



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

**(11) PI 1002186-8 B1**



**(22) Data do Depósito: 30/06/2010**

**(45) Data de Concessão: 04/02/2020**

---

**(54) Título:** MÉTODO PARA TRANSFORMAR DADOS SÍSMICOS EM DADOS COM RUÍDO ATENUADO, MÉTODO PARA PROSPECÇÃO GEOFÍSICA E MÍDIA LEGÍVEL POR COMPUTADOR

**(51) Int.Cl.:** G01V 1/36.

**(52) CPC:** G01V 1/364.

**(30) Prioridade Unionista:** 30/06/2009 US 12/459,329.

**(73) Titular(es):** PGS GEOPHYSICAL AS.

**(72) Inventor(es):** ROBERTUS F. HEGGE; ROALD G. VAN BORSELEN.

**(57) Resumo:** MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DE ABERTURA DINÂMICA PARA ELIMINAÇÃO DE MÚLTIPLAS RELACIONADAS À SUPERFÍCIE TRIDIMENSIONAL. Inclinações que são calculadas para uma série de conjuntos de traços de contribuição de múltipla adjacentes, a partir de dados sísmicos representativos de formações de subsolo, nas proximidades de um limite de uma abertura de uma coleta de contribuição de múltipla, os dados sísmicos obtidos ao posicionar uma pluralidade de sensores sísmicos próximos a uma área do subsolo da terra a ser avaliada, os sensores sísmicos gerando pelo menos um de um sinal elétrico e ótico em resposta à energia sísmica. O limite da abertura da coleta de contribuição de múltipla é estendido de modo recursivo, com base nas inclinações calculadas. Traços de contribuição de múltipla na coleta de contribuição de múltipla com o limite de abertura estendido são empilhados para gerar traços de múltiplas preditos. Os traços de múltiplas preditos são subtraídos dos dados sísmicos para gerar dados atenuados de múltiplas relacionadas à superfície úteis para formar imagem as formações de subsolo.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO PARA TRANSFORMAR DADOS SÍSMICOS EM DADOS COM RUÍDO ATENUADO, MÉTODO PARA PROSPECÇÃO GEOFÍSICA E MÍDIA LEGÍVEL POR COMPUTADOR**".

**Referências Cruzadas a Pedidos Relacionados**

[001] Não aplicável.

Pesquisa ou Desenvolvimento Afiançado Federalmente

[002] Não aplicável.

**Listagem de Sequência, Tabela, ou Listagem de Computador**

[003] Não aplicável.

**Antecedentes da Invenção**

**Campo da Invenção**

[004] A presente invenção refere-se de uma maneira geral ao campo de prospecção geofísica. Mais particularmente, a invenção refere-se ao campo de eliminação de múltiplas relacionadas à superfície em levantamentos sísmicos marítimos.

**Descrição da Técnica Relacionada**

[005] Na indústria de petróleo e gás, prospecção geofísica é comumente usada para ajudar na pesquisa e avaliação de formações subterrâneas. Técnicas de prospecção geofísica produzem conhecimento da estrutura de subsuperfície da terra, o que é útil para descobrir e extrair recursos minerais valiosos, particularmente depósitos de hidrocarboneto tais como óleo e gás natural. Uma técnica bem-conhecida de prospecção geofísica é um levantamento sísmico.

[006] Os dados sísmicos resultantes obtidos na execução de um levantamento sísmico são processados para produzir informação relacionando-se com a estrutura e propriedades geológicas das formações subterrâneas na área sendo levantada. Os dados sísmicos processados são processados para exibição e análise de potencial de conteúdo de hidrocarboneto destas formações subterrâneas. O objetivo do processamento de dados sísmicos é extrair dos dados sísmicos tanta informação quanto possível com relação às formações subterrâneas a

fim de adequadamente formar margeando subsuperfície geológico. A fim de identificar localizações no subsuperfície da terra onde existe uma probabilidade de descoberta de acúmulos de petróleo, grandes somas de dinheiro são despendidas na coleta, processamento e interpretação de dados sísmicos. O processo de construir as superfícies refletoras definindo as camadas subterrâneas da terra de interesse a partir dos dados sísmicos gravados fornece uma imagem da terra em profundidade ou tempo. A imagem da estrutura do subsuperfície da terra é produzida a fim de capacitar um interpretador para selecionar localizações com a maior probabilidade de ter acúmulos de petróleo.

[007] Em um levantamento sísmico marítimo, fontes de energia sísmica são usadas para gerar um sinal sísmico que, após se propagar para dentro da terra, é refletido pelo menos parcialmente por refletores sísmicos de subsuperfície. Tais refletores sísmicos tipicamente são interfaces entre formações subterrâneas tendo diferentes propriedades elásticas, especificamente velocidade de onda sonora e densidade de rocha, as quais resultam em diferenças em impedância acústica nas interfaces. A energia sísmica refletida é detectada por sensores sísmicos (também chamados de receptores sísmicos) e gravada.

[008] As fontes sísmicas apropriadas para gerar o sinal sísmico em levantamentos sísmicos marítimos incluem tipicamente uma fonte sísmica submersa rebocada por um navio e ativada periodicamente para gerar um campo de ondas acústicas. A fonte sísmica gerando o campo de ondas é tipicamente um canhão a ar ou um conjunto distribuído espacialmente de canhões a ar.

[009] Os tipos apropriados de sensores sísmicos incluem tipicamente sensores de velocidade de partícula (conhecidos na técnica como geofones) e sensores de pressão de água (conhecidos na técnica como hidrofones) montados em um cabo sísmico rebocado (também conhecido como um cabo sísmico). Sensores sísmicos podem ser posicionados sozinhos, mas mais comumente são posicionados em conjuntos de sensores no cabo sismográfico.

[0010] Após a onda refletida alcançar os sensores sísmicos, a onda continua a se propagar para a interface água/ar na superfície da água, da qual a onda é refletida para baixo, e é de novo detectada pelos sensores. A onda refletida continua a se propagar e pode ser refletida para cima novamente, pelo fundo da água ou por outras interfaces de formação subterrânea. Ondas refletidas que refletem mais de uma vez são denominadas de "múltiplas" e tipicamente são tratadas como ruído. Uma categoria particular de ruído compreende múltiplas que refletem pelo menos uma vez na superfície da água e são chamadas de múltiplas relacionadas à superfície.

[0011] Eliminação de múltiplas relacionadas à superfície tridimensional (3D SRME) trabalha para atenuar as múltiplas relacionadas à superfície tipicamente por meio de um processo de predição e subtração. As múltiplas relacionadas à superfície são primeiramente estimadas a partir dos dados sísmicos e então as múltiplas preditas são subtraídas dos dados sísmicos para deixar um sinal de ruído atenuado. Uma primeira etapa neste processo compreende construir uma coleta de contribuição múltipla para um traço fonte-receptor, a qual envolve a computação da convolução de pares de traços sobre uma área espacial chamada de abertura. Uma segunda etapa compreende construir um traço múltipla predita que contém primariamente múltiplas reflexões, o que envolve empilhar todos os traços de contribuição múltipla na coleta de contribuição múltipla para o traço fonte-receptor. Uma terceira etapa compreende subtrair muitos de tais traços múltiplas preditas dos dados sísmicos originais.

[0012] A escolha da abertura para uma coleta de contribuição múltipla que seja mais fácil de implementar é uma área espacial retangular com dimensões em linha e transversais pré-selecionadas, a qual é centralizada na localização de ponto central do traço fonte-receptor para o qual o traço múltipla será previsto. Uma abertura é suficiente para uma coleta de contribuição múltipla particular quando pelo menos os ápices de todos os eventos contribuidores na coleta de contribuição

múltipla estão incluídos na abertura. Isto significa que os pontos de reflexão de superfície correspondendo aos ápices encontram-se dentro da abertura e que empilhamento de Fresnel trabalha para desmontar os eventos contribuidores para os eventos de múltiplas correspondentes no momento dos ápices. Conseqüentemente, uma simples escolha da abertura para coletas de contribuição múltipla inevitavelmente será uma troca compensatória entre custo e precisão. Para algumas coletas de contribuição múltipla, a abertura será muito grande e para outras será muito pequena. Uma abertura dimensionada e modelada de forma ideal seria tão pequena quanto possível para minimizar esforços computacionais e grande o suficiente para capturar todos os ápices de todos os pontos de reflexão de superfície e para interferência construtiva para trabalhar no empilhamento de Fresnel para esses ápices.

[0013] Assim, existe uma necessidade de um método para determinar de modo eficiente formas e tamanhos apropriados de aberturas para coletas de contribuição múltipla. Preferivelmente, a forma ideal e o tamanho ideal da abertura podem ser determinados dinamicamente a partir dos dados sísmicos propriamente ditos.

#### **Breve Sumário da Invenção**

[0014] A invenção é um método para transformar dados sísmicos em dados com ruído atenuado, usando determinação de abertura dinâmica para uma coleta de contribuição múltipla. Traços múltiplas em dados sísmicos representativos de formações de subsuperfície são previstos pelo seguinte. Inclinações são calculadas para uma série de conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes, a partir de dados sísmicos obtidos ao posicionar uma pluralidade de sensores sísmicos próximos a uma área do subsuperfície da terra a ser avaliada, os sensores sísmicos gerando pelo menos um de um sinal elétrico e ótico em resposta à energia sísmica, nas proximidades de um limite de uma abertura de uma coleta de contribuição múltipla. O limite da abertura da coleta de contribuição múltipla é estendido de modo repetitivo,

com base nas inclinações calculadas. Traços de contribuição múltipla na coleta de contribuição múltipla com o limite de abertura estendido são empilhados para gerar traços múltiplas previstos. Os traços múltiplas previstos são subtraídos dos dados sísmicos para gerar dados atenuados de múltiplas relacionadas às superfícies úteis para formar imagens as formações de subsuperfície.

### **Breve Descrição dos Desenhos**

[0015] A invenção e suas vantagens podem ser entendidas mais facilmente pela referência à descrição detalhada a seguir e aos desenhos anexos, nos quais:

a figura 1 é um diagrama esquemático de construção de uma coleta de contribuição múltipla para um traço fonte-receptor, tal como no método da invenção;

a figura 2 é um diagrama esquemático ilustrando extensão de aberturas para uma coleta de contribuição múltipla no método da invenção;

a figura 3 é um fluxograma ilustrando uma modalidade da invenção para transformar dados sísmicos em dados com ruído atenuado, usando determinação de abertura dinâmica para uma coleta de contribuição múltipla;

a figura 4 é um fluxograma ilustrando uma outra modalidade da invenção para determinação de abertura dinâmica para coletas de contribuição múltipla;

a figura 5 é um fluxograma ilustrando um elemento da invenção, com relação à construção de uma coleta de contribuição múltipla; e

a figura 6 é um fluxograma ilustrando um elemento da invenção, com relação à extensão de abertura repetitiva.

[0016] Embora a invenção seja descrita em conexão com suas modalidades preferidas, será entendido que a invenção não está limitada a estas modalidades. Ao contrário, a invenção é pretendida para abranger todas as alternativas, modificações e equivalências que po-

dem ser incluídas no escopo da invenção, tal como definido pelas reivindicações anexas.

### **Descrição Detalhada da Invenção**

[0017] A invenção é um método para transformar dados sísmicos em dados com ruído atenuado, usando determinação de abertura dinâmica para uma coleta de contribuição múltipla. A invenção pode ser usada em um processo de predição e subtração 3D para atenuar múltiplas relacionadas à superfície em dados sísmicos. A localização na qual as múltiplas são para ser preditas e subtraídas é definida por um traço fonte-receptor. A figura 1 é um diagrama esquemático de construção de uma coleta de contribuição múltipla para um traço fonte-receptor, tal como no método da invenção. O traço fonte-receptor 10 é determinado por meio de uma combinação de uma localização de fonte específica 11 e uma localização de receptor específica 12. O processo de predizer as múltiplas relacionadas à superfície a partir de dados sísmicos para este traço fonte-receptor 10 compreende convolver pares de traços e então acumular os resultados de convolução sobre uma área de superfície 13. O primeiro traço 14 em cada par de traços convolvidos tem a mesma localização de fonte específica 11 que o traço fonte-receptor 10 e uma localização de receptor em uma localização de ligação selecionada 15 e o segundo traço 16 no par de traços convolvidos tem sua localização de fonte na mesma localização de ligação 15 e a mesma localização de receptor específica 12 que o traço fonte-receptor 10. As localizações de ligação 15 para todos os pares dos primeiros traços 14 e segundos traços 16 são distribuídas sobre a área de superfície 13. Cada localização de ligação 15 corresponde a um potencial ponto de reflexão de superfície das múltiplas relacionadas à superfície associadas com este traço fonte-receptor 10. Os traços criados pela convolução dos pares dos primeiros traços 14 e dos segundos traços 16 são referidos como traços de contribuição múltipla e o conjunto destes traços de contribuição múltipla (antes do acúmulo) é referido como uma coleta de contribuição múltipla. A ex-

tensão ou cobertura na área de superfície 13 dos pontos de reflexão de superfície como incorporada (após acúmulo) na predição é comumente referida como a abertura da predição.

[0018] A figura 2 é um diagrama esquemático ilustrando extensão de aberturas para uma coleta de contribuição múltipla no método da invenção. Uma coleta de contribuição múltipla 20 é mostrada com uma dimensão espacial arbitrária 21 no topo e uma dimensão de tempo 22 prosseguindo para baixo no lado esquerdo. Um evento de múltipla em um traço fonte-receptor, pertencendo à combinação fonte-receptor, o qual ocorre em um certo tempo, aparecerá na coleta de contribuição múltipla 20 como uma superfície 23 com um ápice 24 dentro da coleta de contribuição múltipla 20 nesse mesmo tempo e o resto da superfície 23 abaixo em tempos posteriores. Além disso, a localização espacial do ápice 24 corresponderá à localização espacial do ponto de reflexão de superfície desse evento de múltipla específico. O acúmulo dos traços de contribuição múltipla nas múltiplas relacionadas à superfície preditas compreende um processo comumente conhecido como empilhamento de Fresnel. Interferência construtiva em cada ápice 24 e em volta dele aprimora as múltiplas preditas desejadas e interferência destrutiva mais distante de cada ápice 24 reduz a parte remanescente do sinal (isto é, não as múltiplas preditas). A qualidade da predição de múltipla depende de como todos os pontos de reflexão de superfície relevantes estão incorporados na abertura da coleta de contribuição múltipla 20 e de como empilhamento de Fresnel trabalha nos traços de contribuição múltipla. Ambos dependem de selecionar a abertura correta e do espaçamento entre as localizações de ligação dentro da abertura.

[0019] Retornando à figura 1, a abertura pode ser escolhida como o caso mais simples, uma área de superfície retangular 13 circundando o ponto central 17 do traço fonte-receptor 10 para a localização de fonte específica 11 e a localização de receptor específica 12. A área de superfície retangular 13 pode ser parametrizada por meio de uma

dimensão em linha 18 e uma dimensão transversal 19 ou, alternativamente, por meio de uma abertura em linha e uma abertura transversal. Também, a orientação da área de superfície retangular 13 pode ser variada. Entretanto, a área de superfície 13 da abertura não tem que ser uma área retangular. A forma da abertura pode ser, por exemplo, uma elipse ou uma forma irregular. Em qualquer caso, a área de superfície ideal 13 da abertura deve ser tão pequena quanto possível para minimizar esforços computacionais e grande o suficiente para capturar todos os ápices e ser suficiente para interferência construtiva para esses ápices para trabalho. O mesmo aplica-se ao espaçamento ou distância entre as localizações de ligação 15.

[0020] Retornando à figura 2, é mostrada uma abertura inicial 25 para a coleta de contribuição múltipla 20. O método da invenção emprega um método de determinação de inclinação (sobreposição) em partes dos traços nas proximidades do limite para a coleta de contribuição múltipla 20 para gerar uma abertura estendida 26. Se as inclinações 27 calculadas ao longo de eventos através de traços forem encontradas como sendo positivas, isto é, os eventos propriamente ditos estão apontando para cima, significando na direção de um tempo anterior, e para dentro, então os ápices 24 correspondentes se encontrarão dentro da coleta de contribuição múltipla 20. Se as inclinações 28 calculadas forem negativas, então os ápices 29 correspondentes se encontrarão fora da coleta de contribuição múltipla 20 e a abertura inicial 25 deve ser aumentada ao longo dessas partes do limite para gerar uma abertura estendida 26. Este método da invenção permite que a abertura estendida 26 seja determinada dinamicamente. Assim, seleção da área de abertura apropriada pode ser feita inteiramente ou de forma parcial a partir de dados. Iniciando com uma pequena abertura inicial 25, o limite pode ser estendido automaticamente, com base em alguma medida das inclinações calculadas.

[0021] Como um exemplo, uma medida inicial de inclinação pode ser a energia deixada após aplicar um filtro de inclinação. Medidas

mais sofisticadas também podem considerar a amplitude relativa, tempo e grau das inclinações. As medidas podem ser feitas dependendo da profundidade do fundo da água, sua variação local ou global ou de um conhecimento mais geral observado ou antecipado da complexidade geológica. Para a área de abertura retangular típica, de uma maneira geral quatro medidas relacionadas seriam criadas, com uma em cada lado. Para áreas moldadas mais complicadas, tais como, por exemplo, uma área elíptica ou oval, o número de medidas pode ser tomado dependendo da curvatura do limite e de ser espalhada ao longo do limite.

[0022] As figuras 3–6 mostram fluxogramas ilustrando modalidades da invenção para determinação de abertura dinâmica para uma coleta de contribuição múltipla. A figura 3 é um fluxograma ilustrando uma modalidade geral da invenção. A figura 4 é um fluxograma ilustrando uma modalidade mais detalhada da invenção. As figuras 5–6 são fluxogramas ilustrando adicionalmente elementos da invenção tal como descritos nas figuras 3–4.

[0023] A figura 3 é um fluxograma ilustrando uma modalidade da invenção para transformar dados sísmicos em dados com ruído atenuado, usando determinação de abertura dinâmica para uma coleta de contribuição múltipla. No bloco 30, inclinações são calculadas para uma série de conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes, a partir de dados sísmicos representativos de formações de subsuperfície, nas proximidades de um limite de uma abertura de uma coleta de contribuição múltipla. A energia sísmica é obtida ao posicionar uma pluralidade de sensores sísmicos próximos a uma área do subsuperfície da terra a ser avaliada, os sensores sísmicos gerando pelo menos um de um sinal elétrico e ótico em resposta à energia sísmica. No bloco 31, o limite da abertura de uma coleta de contribuição múltipla é estendido de modo repetitivo com base nas inclinações calculadas no bloco 30. No bloco 32, traços de contribuição múltipla na coleta de contribuição múltipla com o limite de abertura estendido pelo bloco 31

são empilhados para gerar traços múltiplas previstos. Os blocos 30–32 predizem traços múltiplas nos dados sísmicos. No bloco 33, os traços múltiplas previstos pelo bloco 32 são subtraídos dos dados sísmicos para gerar dados atenuados de múltiplas relacionadas às superfícies úteis para formar imagens das formações subterrâneas.

[0024] A figura 4 é um fluxograma ilustrando uma outra modalidade da invenção para determinação de abertura dinâmica para coletas de contribuição múltipla. A modalidade ilustrada na figura 4 compreende uma descrição mais detalhada que a modalidade ilustrada na figura 3.

[0025] No bloco 40, uma coleta de contribuição múltipla é construída. A construção de uma coleta de contribuição múltipla é descrita com mais detalhes a seguir na discussão com referência ao fluxograma na figura 5.

[0026] No bloco 41, uma abertura inicial é selecionada para a coleta de contribuição múltipla determinada no bloco 40. A abertura inicial pode ser selecionada em qualquer forma e tamanho que sejam apropriados para a coleta de contribuição múltipla do bloco 40. As formas comumente incluem, mas não se limitando a estas, retângulos, elipses e formas irregulares. Em uma modalidade, a escolha de uma abertura inicial pode considerar a abertura final das coletas de contribuição múltipla determinada anteriormente.

[0027] Em uma outra modalidade, a escolha de uma abertura inicial para um traço pode ser feita para variar como uma função de atributos relacionados com traço que incluem, mas não se limitando a isto, deslocamento, significando a distância entre as coordenadas de fonte e receptor de um traço; azimute, significando o ângulo entre uma linha através das coordenadas de fonte e receptor e uma direção de referência predefinida; e deslocamentos em linha e transversais, significando as distâncias deslocadas ao longo da direção de referência e perpendiculares à direção de referência, respectivamente.

[0028] No bloco 42, uma abertura máxima é selecionada para a

abertura inicial selecionada no bloco 41. Uma abertura máxima pode ser definida com base na velocidade máxima, no comprimento do traço fonte-receptor para o qual a predição de múltipla é feita e no deslocamento (distância entre fonte e receptor) desse traço fonte-receptor.

[0029] No bloco 43, uma extensão de abertura máxima é selecionada dependendo da abertura inicial selecionada no bloco 41 e da abertura máxima selecionada no bloco 42. A extensão de abertura máxima pode variar ao longo do limite, em particular quando o limite inicial da abertura de coleta de contribuição múltipla tem uma forma irregular ou muda para uma forma irregular por causa de uma extensão aplicada anteriormente somente ao longo de parte do limite.

[0030] Uma medida pode ser construída com base em fatores incluindo, mas não se limitando a estes, a localização temporal no traço medido, amplitude e ângulo das inclinações, e a amplitude, energia ou outros valores derivados da coleta de contribuição múltipla nas proximidades do limite (e incluindo-o). Esta medida pode ser usada para restringir a recursão para atualizações viáveis da abertura. Em uma outra modalidade, esta medida também pode ser considerada na escolha de abertura inicial para futuras coletas de contribuição múltipla.

[0031] No bloco 44, a abertura é estendida de modo repetitivo. Esta extensão de abertura repetitiva é descrita a seguir com mais detalhes na discussão com referência ao fluxograma na figura 6.

[0032] No bloco 45, é determinado se a abertura atual é suficiente. Se a abertura atual não for suficiente, então o processo continua para o bloco 46. Se a abertura atual for suficiente, então o processo continua para o bloco 47.

[0033] Abertura suficiente significa que todas as múltiplas reflexões presentes no traço fonte-receptor para a coleta de contribuição múltipla devem ser estimadas de forma apropriada pelo traço múltipla estimado. Conseqüentemente, os pontos de reflexão de superfície cobertos pela abertura usada na construção da coleta de contribuição múltipla no bloco 40 devem corresponder a todas estas múltiplas refle-

xões. Cada ponto de reflexão de superfície tem um ápice correspondente na coleta de contribuição múltipla. Um ápice é a localização espacial correspondendo ao tempo mínimo de uma superfície variando espacialmente pela qual os tempos da superfície aumentam durante o movimento para longe do ápice. Em uma modalidade alternativa, a dimensão tempo pode ser substituída pela dimensão profundidade.

[0034] Adicionalmente, a abertura é suficiente quando empilhamento de Fresnel trabalha de forma apropriada para esses ápices. Empilhamento de Fresnel é o empilhamento de dados para obter maiores razões de sinal para ruído de um evento de reflexão particular, pelo qual a quantidade de dados a ser empilhados está relacionada com parte do refletor correspondente a partir do qual energia refletida pode alcançar um detector dentro de meio comprimento de onda da primeira energia refletida.

[0035] No bloco 46, a extensão de abertura máxima selecionada no bloco 43 é reduzida dependendo da quantidade de extensão de abertura aplicada no bloco 44.

[0036] No bloco 47, é determinado se restaram mais coletas de contribuição múltipla para terem uma abertura determinada. Se restarem mais coletas de contribuição múltipla, então o processo retorna para o bloco 40 para selecionar uma outra coleta de contribuição múltipla. Se coletas de contribuição múltipla não mais necessitarem ser examinadas, então o processo termina.

[0037] A figura 5 é um fluxograma ilustrando um elemento da invenção, com relação à construção de uma coleta de contribuição múltipla. A figura 5 ilustra com mais detalhes a parte da invenção discutida anteriormente no bloco 40 da figura 4.

[0038] No bloco 50, uma localização de fonte é selecionada.

[0039] No bloco 51, uma localização de receptor é selecionada. A localização de fonte do bloco 50 e a localização de receptor do bloco 51 definem o traço fonte-receptor.

[0040] No bloco 52, uma localização de ligação é selecionada. A

localização de ligação corresponde a um potencial ponto de reflexão de superfície das múltiplas associadas com o traço fonte-receptor. As localizações de ligação dependem da abertura, tal como construída com referência à discussão do fluxograma na figura 4, e de espaçamento apropriado entre as localizações de ligação.

[0041] No bloco 53, um primeiro traço é selecionado de traços disponíveis que têm uma localização de fonte que é substancialmente coincidente com a localização de fonte selecionada no bloco 50 e uma localização de receptor substancialmente coincidente com a localização de ligação selecionada no bloco 52. Assim, o primeiro traço é um elemento de uma coleta de fonte comum para a localização de fonte selecionada no bloco 50.

[0042] No bloco 54, um segundo traço é selecionado dos traços disponíveis que têm uma localização de fonte que é substancialmente coincidente com a localização de ligação selecionada no bloco 52 e uma localização de receptor que é substancialmente coincidente com a localização de receptor selecionada no bloco 51. Assim, o segundo traço é um elemento de uma coleta de receptor comum para a localização de receptor selecionada no bloco 51.

[0043] As coordenadas de receptor do primeiro traço na coleta de fonte comum são substancialmente coincidentes com as coordenadas de fonte do segundo traço na coleta de receptor comum. Uma vez que localizações de fonte e de receptor em dados gravados raramente são coincidentes de forma precisa, pode ser necessário, em uma outra modalidade, regularizar os conjuntos de dados para uma geometria nominal de maneira que esta coincidência de localização de fonte e de receptor seja alcançada. Em uma outra modalidade, as múltiplas são então preditas para a geometria original enquanto usando os conjuntos de dados regularizados.

[0044] No bloco 55, o primeiro traço do bloco 53 e o segundo traço do bloco 54 são envolvidos um com o outro. Esta convolução pode ser feita em um domínio de tempo ou, alternativamente, a convolução

pode ser executada como uma multiplicação em um domínio de frequência. O traço resultante da convolução é um traço de contribuição múltipla. O conjunto de todos os traços de contribuição múltipla gerados aqui forma a coleta de contribuição múltipla.

[0045] No bloco 56, é determinado se restaram alguns outros pares de primeiros e segundos traços para serem convolvidos. Se restarem mais pares de primeiros e segundos traços, então o processo retorna para o bloco 52 para selecionar um outro par. Se não restarem outros pares de primeiro e segundo traços, então o processo termina.

[0046] A figura 6 é um fluxograma ilustrando um elemento da invenção, com relação à extensão de abertura repetitiva. A figura 6 ilustra com mais detalhes a parte da invenção discutida anteriormente no bloco 44 da figura 4.

[0047] No bloco 60, um conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes de uma coleta de contribuição múltipla é selecionado nas proximidades de um limite de uma abertura da coleta de contribuição múltipla. Quantos traços são selecionados nos conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes é determinado por quantos traços são necessários para executar estimativas seguras para inclinação, tal como será feito no bloco 61 a seguir.

[0048] Em uma modalidade de exemplo, o conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes compreende dois traços de contribuição múltipla adjacentes. Em uma outra modalidade de exemplo, o conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes compreende uma sequência de mais de dois traços de contribuição múltipla adjacentes. Também em uma outra modalidade de exemplo, o conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes compreende um bloco de traços de contribuição múltipla adjacentes. Por exemplo, o bloco pode compreender os 25 traços de contribuição múltipla adjacentes em um bloco de 5 em linha por 5 transversais de traços. O método da invenção não é pretendido para ser restringido a estes exemplos de conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes, mas é aplicável a qualquer tal

conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes.

[0049] No bloco 61, uma inclinação é calculada para o conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes selecionado no bloco 60. As inclinações na coleta podem ser usadas para conhecer onde os ápices estão na coleta. Inclinação é a inclinação entre dois traços de contribuição múltipla adjacentes na coleta do mesmo evento sísmico. A inclinação é medida como uma razão entre uma diferença de tempo e uma diferença de espaço (análogo a  $dt/dx$ ). Embora um evento de inclinação de uma maneira geral seja pretendido para ser não horizontal, um evento horizontal não está excluído.

[0050] Uma abertura da coleta de contribuição múltipla que seja muito pequena pode ser detectada e ampliada automaticamente ao examinar as inclinações no limite da coleta. A detecção e ampliação podem ser feitas de modo repetitivo, pelo que a última abertura usada inicializa o processo de detecção e ampliação para determinar uma nova abertura. Se existirem inclinações negativas nas proximidades de uma certa parte do limite da coleta de contribuição múltipla, então essa parte do limite deve ser estendida, já que existem ápices fora da coleta.

[0051] No bloco 62, é determinado se a inclinação calculada no bloco 61 for negativa. Inclinação negativa significa que a inclinação de um evento que de fora para dentro de uma coleta de contribuição múltipla também aumenta em tempo ou profundidade. Isto implica em que o ápice desse evento se encontra fora da coleta, já que o ápice sempre estará localizado em um tempo anterior. Se a inclinação for negativa, então o processo continua para o bloco 63 para estender o limite da abertura. Se a inclinação não for negativa, então o processo continua para o bloco 65.

[0052] No bloco 63, uma quantidade de extensão de limite é determinada. A quantidade de extensão do limite da abertura pode ser feita para variar como uma função de fatores incluindo, mas não se limitando a estes, localização temporal, profundidade de água associ-

ada com o traço fonte-receptor, e maior inclinação detectada nas proximidades do limite.

[0053] No bloco 64, a abertura é estendida nas proximidades do conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes selecionado no bloco 60 pela quantidade de extensão de limite determinada no bloco 63.

[0054] No bloco 65, é determinado se restaram mais alguns conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes. Se restarem mais conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes, então o processo retorna para o bloco 60 para selecionar um outro conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes nas proximidades do limite da abertura. Se não restarem mais conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes, então o processo termina.

[0055] Em uma modalidade alternativa, os traços de contribuição múltipla que seriam acrescentados à coleta de contribuição múltipla após extensão do limite são empilhados para gerar um traço de correção. Este traço de correção pode então ser aplicado ao traço múltipla previsto determinado ao acumular (por meio de empilhamento de Fresnel) os traços de contribuição múltipla na coleta de contribuição múltipla antes da extensão do limite.

[0056] Em uma outra modalidade, o método SRME pode ser substituído por Eliminação de Múltiplas Intercaladas (IME), o qual refere-se a uma extensão para predizer múltiplas intercaladas ou internas, pelo qual um trio de traços e duas convoluções são usados como parte do método.

[0057] A invenção foi discutida anteriormente como um método, somente para propósitos ilustrativos, mas também pode ser implementada como um sistema. O sistema da invenção preferivelmente é implementado por meio de computadores, em particular computadores digitais, juntamente com outro equipamento de processamento de dados convencional. Tal equipamento de processamento de dados, bem conhecido na técnica, compreenderá qualquer combinação ou rede

apropriada de equipamento de processamento de computação, incluindo, mas não estando limitado a estes, hardware (processadores, dispositivos de armazenamento temporário e permanente e qualquer outro equipamento de processamento de computação apropriado), software (sistemas de operação, programas de aplicação, bibliotecas de programas de matemática e qualquer outro software apropriado), conexões (elétrica, ótica, sem fio ou de outro modo) e periféricos (dispositivos de entrada e de saída tais como teclados, dispositivos apontadores e digitalizadores; dispositivos de exibição tais como monitores e impressoras; mídias de armazenamento legíveis por computador tais como fitas, discos e unidades rígidas, e qualquer outro equipamento apropriado).

[0058] Em uma outra modalidade, a invenção pode ser implementada como o método descrito anteriormente, executado especificamente usando um computador programável para executar o método. Em uma outra modalidade, a invenção pode ser implementada como um programa de computador armazenado em uma mídia legível por computador, com o programa tendo lógica operável para fazer com que um computador programável execute o método descrito anteriormente. Em uma outra modalidade, a invenção pode ser implementada como uma mídia legível por computador com um programa de computador armazenado na mídia, de tal maneira que o programa tenha lógica operável para fazer com que um computador programável execute o método descrito anteriormente.

[0059] Deve ser entendido que o exposto acima é meramente uma descrição detalhada de modalidades específicas desta invenção e que inúmeras mudanças, modificações e alternativas para as modalidades descritas podem ser feitas de acordo com esta descrição sem divergir do escopo da invenção. A descrição precedente, portanto, não é pretendida para limitar o escopo da invenção. Em vez disto, o escopo da invenção é para ser determinado somente pelas reivindicações anexas e suas equivalências.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para transformar dados sísmicos em dados com ruído atenuado, **caracterizado pelo fato de que** compreende:

predizer traços múltiplos em dados sísmicos representativos de formações de subsuperfície por meio do seguinte:

calcular (30) inclinações (27, 28) para uma série de conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes, a partir de dados sísmicos obtidos ao posicionar uma pluralidade de sensores sísmicos próximos a uma área do subsuperfície da Terra a ser avaliada, os sensores sísmicos gerando pelo menos um dentre um sinal elétrico e ótico em resposta à energia sísmica, nas proximidades de um limite de uma abertura (25) de uma coleta de contribuição múltipla (20);

estender (31) de modo repetitivo o limite da abertura (26) da coleta de contribuição múltipla (20), com base nas inclinações (27, 28) calculadas; e

empilhar (32) traços de contribuição múltipla na coleta de contribuição múltipla (20) com o limite de abertura (26) estendido para gerar traços múltiplos (32) previstos; e

subtrair (33) os traços múltiplos previstos dos dados sísmicos para gerar dados atenuados múltiplos relacionados à superfície úteis para formar imagem das formações de subsuperfície.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende:

construir (40) uma coleta de contribuição múltipla (20);

selecionar (41) uma abertura inicial (25) para a coleta de contribuição múltipla (20);

selecionar (42) uma abertura máxima para a abertura inicial (25);

selecionar (43) uma extensão de abertura máxima para a abertura inicial (25) e a abertura máxima;

estender (44) de modo repetitivo a abertura (25); e  
diminuir (46) a extensão de abertura máxima com base na  
extensão (26) da abertura (25).

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo fato de que** construir (40) uma coleta de contribuição múltipla compreende:

selecionar (50) uma localização de fonte (11);

selecionar (51) uma localização de receptor (12);

selecionar (52) um conjunto de localizações de ligação (15);

repetir (56) o seguinte para cada localização de ligação (15)

no conjunto de localizações de ligação:

selecionar (53) um primeiro traço (14) com uma localização de fonte (11) substancialmente coincidente com a localização de fonte (15) selecionada e uma localização de receptor (12) substancialmente coincidente com a localização de ligação (15);

selecionar (54) um segundo traço com uma localização de fonte substancialmente coincidente com a localização de ligação e uma localização de receptor substancialmente coincidente com a localização de receptor selecionada; e

convolver (55) o primeiro traço (14) com o segundo traço (16), gerando um traço de contribuição múltipla; e

gerar a coleta de contribuição múltipla (20) a partir dos traços de contribuição múltipla.

4. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo fato de que** estender (44) de modo repetitivo a abertura (25) compreende:

selecionar (60) uma série de conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes da coleta de contribuição múltipla (20) nas proximidades de um limite da abertura da coleta de contribuição múltipla (20); e

repetir (65) o seguinte para cada conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes na série de conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes:

calcular (61) uma inclinação (27, 28) para o conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes; e

repetir (62) o seguinte para inclinações negativas (28):

determinar (63) uma quantidade de extensão de limite de abertura (26); e

estender (64) o limite nas proximidades do conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes pela quantidade de extensão de limite (26).

**5. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que ainda compreende:**

empilhar traços de contribuição múltipla acrescentados à coleta de contribuição múltipla (20) após extensão do limite (26), gerando um traço de correção; e

aplicar o traço de correção para corrigir o traço múltiplo previsto determinado para a coleta de contribuição múltipla (20) antes da extensão do limite.

**6. Método para prospecção geofísica caracterizado pelo fato de que compreende:**

dispor um flutuador sísmico marinho em um corpo de água; responsivo a sinais gravados em receptores no flutuador sísmico marinho, calcular traços sísmicos que representam campos de onda físicos que se deslocam no corpo e água incidentes sobre os receptores;

corrigir para os múltiplos relacionados à superfícies pela transformação dos traços sísmicos em traços múltiplos previstos, em que a transformação compreende:

calcular (30) inclinações (27, 28) para uma série de

conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes nas proximidades de um limite de uma abertura (25) de uma coleta de contribuição múltipla (20); e

estender (31) de modo repetitivo o limite da abertura (25) da coleta de contribuição múltipla (20), com base nas inclinações calculadas (27, 28);

empilhar (32) traços de contribuição múltipla na coleta de contribuição múltipla (20) com o limite de abertura (26) estendido para gerar traços múltiplos previstos; e

subtrair (33) os traços múltiplos previstos a partir dos traços sísmicos para gerar traços atenuados múltiplos relacionados à superfície.

**7. Método, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que ainda compreende:**

construir (40) uma coleta de contribuição múltipla (20);

selecionar (41) uma abertura inicial para a coleta de contribuição múltipla (20);

selecionar (42) uma abertura máxima para a abertura inicial (25);

selecionar (43) uma extensão de abertura máxima para a abertura inicial (25) e a abertura máxima;

estender (44) de modo repetitivo a abertura (25); e

diminuir (46) a extensão de abertura máxima com base na extensão (26) da abertura (25).

**8. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que construir (40) uma coleta de contribuição múltipla (20) compreende:**

selecionar (50) uma localização de fonte (11);

selecionar (51) uma localização de receptor (12);

selecionar (52) um conjunto de localizações de ligação (15);

repetir (56) o seguinte para cada localização de ligação (15) no conjunto de localizações de ligação:

selecionar (53) um primeiro traço (14) com uma localização de fonte (11) substancialmente coincidente com a localização de fonte (11) selecionada e uma localização de receptor (12) substancialmente coincidente com a localização de ligação (15);

selecionar (54) um segundo traço (16) com uma localização de fonte (11) substancialmente coincidente com a localização de ligação (15) e uma localização de receptor (12) substancialmente coincidente com a localização de receptor (12) selecionada; e

convolver (55) o primeiro traço (14) com o segundo traço (16), gerando um traço de contribuição múltiplo; e

gerar a coleta de contribuição múltipla (20) a partir dos traços de contribuição múltipla.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de que** estender (44) de modo repetitivo a abertura (15) compreende:

selecionar (60) uma série de conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes da coleta de contribuição múltipla (20) nas proximidades de um limite da abertura da coleta de contribuição múltipla (20); e

repetir (65) o seguinte para cada conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes na série de conjuntos de traços de contribuição múltipla adjacentes:

calcular (61) uma inclinação (27, 28) para o conjunto de traços de contribuição múltipla adjacentes; e

repetir (62) o seguinte para inclinações negativas (28):

determinar (63) uma quantidade de extensão de limite de abertura (26); e

estender (64) o limite nas proximidades do conjunto de

traços de contribuição múltipla adjacentes pela quantidade de extensão de limite (26).

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** ainda compreende:

empilhar traços de contribuição múltipla acrescentados à coleta de contribuição múltipla (20) após extensão do limite (26), gerando um traço de correção; e

aplicar o traço de correção para corrigir o traço múltiplo previsto determinado para a coleta de contribuição múltipla (20) antes da extensão do limite (26).

11. Mídia legível por computador, **caracterizada pelo fato de que** contém gravado um método para transformar dados sísmicos em dados com ruído atenuado conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 5.

12. Mídia legível por computador, **caracterizada pelo fato de que** contém gravado um método para prospecção geofísica conforme definido em qualquer uma das reivindicações 6 a 10.

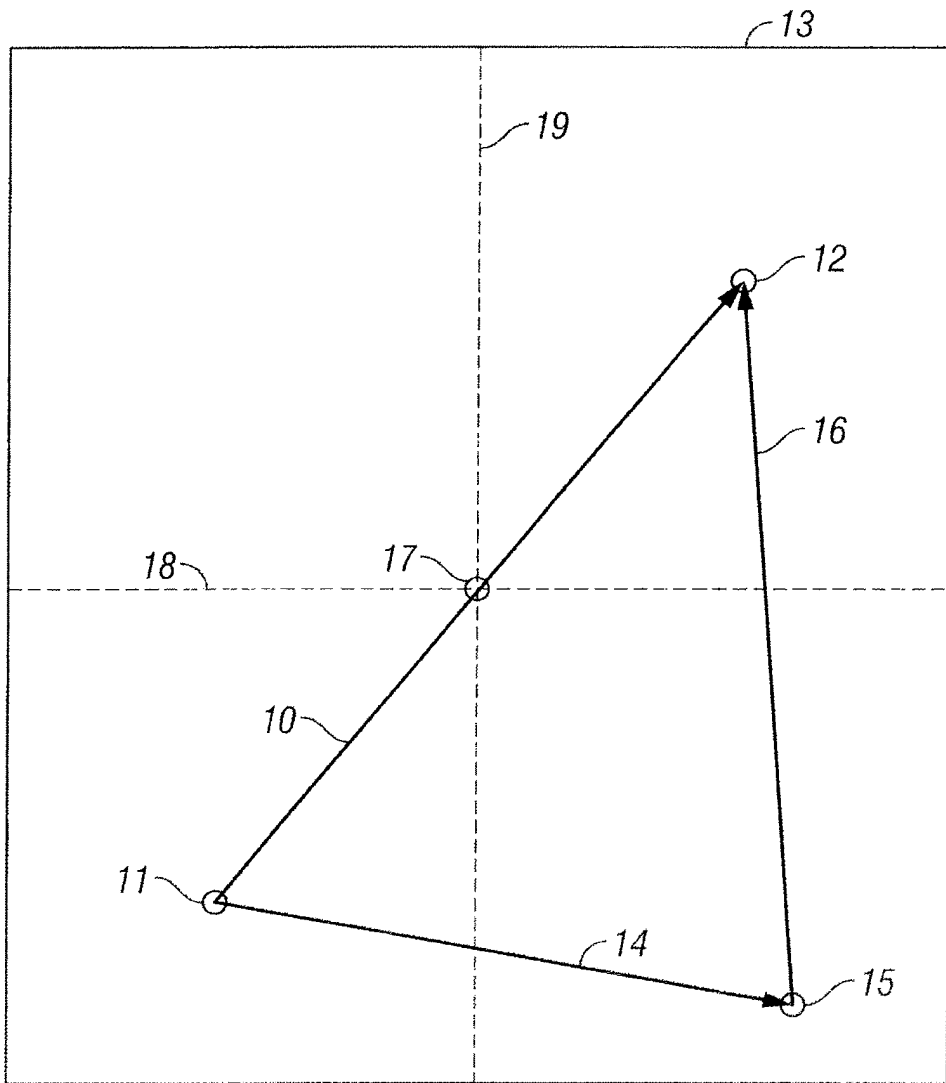


FIG. 1

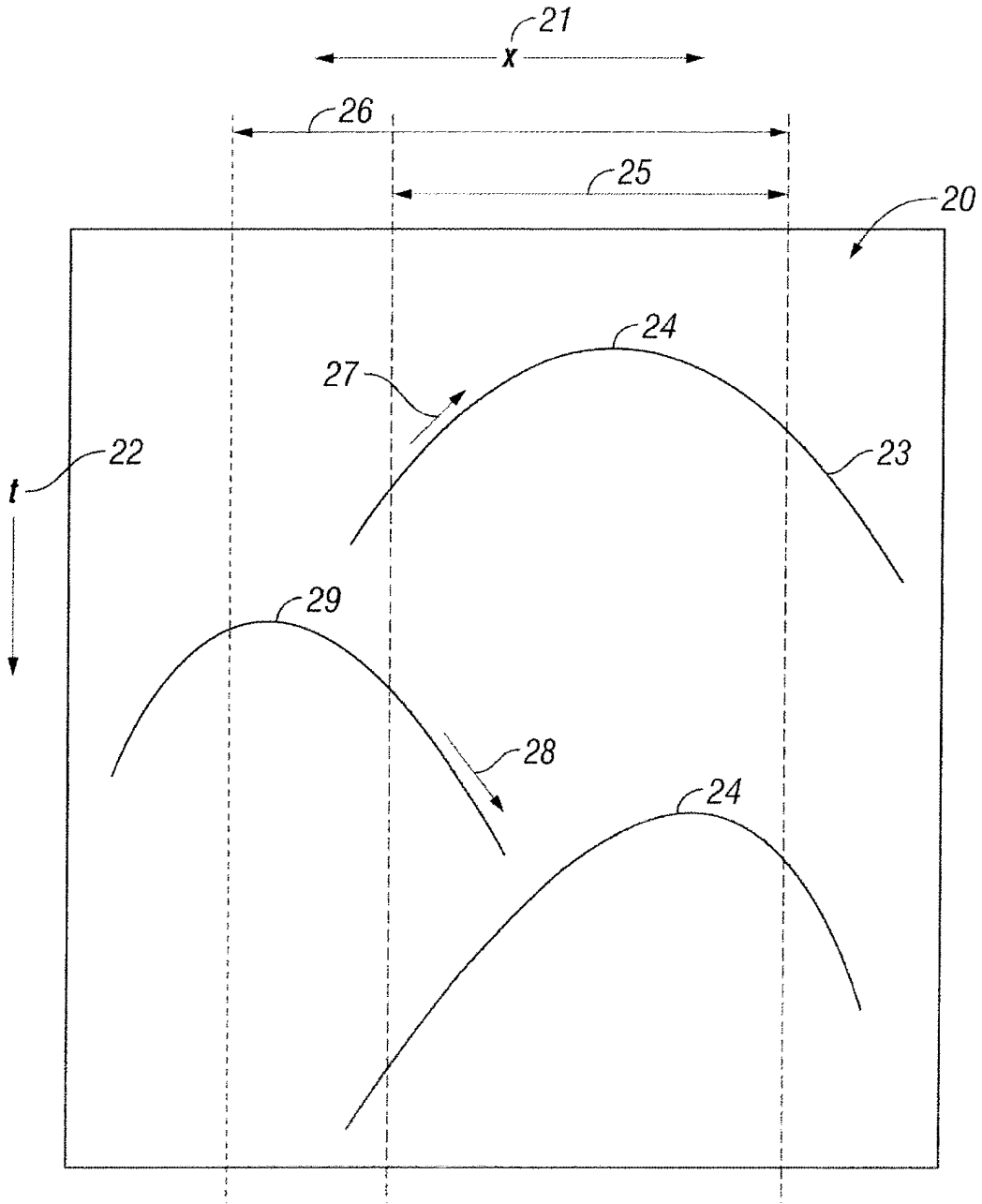


FIG. 2

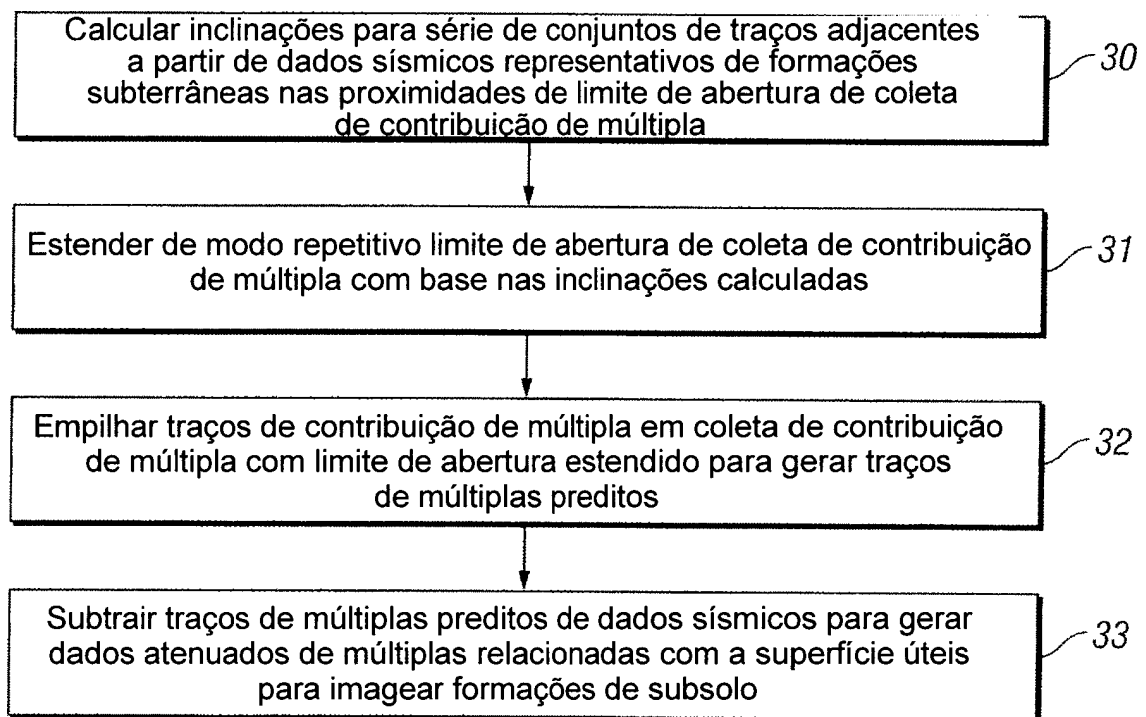


FIG. 3

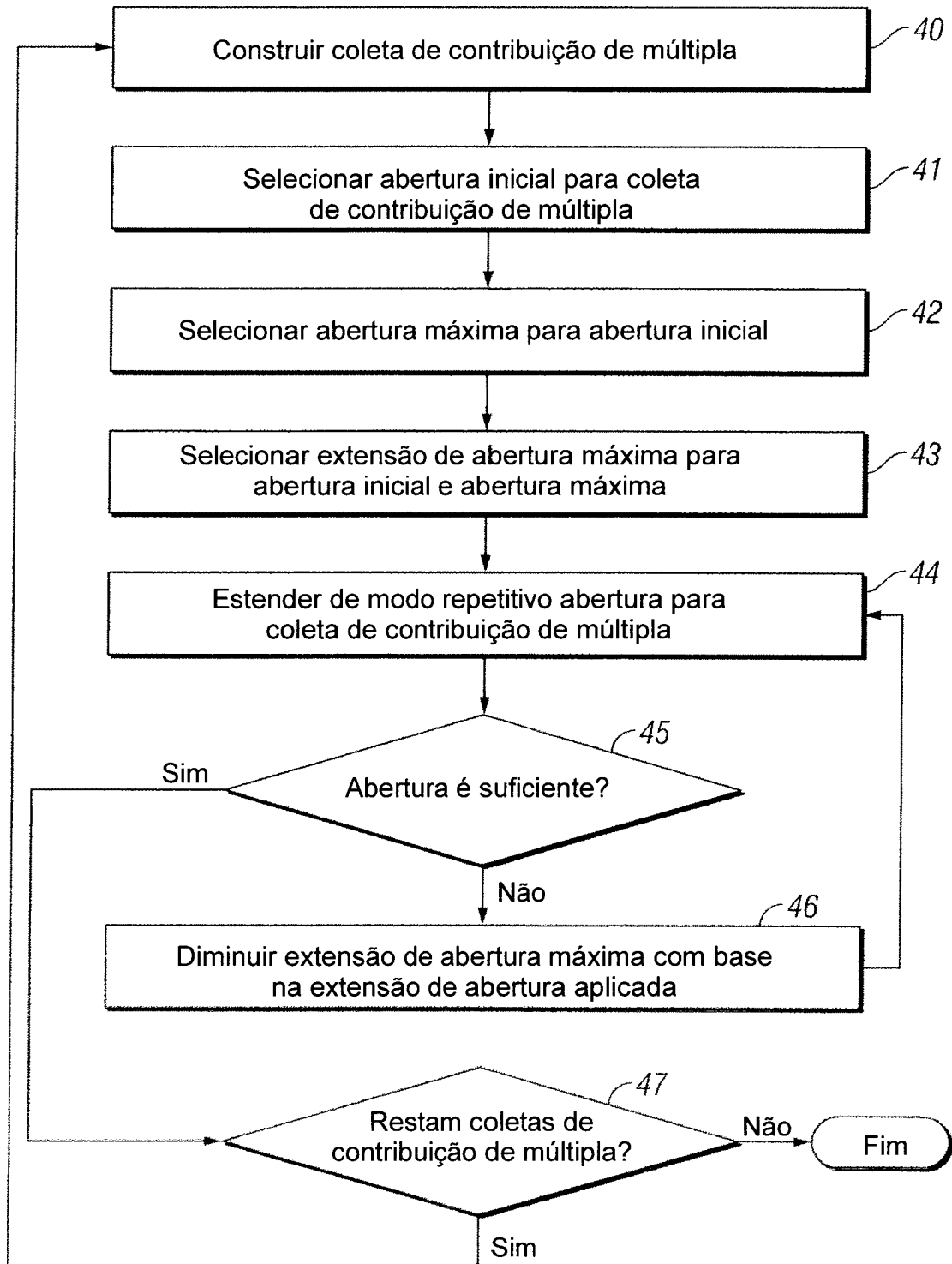


FIG. 4

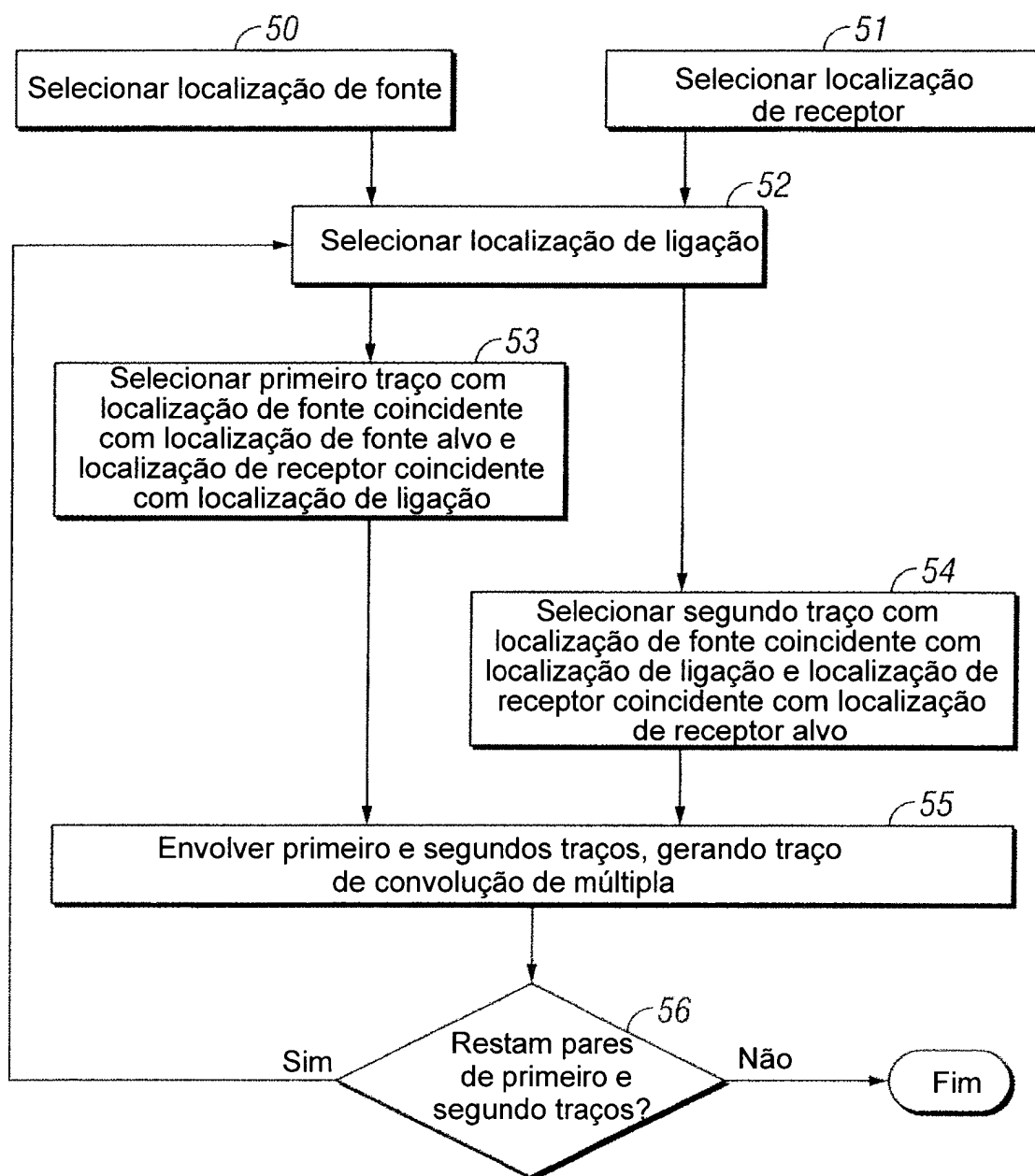


FIG. 5

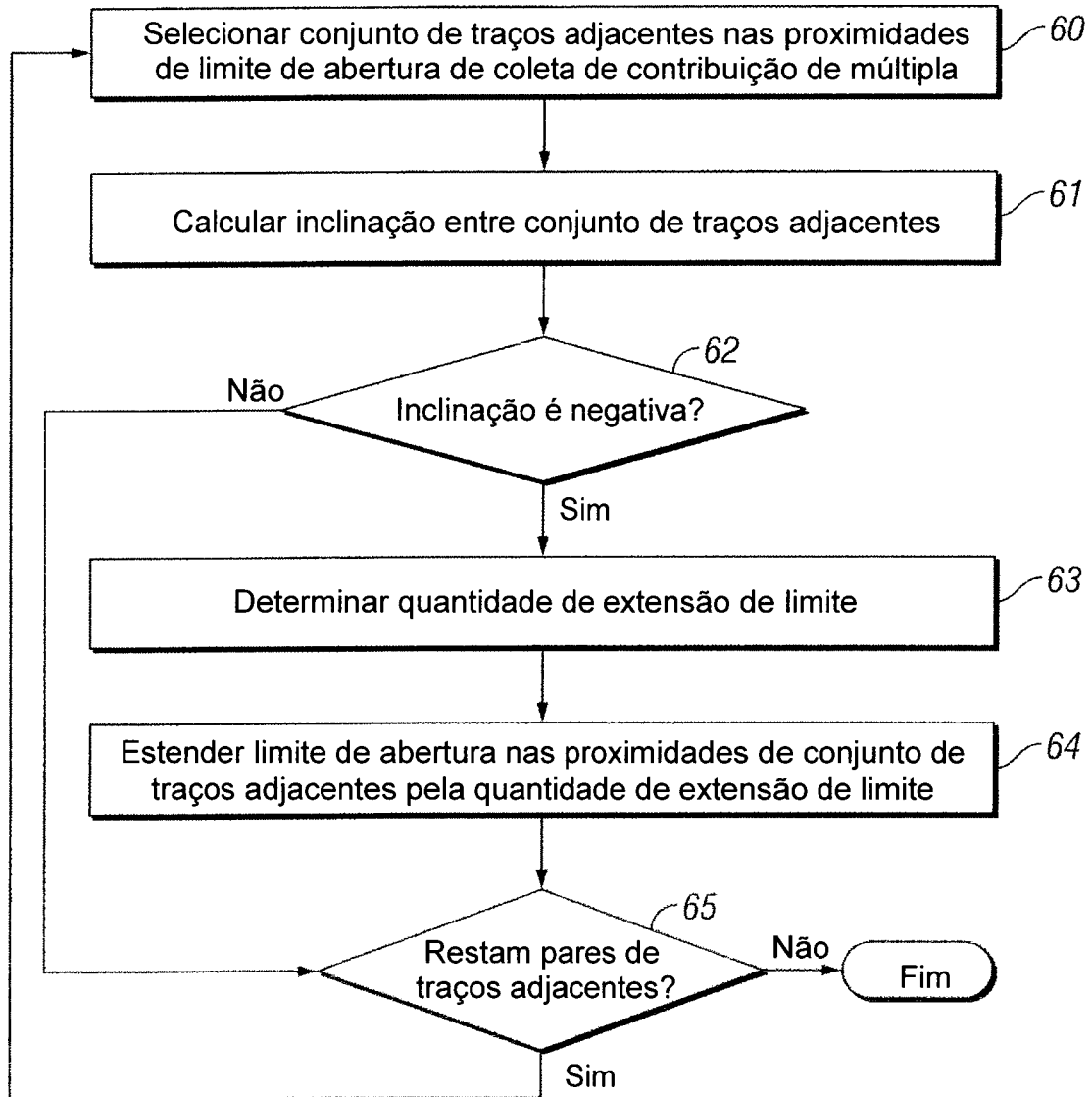


FIG. 6