

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

(21) **PI 0713174-7 A2**

(22) Data de Depósito: 18/07/2007
(43) Data da Publicação: 20/03/2012
(RPI 2150)



(51) *Int.Cl.:*
G06T 5/00

(54) **Título:** SISTEMA DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL E MÉTODO DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL

(30) **Prioridade Unionista:** 20/07/2006 US 11/458,811

(73) **Titular(es):** HARRIS CORPORATION

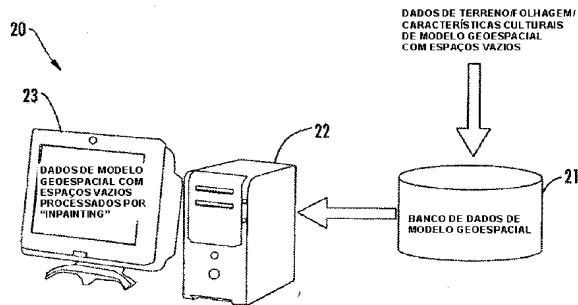
(72) **Inventor(es):** ADRIAN M. PETER, ANTHONY O'NEIL SMITH, EMILE GANTHIER, Edward Beadle, JOSEF ALLEN, MARK RAHMES

(74) **Procurador(es):** DAVID DO NASCIMENTO
ADVOGADOS ASSOCIADOS

(86) **Pedido Internacional:** PCT US07073852 de 18/07/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/133699de
06/11/2008

(57) **Resumo:** SISTEMA DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL E MÉTODO DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL. Trata-se de um sistema de modelação geoespacial (20) que pode incluir um banco de dados de modelo geoespacial (21) e um processador (22). Mais particularmente, o processador (22) pode cooperar com o banco de dados de modelo geoespacial (21) para o sombreadimento de dados em pelo menos um espaço vazio (102) nos dados de domínio de frequência de modelo geoespacial (101) com base na propagação dos dados do contorno de fora de pelo menos um espaço vazio para pelo menos um espaço vazio, e para converter os dados de domínio de frequência de modelo geoespacial após o sombreadimento em dados de domínio espacial de modelo geoespacial (110b).



SISTEMA DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL E MÉTODO DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL

A presente invenção refere-se ao campo da topografia, e, mais particularmente, a um sistema e a métodos
5 relacionados para gerar modelos topográficos.

Os modelos topográficos de áreas geográficas podem ser utilizados para muitas aplicações. Por exemplo, os modelos topográficos podem ser utilizados em simuladores de voo e para o planejamento de missões militares. Além disso,
10 os modelos topográficos de estruturas sintéticas (por exemplo, cidades) podem ser extremamente úteis nas aplicações tais como a colocação de antenas celulares, o planejamento urbano, a prontidão e a análise de desastres, e o mapeamento, por exemplo.

Vários tipos e métodos para a elaboração de modelos topográficos estão sendo utilizados atualmente. Um modelo topográfico comum é o mapa de elevação digital (DEM). Um DEM é uma representação de matriz amostrada de uma área geográfica que pode ser gerada em uma forma automatizada por
20 um computador. Em um DEM, os pontos das coordenadas são feitos de modo a corresponder com um valor da altura. Os DEMs são utilizados tipicamente para a modelação de terrenos onde as transições entre as elevações diferentes (por exemplo, vales, montanhas, etc.) são geralmente lisas de uma à
25 seguinte. Isto é, os DEMs modelam tipicamente um terreno como uma pluralidade de superfícies curvas e quaisquer descontinuidades entre as mesmas são desse modo "alisadas". Dessa maneira, em um DEM típico nenhum objeto distinto está presente no terreno.

30 Um produto de modelação de locais tridimensionais particularmente vantajoso é o RealSite® da presente cessionária, Harris Corp. O RealSite® pode ser utilizado para registrar imagens sobrepostas de uma área geográfica de

interesse, e extrai DEMs de alta resolução utilizando técnicas de visualização estéreo e nadir. O RealSite® provê um processo semi-automatizado para a obtenção de modelos topográficos tridimensionais (3D) de áreas geográficas, incluindo cidades, que têm texturas e limites de estrutura precisos. Além disso, os modelos do RealSite® são geoespacialmente precisos. Isto é, a localização de qualquer ponto determinado dentro do modelo corresponde a uma localização real na área geográfica com uma exatidão muito elevada. Os dados utilizados para gerar os modelos do RealSite® podem incluir a fotografia aérea e de satélite, a detecção eletro-óptica, infravermelha, e a detecção e variação da luz (LIDAR).

Uma outra abordagem vantajosa para a geração de modelos de locais tridimensionais é apresentada na patente norte-americana n°. 6.654.690 concedida a Rahmes et al., que também é cedida à presente cessionária e aqui incorporada em sua totalidade a título de referência. Esta patente apresenta um método automatizado para fazer um modelo topográfico de uma área incluindo o terreno e os edifícios no mesmo com base em dados espaçados aleatoriamente da elevação versus a posição. O método inclui o processamento dos dados espaçados aleatoriamente para gerar dados em grade da elevação versus a posição que se conformam a uma grade de posição predeterminada, o processamento dos dados em grade para distinguir os dados do edifício dos dados do terreno, e a execução da extração poligonal para os dados do edifício para montar o modelo topográfico da área incluindo o terreno e os edifícios no mesmo.

Embora as abordagens acima observadas resultem em modelos tridimensionais excepcionais de áreas urbanas com detalhes de características culturais (por exemplo, edifícios) precisos e realísticos, em algumas aplicações pode

ser desejável produzir um modelo topográfico de uma área geográfica de interesse sem as características culturais que podem estar presentes na área de interesse. Além disso, uma vez que as características culturais são identificadas e
5 extraídas dos dados do terreno, pode haver espaços vazios remanescentes no DEM resultante. Além disso, em algumas situações pode ser desejável focalizar nas características culturais de uma área de interesse, mas folhagem, etc., pode obscurecer partes de uma ou mais característica culturais que
10 irão resultar similarmente em espaços vazios na característica cultural quando a folhagem for extraída.

Várias técnicas de interpolação são geralmente utilizadas para preencher os dados faltantes em um campo de dados. Uma tal técnica é a interpolação síncrona, que supõe
15 que um sinal é de banda limitada. Embora esta abordagem seja bem apropriada para sinais de comunicação e de áudio, ela pode não ser bem apropriada para modelos de dados tridimensionais. Uma outra abordagem é a interpolação polinomial. Esta abordagem é algumas vezes difícil de
20 executar porque as despesas gerais computacionais podem ficar excessivamente pesadas para os polinômios de uma ordem mais elevada, que podem ser necessários para obter a exatidão desejada.

Uma abordagem de interpolação adicional é a
25 interpolação de ranhura. Embora esta abordagem possa propiciar uma exatidão de reconstrução relativamente elevada, esta abordagem pode ser problemática na implementação em um modelo de dados tridimensionais por causa da dificuldade de solucionar uma ranhura global por todo o modelo, e porque as
30 matrizes requeridas podem ser mal-condicionadas. Um inconveniente adicional de tais técnicas convencionais é que elas tendem a borrar o conteúdo da borda, o que pode ser um problema significativo em um modelo topográfico

tridimensional.

Uma outra abordagem para preenchimento em regiões dentro de uma imagem é apresentada na patente norte-americana nº. 6.987.520 concedida a Criminisi et al. Essa patente
5 apresenta um sistema de preenchimento baseado em exemplos que identifica o material de preenchimento apropriado para substituir uma região de destino em uma imagem e preenche a região de destino utilizando esse material. Isto é feito para aliviar ou minimizar a quantidade de edição manual requerida
10 para preencher uma região de destino em uma imagem. As telhas dos dados da imagem são "emprestadas" da proximidade da região de destino ou de alguma outra fonte para gerar novos dados da imagem para preencher a região. As regiões de destino podem ser designadas pela entrada pelo usuário (por
15 exemplo, a seleção de uma região da imagem por um usuário) ou por outros meios (por exemplo, a especificação de uma cor ou uma característica a ser substituída). Além disso, a ordem na qual a região de destino é preenchida por telhas exemplificadoras pode ser configurada para enfatizar a
20 continuidade de estruturas lineares e texturas compostas utilizando um tipo de processo de amostragem de imagem dirigido por isofotos.

Uma outra maneira em que os dados de modelo geoespacial podem terminar com espaços vazios nos mesmos é
25 quando os dados são coletados no domínio de frequência, tal como no caso com a coleta de dados de Radar de Abertura Sintética (SAR). Isto é, um SAR retorna um mapa ou uma representação da refletividade do radar incluindo a amplitude e a fase em uma pluralidade de frequências diferentes. No
30 entanto, devido à interferência das fontes de sinais existentes, durante algumas varreduras do SAR determinadas bandas de frequências podem experimentar interferência nos dados do SAR resultantes. Além disso, o operador do SAR pode

ter que omitir ou bloquear intencionalmente determinadas faixas de frequências em determinadas áreas geográficas da varredura para evitar a interferência em tais fontes de comunicação. Além disso, os maus funcionamentos de hardware
5 podem resultar em quedas de pulsos. Em cada um destes casos, o resultado é que a representação do domínio de frequência da área de interesse terá aberturas ou espaços vazios na mesma, as quais, quando convertidas ao domínio espacial, fazem com que a imagem de modelo geoespacial resultante seja
10 distorcida.

Falando de maneira genérica, várias abordagens foram utilizadas para atacar aos efeitos da interferência em dados de domínio de frequência. Uma abordagem consiste em utilizar a interpolação linear. Técnicas de super resolução
15 e/ou de convulsão iterativa também foram utilizadas, as quais supõem um alvo parecido com um ponto na imagem. Além disso, abordagens de hardware também foram implementadas para alterar o salto do modo para evitar a interferência ou a escuta nos pulsos piloto para caracterizar a interferência.

20 Uma outra abordagem para a supressão da interferência em imagens do SAR é apresentada em um artigo intitulado "Interference Suppression in Synthesized SAR Images" da autoria de Reigber et al., IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 2, n°. 1, janeiro de 2005. Esse
25 artigo propõe uma abordagem de supressão de interferência que é baseada na transformação de imagens do SAR sintetizadas em uma representação onde os métodos de filtragem da interferência de dados brutos comuns podem ser aplicados. Mais particularmente, esta abordagem utiliza a filtragem a
30 *posteriori*.

Apesar do fato das vantagens que tais abordagens da técnica anterior podem propiciar em determinadas aplicações, avanços adicionais podem ser desejáveis para o preenchimento

de espaços vazios em dados de modelo geoespacial.

Em vista dos fundamentos acima, a presente descrição apresenta um sistema de modelação geoespacial e métodos relacionados que podem lidar vantajosamente com os
5 espaços vazios dentro dos modelos geoespaciais e dos métodos relacionados.

Estes e outros objetivos, características e vantagens são atingidos por um sistema de modelação geoespacial que pode incluir um banco de dados de modelo
10 geoespacial e um processador. Mais particularmente, o processador pode cooperar com o banco de dados de modelo geoespacial para processamento por "inpainting" dos dados em pelo menos um espaço vazio nos dados de domínio de frequência de modelo geoespacial com a propagação dos dados de contorno
15 de fora de pelo menos um espaço vazio para pelo menos um espaço vazio, e para converter os dados de domínio de frequência de modelo geoespacial depois do processamento por "inpainting" em dados de domínio espacial de modelo geoespacial.

20 Mais particularmente, o processador pode processar por "inpainting" mediante a propagação dos dados de contorno de fora de pelo menos um espaço vazio ao longo de uma direção de linhas de contorno constante de fora de pelo menos um espaço vazio para pelo menos um espaço vazio. Além disso, o
25 processador pode propagar iterativamente os dados de contorno de fora de pelo menos um espaço vazio para pelo menos um espaço vazio. Os dados de contorno podem incluir pelo menos um dentre dados de fase e de amplitude.

A título de exemplo, os dados de domínio de
30 frequência de modelo geoespacial podem ser dados de Radar de Abertura Sintética (SAR), dados sísmicos, dados de Navegação e Variação de Som (SONAR), etc. Além disso, o processador pode executar o processamento por "inpainting" com base em

pelo menos uma equação de modelação de fluxo de fluido turbulento. Mais particularmente, pelo menos uma equação de modelação de fluxo de fluido turbulento pode ser uma equação de Navier-Stokes. O sistema de modelação geoespacial também
5 pode incluir um monitor acoplado ao processador para exibir os dados de domínio espacial de modelo geoespacial

A Figura 1 é um diagrama de blocos esquemático de um sistema de modelação geoespacial de acordo com a invenção.

A Figura 2 é um fluxograma que ilustra um aspecto
10 do método de modelação geoespacial do processamento por "inpainting" de espaços vazios dentro dos dados do terreno de modelo geoespacial de acordo com a invenção.

As Figuras 3A-3B são vistas de nadir de dados do terreno de modelo geoespacial em um DEM antes e depois do
15 processamento por "inpainting" de espaços vazios de acordo com a invenção.

As Figuras 4A-4D são uma série de vistas aproximadas de um espaço vazio nos dados do terreno de modelo geoespacial que ilustram a técnica de processamento por
20 "inpainting" utilizada nas Figuras 3A e 3B em maiores detalhes.

A Figura 5 é um fluxograma que ilustra um aspecto alternativo do método de modelação geoespacial para o processamento por "inpainting" de espaços vazios dentro dos
25 dados de características culturais de modelo geoespacial de acordo com a invenção.

A Figura 6 é uma vista dos dados de características culturais de modelo geoespacial em um DEM antes e depois do processamento por "inpainting" de espaços vazios de acordo
30 com o método ilustrado na Figura 5.

As Figuras 7A-7D são uma série de vistas aproximadas de um espaço vazio nos dados de características culturais de modelo geoespacial que ilustram a técnica de

processamento por "inpainting" utilizada na Figura 6 em maiores detalhes.

A Figura 8 é um diagrama de blocos esquemático de um sistema de modelação geoespacial alternativo de acordo com a invenção para o processamento por "inpainting" de espaços vazios dentro dos dados de domínio de frequência de modelo geoespacial.

A Figura 9 é um fluxograma que ilustra um aspecto alternativo do método de modelação geoespacial da invenção para o processamento por "inpainting" de espaços vazios dentro dos dados de domínio de frequência de modelo geoespacial.

A Figura 10 é uma representação do domínio de frequência do K-espaço do edifício do Capitólio dos Estados Unidos de um SAR com espaços vazios no mesmo.

A Figura 11 é uma imagem equivalente espacial temporal dos dados de domínio de frequência da Figura 10.

A Figura 12 é uma representação dos dados de domínio de frequência do K-espaço da Figura 10 como deve aparecer depois do processamento por "inpainting" de espaços vazios de acordo com o método mostrado na Figura 9.

A Figura 13 é uma imagem equivalente de domínio espacial da representação de domínio de frequência da Figura 12.

A presente invenção será descrita agora de maneira mais abrangente e em seguida com referência aos desenhos anexos, nos quais são mostradas as realizações preferidas da invenção. A presente invenção pode, no entanto, ser englobada em muitas formas diferentes e não deve ser interpretada como limitada às realizações aqui apresentadas. Ao invés disto, estas realizações são fornecidas de modo que esta descrição seja plena e completa, e irão transportar completamente ao âmbito da invenção aos técnicos no assunto. Os números

semelhantes referem-se aos elementos semelhantes por toda parte, e as notações com números primos e números primos múltiplos são utilizadas para indicar elementos similares em realizações alternativas.

5 Com referência inicialmente à Figura 1, um sistema de modelação geoespacial (20) inclui ilustrativamente um banco de dados de modelo geoespacial (21) e um processador (22), tal como uma unidade de processamento central (CPU) de um PC, Mac, ou uma outra estação de trabalho de computação,
10 por exemplo. Um monitor (23) pode ser acoplado ao processador (22) para exibir os dados de modelação geoespacial, tal como será discutido mais adiante.

Voltando adicionalmente para as Figuras 2-4, uma abordagem para processar por "inpainting" os dados em um ou
15 mais espaços vazios em dados de terreno de modelo geoespacial é agora descrita. Começando no bloco 30, uma ou mais capturas de dados são executadas para a área geográfica de interesse para obter a elevação tridimensional versus os dados da posição. A captura dos dados pode ser executada utilizando
20 várias técnicas, tais como a formação de imagem óptica estereofônica, a detecção e variação da luz (LIDAR), o radar interferométrico de abertura sintética (IFSAR), etc. Falando de maneira genérica, os dados serão capturados das vistas de nadir da área geográfica de interesse por aviões, satélites,
25 etc., tal como será apreciado pelos técnicos no assunto. No entanto, as imagens oblíquas de uma área geográfica de interesse também podem ser utilizadas além de ou em vez das imagens para adicionar detalhes tridimensionais adicionais a um modelo geoespacial.

30 No exemplo ilustrado, uma captura de dados de superfície refletiva simples é executada para obter os dados tridimensionais da área geográfica de interesse, no bloco 31. Os dados "brutos" obtidos na coleta irão incluir tipicamente

o terreno, a folhagem, e/ou características culturais (por exemplo, edifícios). O processador (22) utiliza estes dados brutos para gerar um modelo geoespacial (isto é, DEM) dos dados da posição da elevação versus a posição com base na
5 posição conhecida dos coletores, etc., no bloco 32, utilizando várias abordagens que são conhecidas dos técnicos no assunto. Naturalmente, em outras realizações o DEM pode ser gerado por um outro computador e ser armazenado no banco de dados de modelo geoespacial (21) para processamento pelo
10 processador (22). Os dados de DEM podem ter uma resolução relativamente alta, por exemplo, de mais de aproximadamente trinta metros para fornecer detalhes altamente exatos da imagem, embora resoluções mais baixas possam ser utilizadas para algumas realizações, caso desejado. Em algumas
15 realizações, resoluções de um metro ou mais podem ser obtidas.

Em muitos casos é desejável separar ou extrair um dos tipos acima observados de dados de um modelo geoespacial. Por exemplo, em alguns casos pode ser desejável remover as
20 características culturais de um DEM de modo que somente o terreno e/ou a folhagem permaneçam, no bloco 33. Particularmente, o processo de extração pode incluir uma série de etapas de re-amostragem de DEM, preenchimento de lacunas, subtração de DEM, e expansão nula, tal como será
25 apreciado pelos técnicos no assunto. Além disso, a extração das características culturais deve deixar normalmente furos ou espaços vazios dentro do DEM. Um DEM (40a) é mostrado nas Figuras 3A e 3B, nas quais os espaços vazios (41a) aparecem no terreno (42a) onde os edifícios foram extraídos.

30 Quando as características foram extraídas do modelo geoespacial, isto é que faz a determinação dos espaços vazios a serem preenchidos (bloco 34) relativamente diretos, uma vez que estes espaços vazios irão ocorrer onde a característica

cultural ou outros dados foram extraídos. No entanto, em algumas realizações os espaços vazios podem resultar de causas que não a extração de dados, tal como um ponto cego de um coletor, nuvens sobre uma área geográfica de interesse, etc. A abordagem aqui descrita também pode ser utilizada para corrigir tais espaços vazios.

Falando de maneira genérica, os espaços vazios (41a) são sombreados pela propagação dos dados de contorno de fora de um determinado espaço vazio para esse espaço vazio, no bloco 35. Mais particularmente, o processador (22) processa por "inpainting" ao propagar os dados de contorno de elevação de fora e tal espaço vazio ao longo de uma direção das linhas de contorno de elevação constante de fora de tal espaço vazio para o espaço vazio, tal como visto nas Figuras 4A-4D. Mais particularmente, as linhas de contorno de elevação constante podem ser baseadas nas direções de isofoto ($\nabla^P H$) e de gradiente (∇H) em tais pontos ao longo do limite dos pontos vazios, tal como mostrado na Figura 4C. Conforme será apreciado pelos técnicos no assunto, o processamento por "inpainting" é uma técnica de interpolação não-linear que no presente exemplo é utilizada para propagar os dados da área em torno de um espaço vazio criado por um edifício extraído para "preencher" o espaço vazio.

Mais particularmente, o processador (22) propaga a informação da elevação de fora do espaço vazio ao longo de uma direção de iso-contorno, tal como representada pela seguinte equação:

$$\partial I / \partial t = \nabla L \cdot N \quad (1)$$

onde ∇L é uma transformação de Laplace distinta. Uma direção N do iso-contorno é obtida ao tomar uma rotação de 90 graus do gradiente de DEM, tal como será apreciado pelos técnicos no assunto. Uma equação de processamento por "inpainting"

para executar a propagação acima observada é tal como segue:

$$H^{n+1}(i,j) = H^n(i,j) + \Delta t H_t^n(i,j), \quad \forall (i,j) \in \Omega \quad (2)$$

A propagação acima observada é executada em um determinado número de iterações para "encolher" o espaço
 5 vazio até um tamanho desejado tal como visto na Figura 4D. O limite inicial 43a do espaço vazio é mostrado na Figura 4D de modo que a quantidade de propagação de uma iteração pode ser vista. Depois que o número desejado de iterações é executado, no bloco 36, então os dados de terreno de modelo geoespacial
 10 finais (40b) podem ser exibidos no monitor (23), no bloco 37, desse modo concluindo o método ilustrado (bloco 38). No presente exemplo, 4.000 iterações da propagação foram utilizadas para processamento por "inpainting" dos espaços vazios (41a) nos dados de terreno de modelo geoespacial, mas
 15 mais ou menos números de iterações podem ser utilizados em realizações diferentes dependendo da exatidão requerida e do teto computacional associado com as mesmas.

Falando de maneira genérica, a abordagem descrita acima trata essencialmente um DEM como um fluido
 20 incompressível, o que permite que técnicas de mecânica dos fluidos sejam utilizadas para preencher os espaços vazios. Isto é, as equações diferenciais parciais esboçadas acima são utilizadas para estimar como os limites diretamente adjacentes a um espaço vazio no modelo tridimensional devem
 25 fluir naturalmente e preencher o espaço vazio se os DEM forem considerados como fluidos incompressíveis, tal como deve ser apreciado pelos técnicos no assunto.

Esta abordagem permite vantajosamente a reconstrução autônoma da terra limpa nos lugares onde os
 30 edifícios ou outras características culturais foram removidos, embora ainda mantenha contornos de elevação contínua. Além disso, a técnica de interpolação não-linear de processamento por "inpainting" permite a propagação exata dos

dados da área que circunda um limite de espaço vazio. Além disso, o DEM pode ser vantajosamente evoluído iterativamente até que um estado constante seja atingido, e a velocidade da propagação pode ser controlada para se obter uma troca
5 desejada entre a exatidão dos dados geoespaciais resultantes e a velocidade de modo que a carga limite de processamento não se torne indesejavelmente grande, tal como deve ser apreciado pelos técnicos no assunto.

A abordagem descrita acima pode ser similarmente
10 utilizada para reconstruir outras características além do terreno. Mais particularmente, ela pode ser utilizada para executar o processamento por "inpainting" em espaços vazios em uma característica cultural (por exemplo, edifícios) resultante da folhagem, etc., que obscurece parte da
15 característica cultural. Voltando agora adicionalmente às Figuras 5-7, o processador (22) pode cooperar com o banco de dados de modelo geoespacial (21) para processamento por "inpainting" dos dados em um ou mais espaços vazios (51a) dados de características culturais de modelo geoespacial
20 (50a) causados pela extração de dados da folhagem (isto é, árvore) do DEM, no bloco 33'. A título de exemplo, a extração da folhagem pode ser executada com base na cor dos dados (se os dados em cores forem fornecidos), assim como o gradiente da cor dos dados, tal como será apreciado pelos técnicos no
25 assunto. Naturalmente, outras técnicas apropriadas de extração de folhagem também podem ser utilizadas. Uma vez mais, os espaços vazios (51a) podem ser determinados com base na localização da folhagem que é extraída.

Conforme discutido acima, o processador (22)
30 processa por "inpainting" ao propagar iterativamente os dados de contorno de elevação fora dos espaços vazios (51a) nas partes de dados (52a, 62a) ao longo de uma direção das linhas de contorno de elevação constante fora dos espaços vazios

para os espaços vazios, nos blocos 35'-36', para produzir as partes de dados "reparados" finais (52b, 62b) em que as bordas de edifícios 55b', 65b' são agora completas e contínuas. O processo de processamento por "inpainting" também é ilustrado nas Figuras 7A-7D, em que a informação da elevação (tal como representado visualmente pelo sombreado diferente) da região limitadora de uma parte de dados (72a) em torno de um espaço vazio (71) é propagada no espaço vazio (Figuras 7A e 7B) com base na seguinte relação:

$$\partial H / \partial t = \nabla L \cdot N \quad (3)$$

onde ∇H é o gradiente de DEM e $\nabla^P H$ é a direção do iso-contorno para produzir a seção de dados reparados (72b) (Figuras 7C e 7D). Aqui outra vez, a equação acima observada (2) pode ser utilizada. Esta abordagem permite vantajosamente a criação autônoma de DEMs de alta resolução de características culturais (por exemplo, edifícios). Além disso, isto pode ser feito enquanto são mantidas a consistência da elevação e a agudeza de borda dos edifícios das regiões sombreadas identificadas.

Voltando adicionalmente às Figuras 8 a 13, ainda um outro sistema 20" para dados de domínio de frequência de modelo geoespacial para o processamento por "inpainting" de espaços vazios é agora descrito. Aqui outra vez, o sistema 20" inclui ilustrativamente um banco de dados de modelo geoespacial (21"), um processador (22"), e um monitor (23") acoplado ao processador, os quais podem ser similares aos componentes descritos acima. No entanto, nesta realização o banco de dados de modelo geoespacial (21") armazena dados de domínio de frequência de modelo geoespacial para processamento pelo processador (22"). A título de exemplo, os dados de domínio de frequência podem ser capturados utilizando um SAR, um SONAR, ou um dispositivo de coleta

sísmica, por exemplo, tal como será apreciado pelos técnicos no assunto, nos blocos 80-81. O exemplo que será discutido abaixo com referência às Figuras 10-13 é baseado em dados de domínio de frequência do SAR.

5 Mais particularmente, um mapa (100) dos dados do domínio de frequência ilustrado na Figura 10 é uma representação do K-espaco de dados de fase/amplitude (101) de uma varredura do SAR do edifício do Capitólio dos Estados Unidos. Para finalidades do presente exemplo, determinadas
10 faixas (102) de dados de fase/amplitude foram removidas do mapa de fase para representar os efeitos de falta de dados da frequência. Mais particularmente, tais faixas de dados faltantes (102) unem tipicamente o resultado do entalhe de frequências particulares para evitar a interferência em
15 outros emissores de RF, de maus funcionamentos de hardware que resultam em saídas de pulsos, interferências de RF, etc. Deve ser observado que no presente exemplo as faixas (102) estiveram removidas manualmente para finalidades ilustrativas, e não são o resultado de entalhe, mau
20 funcionamento de hardware, etc. As faixas de dados faltantes (102) podem, portanto, ser tratadas como espaços vazios na representação de dados do domínio de frequência. O resultado destes espaços vazios é uma representação espacial borrada ou distorcida do domínio dos dados (110a) do SAR quando
25 convertidos ao domínio espacial, tal como mostrado na Figura 11. Isto é, os espaços vazios resultam em uma imagem de domínio espacial degradada com uma relação de ruído multiplicativa elevada (MNR), tal como será apreciado pelos técnicos no assunto.

30 No entanto, as técnicas de processamento por "inpainting" descritas acima também podem ser vantajosamente utilizadas para reparar tais espaços vazios em dados de domínio de frequência de modelo geográfico. Mais

particularmente, o processador (22") coopera com o banco de dados de modelo geoespacial (21") para processamento por "inpainting" os dados nas faixas de dados faltantes (102) (isto é, os espaços vazios) com base na propagação dos dados do contorno fora dos espaços vazios para os espaços vazios, no bloco 82. Mais particularmente, a propagação ocorre ao longo de uma direção das linhas de contorno constante fora dos espaços vazios para os espaços vazios. Além disso, ao invés de ser baseado em dados de contorno de elevação tal como nos exemplos descritos acima, aqui os dados de contorno correspondem aos valores da fase e da amplitude dos dados que circundam os espaços vazios. Aqui outra vez, a propagação é preferivelmente executada iterativamente um número desejado de iterações (bloco 83), ou até um estado constante ser atingido, tal como será apreciado pelos técnicos no assunto.

Uma vez mais, esta abordagem é baseada na reconstrução de dados para as frequências que estão faltando de uma representação do domínio de frequência de uma área geográfica de interesse através da modelação das assinaturas espectrais que estão presentes nos dados que circundam os espaços vazios como um fluxo (ou seja, fluido) turbulento. Isto é, cada frequência conhecida individual é tratada como uma partícula em um fluxo de eddy, que são campos pequenos de turbulência dentro de um campo geral de turbulência. Dessa maneira, os "eddies" conhecidos nos dados de domínio de frequência podem, portanto, ser modelados para interpolar os valores faltantes.

Falando de maneira genérica, o processador (22") executa o processamento por "inpainting" baseado em uma ou mais equações de modelação de fluxo de fluido turbulento. A título de exemplo, equações/relações de mecânica dos fluidos de Navier-Stokes podem ser utilizadas com alguma modificação para o K-espaço. Mais particularmente, a função da corrente

terá dois componentes ao invés de um, tal como segue:

$$\Psi = A(kx, ky) e^{z\phi(kx, ky)} = R(kx, ky) + zQ(kx, ky) \quad (4)$$

onde as funções A, R, e Q são quatro vezes diferenciáveis, e $z = \sqrt{-1}$. Desse modo, a observação das equações derivadas com respeito às intensidades da imagem resulta no seguinte:

$$\partial/\partial t = (\nabla^2 \Psi) + (v \cdot \nabla) (\nabla^2 \Psi) = v \nabla^2 \cdot (\nabla^2 \Psi) \quad (5)$$

Uma abordagem de Navier-Stokes similar também pode ser utilizada para as operações de processamento por "inpainting" de espaços vazios de terreno/característica cultural descritos acima, tal como será apreciado pelos técnicos no assunto.

Depois que a propagação iterativa é terminada ao utilizar a abordagem descrita acima, o mapa de K-espaco (100) é "reparado" com as faixas de dados faltantes (102a) não mais presentes (ou diminuídos substancialmente), tal como mostrado na Figura 12, que, quando convertido ao domínio espacial (bloco 84), fornece a imagem espacial substancialmente menos distorcida de domínio espacial da Capital (110b) mostrada na Figura 13. Aqui outra vez, deve ser observado que a representação na Figura 12 não foi reparada realmente ao utilizar técnicas de processamento por "inpainting" tal como descrito acima; ao invés disto, esta é uma representação real do K-espaco do edifício do Capitólio sem nenhum espaco vazio no mesmo. No entanto, a teoria dos requerentes é que a utilização da abordagem descrita acima irá fornecer uma abordagem próxima da representação (110b) da Figura 13, tal como será apreciado pelos técnicos no assunto. Uma vez que o processamento por "inpainting" esteja completo, os dados de domínio espacial de modelo geoespacial podem ser exibidos no monitor (23"), caso desejado, no bloco 85, e/ou armazenados no banco de dados de modelo geoespacial (21"), etc., concluindo desse modo o método ilustrado (bloco 86).

REIVINDICAÇÕES

1. SISTEMA DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL, caracterizado pelo fato de compreender:

um banco de dados de modelo geoespacial; e

5 um processador que coopera com o dito banco de dados de modelo geoespacial para

sombrear em pelo menos um espaço vazio nos dados de domínio de frequência de modelo geoespacial com base na propagação dos dados do contorno de fora de pelo menos um
10 espaço vazio para pelo menos um espaço vazio, e

converter os dados de domínio de frequência de modelo geoespacial após o sombreamento em dados de domínio espacial de modelo geoespacial.

2. SISTEMA DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL, de acordo
15 com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito processador efetua o sombreamento dos dados do contorno de fora de pelo menos um espaço vazio ao longo de uma direção das linhas de contorno constante de fora de pelo menos um
espaço vazio para pelo menos um espaço vazio.

20 3. SISTEMA DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito processador propaga iterativamente os dados do contorno de fora de pelo menos um espaço vazio para pelo menos um espaço vazio.

25 4. SISTEMA DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os dados do contorno compreendem pelo menos um dentre dados da fase e da amplitude.

5. SISTEMA DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL, de acordo
30 com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os dados de domínio de frequência geoespacial compreendem dados sísmicos.

6. MÉTODO DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL, caracterizado

pelo fato de compreender:

a provisão de dados de domínio de frequência de modelo geoespacial;

5 a utilização de um processador para sombrear os dados em pelo menos um espaço vazio nos dados de domínio de frequência de modelo geoespacial ao utilizar um processador com base na propagação de dados do contorno de fora de pelo menos um espaço vazio para pelo menos um espaço vazio; e

10 a conversão dos dados de domínio de frequência de modelo geoespacial após o sombreamento em dados de domínio espacial de modelo geoespacial.

7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o sombreamento compreende a propagação de dados do contorno de fora de pelo menos um
15 espaço vazio ao longo de uma direção das linhas de contorno constante de fora de pelo menos um espaço vazio para pelo menos um espaço vazio.

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o sombreamento compreende a
20 propagação iterativa dos dados do contorno de fora de pelo menos um espaço vazio para pelo menos um espaço vazio.

9. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que os dados do contorno compreendem pelo menos um dentre os dados da fase e da
25 amplitude.

10. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o sombreamento compreende a propagação dos dados do contorno de fora de pelo menos um
30 espaço vazio para pelo menos um espaço vazio com base em pelo menos uma equação de modelação de fluxo de fluido turbulento.

DADOS DE TERRENO/FOLHAGEM/
CARACTERÍSTICAS CULTURAIS
DE MODELO GEOESPACIAL
COM ESPAÇOS VAZIOS

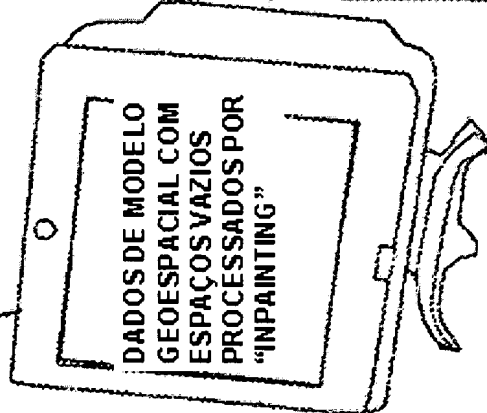
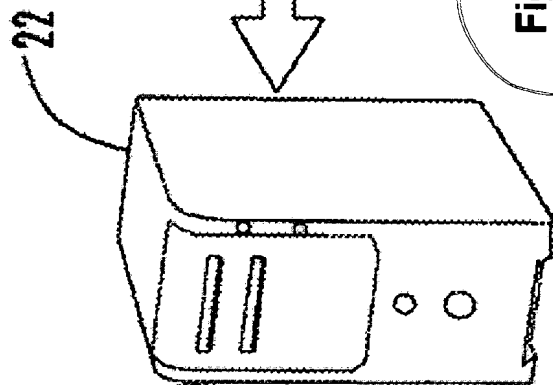
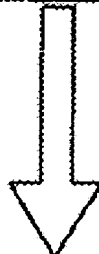
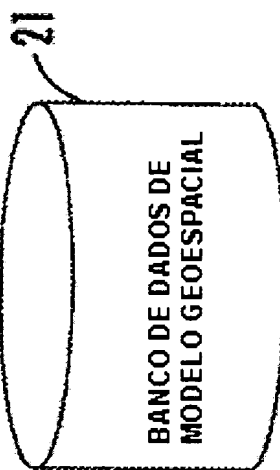
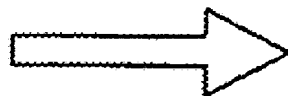


Fig. 1

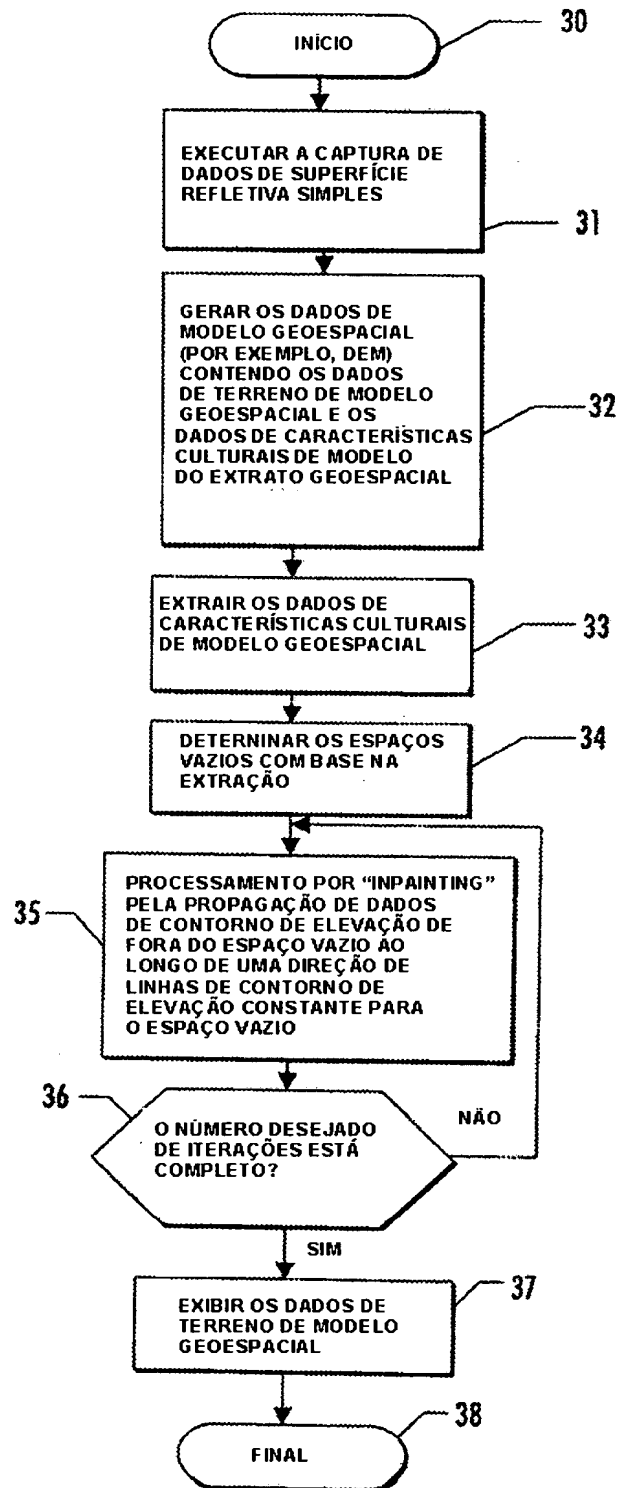


Fig. 2



Fig. 3A

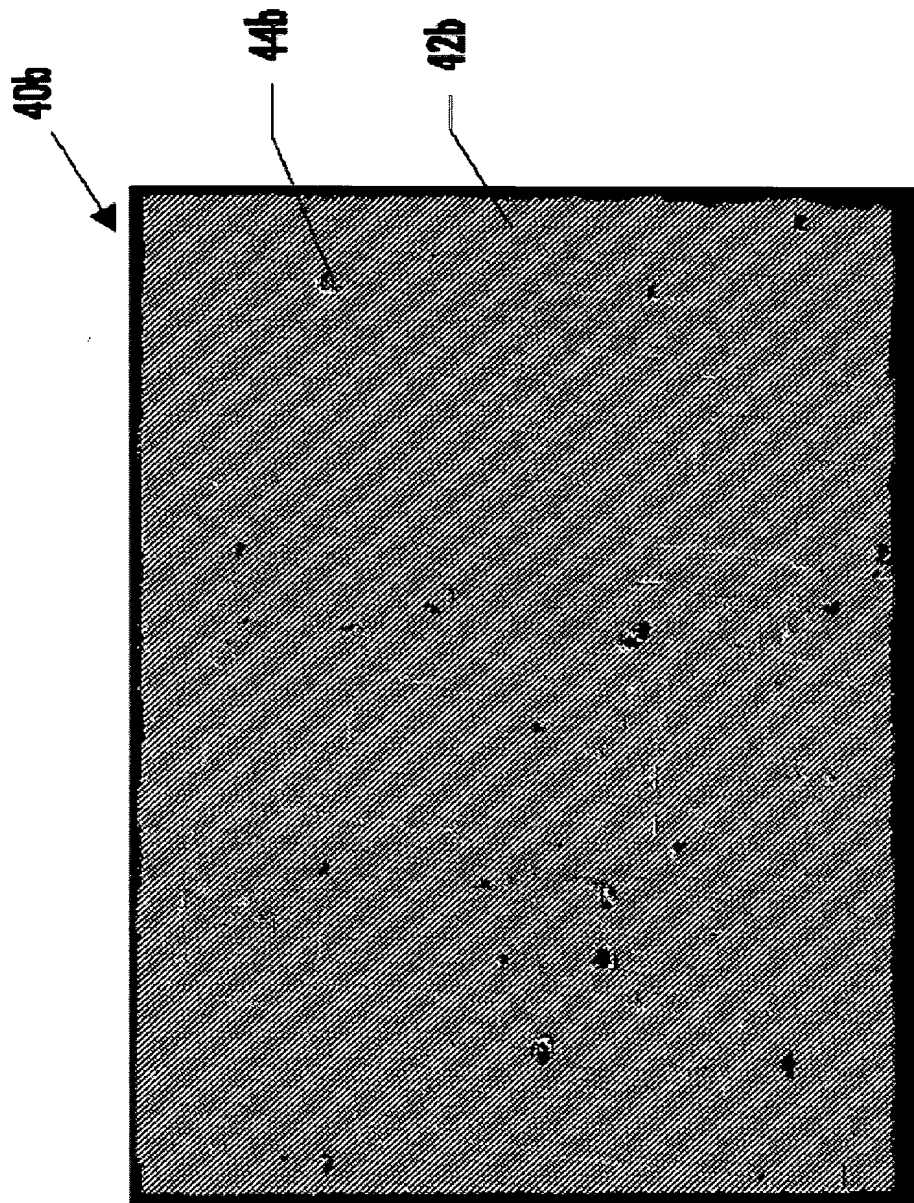


Fig. 3B

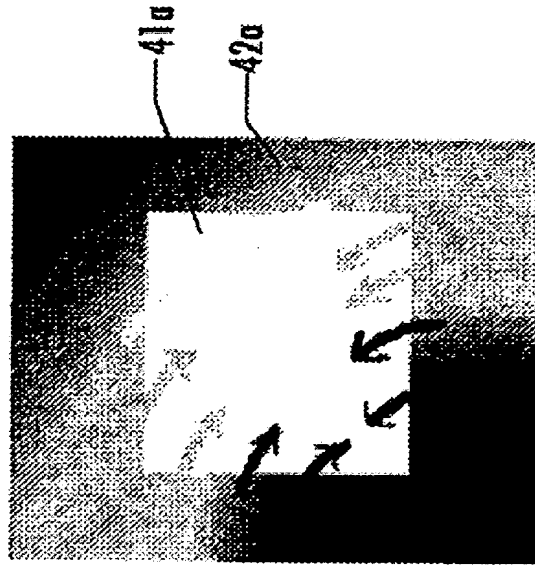


Fig. 4B

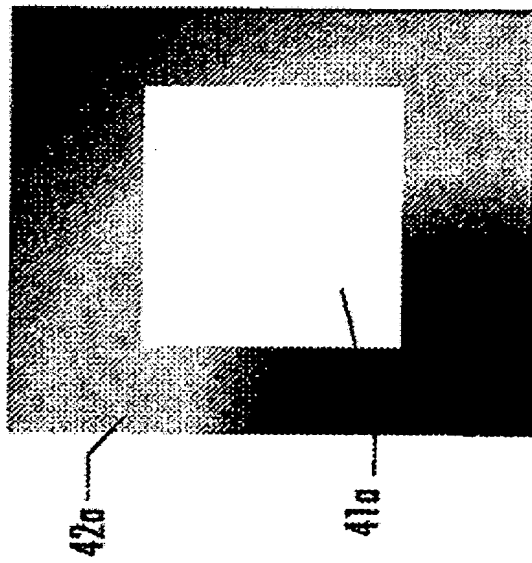


Fig. 4A

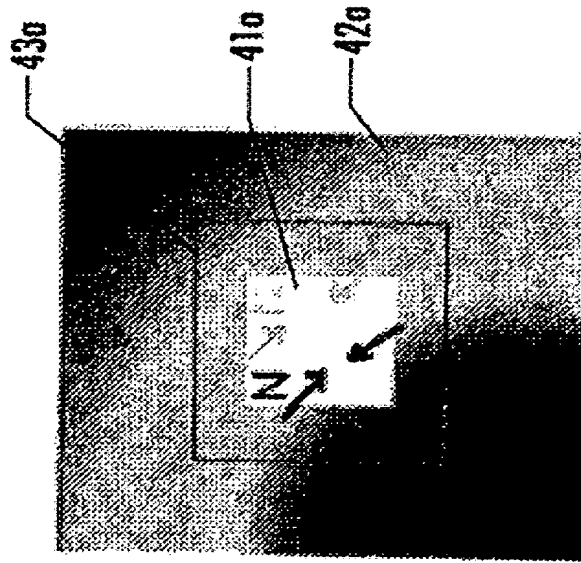


Fig. 4D

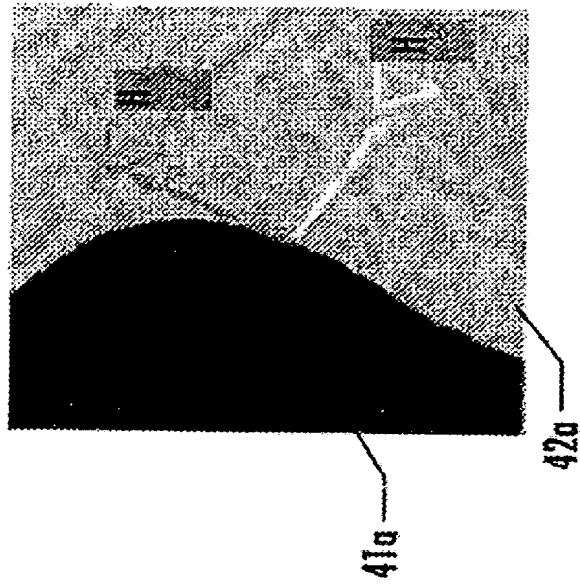


Fig. 4C

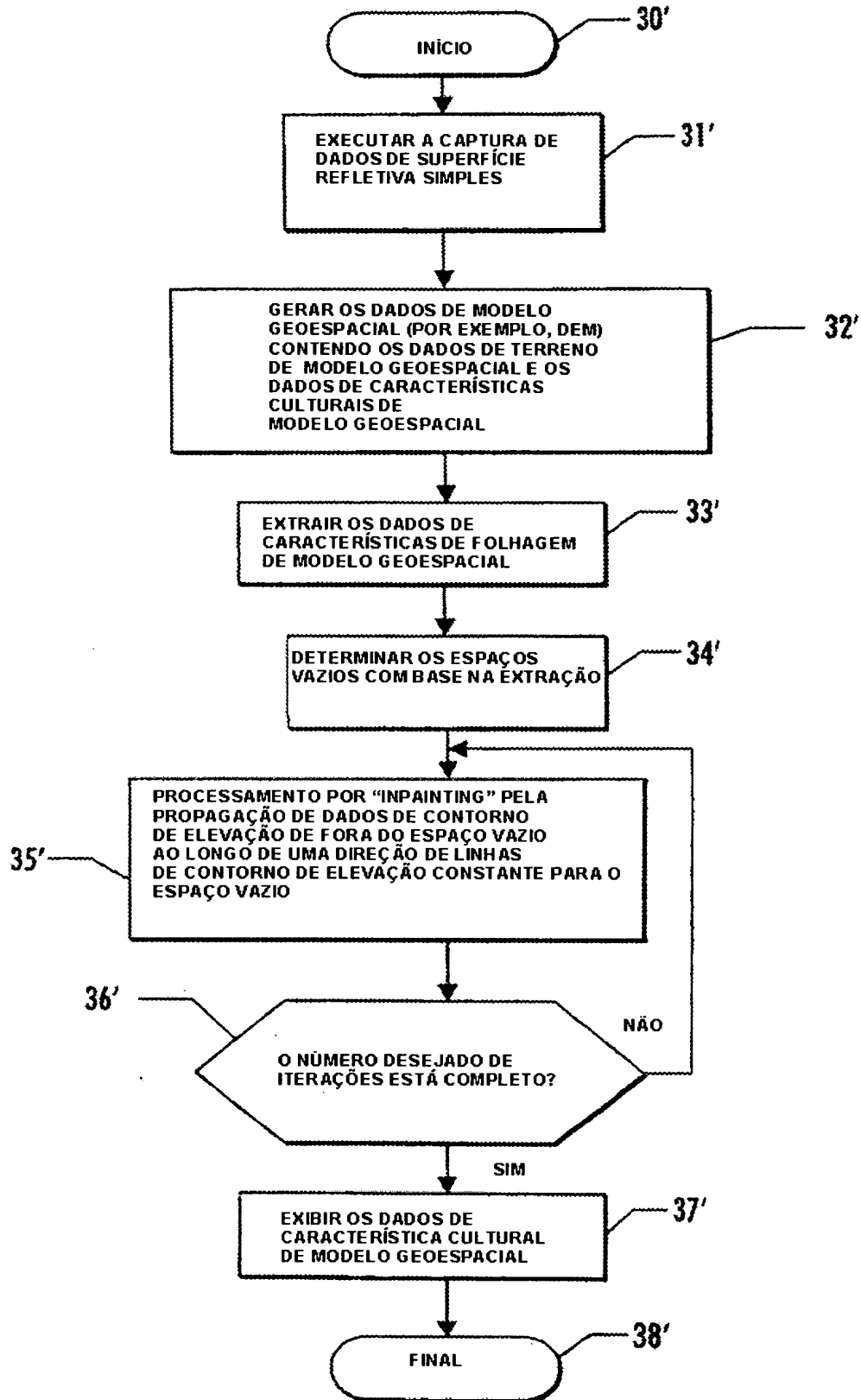


Fig. 5

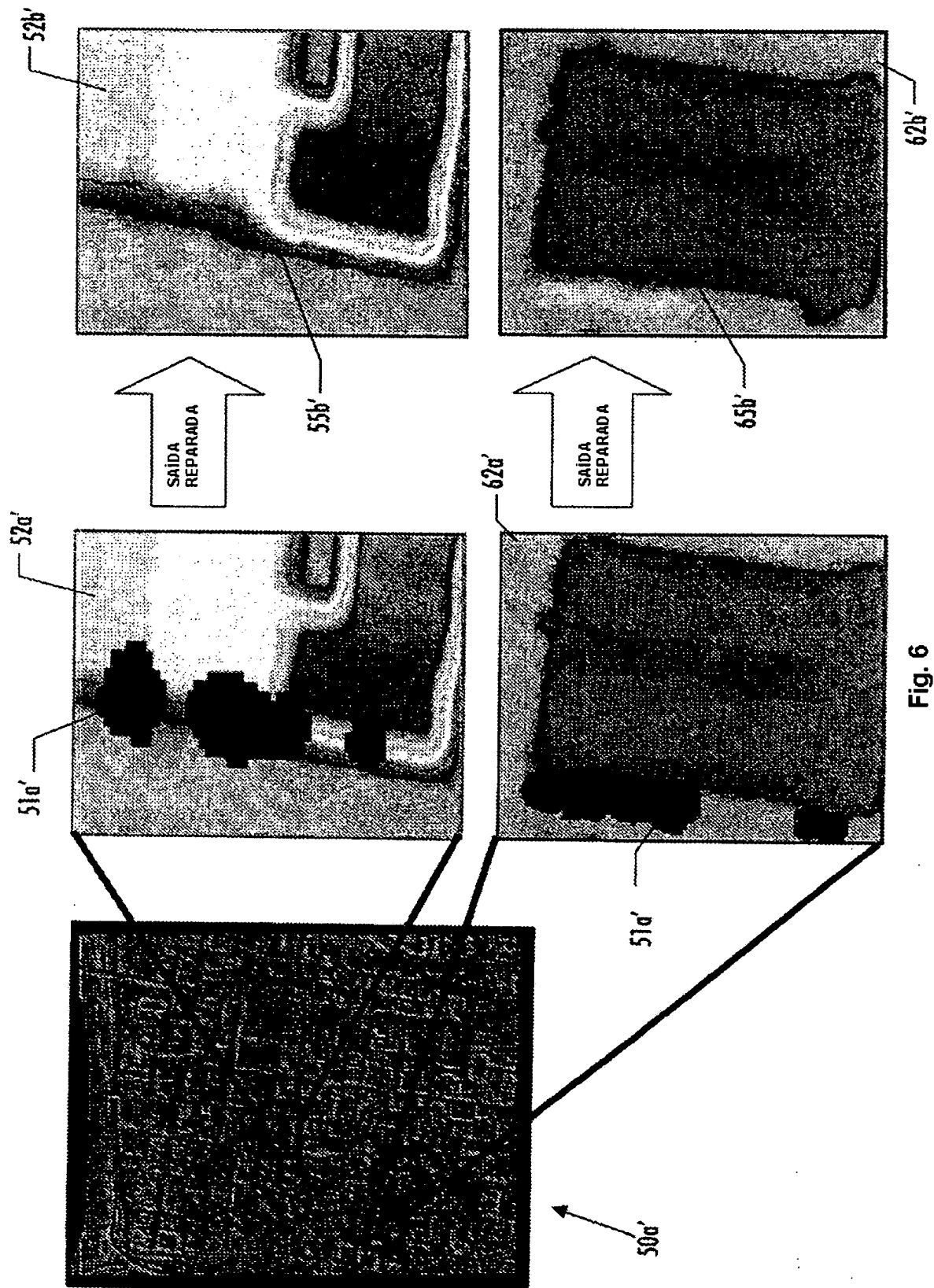


Fig. 6

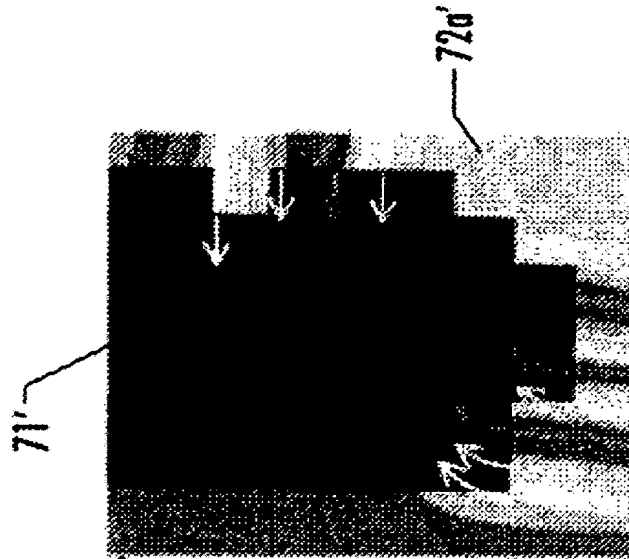


Fig. 7A

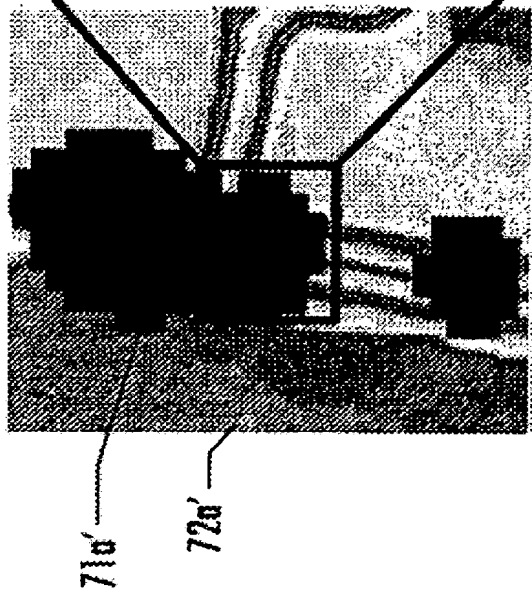


Fig. 7A

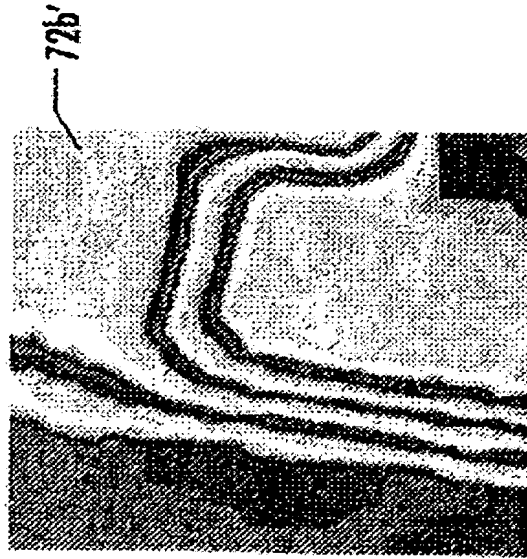


Fig. 7D

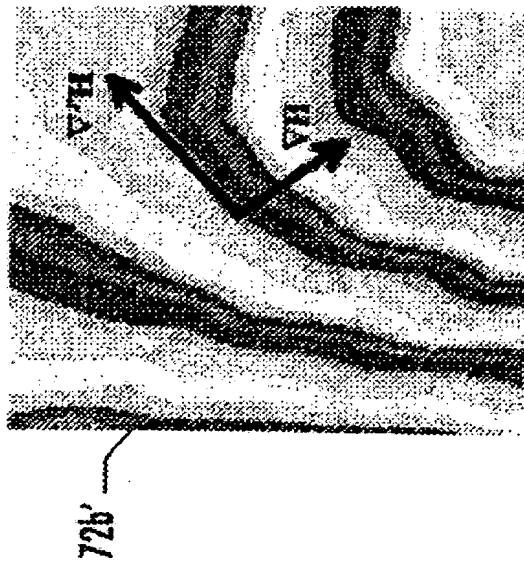


Fig. 7C

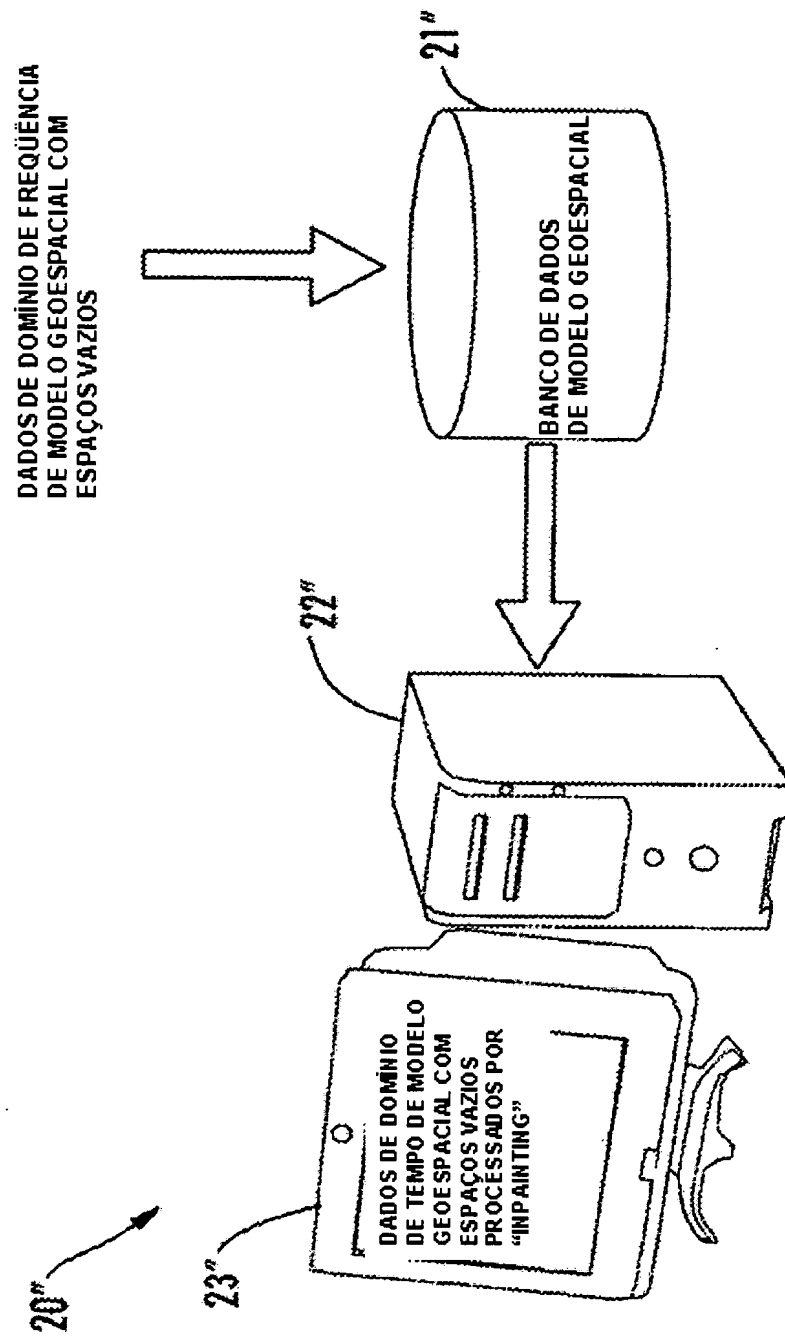


Fig. 8

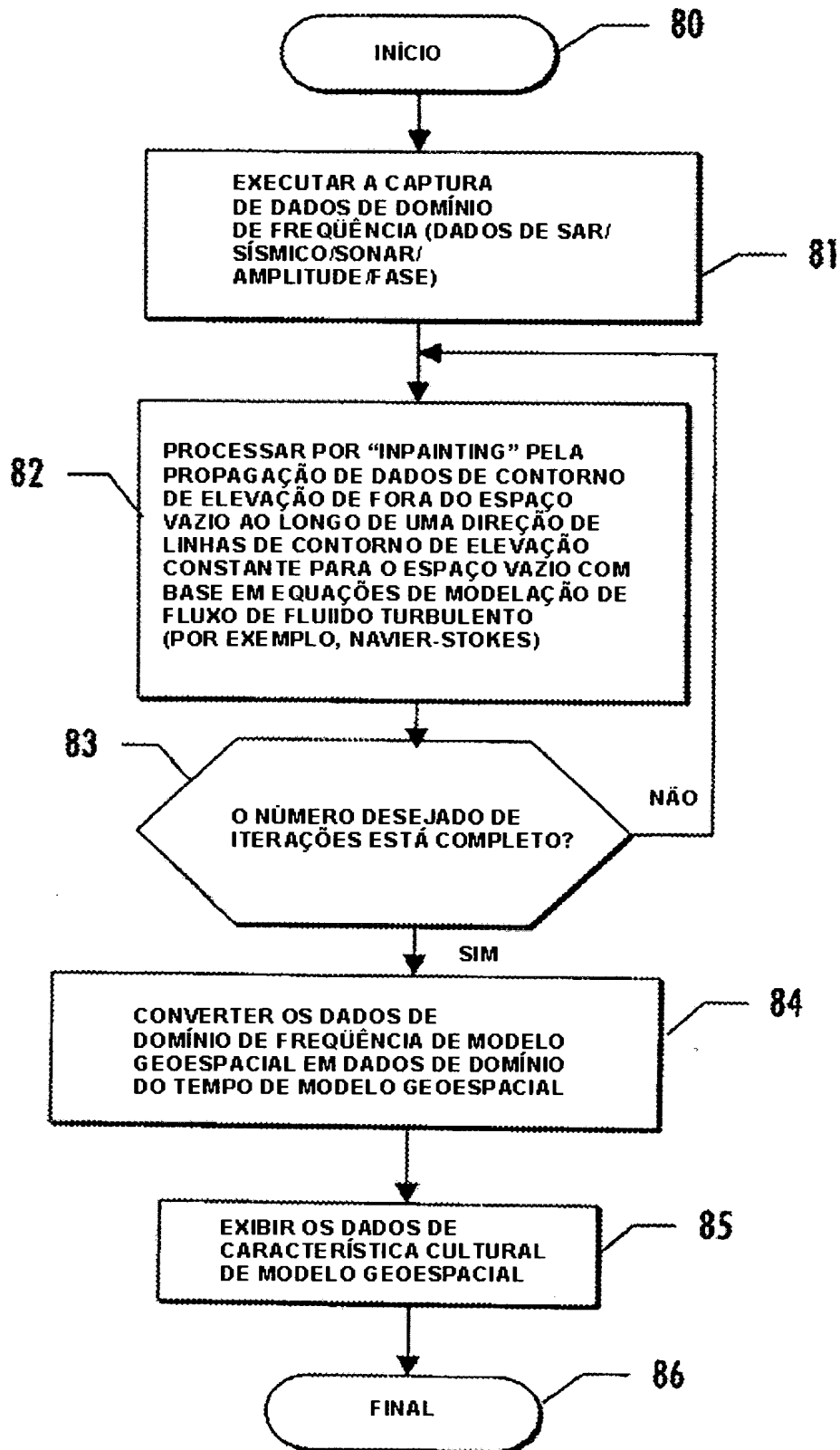


Fig. 9

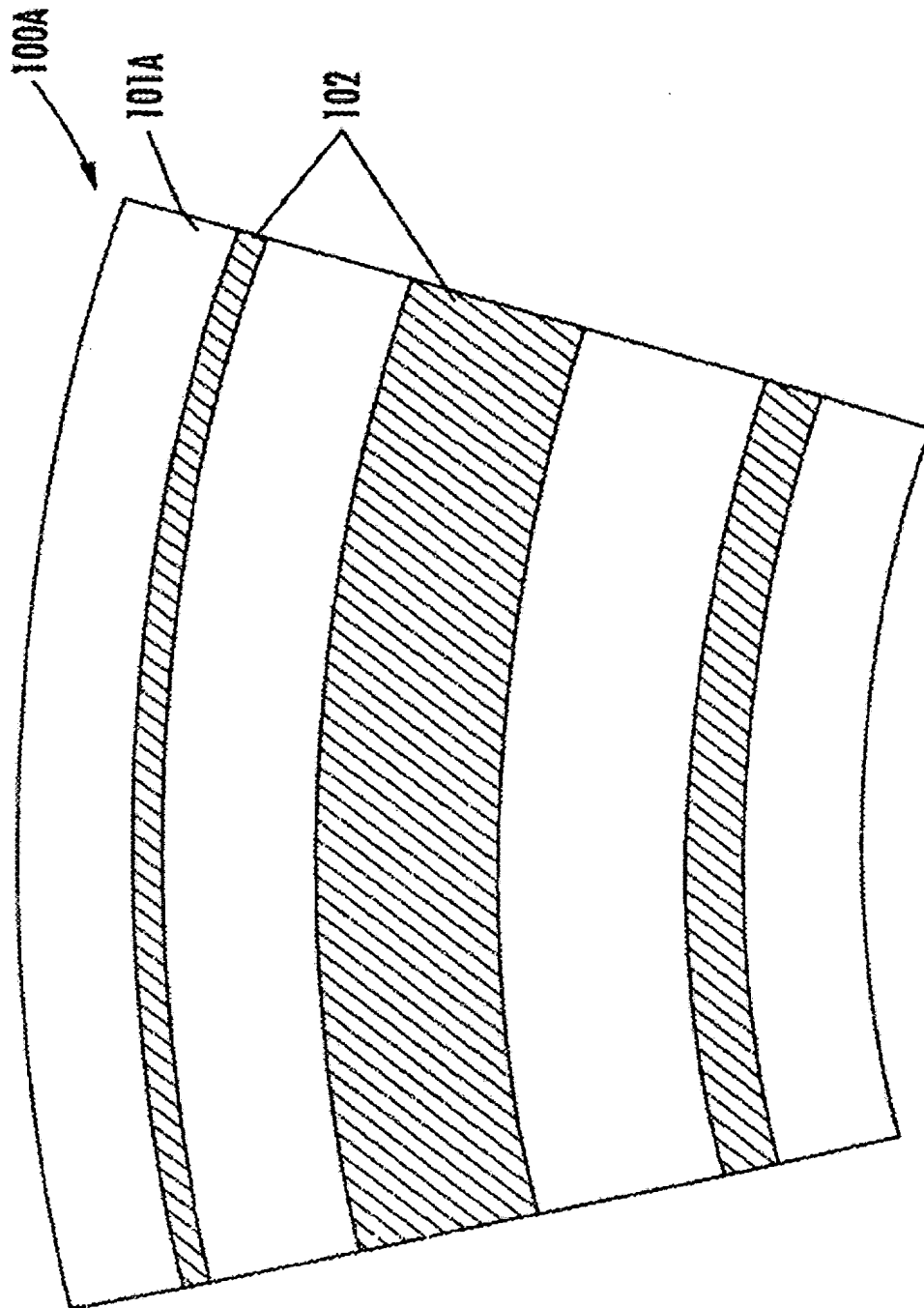


Fig. 10

110a

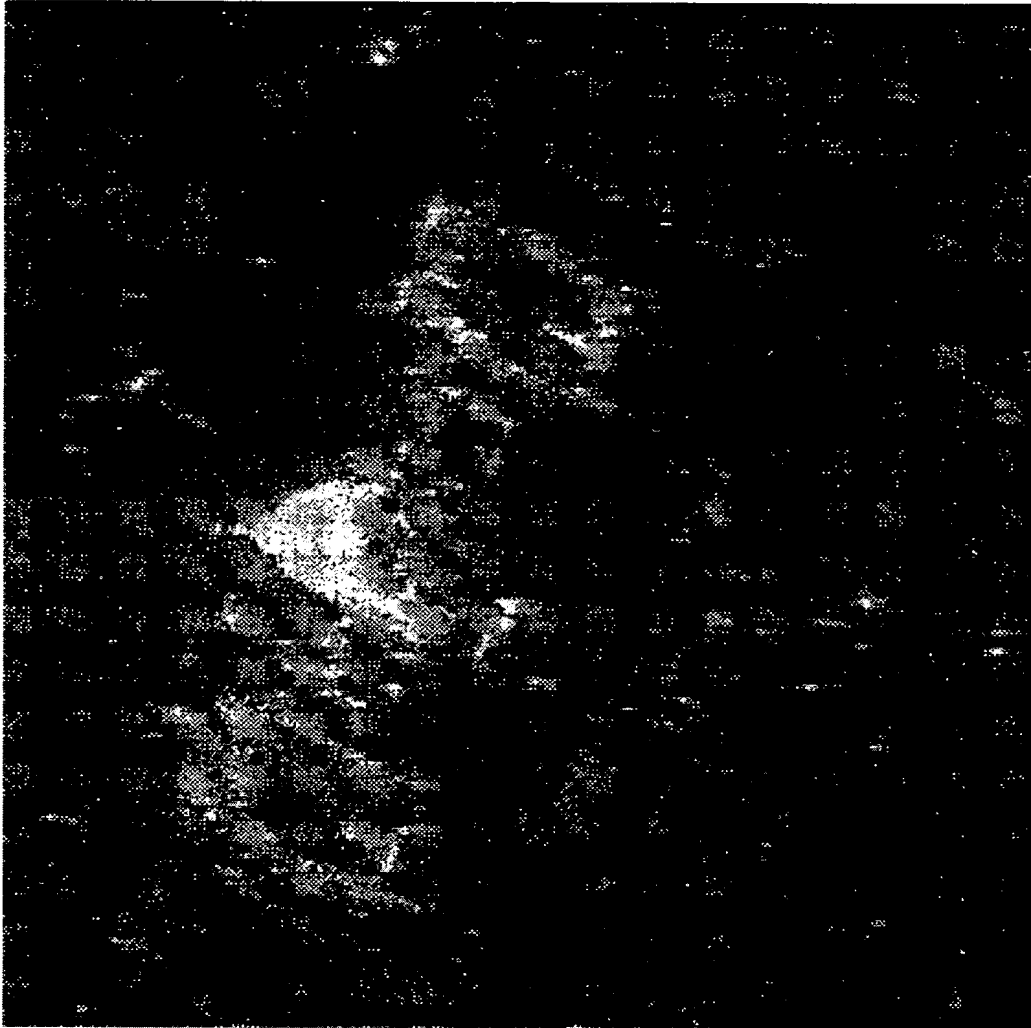


Fig. 11

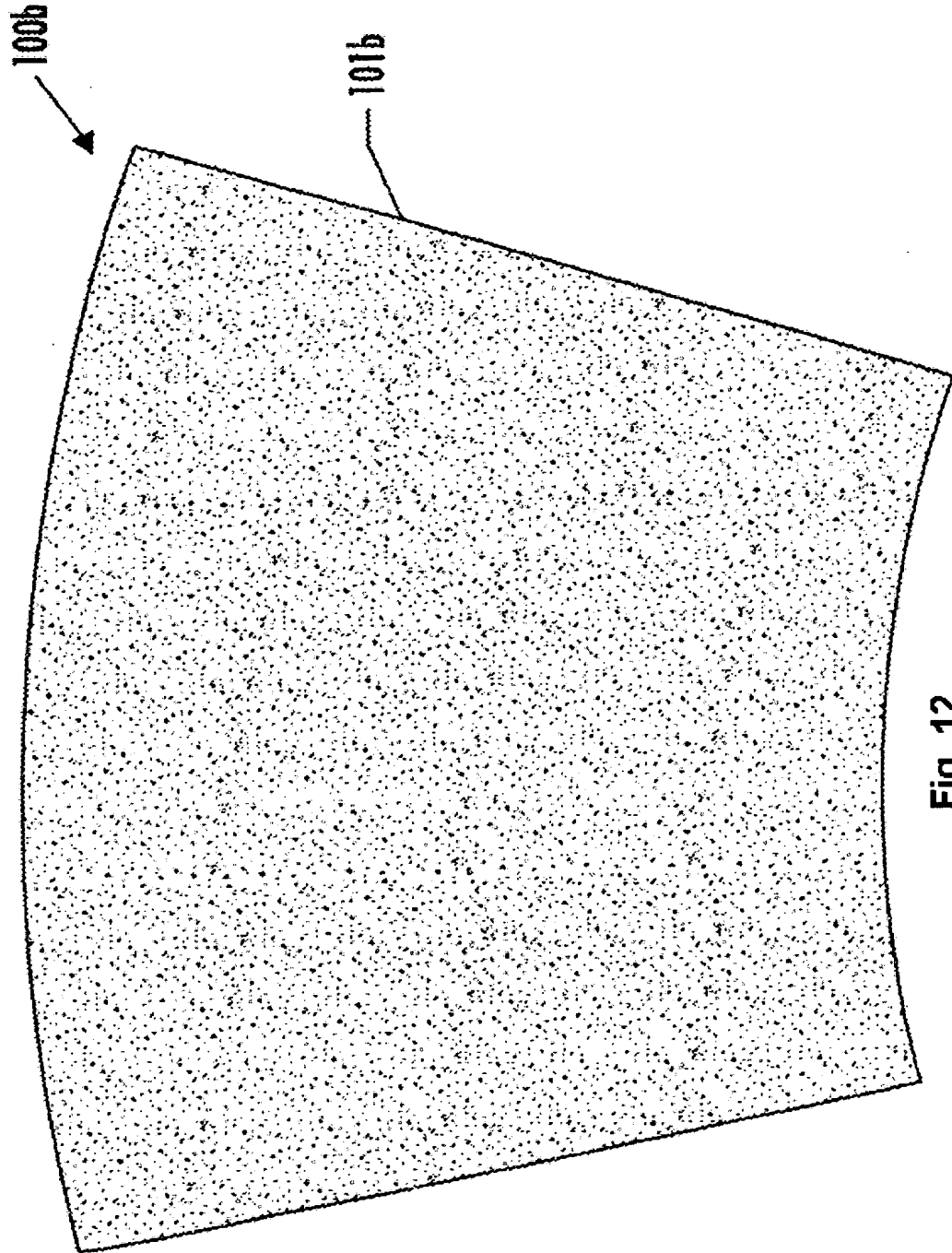


Fig. 12

110b

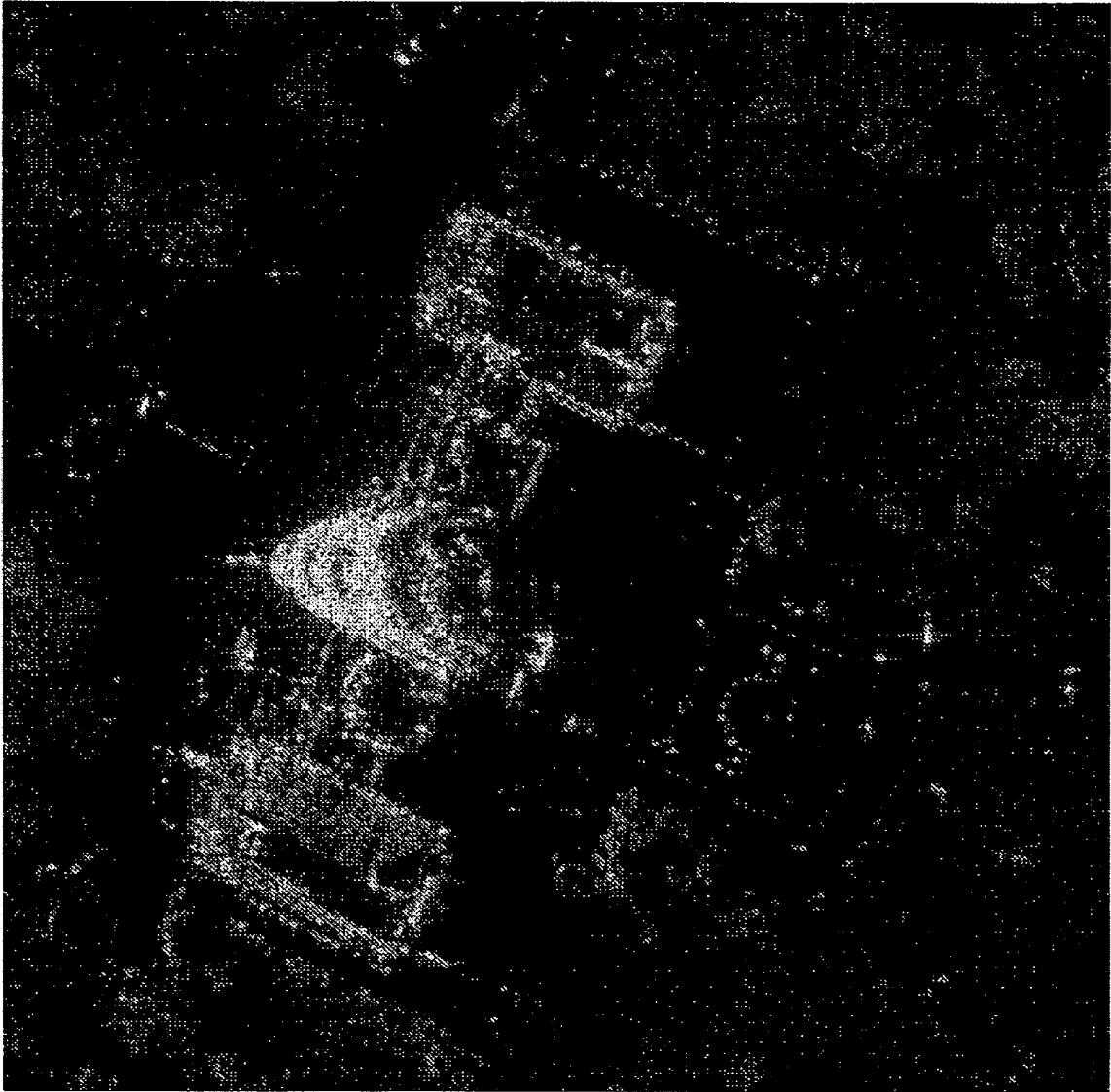


Fig. 13

RESUMOSISTEMA DE MODELAÇÃO GEOESPACIAL E MÉTODO DE
MODELAÇÃO GEOESPACIAL

Trata-se de um sistema de modelação geoespacial
5 (20) que pode incluir um banco de dados de modelo geoespacial
(21) e um processador (22). Mais particularmente, o
processador (22) pode cooperar com o banco de dados de modelo
geoespacial (21) para o sombreamento de dados em pelo menos
um espaço vazio (102) nos dados de domínio de frequência de
10 modelo geoespacial (101) com base na propagação dos dados do
contorno de fora de pelo menos um espaço vazio para pelo
menos um espaço vazio, e para converter os dados de domínio
de frequência de modelo geoespacial após o sombreamento em
dados de domínio espacial de modelo geoespacial (110b).