



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

(11) PI 0413671-3 B1

(22) Data do Depósito: 08/09/2004

(45) Data de Concessão: 14/02/2017



(54) Título: PROCESSO DE MONITORAMENTO DE ILUMINAÇÃO PARA TOMAR DECISÕES DE ENCHIMENTO

(51) Int.Cl.: G01V 1/28

(30) Prioridade Unionista: 12/09/2003 US 10/662,106

(73) Titular(es): PGS AMERICAS, INC.

(72) Inventor(es): WILLIAM B. PRAMIK; ALOKE K. MATHUR; STEVEN B. CAMPBELL; ANDREW F. LUBRANO; SVERRE L. STRANDENES; ANDREW SAMUEL LONG; JOSTEIN LIMA; BARBARA JANINA DANIELSEN; CHRISTIAN STRAND

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"PROCESSO DE MONITORAMENTO DE ILUMINAÇÃO PARA TOMAR DECISÕES DE ENCHIMENTO"**.

Antecedentes da Invenção

5 Campo da Invenção

A presente invenção refere-se geralmente ao campo de prospecção geofísica. Mais especificamente, a invenção refere-se ao campo de aquisição de dados sísmicos. Especificamente, a invenção é um método para aquisição sísmica em 3D, utilizando um monitoramento de iluminação
10 quase em tempo real.

Descrição da Técnica Relacionada

O levantamento sísmico é um método para determinar as estruturas das formações rochosas abaixo da superfície da terra. Os levantamentos sísmicos são executados gerando sinais sísmicos em locais de fonte e
15 recebendo os sinais sísmicos resultantes em locais de recepção. O sinal sísmico emana da fonte e expande para fora em um padrão substancialmente esférico. Quando o sinal atinge as interfaces na subsuperfície entre os estratos que tem diferentes velocidades acústicas ou diferentes impedâncias acústicas, uma porção da energia será refletida da interface, e uma porção
20 da energia será transmitida através da interface. Para a energia refletida, o percurso do raio segue a regra de que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. O percurso do raio da energia que desloca-se através da interface será alterado de acordo com a Lei de Snell.

Se a superfície da terra e todas as interfaces de reflexão na subsuperfície forem substancialmente planas e paralelas à superfície da terra,
25 então para os sinais sísmicos gerados em um dado local de fonte e detectados em um dado local de recepção, pode ser assumido que os locais de reflexão estarão diretamente abaixo do ponto médio entre o local de fonte e o local de recepção. Conseqüentemente, se os sinais sísmicos forem gerados
30 em um padrão uniformemente espaçado de locais de fonte, tal como uma grade retangular de locais tendo um espaçamento uniforme dos locais de fonte tanto na direção em linha quanto na transversal, se os locais de recep-

ção forem também uniformemente espaçados, então os locais nos quais os sinais sísmicos resultantes são refletidos de uma dada interface de reflexão de subsuperfície serão também uniformemente espaçados, e a interface refletora será uniformemente iluminada. Como aqui utilizado, o termo "iluminação" refere-se à quantidade de sinais refletidos de uma área designada de uma interface de reflexão de subsuperfície e detectados pelos receptores.

Freqüentemente, as estruturas de subsuperfície que são de interesse não são nem paralelas à superfície da terra nem planas. Devido às irregularidades da estrutura deste corpo, os percursos de raios sísmicos que emanam das fontes sísmicas de superfície que deslocam-se para este corpo e são então refletidos para a superfície da terra atingirão a superfície da terra em um padrão muito irregular, de modo que os sinais recebidos pelos receptores posicionados em uma configuração de grade regular padrão como acima descrito representam uma iluminação do corpo a qual tem uma substancial variação de uma parte da estrutura para outra. Para as áreas de baixa iluminação, o multiplicador pode ser inadequado para mapear tais locais satisfatoriamente. Como aqui utilizado, o termo "multiplicador" refere-se ao número de traços de dados sísmicos recebidos representativos das áreas de iluminação.

Roy, J. et al., Patente U.S. Número 6.560.565 B2, "Sistema de Informações e Controle Móvel Com base em Satélite", emitido em 6 de Maio de 2003, descreve um sistema de captação de dados, controle de qualidade, e distribuição de informações em tempo real, que compreende recursos de campo, recursos de satélite e recursos de escritório que estão localizados em um local diferente do campo. O sistema sísmico utiliza os dados de posição determinados por GPS (Sistema de Posicionamento Global) integrados com IMU (Unidade de Medição Inercial) para determinar, quase em tempo real se o conjunto determinado de coordenadas de um local no campo está dentro da especificação em relação aos parâmetros de controle de qualidade e em relação a um conjunto de coordenadas pré-traçadas. Uma unidade móvel determina as suas coordenadas e as envia juntamente com os parâmetros de controle de qualidade através de comunicação por satélite e a

Internet para o centro de informações e de controle nos recursos de escritório, onde uma base de conhecimento que contém os fatos e as regras de especialistas é utilizada para determinar se as coordenadas reais estão suficientemente próximas das coordenadas pré-traçadas dados os parâmetros de controle de qualidade associados. Se uma diferença ocorreu, uma solução é inicialmente e automaticamente formulada utilizando a base de conhecimento, e então revista e aprovada por especialistas humanos no centro de controle. Uma decisão final é então transmitida para a unidade móvel nas recursos de campo, através de comunicação por satélite e a Internet, antes que a equipe de campo deixe o local. Todas as informações e ações são compartilhadas com o pessoal apropriado dentro do grupo que executa o trabalho, assim como com o cliente e seus subcontratantes de controle de qualidade, pela Internet. Conseqüentemente, o pessoal no campo pode reposicionar o equipamento enquanto eles estão ainda no local do equipamento. No entanto, Roy et al. não corrige a cobertura de iluminação dos horizontes alvo.

Os métodos tradicionais para determinar se um levantamento sísmico em 3D (tridimensional) atingiu uma cobertura adequada para os propósitos de qualidade de dados têm sido a multiplicidade de CMP (ponto médio comum) para as análises de multiplicador. Esta análise calcula o local dos pontos médios e os deslocamentos entre cada combinação de fonte e de receptor através de toda a área de levantamento. Estas computações são tipicamente segmentadas em faixas deslocadas e então graficamente exibidas. Se o número de combinações de fonte e de receptor que cai em qualquer local de grade ou depósito no levantamento cai abaixo de um certo critério, uma aquisição de dados de enchimento é indicada. Esta metodologia calcula a cobertura da aquisição em 3D da perspectiva de obter-se distribuições de superfície uniformes de pontos de reflexão e deslocamentos sobre a área de levantamento. Este método de análise de multiplicador proveu-se útil, mas pode não prover um retrato adequado da iluminação de subsuperfície em uma situação de geologia complicada.

Há muito tempo é conhecido que existe insuficiente semelhança

entre a cobertura de aquisição em 3D com base nos cálculos de superfície, como descrito na técnica anterior, quando comparada com a iluminação sísmica em um horizonte alvo prospectivo. Uma ferramenta útil que pode ser utilizada em conjunto com os cálculos de cobertura de superfície é um cálculo da cobertura de iluminação de traço de raio no horizonte alvo (ou diversos horizontes alvo). A modelagem de iluminação de traço de raio tem sido utilizada para o projeto de parâmetros de aquisição em 3D e para a análise de iluminação sísmica em 3D após a fase de aquisição estar completa. Ferramentas e métodos existem que podem modelar a iluminação predita em um horizonte alvo com base em parâmetros de aquisição idealizados, ou analisar a cobertura conseguida com base em dados de navegação e localização registrados durante a fase de aquisição de um levantamento. A traçagem de raio através de um modelo da terra pode produzir uma estimativa mais precisa da cobertura de multiplicador de subsuperfície e prover uma base para comparação de geometrias candidatas.

Campbell, S.B. et al., "Análise de Iluminação Com base em Raios Comparativa", Soc. of Geophys., Int'l. Exp. and 72nd Ann. Mtg., Salt Lake City, Utah, 6-11 Out. 2002, Exp. Abstracts, pp 41-44 descreve um método para dirigir a iluminação com um esquema de traçagem de raio, com base em modelo. Este método está adicionalmente descrito no Pedido de Patente U.S. Número 10/155.158, Campbell, Steven B., "Levantamento Geofísico Dirigido", depositado em 24 de Maio de 2002 por um co-inventor do presente pedido de patente e cedido para o cessionário do presente pedido de patente. A traçagem de raio é aplicada a uma área alvo que contém redes de fonte e de recepção hipotéticas em padrões densos. Os pontos emergentes são coletados para todas as fontes contribuintes e traçados como se estes fossem pontos médios de fonte / recepção em um diagrama de multiplicador. O diagrama mostra as áreas de alto multiplicador emergente para os receptores, revelando a colocação mais eficiente dos receptores. A traçagem de raio pode ser novamente aplicada com somente os locais de recepção emergentes altos e a rede densa hipotética de fontes. Os pontos de afastamento são agora depositados como pontos médios de fonte / recepção e áreas de mul-

tiplicação de alto afastamento revelam a colocação mais eficiente das fontes. No entanto, Campbell et al. não discute como corrigir a cobertura de iluminação dos horizontes alvo em tempo real ou quase real.

A modelagem de iluminação de traço de raio de dados de navegação reais é uma melhor aproximação do grau no qual um horizonte alvo de subsuperfície foi iluminado do que a análise de cobertura de ponto médio comum com base em superfície convencional. No entanto, para ter qualquer utilidade no planejamento e na execução de aquisição de planejamento, os resultados da modelagem de iluminação de traço de raio precisam estar disponíveis em tempo real. Os resultados da iluminação de traço de raio devem estar disponíveis quase que imediatamente no completamento da aquisição dos dados, ou melhor ainda, enquanto a aquisição dos dados sísmicos está ainda em progresso. Os avanços recentes na velocidade na qual os dados podem ser transferidos e os aperfeiçoamentos nas capacidades computacionais tornaram isto possível.

Portanto, existe uma necessidade de um método para prover um conjunto de dados aperfeiçoado que possa ser utilizado na análise de decisões de enchimento durante o curso de um projeto de aquisição sísmica em 3D. Assim, existe uma necessidade de um método para monitorar a iluminação da aquisição sísmica em 3D quase em tempo real. Existe uma necessidade de uma metodologia para adquirir e então analisar os resultados de modelagem de iluminação de subsuperfície, determinando e aplicando o local preferido de aquisição de enchimento, e predizendo e avaliando os resultados da aquisição de enchimento, tudo quase em tempo real.

Breve Sumário da Invenção

Esta invenção é um método para a aquisição sísmica em 3D, utilizando um monitoramento de iluminação quase em tempo real. A iluminação de subsuperfície idealizada é gerada utilizando dados de levantamento idealizados. Então, as seguintes três etapas são executadas durante cada um de uma sequência de intervalos de tempo durante o levantamento sísmico. Primeiro, uma porção incremental de dados de levantamento reais é coletada, utilizando um equipamento de aquisição de dados em um local de

aquisição de dados. Segundo, a porção incremental de dados de levantamento reais é comunicada do local de aquisição de dados para um local de processamento de dados. Terceiro, uma porção incremental de iluminação de subsuperfície real é gerada utilizando as porções incrementais de dados de levantamento reais, para gerar incrementalmente a iluminação de subsuperfície real no local de processamento de dados. É determinado se uma aquisição de dados adicional é desejável pela comparação da iluminação de subsuperfície idealizada e da iluminação de subsuperfície real, no local de processamento de dados. Então, qualquer aquisição de dados adicional desejável é executada no local de aquisição de dados antes que o equipamento de aquisição de dados deixe o local de aquisição de dados.

Breve Descrição dos Desenhos

A invenção e suas vantagens podem ser mais facilmente compreendidas por referência à descrição detalhada seguinte e aos desenhos anexos, nos quais:

Figura 1 é um fluxograma que ilustra as etapas de processamento de uma modalidade do método da invenção para aquisição sísmica em 3D, utilizando o monitoramento de iluminação quase em tempo real;

Figura 2 é um fluxograma que descreve adicionalmente a etapa de gerar a iluminação de subsuperfície idealizada, da figura 1;

Figura 3 é um fluxograma que descreve adicionalmente a etapa de comunicar uma porção incremental de dados de levantamento reais, da figura 1;

Figura 4 é um fluxograma que descreve adicionalmente a etapa de gerar uma porção incremental de iluminação de subsuperfície real, da figura 1;

Figura 5 é um fluxograma que descreve adicionalmente a etapa de determinar se uma aquisição de dados adicional é desejável; e

Figura 6 é um fluxograma que descreve adicionalmente a etapa de executar qualquer aquisição de dados adicional desejável, da figura 1.

Apesar da invenção ser descrita em conexão com as suas modalidades preferidas, será compreendido que a invenção não está limitada a

estas. Ao contrário, a invenção pretende cobrir todas as alternativas, modificações, e equivalentes que possam ser incluídos dentro do escopo da invenção, como definido pelas reivindicações anexas.

Descrição Detalhada da Invenção

5 A invenção é um método para a aquisição sísmica em 3D, utilizando um monitoramento de iluminação quase em tempo real. A invenção auxilia em tornar possível o processo de decisão de aquisição de enchimento quase em tempo real durante um levantamento sísmico. Anteriormente, o intervalo de tempo entre o coletamento dos dados sísmicos e o processamento dos dados sísmicos impedia tomar uma decisão em relação à necessidade de uma aquisição sísmica adicional quase em tempo real. Ainda, o tempo requerido para transmitir as grandes quantidades de dados sísmicos do local onde os dados são coletados para o local onde os dados são processados aumenta o intervalo de tempo. O processamento de dados sísmicos é ainda um empenho que utiliza os maiores computadores disponíveis, de modo que tais computadores estão tipicamente localizados em instalações de processamento central ao invés de nos locais de campo de aquisição sísmica.

 Agora, no entanto, os aperfeiçoamentos na tecnologia de computador aumentaram grandemente a velocidade de processamento dos dados sísmicos. Além disso, os aperfeiçoamentos na transmissão de dados através de satélite, tipicamente o único meio de comunicação disponível dos locais de aquisição sísmica remotos ou marinhos, aumentaram grandemente a velocidade de comunicação de dados sísmicos. No entanto, a comunicação e o processamento de imensas quantidades de dados sísmicos adquiridos em um levantamento sísmico em 3D típico todos de uma vez ainda levaria muito tempo para ser capaz de tomar decisões de aquisição de enchimento quase em tempo real. Por razões práticas e econômicas, "quase em tempo real" é definido como antes que o equipamento de aquisição sísmica e o pessoal acompanhante deixem o local de aquisição sísmica para ir para outro serviço. A presente invenção resolve este problema de tempo acelerando tanto a comunicação de dados quanto as etapas de processamento a

velocidades que correspondem à etapa de coletamento de dados. A presente invenção o faz comunicando e processando os dados incrementalmente conforme os dados são coletados. As porções incrementais de dados sísmicos podem ser comunicadas e processadas tão rapidamente quanto estas
5 são coletadas, e então incrementalmente anexadas a dados previamente processados para finalmente gerar um conjunto de dados processados completo. Assim, conforme o coletamento de dados é completado, somente a última porção de dados incremental resta para ser comunicada e processada antes de ter os dados processados completos disponíveis para a análise
10 necessária para tomar decisões sobre a aquisição adicional.

No método da invenção, uma iluminação de subsuperfície idealizada é gerada, antes ou durante o levantamento sísmico, como uma vista de linha de base da cobertura de subsuperfície predita. A iluminação de subsuperfície idealizada é de preferência gerada pela aplicação de modelagem de
15 iluminação de traço de raio nos dados de levantamento idealizados. Os dados de levantamento idealizados têm fontes e receptores sísmicos localizados em configurações idealizadas, tal como sobre uma grade uniformemente espaçada de linhas retas. A iluminação de subsuperfície real é gerada incrementalmente durante a fase de aquisição sísmica do levantamento sísmico. A iluminação de subsuperfície real é de preferência gerada pela aplicação de modelagem de iluminação de traço de raio aos dados de levantamento
20 reais, os locais reais das fontes e receptores sísmicos durante a aquisição sísmica. Os dados de levantamento reais são incrementalmente coletados no local de aquisição de dados, incrementalmente comunicados do local de aquisição de dados para o local de processamento de dados, e incrementalmente processados no local de processamento de dados. Durante a ou no completamento da fase inicial de aquisição sísmica, a iluminação de subsuperfície idealizada de linha de base e a iluminação de subsuperfície real são comparadas uma com a outra e com os mostradores de cobertura de CMP
25 com base em superfície. Áreas são identificadas onde os mostradores de cobertura de CMP com base em superfície mostram a cobertura completa, mas onde a iluminação de subsuperfície resulta mostram uma cobertura de

subsuperfície deficiente. A análise de iluminação dirigida é de preferência aplicada para determinar se e como estas áreas podem ser melhor iluminadas. As decisões de aquisição de enchimento com base nestas análises de comparação são então completadas em tempo para comunicar as diretivas
5 resultantes para o campo antes que o equipamento sísmico e o pessoal acompanhante deixem a área de levantamento.

Ainda, quaisquer decisões relativas à aquisição de enchimento ou aquisição adicional devem ser modeladas por iluminação de traço de raio utilizando uma geometria de aquisição ideal e dados de levantamento ideali-
10 zados para prover uma predição da cobertura que será gerada pela aquisição de enchimento. Após a aquisição adicional, os dados de levantamento resultantes devem ser utilizados para modelar a cobertura conseguida. As comparações entre a cobertura predita e conseguida são feitas do mesmo modo que acima descrito.

15 A figura 1 é um fluxograma que ilustra as etapas de processamento de uma modalidade do método da invenção para a aquisição sísmica em 3D, que utiliza um monitoramento de iluminação quase em tempo real. O fluxograma da figura 1 provê uma vista geral do método da invenção. Os detalhes adicionais do método da invenção estão descritos com referência
20 aos fluxogramas das figuras 2 a 6. A invenção é aplicável a qualquer tipo de levantamento sísmico, mas será ilustrada com referência a levantamentos sísmicos marinhos utilizando flâmulas rebocadas (streamers).

Na etapa 101, uma iluminação de subsuperfície idealizada é gerada utilizando os dados de levantamento idealizados. O método preferido
25 para gerar a iluminação de subsuperfície idealizada é a modelagem de iluminação de traço de raio, aplicada utilizando os locais de fonte e de recepção idealizados em um local de aquisição de dados. Este método preferido está adicionalmente descrito na discussão com referência ao fluxograma na figura 2, abaixo.

30 Na etapa 102, um intervalo de tempo é selecionado durante o levantamento sísmico. De preferência, uma seqüência de intervalos de tempo é pré-selecionada em um modo sistemático para o ciclo atual do levanta-

tamento sísmico. No início, o ciclo atual é o levantamento sísmico atual como planejado. Se qualquer aquisição de enchimento adicional é determinada ser necessária, então o ciclo atual é a aquisição de enchimento adicional. A seqüência de intervalos de tempo é de preferência selecionada em pontos de parada convenientes regularmente programados no levantamento sísmico, iniciando no princípio da aquisição de dados reais no campo e continuando até o final da aquisição de campo. Por exemplo, no caso de levantamentos sísmicos marinhos, a seqüência de intervalos de tempo seria tipicamente selecionada como compreendendo cada linha de vela do levantamento sísmico. No entanto, existe bastante flexibilidade no método da invenção para ajustar os intervalos de tempo para as ocorrências não previstas, tais como a falha do equipamento ou o mau tempo, no levantamento sísmico.

Na etapa 103, uma porção incremental de dados de levantamento reais é coletada no intervalo de tempo selecionado na etapa 102. O levantamento de dados incrementais utiliza um equipamento de aquisição de dados, e seu pessoal acompanhante, em um local de aquisição de dados. Os dados de levantamento reais compreendem os dados de coordenadas para os locais de fonte e de recepção sísmicos reais no levantamento sísmico em progresso.

Como um exemplo, mas não de limitação, considere o caso de um levantamento sísmico marinho. Conforme uma embarcação está adquirindo os dados sísmicos, as informações de localização são obtidas dos vários sistemas de posicionamento embarcados na embarcação. Estes sistemas incluem, mas não estão limitados aos receptores de GPS navegacionais principais, aos receptores de GPS suplementares nas fontes sísmicas e, em alguns casos, às bóias de prolongamento, e o sistema de posicionamento acústico submarino que opera entre o casco da embarcação, as redes de fonte, e o comprimento inteiro de cada flâmula (streamer), a qual carrega os receptores sísmicos. Estas informações de localização são convertidas nas localizações de fontes e receptores, as quais são capturadas, processadas, refinadas, e tipicamente emitidas em formato SEG (Society of Exploration Geophysicists) PI-90 padrão.

Na etapa 104, a porção incremental dos dados de levantamento reais coletados na etapa 103 é comunicada do local de aquisição de dados para um local de processamento de dados. Esta comunicação acontece durante o intervalo de tempo selecionado na etapa 102. A etapa de comunicar
5 uma porção incremental de dados de levantamento reais está adicionalmente abaixo descrita com referência ao fluxograma na figura 3.

Na etapa 105, uma porção incremental de iluminação de subsuperfície real é gerada utilizando as porções incrementais dos dados de levantamento reais coletados na etapa 103 e comunicados na etapa 104. Esta
10 geração acontece no local de processamento de dados, durante o intervalo de tempo selecionado na etapa 102. Esta geração incremental por porções, quando completada pela ciclagem através das etapas 102 a 106, gerará a iluminação de subsuperfície real na sua totalidade. O método preferido para gerar a iluminação de subsuperfície real é a modelagem de iluminação de
15 traço de raio, aplicada utilizando a porção incremental dos dados de levantamento reais. Este método preferido está adicionalmente descrito na discussão com referência ao fluxograma na figura 4, abaixo.

Na etapa 106, é determinado se o ciclo atual de levantamento sísmico está completo. Se a resposta for não, o ciclo atual de levantamento
20 sísmico não está completo, então o processo retorna para a etapa 102 para selecionar outro intervalo de tempo e coletar mais dados sísmicos. Se a resposta for sim, o ciclo atual de levantamento sísmico está completo, então o processo continua para a etapa 107.

Na etapa 107, é determinado se uma aquisição de dados adicional é desejável após o ciclo atual de aquisição de dados estar completo nas
25 etapas 102 até 106. A determinação é feita por comparação da iluminação de subsuperfície idealizada gerada na etapa 101 e a iluminação de subsuperfície real gerada incrementalmente na etapa 105. A determinação é feita no local de processamento de dados. Se a resposta for não, nenhuma aquisição de dados adicional é desejável, então o processo prossegue para a
30 etapa 108 para terminar. Se a resposta for sim, uma aquisição de dados adicional é desejável, então o processo continua para a etapa 109. A etapa de

determinar se uma aquisição de dados adicional é desejável está adicionalmente abaixo descrita com referência ao fluxograma na figura 5.

Na etapa 109, qualquer aquisição de dados adicional que é determinada na etapa 107 ser desejável é executada. A aquisição de dados adicional é executada no local de aquisição de dados, de modo que a decisão e as instruções devem ser transmitidas do local de processamento de dados de volta para o local de aquisição de dados antes que o equipamento de aquisição de dados e o seu pessoal acompanhante deixem o local de aquisição de dados. A etapa de executar qualquer aquisição de dados adicional está adicionalmente abaixo descrita com referência ao fluxograma na figura 6.

A figura 2 é um fluxograma que descreve adicionalmente a etapa de gerar a iluminação de subsuperfície idealizada, como acima discutido com referência à etapa 101 na figura 1.

Na etapa 201, os dados de superfície são adquiridos para a área de levantamento sísmico de interesse. Os dados de superfície compreendem as coordenadas tridimensionais que fornecem a localização de todas as superfícies de interesse. Os dados de superfície podem incluir, mas não estão restritos a superfície da terra, superfície da água, superfície do fundo da água, aos horizontes alvo de interesse, limites de domo de sal, e falhas.

As coordenadas tridimensionais utilizadas nesta e em etapas adicionais são tipicamente coordenadas Cartesianas, com x e y fornecendo as coordenadas horizontais, ou de localização lateral e z fornecendo a coordenada vertical, ou de profundidade. Frequentemente as coordenadas x e y são escolhidas para corresponderem às coordenadas em linha e transversais, respectivamente do levantamento sísmico. Alternativamente, as coordenadas x e y correspondem às coordenadas do mundo real, tal como as coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), utilizadas nos mapas de Levantamento Geológico dos U.S. Em qualquer caso, as coordenadas podem precisar ser transformadas das e para as coordenadas internas utilizadas em programas de software de computador nas etapas de processamento abaixo discutidas.

Na etapa 202, os dados de velocidade são adquiridos para a área de levantamento sísmico de interesse. Os dados de velocidade são de preferência adquiridos na forma de um cubo de velocidade, uma grade tridimensional de pontos de coordenadas e valores de velocidade. Os dados de superfície na etapa 201 e o modelo da terra de dados de velocidade podem ser gerados de qualquer fonte de dados apropriada. Como um exemplo, mas não de limitação, os dados de superfície e de velocidade podem ser gerados de combinações de tais fontes assim como dados de registro, dados de gravidade, dados magnéticos e dados sísmicos.

Na etapa 203, um modelo da terra em 3D é gerado para a área de levantamento sísmico de interesse. O modelo da terra é gerado dos dados de superfície adquiridos na etapa 201 e dos dados de velocidade adquiridos na etapa 202. O modelo é gerado para prover uma aproximação razoável da estrutura geológica na área de levantamento sísmico.

Na etapa 204, os dados de levantamento idealizados para o levantamento sísmico são gerados. Os dados de levantamento idealizados compreendem os dados de coordenadas para os locais de fonte e de recepção sísmicos em um levantamento pré-gráfico idealizado. Tipicamente, o levantamento pré-gráfico idealizado tem uma geometria de aquisição idealizada com as fontes e os receptores posicionados em uma grade regular construída de linhas retas e espaçamento uniforme.

Como um exemplo, mas não de limitação, os dados de levantamento idealizados no caso de levantamentos sísmicos marinhos incluem dados de navegação perfeitos e dados de configuração da embarcação perfeitos. Dados perfeitos significa um alinhamento de tiro perfeito, um espaçamento de flâmula (streamer) perfeito, e nenhuma dispersão ou desvio. Os dados de navegação incluíram os locais de início e de término de cada linha de vela do levantamento, o azimuth da linha de vela e a direção da linha de vela ao longo daquele azimuth. Os dados de configuração da embarcação incluíram o número e o comprimento das flâmulas (streamers), o espaçamento entre as flâmulas (streamers), o espaçamento entre os receptores ao longo das flâmulas (streamers), a distância entre a embarcação e o centro

da fonte, e a distância entre o centro da fonte e os primeiros receptores.

Na etapa 205, uma modelagem de iluminação de traço de raio é aplicada na área de levantamento sísmico, utilizando o modelo da terra em 3D gerado na etapa 203 e os dados de levantamento idealizados gerados na
 5 etapa 204. A modelagem de iluminação de traço de raio é aplicada utilizando os locais de fonte e de recepção idealizados no local de aquisição de dados. Por exemplo, no caso de levantamentos sísmicos marinhos, os locais de fonte poderiam estar nos centros das redes de pistola de ar rebocadas e os locais de recepção poderia estar nos centros das redes de hidrofones nos
 10 flâmulas rebocadas (streamers). O local de aquisição de dados estaria em uma área que inclui as linhas de vela para as redes de pistola de ar rebocadas e as redes de hidrofones rebocados.

A modelagem de iluminação de traço de raio gera uma iluminação de subsuperfície idealizada para uma comparação posterior com a ilu-
 15 minação de subsuperfície real. A iluminação de subsuperfície idealizada gerada pode incluir, mas não está restrita a, tais características sísmicas mensuráveis como um multiplicador de subsuperfície; uma distribuição de deslocamento; os ângulos de incidência de reflexão mínimos, máximos, e médios; os deslocamentos mínimos e máximos; e um multiplicador de subsuperfície
 20 para os alcances de deslocamento próximos, médios, e distantes. A iluminação de subsuperfície idealizada pode ser apresentada para uma análise comparativa em qualquer combinação apropriada de apresentações de iluminação de subsuperfície idealizada.

A Figura 3 é um fluxograma que descreve adicionalmente a etapa de comunicar uma porção incremental de dados de levantamento reais,
 25 como acima discutido com referência à etapa 104 na Figura 1.

Na etapa 301, a porção incremental de dados de levantamento reais é opcionalmente decimada, se necessário para a comunicação na etapa 303, abaixo. Note que a compressão opcional na etapa 302 abaixo é suficiente para a comunicação na etapa 303 abaixo, então a decimação pode
 30 não ser necessária.

Na etapa 302, os dados de levantamento opcionalmente deci-

mados da etapa 301 são opcionalmente comprimidos, se necessário para a comunicação na etapa 303, abaixo. Note que a decimação opcional na etapa 301 acima é suficiente para a comunicação na etapa 303 abaixo, então a compressão pode não ser necessária. Os métodos de compressão UNIX

5 padrão podem atingir razões de compressão de aproximadamente 20:1. Os pacotes de software comercialmente disponíveis (por exemplo, o NAVCOM, o qual pode ser licenciado da companhia Øedegaard A/S) atingem razões de compressão de dados além de 30:1. Estas razões de compressão foram consideradas suficientes para transferir os dados de levantamento reais típi-

10 cos através de conexão de comunicação por satélite sem decimação.

Na etapa 303, os dados de levantamento opcionalmente comprimidos da etapa 302 são comunicados para as instalações de processamento que analisarão os dados. Os dados de levantamento opcionalmente comprimidos são de preferência comunicados utilizando uma conexão de

15 comunicação por satélite ou a Internet. No exemplo de levantamento sísmico marinho, a prática geral é de gerar um único arquivo PI-90 para cada linha de vela no levantamento sísmico marinho para minimizar as possibilidades de erros de transcrição no processamento. A transferência de arquivos de dados deste grande tamanho através de uma conexão operada por satélite

20 usualmente requer ou a decimação ou a compressão de dados.

Os dados de levantamento opcionalmente comprimidos são de preferência comunicados quase em tempo real, rapidamente o bastante para que outro ciclo de aquisição de enchimento possa ser analisado, decidido, comunicado para o campo, e iniciado enquanto o equipamento de levanta-

25 mento está ainda na área de levantamento sísmico.

Na etapa 304, os dados de levantamento comunicados da etapa 303 podem ser opcionalmente desdecimados, se opcionalmente decimados na etapa 301, acima. Tipicamente, a desdecimação é feita através de interpolação. No entanto, a interpolação é uma aproximação e os dados originais

30 não são recuperados. Assim, esta etapa não é preferida.

Na etapa 305, os dados de levantamento opcionalmente desdecimados da etapa 304 são opcionalmente descomprimidos, se opcionalmen-

te comprimidos na etapa 302, acima.

Na etapa 306, os dados de levantamento opcionalmente des-comprimidos da etapa 305 são opcionalmente reformatados, se necessário, para um formato compatível com o software que está sendo utilizado para a
5 modelagem de iluminação de traço de raio na etapa 307 abaixo. A intenção da reformatação opcional é de substancialmente duplicar na simulação de computador as posições das fontes e receptores sísmicos observados no campo.

A Figura 4 é um fluxograma que descreve adicionalmente a eta-
10 pa de gerar uma porção incremental de iluminação de subsuperfície real, como acima discutido com referência à etapa 105 na Figura 1.

Na etapa 401, a modelagem de iluminação de traço de raio é aplicada utilizando o modelo da terra em 3D gerado na etapa 203 da Figura 2 e a porção incremental de dados de levantamento reais coletados na etapa
15 104 da Figura 1.

Na etapa 402, somente uma porção incremental de iluminação de subsuperfície real é gerada da modelagem de iluminação de traço de raio da etapa 401. Esta geração incremental de iluminação de subsuperfície real torna o monitoramento quase em tempo real da aquisição sísmica possível,
20 já que a geração pode ser feita na mesma quantidade de tempo que a próxima porção incremental de dados de levantamento reais está sendo coletada na etapa 103 da Figura 1. A iluminação de subsuperfície real pode ser as mesmas características sísmicas mensuráveis como geradas para a iluminação de subsuperfície idealizada e discutida na etapa 205 na Figura 2. A
25 iluminação de subsuperfície real pode ser apresentada para uma análise comparativa em qualquer combinação apropriada de apresentações de iluminação de subsuperfície real.

Na etapa 403, a porção incremental de iluminação de subsuperfície real gerada na etapa 402 é anexada às porções incrementais anterior-
30 mente geradas de iluminação de subsuperfície real. Assim, a iluminação de subsuperfície real gerada no ciclo atual de aquisição sísmica incremental é anexada aos resultados de iluminação gerados em todos os ciclos anteriores

das etapas 102-105 da Figura 1. A iluminação de subsuperfície real é anexada em um formato adequado para apresentação e análise.

A Figura 5 é um fluxograma que descreve adicionalmente a etapa de determinar se uma aquisição de dados adicional é desejável, como
5 acima discutido com referência à etapa 107 na Figura 1.

Na etapa 501, apresentações de cobertura de CMP com base em superfície são geradas para a área de levantamento sísmico de interesse. Estas apresentações de cobertura de CMP convencionais são bem conhecidas na técnica de processamento sísmico.

10 Na etapa 502, as apresentações de cobertura de CMP geradas na etapa 501, a iluminação de subsuperfície idealizada gerada pela modelagem de iluminação de traço de raio na etapa 205 da Figura 2, e a iluminação de subsuperfície real gerada pela modelagem de iluminação de traço de raio na etapa 401 da Figura 4 são comparadas. Estas comparações podem ser
15 visuais, computacionais, analíticas, ou de outro modo, e podem incluir um processamento sísmico, um processamento de imagem, um reconhecimento de padrão, uma análise de imagem, ou qualquer outro método conhecido na técnica de processamento sísmico.

Na etapa 503, as áreas de cobertura de subsuperfície insuficiente são identificadas da comparação da cobertura de superfície e da iluminação de superfície idealizada e real na etapa 402.
20

Na etapa 504, é determinado se uma aquisição de enchimento adicional é desejada, com base em se áreas de cobertura de subsuperfície insuficiente forem identificadas na etapa 503. Se a resposta for não, nenhuma aquisição adicional é desejada, então o processo prossegue para a etapa 505 para terminar. Se a resposta for sim, uma aquisição adicional é desejada, então o processo continua para a etapa 506.
25

Na etapa 506, o processo continua na etapa 601 da Figura 6.

A Figura 6 é um fluxograma que adicionalmente descreve a etapa de executar qualquer aquisição de dados adicional desejável, como acima discutido com referência à etapa 108 na Figura 1.
30

Na etapa 601, novos dados de levantamento são determinados

para corrigir as áreas de cobertura de subsuperfície insuficiente identificadas na etapa 503 da Figura 5. O método preferido para determinar os novos dados de levantamento é a análise de iluminação dirigida, abaixo mais completamente descrita. Alternativamente, os novos dados de levantamento poderiam ser determinados por traçagem de raio inversa ou qualquer método conhecido na técnica de processamento ou de modelagem sísmica.

O método preferido de análise de iluminação dirigida está descrito no Pedido de Patente U.S. Número 10/155.158, "Levantamento Geofísico Dirigido", de Campbell, acima discutido. O método preferido é um método para planejar um levantamento sísmico com base em um modelo de uma formação de subsuperfície, que compreende gerar uma simulação de computador de um levantamento sísmico que tem fontes e receptores posicionados em locais selecionados em relação ao modelo; executar a traçagem de raio dos locais de fonte para estimar os percursos de raios de propagação dos sinais sísmicos que emanam dos locais de fonte; determinar os locais de pontos emergentes nos quais os percursos de raios atingem a superfície da terra após a reflexão de uma área de subsuperfície de interesse estão concentrados; e designar um levantamento sísmico no qual as posições de recepção estão concentradas nos locais onde os pontos emergentes estão concentrados. Além disso, para melhorar a iluminação de um alvo de subsuperfície de interesse, o método preferido ainda compreende utilizar um modelo da subsuperfície para determinar os locais de superfície que tem uma alta concentração de locais emergentes de sinais sísmicos refletidos do alvo de subsuperfície e posicionar os receptores sísmicos nos locais que tem uma alta concentração de locais emergentes.

Na etapa 602, uma modelagem de iluminação de traço de raio é aplicada na área de levantamento sísmico, utilizando o modelo da terra em 3D gerado na etapa 203 da Figura 2 e os novos dados de levantamento determinados na etapa 601. A modelagem de iluminação de traço de raio gera uma iluminação de subsuperfície de acompanhamento que corresponde à iluminação de subsuperfície idealizada e à iluminação de subsuperfície real discutidas nas etapas 101 e 105, respectivamente, da Figura 1. A iluminação

de subsuperfície de acompanhamento pode ser apresentada para uma análise comparativa em qualquer combinação apropriada de apresentações de iluminação de subsuperfície de acompanhamento.

Na etapa 603, os novos dados de levantamento da etapa 601
5 são comunicados para o campo. Os novos dados de levantamento são de preferência comunicados quase em tempo real, isto é, rapidamente o bastante que o próximo ciclo de aquisição de enchimento possa iniciar enquanto o equipamento de levantamento e o pessoal acompanhante esteja ainda na área de levantamento sísmico.

10 Na etapa 604, retorna para a etapa 102 na Figura 1, para selecionar outra seqüência de intervalos de tempo durante outro ciclo do levantamento sísmico e executa a aquisição sísmica de enchimento utilizando os novos dados de levantamento determinados na etapa 601.

Assim, após quaisquer ciclos de aquisição adicional considerados necessários através da comparação quase em tempo real de apresentações de iluminação idealizada e real de resultados de iluminação e tornados efetivos através da aplicação quase em tempo real de análise de iluminação dirigida, o levantamento sísmico está completo. A aquisição de enchimento é executada antes que o equipamento sísmico e o pessoal acompanhante deixem a área de levantamento sísmico porque a análise e a determinação de
20 aquisição de enchimento é feita e comunicada quase em tempo real.

Deve ser compreendido que o precedente é meramente uma descrição detalhada de modalidades específicas desta invenção e que numerosas mudanças, modificações, e alternativas às modalidades descritas
25 podem ser feitas de acordo com a descrição aqui sem afastar-se do escopo da invenção. A descrição precedente, portanto, não pretende limitar o escopo da invenção. Ao contrário, o escopo da invenção deve ser determinado somente pelas reivindicações anexas e seus equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para aquisição sísmica, que compreende:

gerar uma iluminação de subsuperfície idealizada utilizando dados de levantamento idealizados;

5 executar o seguinte durante cada um de uma seqüência de intervalos de tempo durante um levantamento sísmico:

coletar uma porção incremental de dados de levantamento reais, utilizando um equipamento de aquisição de dados em um local de aquisição de dados;

10 comunicar a porção incremental de dados de levantamento reais do local de aquisição de dados para um local de processamento de dados; e

gerar uma porção incremental de iluminação de subsuperfície real utilizando as porções incrementais de dados de levantamento reais, para gerar incrementalmente a iluminação de subsuperfície real no local de

15 processamento de dados;

determinar se uma aquisição de dados adicional é desejável pela comparação da iluminação de subsuperfície idealizada e da iluminação de subsuperfície real, no local de processamento de dados; e

20 executar qualquer aquisição de dados adicional desejável antes que o equipamento de aquisição de dados deixe o local de aquisição de dados.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de gerar a iluminação de subsuperfície idealizada compreende:

gerar um modelo da terra em 3D; e

25 aplicar a modelagem de iluminação de traço de raio, utilizando o modelo da terra em 3D e os dados de levantamento idealizados.

3. Método de acordo com a reivindicação 2, em que a etapa de gerar um modelo da terra em 3D compreende:

determinar os dados de superfície;

30 determinar os dados de velocidade; e

gerar um modelo da terra em 3D utilizando os dados de superfície e os dados de velocidade.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, em que os dados de levantamento idealizados compreendem locais de fonte e de recepção idealizados para o levantamento sísmico.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, em que os dados de levantamento reais compreendem locais de fonte e de recepção reais do levantamento sísmico.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de coletar as porções incrementais de dados de levantamento reais compreende:

10 selecionar uma seqüência de intervalos de tempo que abranja o levantamento sísmico; e

 coletar as porções incrementais de dados de levantamento reais durante cada um dos intervalos de tempo na seqüência.

7. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de comunicar uma porção incremental de dados de levantamento reais utiliza uma conexão de comunicação por satélite.

8. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de comunicar uma porção incremental de dados de levantamento reais ainda compreende:

20 comprimir a porção incremental de dados de levantamento reais; comunicar os dados de levantamento comprimidos; e descomprimir os dados de levantamento comunicados.

9. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de comunicar uma porção incremental de dados de levantamento reais ainda compreende:

25 decimar a porção incremental de dados de levantamento reais; comunicar os dados de levantamento decimados; e desdecimar os dados de levantamento comunicados.

10. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de comunicar uma porção incremental de dados de levantamento reais ainda compreende:

 reformatar os dados de levantamento comunicados para a mo-

delagem de iluminação de traço de raio.

11. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de gerar uma porção incremental de iluminação de subsuperfície real compreende:

5 aplicar a modelagem de iluminação de traço de raio utilizando o modelo da terra em 3D e a porção incremental de dados de levantamento reais;

 gerar uma porção incremental de iluminação de subsuperfície real; e

10 anexar a porção incremental de iluminação de subsuperfície real a porções anteriormente geradas de iluminação de subsuperfície real de intervalos de tempo anteriores.

12. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de determinar se uma aquisição de dados adicional é desejável compreende:

15 gerar apresentações de cobertura de CMP com base em superfície;

 comparar as apresentações de cobertura de CMP com base em superfície, a iluminação de subsuperfície idealizada, e a iluminação de subsuperfície real; e

20 identificar áreas de cobertura de subsuperfície insuficiente da comparação.

13. Método de acordo com a reivindicação 12, em que a etapa de executar qualquer aquisição de dados adicional desejável ainda compreende:

25 aplicar a modelagem de iluminação de traço de raio utilizando o modelo da terra em 3D e os dados de levantamento idealizados, para gerar uma nova iluminação de subsuperfície.

14. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a etapa de executar qualquer aquisição de dados adicional desejável ainda compreende:

30 de:

 aplicar uma análise de iluminação dirigida nas áreas de cobertura de subsuperfície insuficiente para gerar novos dados de levantamento.

15. Método de acordo com a reivindicação 14, em que a etapa de executar qualquer aquisição de dados adicional desejável ainda compreende:

- 5 comunicar os novos dados de levantamento para o local de aquisição de dados; e
- executar a aquisição sísmica de enchimento utilizando os novos dados de levantamento.

16. Método para o monitoramento de iluminação para a aquisição de enchimento quase em tempo real em um levantamento sísmico, que
10 compreende:

- aplicar a modelagem de iluminação de traço de raio utilizando locais de fonte e de recepção idealizados em áreas de fonte e de recepção originais, respectivamente, em uma área de aquisição de dados para gerar uma iluminação de subsuperfície idealizada;

15 coletar os locais de fonte e de recepção reais durante o levantamento sísmico;

- aplicar a modelagem de iluminação de traço de raio em um local de processamento de dados, utilizando os locais de fonte e de recepção reais para gerar a iluminação de subsuperfície real;

20 determinar uma cobertura de subsuperfície insuficiente quase em tempo real pela comparação da iluminação de subsuperfície idealizada e da iluminação de subsuperfície real;

- determinar novas áreas de fonte e de recepção quase em tempo real que corrijam a cobertura de subsuperfície insuficiente; e

25 repetir as etapas acima com as novas áreas de fonte e de recepção substituídas para as áreas de fonte e de recepção originais, respectivamente.

17. Método para o monitoramento de iluminação para a aquisição de enchimento quase em tempo real em um levantamento sísmico, que
30 compreende:

- aplicar a modelagem de iluminação de traço de raio utilizando locais de fonte e de recepção idealizados em linhas de fonte e de recepção

originais, respectivamente, para gerar uma iluminação de subsuperfície idealizada;

- coletar as porções incrementais de locais de fonte e de recepção reais utilizando o equipamento de dados de aquisição em um local de aquisição de dados, durante o levantamento sísmico;

aplicar a modelagem de iluminação de traço de raio em um local de processamento de dados, utilizando as porções incrementais de locais de fonte e de recepção reais para gerar as porções incrementais de iluminação de subsuperfície real;

- anexar as porções incrementais de iluminação de subsuperfície real a uma iluminação de subsuperfície real anteriormente processada;

determinar se uma aquisição de dados adicional é desejável para a correção de cobertura de subsuperfície insuficiente pela comparação da iluminação de subsuperfície idealizada e da iluminação de subsuperfície real;

- al;

determinar novas linhas de fonte e de recepção para uma aquisição de dados desejável que corrijam a cobertura de subsuperfície insuficiente; e

- executar a aquisição de dados desejável pela repetição das etapas acima com as novas linhas de fonte e de recepção substituídas para as linhas de fonte e de recepção originais, respectivamente, antes que o equipamento de aquisição de dados deixe a área de aquisição de dados.

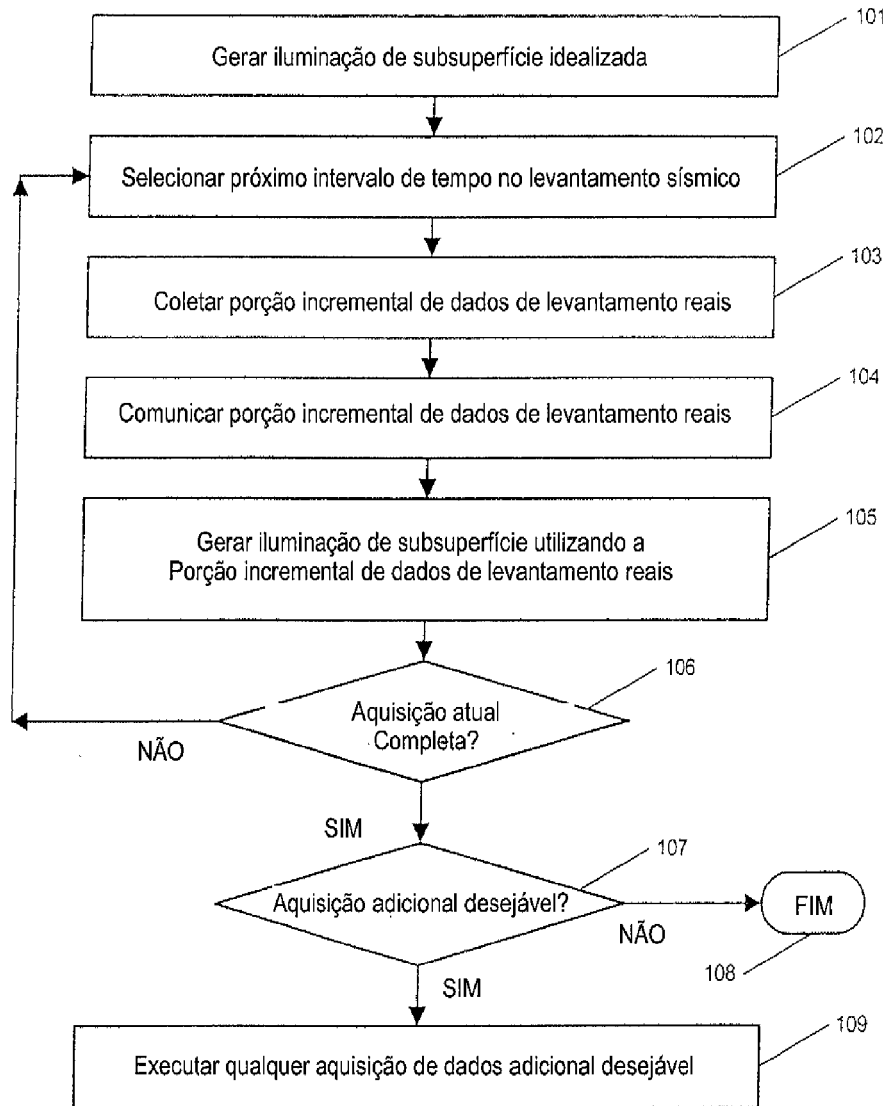


FIG. 1

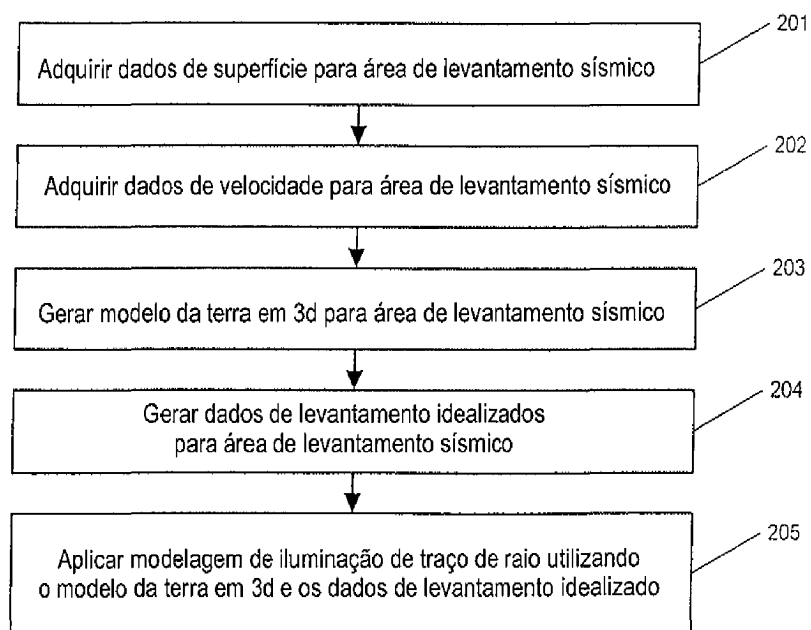


FIG. 2

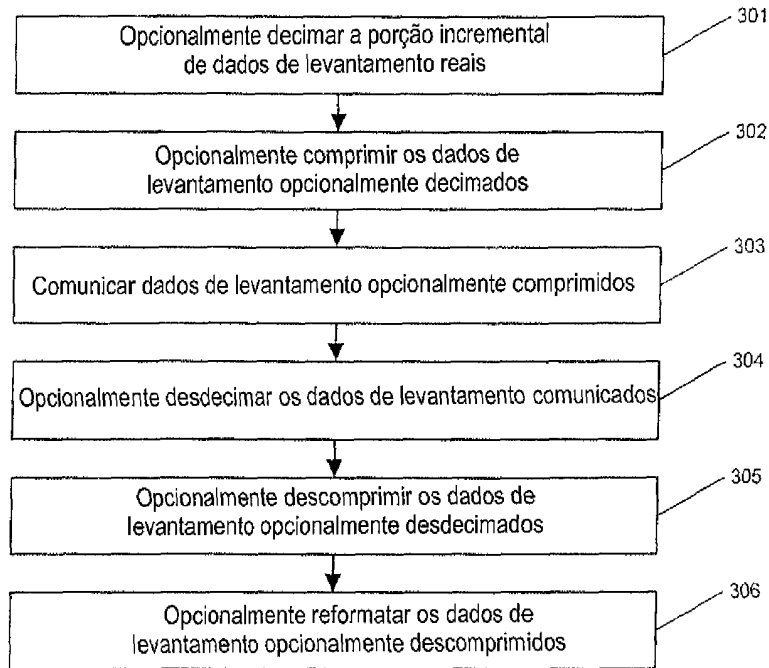


FIG. 3

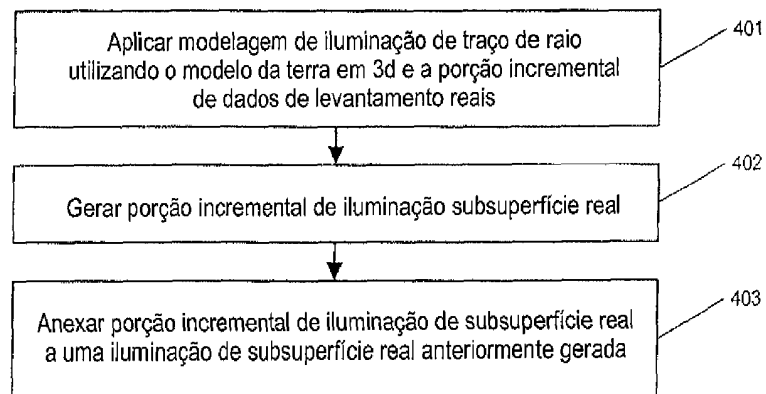


FIG. 4

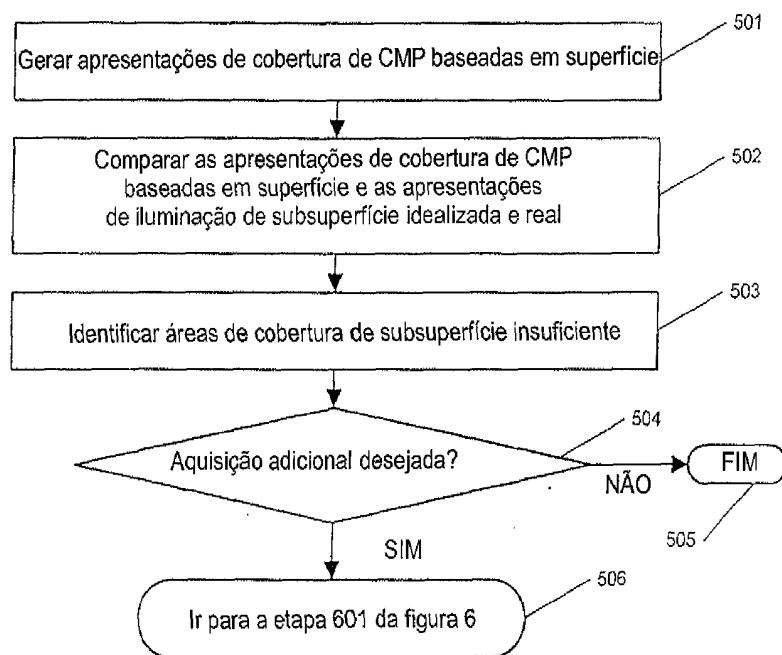


FIG. 6

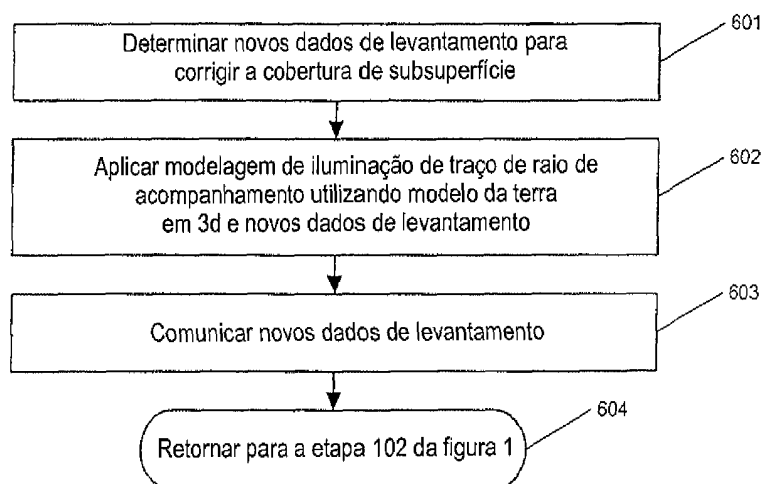


FIG. 5