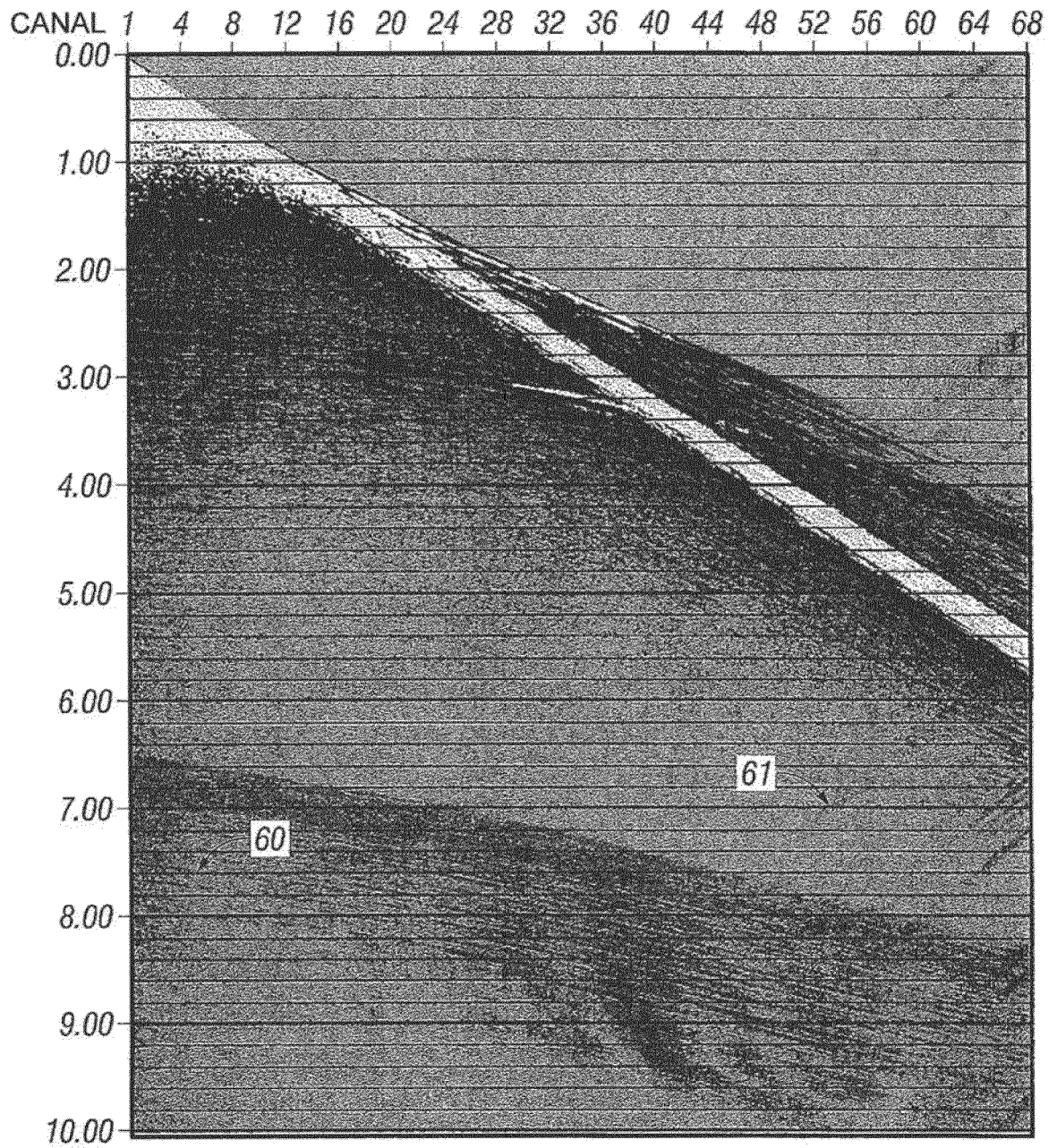


FIG. 6

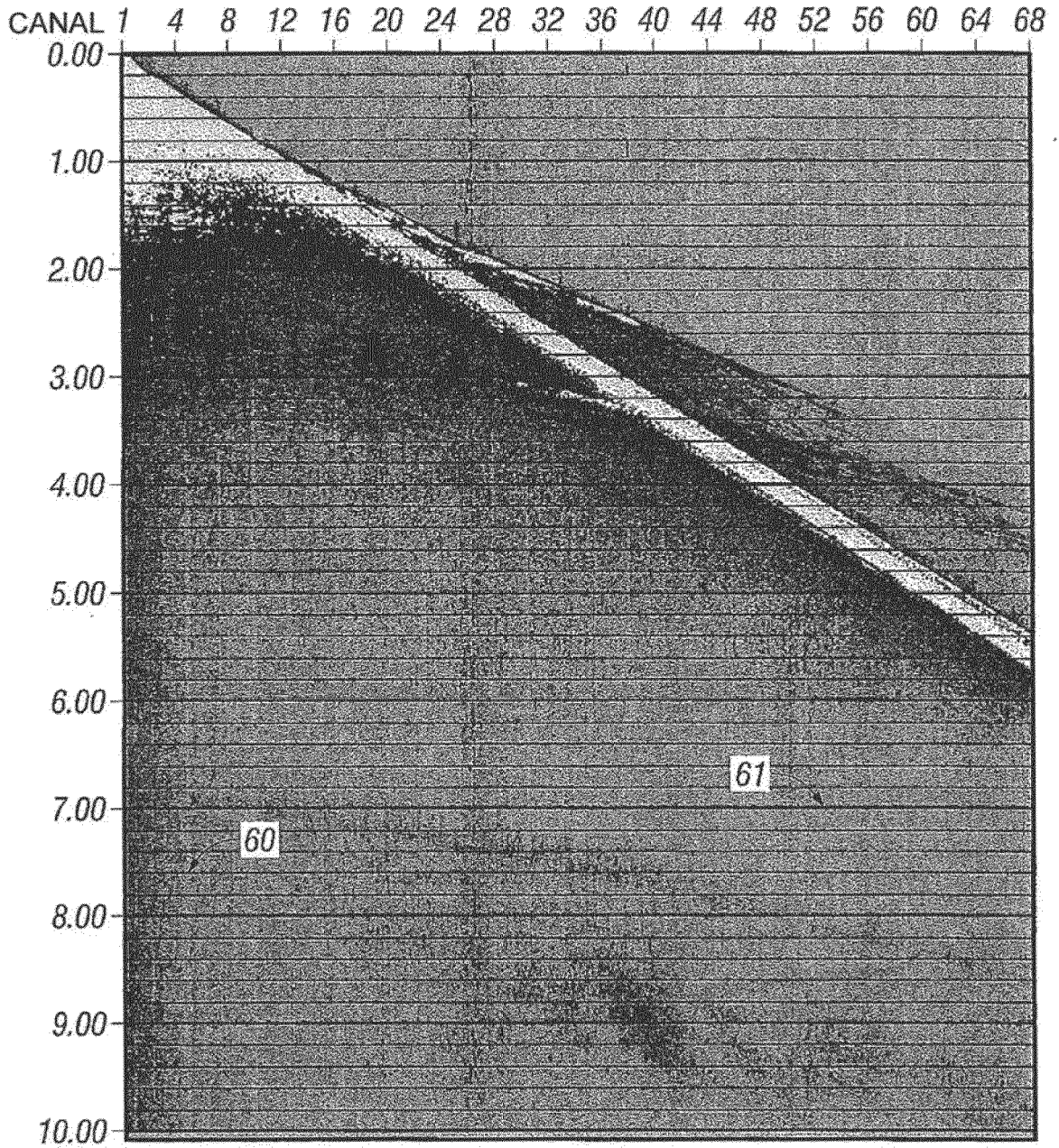


FIG. 7

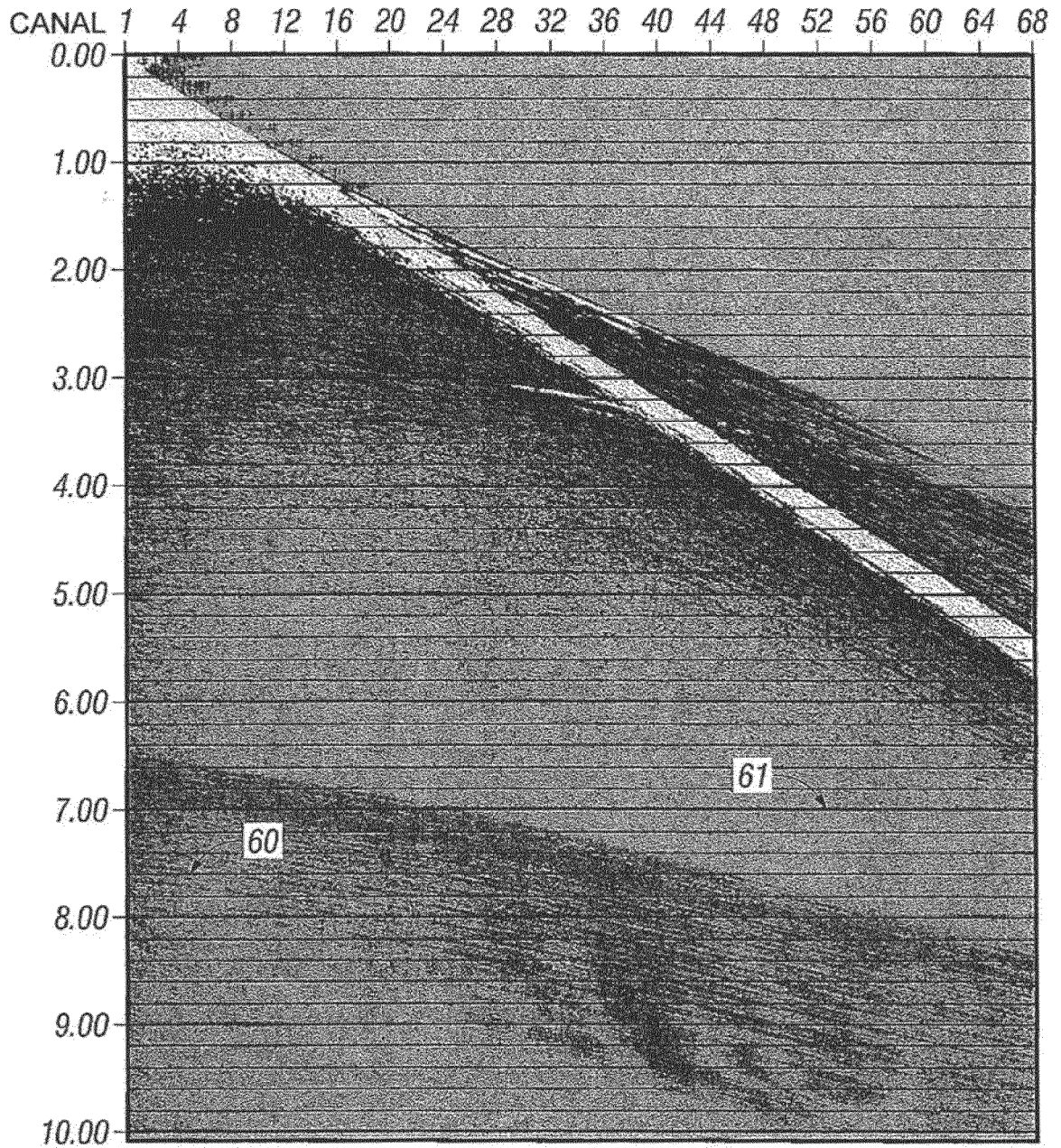


FIG. 8

## RESUMO

Patente de Invenção: "MÉTODO PARA ATENUAR RUÍDO DE INTERFERÊNCIA EM DADOS SÍSMICOS DE SENSOR DUPLO".

5 A presente invenção refere-se à construção de uma superconvergência pela intercalação de traços de uma convergência de hidrofone e uma convergência de geofone nos dados sísmicos de maneira que os hidrofones e os geofones colocados estejam adjacentes uns aos outros. Uma superconvergência de ruído atenuado pela aplicação e um processo de identificação e atenuação de ruído de domínio f-x para a superconvergência, é  
10 subtraída da superconvergência para gerar um modelo de ruído de superconvergência. Um modelo de ruído de superconvergência, gerado pela remoção dos traços de convergência de geofone não ruidosos do modelo de ruído de superconvergência, é subtraído da convergência de hidrofone para gerar dados sísmicos com ruído de interferência atenuado.