



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

(21) BR 10 2012 016242-3 A2

(22) Data de Depósito: 29/06/2012
(43) Data da Publicação: 29/10/2013
(RPI 2234)



(51) Int.Cl.:
A61B 6/03

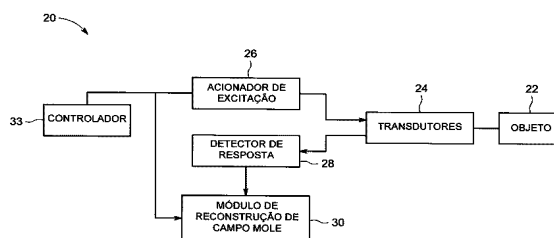
(54) **Título:** MÉTODO PARA RECONSTRUÇÃO DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE E SISTEMA DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE

(30) **Prioridade Unionista:** 30/06/2011 US 13,173,896

(73) **Titular(es):** GENERAL ELECTRIC COMPANY

(72) **Inventor(es):** MANOJ KUMAR KOYITHITTA MEETHAL,
RAJESH V V L LANGOJU, SAKETHRAMAN MAHALINGAM,
WRICHIK BASU

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA RECONSTRUÇÃO DE CAMPO MOLE E SISTEMA DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE. Trata-se de um sistema e um método para reconstrução de campo mole. Um método inclui obter informações de entrada aplicada e de saída medida para um objeto excitado com o uso de uma pluralidade de transdutores e formar uma matriz de admitância com base nas informações de entrada aplicada e de saída medida. O método também inclui determinar uma pluralidade de impulsos com o uso da matriz de admitância e calcular uma distribuição de propriedade do objeto excitado com o uso da pluralidade de impulsos.



“MÉTODO PARA RECONSTRUÇÃO DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE E SISTEMA DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE”

ANTECEDENTES

O assunto ora apresentado refere-se, em geral, a sistemas e métodos para reconstrução de dados e, mais particularmente, a sistemas e métodos para estimar propriedades de regiões de interesse, particularmente em reconstruções de campo mole de objetos multimaterial.

A tomografia de campo mole, como Tomografia de Impedância Elétrica (EIT), tomografia óptica de difusão, elastografia e realizações relacionadas, podem ser utilizadas para medir as propriedades internas de um objeto, como as propriedades elétricas de materiais que compreendem estruturas internas do objeto. Por exemplo, em sistemas de EIT, uma estimativa é realizada a respeito da distribuição de condutividades elétricas das estruturas internas. Tais sistemas de EIT reconstroem a condutividade e/ou permissividade dos materiais na área ou no volume com base em uma excitação aplicada (por exemplo, corrente) e uma resposta medida (por exemplo, tensão) adquiridas em ou próximo da superfície da área ou volume. As distribuições visuais das estimativas podem, então, ser formadas.

Em tomografia de campo mole, algoritmos de reconstrução convencionais podem solucionar uma distribuição de impedância no objeto sem usar quaisquer informações anteriores. No entanto, tais processos de reconstrução são computacionalmente intensivos devido às iterações necessárias para encontrar uma solução. Desse modo, o processo de reconstrução para esses algoritmos convencionais pode ser muito demorado e exige eletrônicos e processadores de alta velocidade. Conseqüentemente, se medições rápidas forem necessárias, como para visualizar em tempo real um objeto multimaterial, como o fluxo de gás através de um tubo, algoritmos de reconstrução convencionais não apresentarão um desempenho satisfatório.

Ademais, algoritmos de reconstrução convencionais não podem acomodar alto contraste na distribuição de impedância real de um objeto.

DESCRIÇÃO RESUMIDA

De acordo com uma realização, um método para reconstrução de tomografia de campo mole é fornecido. O método inclui obter informações de entrada aplicada e de saída medida para um objeto excitado com o uso de uma pluralidade de transdutores e formar uma matriz de admitância com base nas informações de entrada aplicada e de saída medida. O método também inclui determinar uma pluralidade de impulsos com o uso da matriz de admitância e calcular uma distribuição de propriedade do objeto excitado utilizando a pluralidade de impulsos.

De acordo com outra realização, um método para reconstrução de tomografia de campo mole é fornecido. O método inclui obter informações de entrada aplicada e de saída medida para um objeto excitado com o uso de uma pluralidade de transdutores e realizar uma reconstrução iterativa de transformação de componente simétrico (SCT) com o uso de informações de entrada aplicada e de saída medida. O método também inclui determinar uma distribuição de propriedade do objeto excitado com base na reconstrução iterativa de SCT.

De acordo com ainda outra realização, um sistema de tomografia de campo mole é fornecido, o qual inclui uma pluralidade de transdutores configurados para posicionamento próximo a uma superfície de um objeto e um ou mais acionadores de excitação acoplados à pluralidade de transdutores e configurados para gerarem sinais de excitação para a pluralidade de transdutores. O sistema de tomografia de campo mole também inclui um ou mais detectores de resposta acoplados à pluralidade de transdutores e configurados para medir uma resposta do objeto na pluralidade dos transdutores à excitação aplicada pela pluralidade de transdutores com base

nos sinais de excitação. O sistema de tomografia de campo mole inclui adicionalmente um módulo de reconstrução de campo mole configurado para reconstruir uma distribuição de propriedade do objeto com base nos sinais de excitação e na resposta medida com o uso de uma pluralidade de impulsos
5 determinados a partir de um processo de reconstrução de matriz de admitância.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

O assunto revelado na presente invenção será mais bem compreendido mediante a leitura das descrições a seguir de realizações não
10 limitantes, com referência aos desenhos anexos, em que abaixo:

A Figura 1 é um diagrama de bloco simplificado que ilustra um sistema de tomografia de campo mole formado de acordo com várias realizações.

A Figura 2 é uma vista em perspectiva de uma configuração de
15 transdutor de acordo com uma realização.

A Figura 3 é um diagrama simplificado que ilustra uma reconstrução de uma distribuição de propriedade.

A Figura 4 é um diagrama de bloco que ilustra um fluxo de informações de tomografia de campo mole de acordo com várias realizações.

A Figura 5 é um diagrama de bloco que ilustra um fluxo de
20 determinação de admitância de acordo com várias realizações.

A Figura 6 é um fluxograma de um método para reconstrução de campo mole que usa componentes simétricos de acordo com várias realizações.

A Figura 7 é uma tabela que mostra valores de impulsos de
25 inércia calculados de acordo com várias realizações.

A Figura 8 é um fluxograma de um método para reconstrução de campo mole que usa componentes simétricos de acordo com outras várias

realizações.

A Figura 9 é um diagrama de uma grade para um processo de inversão polar de acordo com várias realizações.

A Figura 10 é um diagrama que ilustra um processo de inversão de grade polar de acordo com várias realizações.

A Figura 11 é um fluxograma de um método para realizar uma reconstrução iterativa de SCT de acordo com várias realizações.

DESCRIÇÃO DETALHADA

O sumário precedente, assim como a descrição detalhada a seguir de certas realizações, será mais bem compreendido quando lido em conjunto com os desenhos anexos. Na medida em que as Figuras ilustram diagramas dos blocos funcionais de várias realizações, os blocos funcionais não são necessariamente indicativos da divisão entre conjunto de circuitos de hardware. Dessa forma, por exemplo, um ou mais dos blocos funcionais (por exemplo, processadores, controladores, circuitos ou memórias) podem ser implantados em uma única peça de hardware ou múltiplas peças de hardware. Deve ser compreendido que as várias realizações não são limitadas às disposições, às interconexões de componente/elemento e à instrumentalidade mostrada nos desenhos.

Conforme usado nesta invenção, um módulo ou uma etapa citada no singular e procedida pela palavra "um" ou "uma" deve ser compreendido de modo a não excluir o plural dos elementos ou etapas mencionados, a menos que tal exclusão seja explicitamente relatada. Além disso, referências a "uma realização" não são destinadas a serem interpretadas como excludentes da existência de realizações adicionais que também incorporam os recursos citados. Ademais, a menos que explicitamente declarado de modo contrário, as realizações que "compreendem" ou "têm" um módulo ou uma pluralidade de módulos que têm uma propriedade particular podem incluir tais módulos

adicionais que não tenham aquela propriedade.

Várias realizações fornecem um sistema e um método para tomografia de campo mole, particularmente de um objeto multimaterial, que usam componentes simétricos para estimar as propriedades do objeto multimaterial, tais como as propriedades de gases fluentes. As várias realizações fornecem uma abordagem que se repete em determinados impulsos (ao invés de se repetir em correntes medidas). Pelo menos um efeito técnico de várias realizações é representado por uma precisão e uma velocidade aprimoradas na visualização das propriedades de objetos multimateriais. Por exemplo, em aplicações industriais, ao praticar pelo menos uma realização, uma representação visual reconstruída de uma distribuição de gás fluente no interior de um tubo pode ser fornecida rapidamente, tal como em tempo real, enquanto o gás está fluindo.

Convém notar que, conforme usado na presente invenção, “tomografia de campo mole” se refere, geralmente, a qualquer extensão multidimensional ou tomográfica de um método tomográfico que não seja “tomografia de campo mole”.

Uma realização de um sistema de tomografia de campo mole é ilustrada na Figura 1. Por exemplo, o sistema de tomografia de campo mole pode ser um sistema de Tomografia de Impedância Elétrica (EIT) usado para determinar as propriedades elétricas de materiais dentro de um objeto, particularmente um objeto multimaterial (conforme ilustrado na Figura 2). Em uma realização, a distribuição espacial de condutividade elétrica (σ) e/ou permissividade (ϵ) pode ser determinada dentro do objeto ou outra área ou volume. Por exemplo, o sistema de tomografia de campo mole fornece EIT para medições de fluxo multifásico dentro do objeto, tal como a visualização de propriedades ou a taxa de fluxo volumétrico de gases ou óleos no petróleo fluente dentro de um tubo.

Na realização ilustrada, o sistema 20 inclui uma pluralidade de transdutores 24 (por exemplo, eletrodos) que são posicionados dentro do objeto, tal como espaçados ao redor de uma circunferência interna de um tubo 42 e em contato com o meio de fluxo, conforme mostrado na Figura 2. Em uma
5 realização, uma pluralidade de anéis 40 de transdutores 24 é posicionada ao longo de um comprimento interno, tal como espaçadas axialmente por uma distância D (por exemplo, um metro) do tubo 42. Por exemplo, os transdutores 24 (por exemplo, eletrodos, fontes térmicas, transdutores de ultrassom) podem ser posicionados em uma superfície da circunferência interna do tubo 42,
10 próxima à superfície ou penetrando a superfície a partir do lado externo do tubo 42 até o interior do tubo 42 (por exemplo, eletrodos de agulha). Assim, os transdutores 24 podem adquirir formas diferentes, tais como eletrodos de contato com a superfície, eletrodos do tipo standoff, eletrodos capacitivamente acoplados, bobinas de condução tais como antenas, entre outros. Os anéis
15 espaçados 40 podem formar um medidor de fluxo multifásico de acordo com várias realizações para determinar, por exemplo, o quanto de gás há no tubo 42 (com base na visualização de gás e óleo no tubo 42) e a velocidade de fluxo com base em uma medição diferencial entre os anéis 40 (em dois locais no tubo 42), tal como ao realizar uma correlação cruzada. Assim, de acordo com
20 várias realizações, uma reconstrução é realizada em cada um dos anéis 40. Conseqüentemente, uma visualização de volume de distribuição de propriedade de gás ou uma determinação de fluxo de gás no tubo 42 podem ser fornecidas, tal como para determinar a quantidade de gás e óleo fluente através do mesmo.

25 Convém notar que o sistema de tomografia de campo mole 20 pode ser outros tipos de sistemas. Por exemplo, o sistema de tomografia de campo mole 20 pode ser um sistema de Tomografia Óptica Difusa (DOT), um sistema de Espectroscopia de Radiação Infravermelha Curta (NIRS), um

sistema de termografia, um sistema de elastografia ou um sistema de tomografia de micro-ondas, entre outros.

Um acionador de excitação 26 e um detector de resposta 28 são acoplados aos transdutores 24, os quais estão conectados, cada um, a um módulo de reconstrução de campo mole 30. O módulo de reconstrução de campo mole 30 pode ser qualquer tipo de dispositivo de processamento ou computação que realiza uma reconstrução de campo mole com base pelo menos em parte nas respostas recebidas dos transdutores 24 conforme descrito em mais detalhe nesta invenção. Por exemplo, o módulo de reconstrução de campo mole 30 pode ser um hardware, software ou uma combinação dos mesmos. Em uma realização, o acionador de excitação 26 e o detector de resposta 28 são dispositivos separados fisicamente. Em outras realizações, o acionador de excitação 26 e o detector de resposta 28 são integrados fisicamente como um elemento. Um controlador 33 também é fornecido e envia instruções ao acionador de excitação 26 que aciona os transdutores 24 com base nas instruções. Convém notar que o acionador de excitação 26 pode ser fornecido em conexão com todos ou um subsistema de transdutores 24.

Também convém notar que diferentes tipos de excitações podem ser utilizados para obter dados de distribuição de propriedade para o uso no processo de reconstrução das várias realizações. Por exemplo, excitações elétricas, magnéticas, ópticas, térmicas ou de ultrassom, entre outras, podem ser utilizadas em combinação com as várias realizações. Nessas diferentes realizações, os transdutores 24 podem ser acoplados ao objeto 22 em diferentes maneiras e não necessariamente em contato direto ou somente em uma superfície interna do objeto 22 (por exemplo, acoplado eletricamente, capacitivamente, galvanicamente etc.).

Em algumas realizações, o sistema de tomografia de campo mole

20 pode ser usado para gerar uma representação visual da distribuição de impedância elétrica em uma variedade de aplicações, tais como para determinar as propriedades de material em um fluxo de fluido misto que inclui óleo e água (ou outros fluidos ou gases, tais como petróleo), ou para uma área
5 de terra subterrânea para análise de solo e inspeção de subsolo, entre outros. Entretanto, as realizações podem ser aplicadas a outras aplicações, tais como quando o objeto 22 é uma região de corpo humano, tal como uma cabeça, um tórax, ou uma perna, em que o ar e tecidos têm condutividades elétricas diferentes.

10 Em várias realizações, os transdutores 24 são formados a partir de qualquer material apropriado. Por exemplo, os tipos de transdutor 24 podem ser com base na aplicação em particular, de tal modo que um tipo de transdutor correspondente (por exemplo, eletrodo, bobina etc.) é usado para gerar as excitações de campo mole, por exemplo, um campo eletromagnético (EM), e
15 receber respostas do objeto 22 às excitações para a aplicação em particular. Em algumas realizações, um material condutivo pode ser usado para estabelecer uma corrente elétrica. Por exemplo, os transdutores 24 podem ser formados de um ou mais metais tais como bronze, ouro, platina, aço, prata, e liga metálica dos mesmos. Outros materiais exemplares para formar os
20 transdutores 24 incluem ametais que são condutivos eletricamente, tais como materiais com base em silicone utilizados em combinação com microcircuitos. Em uma realização, onde o objeto 22 é o tubo 42 com gás ou fluido fluindo através do mesmo, os transdutores 24 são formados de forma a serem à prova de líquido. Adicionalmente, os transdutores 24 podem ser formados de
25 diferentes formas e/ou tamanhos, por exemplo, como forma de vara, forma de chapa plana, ou estruturas em forma de agulha. Convém notar que em algumas realizações, os transdutores 24 são isolados entre si. Em outras realizações, os transdutores 24 podem ser posicionados em contato ôhmico

direto com o objeto 22 ou ser capacitivamente acoplados ao objeto 22.

Em operação, os transdutores 24 ou um subsistema dos transdutores 24 podem ser utilizados para transmitir sinais (por exemplo, sinais de entrega ou modulados), por exemplo, para entregar corrente elétrica continuamente ou para entregar sinal de tempo variante de tal modo que excitações podem ser aplicadas sobre um alcance de frequência temporal (por exemplo, 1 kHz a 1 MHz) para gerar um campo EM dentro do objeto 22. Em uma aplicação EIT, os potenciais de superfície resultantes, a saber, as tensões nos transdutores 24 são medidas para determinar uma distribuição de condutividade elétrica ou permissividade utilizando métodos de reconstrução conforme descritos nesta invenção. Por exemplo, uma distribuição visual pode ser reconstruída com base na geometria dos transdutores 24, das correntes aplicadas e das tensões medidas.

Assim, em várias realizações, o acionador de excitação 26 aplica uma excitação para cada um dos transdutores 24 e o detector de resposta 28 mede uma resposta em cada um dos transdutores 24 (o qual pode ser multiplexado por um multiplexador) em resposta a excitação aplicada nos transdutores 24. Convém notar que qualquer tipo de excitação pode ser fornecido, por exemplo, corrente elétrica, tensão elétrica, um campo magnético, uma onda de radiofrequência, um campo térmico, um sinal óptico, uma deformação mecânica e um sinal de ultrassom, entre outros.

Por exemplo, em uma aplicação EIT, e conforme ilustrado na Figura 3, a reconstrução de campo mole é realizada para identificar regiões de interesse 32 dentro do objeto 22. Conforme mostrado, o detector de resposta 28 (mostrado na Figura 1) mede uma tensão de resposta (ou uma corrente de resposta) nos transdutores 24 em resposta a corrente (ou tensão) aplicada pelo acionador de excitação 26 (mostrado na Figura 1) para os transdutores 24.

Convém notar que o detector de resposta 28 também pode incluir

um ou mais elementos de condicionamento de sinal analógico (não mostrado) que amplifica e/ou filtra a corrente ou tensão de resposta medida. Em outras realizações, um processador do sistema de tomografia de campo mole 20 inclui um elemento de condicionamento de sinal para amplificar e/ou filtrar a corrente de resposta ou corrente de tensão recebida pelo detector de resposta 28.

O módulo de reconstrução de campo mole 30, dessa forma, computa uma resposta do objeto 22 à excitação aplicada. Consequentemente, o sistema de tomografia de campo mole 20 pode ser usado para reconstrução de uma distribuição de propriedade ou visualização de fluxo.

O sistema de tomografia de campo mole 20 usa em várias realizações uma abordagem de componentes simétricos (também referido como de simetria). Por exemplo, um fluxo de informação EIT 48 é ilustrado na Figura 4 que usa uma abordagem de componentes simétricos utilizando impulsos determinados para reconstrução. Em particular, um mapa de admitância 50 formado de uma ou mais matrizes (por exemplo, matrizes pré-computadas) com base nas excitações de um dispositivo de computação 52 é usado para predizer tensões (dados previstos) que são fornecidos ao módulo de reconstrução de campo mole 30. Convém notar que, em algumas realizações, um mapa de admitância é opcionalmente usado. As excitações são aplicadas ao objeto 22 (mostrado nas Figuras 1 até 3) através de um instrumento de tomografia de campo mole 54, o qual pode incluir os transdutores 24 e outros componentes de excitação e medição, com tensões medidas (dados medidos) também fornecidas ao módulo de reconstrução de campo mole 30. O módulo de reconstrução de campo mole 30, então, realiza uma reconstrução utilizando várias realizações para gerar uma estimativa de distribuição de propriedade 56, por exemplo, a distribuição de impedância, para identificar regiões de interesse 32 dentro do objeto 22, tais como o conteúdo de materiais diferentes dentro de um gás ou líquido fluente. Convém notar que os

vários componentes podem ser componentes ou elementos separados fisicamente ou podem ser combinados. Por exemplo, o módulo de reconstrução de campo mole 30 pode formar parte do sistema de tomografia de campo mole 20 (conforme ilustrado na Figura 1).

5 Com o uso de várias realizações, a reconstrução de campo mole é fornecida de modo que determine uma distribuição de impedância sem o uso de informações prévias (e sem utilizar um modelo avançado). Por exemplo, em uma realização, uma determinação de impedância ou admitância pode ser realizada conforme mostrado no fluxo de determinação de admitância 60 da
10 Figura 5. A determinação de admitância inclui utilizar no 62 entradas aplicadas (por exemplo, excitações) e saídas medidas (por exemplo, respostas) pelo instrumento de tomografia de campo mole 54 como uma entrada para construir uma matriz de admitância 64 (ou uma matriz de impedância) que define o mapa de admitância 50 ou um mapa de impedância, respectivamente
15 (mostrado na Figura 4) como será descrito em mais detalhe na presente invenção. A matriz de admitância 64 inclui elementos de admitância relativos aos impulsos (por exemplo, impulsos EM) conforme a seguir:

$$Y_s = f(M) \quad \text{Equação 1}$$

$$Y_s^{p,q} = f_{p,q}(M_{p,q}) = f_{p,q} \iint \sigma(x,y) (x+iy)^{p-2} (x-iy)^{q-2} dx dy \quad \text{Equação 2}$$

em que “b” é um coeficiente relativo a Y_s aos impulsos e pode ser
20 pré-computado com base em modelagem, simulações etc. Convém notar que nas várias realizações, $\sigma = \sigma^*$. Assim, conforme usado na presente invenção, a condutividade em várias realizações inclui as três propriedades elétricas a seguir: condutividade (σ), permeabilidade (μ) e permissividade (ϵ). Conseqüentemente, em várias realizações, as várias equações utilizadas na
25 presente invenção incluem os efeitos ou fator em σ , μ e ϵ .

A matriz dos impulsos pode ser definida adicionalmente conforme a seguir:

$$\mathbf{M} = \mathbf{S}\sigma \Rightarrow \sigma = (\mathbf{S}^H \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^H \mathbf{M}$$

Equação 3

$$\mathbf{S} = \iint (x + iy)^{p-2} (x - iy)^{q-2} dx dy$$

Equação 4

em que \mathbf{S} é uma matriz de estrutura, a qual pode ser pré-computada, por exemplo, com base na geometria do instrumento de tomografia de campo mole 54 (mostrado na Figura 4), σ é a condutividade a ser determinada, $(\mathbf{S}^H \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^H$ é o pseudoinverso da matriz de estrutura (por exemplo, uma inversão de multilinha), e \mathbf{M} é uma matriz dos impulsos. Assim, em uma realização, impulsos medidos experimentalmente são relatados utilizando as equações acima para estimar a distribuição de condutividade.

Convém notar que, conforme usado na presente invenção, o símbolo “ σ ” denota tanto a condutividade em um ponto, quanto o vetor de condutividade.

Consequentemente, valores de admitância (\mathbf{Y}) podem ser utilizados para determinar uma informação relativa à distribuição, incluindo as físicas e geometria da distribuição, conforme ilustrado no 66 e 68, onde em geral $\mathbf{Y} = \mathbf{I} \cdot (\mathbf{V}^H \mathbf{V})^{-1} \cdot \mathbf{V}^H$ e $\mathbf{Y}_s = \mathbf{Y}_{\text{transformado}} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{Y} \cdot \mathbf{Q}^{-1}$, respectivamente. Em uma realização, $\mathbf{P} = \mathbf{Q} =$ uma matriz de transformada direta de Fourier (DFT), \mathbf{C} . Assim, $\mathbf{Y}_s = \mathbf{C} \cdot \mathbf{Y} \cdot \mathbf{C}^{-1}$ nessa realização. Entretanto, convém notar que qualquer método ou algoritmo com base na transformação de matriz pode ser usado, e \mathbf{C} é meramente um exemplo usado na presente invenção para descrever uma realização.

A matriz de admitância 64 é transformada em 70 em uma a matriz de admitância transformada conforme descrito em mais detalhes na presente invenção utilizando uma abordagem SCT nessa realização, em que \mathbf{Y} define a distribuição em uma matriz discreta. Convém notar que diferentes tipos de

técnicas de transformações e inversão podem ser utilizados ao invés das técnicas descritas na presente invenção. Assim, a abordagem SCT é usada no caso onde $P = Q =$ a matriz DFT, C.

Em uma realização, um método 80 para reconstrução de campo mole utilizando componentes simétricos é fornecido conforme mostrado na Figura 6. O método 80 será geralmente descrito seguido por uma descrição específica de várias etapas, incluindo diferentes implantações. O método 80 inclui aplicar sinais de excitação em 82 e medir respostas em 84. Por exemplo, correntes elétricas podem ser aplicadas a um objeto utilizando uma pluralidade de transdutores conforme descrito na presente invenção, com as respostas medidas em cada um dos transdutores. Convém notar que os sinais de excitação aplicados em 82 podem ser, por exemplo, qualquer sinal ortonormal.

Posteriormente, uma matriz de admitância é construída em 86 utilizando os sinais de excitação e as respostas medidas aplicadas. Por exemplo, a matriz de admitância pode definir os valores para os sinais aplicados e medidos em cada uma da pluralidade de transdutores. A matriz de admitância é então transformada em 88 utilizando processos de pré-multiplicação e pós-multiplicação, por exemplo, invertido, utilizando uma matriz de transformação Fourier.

Convém notar que a distribuição dentro do objeto é considerada homogênea e uma malha é formada de, por exemplo, elementos quadrados, elementos retangulares ou setores circulares, entre outros. Assim, uma grade pode ser analiticamente definida. Entretanto, convém notar que ao invés de uma abordagem com base em uma grade, uma abordagem com base em formato pode ser usada conforme descrito em mais detalhes na presente invenção.

Então, impulsos calculados definidos pela matriz transformada são utilizados em um processo de cálculo iterativo em 90 para estimar, por

exemplo, a condutividade elétrica (σ) dentro do objeto para reconstruir uma distribuição dentro do objeto, tal como dentro de um objeto multimaterial. Por exemplo, uma diferença em impulsos calculados pode ser determinada e um σ estimado atualizado até a convergência (dentro de um nível predeterminado) ser alcançada.

A malha usada pode ser, então, refinada em 92. Por exemplo, áreas podem ser selecionadas para um refinamento de malha, com uma malha refinada calculada analiticamente com base em anomalias delimitadas previamente determinadas ou materiais diferentes. O processo de cálculo iterativo é então realizado em 94 na malha refinada.

Agora, especificamente em relação à construção de uma matriz de admitância em 86, em uma realização, cada elemento Y_s da matriz corresponde a um impulso polar de condutividade definido pelo grupo de equações a seguir:

$$Y_s(p, q) = \iint_{\Omega} \sigma(x, y) (x + iy)^{p-2} (x - iy)^{q-2} dx dy$$

$$Y_s(p, q) = \sigma_0 \cdot \iint_{\Omega_{\text{homogeneo}}} (x + iy)^{p-2} (x - iy)^{q-2} dx dy \quad \because \sigma_0 \gg \sigma_{\text{anomalia}}$$

$$Y_s(p, q) = \sigma_0 \cdot \left(\iint_{\Omega} (x + iy)^{p-2} (x - iy)^{q-2} dx dy - \iint_{\Omega_{\text{anomalia}}} (x + iy)^{p-2} (x - iy)^{q-2} dx dy \right)$$

Equações 5, 6 e 7

Nas equações acima, "p" e "q" definem a fileira e coluna na matriz e "x" e "y" definem as coordenadas dos pixels. Assim, os elementos Y_s definem os impulsos que são utilizados no processo de solução iterativo descrito na presente invenção. Adicionalmente, convém notar que uma distribuição homogênea é considerada.

Também convém notar que a porção da equação 7 a seguir é pré-computada.

$$\sigma_0 \cdot \iint_{\Omega} (x + iy)^{p-2} (x - iy)^{q-2} dx dy$$

Os elementos Y_s também podem ser expressos em coordenadas polares conforme a seguir:

$$\begin{aligned}
 & -\sigma_0 \cdot \iint_{\Omega_{\text{anomalia}}} (x + iy)^{p-2} (x - iy)^{q-2} dx dy \\
 & = \\
 & -\sigma_0 \cdot \iint_{\Omega_{\text{anomalia}}} r^{p+q-4} e^{(p-q)i\theta} dx dy
 \end{aligned}$$

Equação 8

Em várias realizações, as propriedades dos elementos Y_s podem ser organizadas em uma tabela 100 conforme ilustrado na Figura 7 mostrando os valores dos impulsos de inércia calculados. Na tabela 100, as fileiras são os valores para “p” e as colunas são os valores para “q” nas equações 5 até 8 acima. Convém notar que os valores na porção 102 são úteis se as impedâncias forem complexas, a saber, resistente assim como reativa. Adicionalmente, os valores na porção 102 são essencialmente redundantes devido a periodicidade dos coeficientes utilizados nas equações.

Em várias realizações, um método 110 conforme ilustrado na Figura 8 é fornecido de modo a definir uma abordagem de componentes simétricos para EIT. Em particular, o método 110 inclui, em 112, calcular o valor de admitância Y das excitações aplicadas e respostas medidas, tais como das correntes aplicadas (I) e tensões medidas (V) utilizando a pluralidade de transdutores 24 (mostrado na Figura 1). Por exemplo, Y pode ser calculado como $Y=I.(V^H V)^{-1}.V^H$. Consequentemente, em 114, Y_s pode ser calculado de Y utilizando $Y_s=C.Y.C^{-1}$ (definindo um processo de pré-multiplicação e pós-multiplicação), onde C e C^{-1} são uma matriz de transformação e o inverso da mesma, respectivamente. A matriz de transformação pode ser qualquer matriz apropriada, como uma matriz ortogonal. Em uma realização, a matriz de transformação é uma matriz de transformação Fourier definida conforme a seguir:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 & \dots & \alpha^{n-1} \\ 1 & \alpha^2 & \alpha^4 & \dots & \alpha^{2(n-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & \alpha^{n-1} & \alpha^{2(n-1)} & \dots & \alpha^{(n-1)(n-1)} \end{bmatrix} \quad \text{em que } \alpha = e^{i \cdot 2\pi/n}$$

$$\alpha^{n \cdot g + h} = \alpha^h \quad \because \alpha^n = 1$$

Equação 9

Posteriormente, em 116, os impulsos são calculados a partir de Y_s , conforme descrito acima. Os impulsos calculados são utilizados em um processo de reconstrução SCT iterativo, os quais podem ser uma reconstrução com base em formato em 118 ou uma reconstrução com base em grade em 124. Convém notar que os processos de reconstrução podem ser realizados utilizando qualquer método de reconstrução de distribuição apropriado.

Em relação à reconstrução com base em formato em 118, em uma realização, círculos equivalentes são utilizados em 120 e uma identificação de vértice realizada em 122. Entretanto, convém notar que qualquer modelo, e em particular, qualquer modelo de geometria básica, ao invés de um círculo podem ser considerados para o uso na reconstrução. Assim, a anomalia pode ser considerada como qualquer modelo geométrico.

A reconstrução com base em formato em 118 inclui em uma realização que usa círculos, as quais são completamente descritas pelas três coordenadas (x_c, y_c, R) . Nessa realização, o número de variáveis independentes dividida por 3 iguala o número máximo de círculos equivalentes. Assim, as regiões de interesse 32 (conforme ilustrado na Figura 3) podem ser consideradas círculos, os quais podem representar, por exemplo, bolhas no petróleo fluente. Assim, uma suposição inicial ou aproximação de uma pluralidade de círculos podem ser utilizados para determinar o tamanho e localização das regiões de interesse 32, as quais podem ser anomalias de ar

dentro do líquido fluente. Em uma realização, duas regiões σ podem ser consideradas, uma representando a região de interesse 32 (por exemplo, a anomalia) e uma representando o plano de fundo. Entretanto, círculos adicionais podem ser utilizados para considerar regiões de interesse 32 adicionais. Utilizando a concepção de regiões de interesse 32 circulares, é fornecida uma visualização simples, tal como para visualizações de medida de fluxo. O método de reconstrução, então, usa os impulsos calculados para convergir para uma solução conforme descrito em mais detalhes abaixo.

Em uma realização, a reconstrução com base em grade em 124 inclui uma inversão para uma grade polar em 126 seguida de um refino opcional da grade em 128, o qual pode ser realizado de modo adaptativo. Em particular, a inversão de grade polar pode ser realizada utilizando as seguintes equações:

$$M_{mn} = \iint_{\Omega_{anomalia}} r^m e^{i\theta.n} dA$$

$$M_{mn}(R, t, \theta_1, \Delta\theta) = \int_R^{R+t} \int_{\theta_1}^{\theta_1+\Delta\theta} r^{m+1} e^{i\theta.n} dr d\theta$$

Equações 10 e 11

$$= \frac{1}{m+2} \{ (R+2)^{m+2} - R^{m+2} \} \Delta\theta \quad \text{quando } n = 0$$

$$= \frac{1}{(m+2)(ni)} \{ (R+2)^{m+2} - R^{m+2} \} \{ e^{in(\theta_1+\Delta\theta)} - e^{in\theta_1} \} \quad \text{quando } n > 0$$

Equações 12 e 13

Convém notar que a equação 13 pode ser pré-computada. Uma grade 140 para a inversão polar pode ser fornecida conforme mostrado na Figura 9, a qual representa nessa realização a seção transversal do tubo 42 (mostrado na Figura 2) ou outra estrutura tubular. Na grade 140, cada segmento 142 representa um pixel na representação reconstruída. Nessa

realização, há 8 octantes, cada um definido por 4 segmentos em diferentes localizações radialmente (R). Convém notar que, uma vez que o impulso é calculado, a localização de cada um dos pixels representados pelos segmentos 142 é também conhecida.

5 Assim, em uma realização, o processo de inversão de grade polar 150 pode ser realizado conforme ilustrado na Figura 10. Como podem ser vistos, dois dos segmentos 142a e 142b são inicialmente considerados a ter uma condutividade muito menor (a saber, 1 ao invés de 0). A contribuição de cada segmento 142 para cada impulso também pode ser pré-computado. Em 10 particular, o coeficiente que relaciona Y_s aos impulsos pode ser pré-computado, tal como com base em modelagem, simulações, ou configurações de anomalia, entre outros. Convém notar que as pré-computações podem ser verificadas com experimentos estáticos.

O sistema de equações lineares descrito na presente invenção 15 para os segmentos pré-computados 142 e os impulsos medidos são esclarecidos para se obter uma primeira aproximação. Conseqüentemente, valores de σ são determinados e alocados a cada um dos segmentos 142. Por exemplo, a grade 140 pode ser modificada para incluir uma única área de plano de fundo 144 e os dois segmentos separados 142a e 142b.

20 De forma a definir melhor os limites, tal como determinar os limites de uma segunda fase, os segmentos 142a e 142b são ainda divididos em seções 146 para refinar as medições. Convém notar que todos os outros segmentos 142 (exceto os segmentos 142a e 142b) não são mais utilizados nos cálculos. Assim, os impulsos para os segmentos 142a e 142b divididos 25 adicionalmente para a fase secundária são determinados.

Conseqüentemente, em várias realizações, uma malha e um inverso disso são considerados com uma distribuição aproximada utilizando uma sobreposição de modelos geométricos. Por exemplo, em uma realização,

círculos são utilizados como uma aproximação de uma fase secundária (por exemplo, bolhas em gás ou óleo).

Em outra realização, a reconstrução com base em grade em 124 inclui uma inversão a uma grade cartesiana em 130 seguida de um refino 5 opcional da grade em 132, a qual pode ser realizada de modo adaptativo. Esta conversão é realizada similarmente ao processo de inversão de grade polar descrito acima.

Assim, várias realizações fornecem uma abordagem de transformação de matriz, por exemplo, uma EIT com base em SCT que usa 10 uma reconstrução de frequência espacial que usa múltiplos σ ($-\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2 \dots$). Com a pré-computação, o processo de reconstrução de várias realizações não resolve equações diferenciais, mas sim equações algébricas ou polinomiais, as quais são computacionalmente mais rápidas. Consequentemente, o EIT com base em SCT pode ser usado para reconstrução em materiais de alto 15 contraste, tais como materiais com um fluxo de volume.

Em uma realização, um método 160 para uma reconstrução iterativa de SCT pode ser realizada conforme ilustrado na Figura 11. O método 160 pode fornecer uma representação grosseira (mas característica) da distribuição geral de anomalias. O método 160 inclui calcular impulsos 20 experimentais M em 162, tal como utilizar o instrumento de tomografia de campo mole 54, em que $M_{\text{exp}} = b^{-1} Y_s$. Consequentemente, a condutividade é estimada em 164, a qual é definida em uma realização como:

$$\sigma = (\mathbf{S}^H \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^H \mathbf{M}_{\text{exp}} \quad \text{Equação 14}$$

Convém notar que diferentes modelos ou grades podem ser 25 utilizadas na estimativa conforme descrito em mais detalhes na presente invenção. Por exemplo, qualquer tipo de grade pode ser usado, tais como uma grade polar, uma grade triangular, ou uma grade retangular, entre outras.

Consequentemente, os impulsos são calculados em 166, os quais

podem ser definidos como $M_{comp} = S\sigma$. Convém notar que S pode ser modificado com base em uma solução precisamente invertida, que é então refinada após as áreas de interesse (por exemplo, anomalias) serem identificadas.

Então, a diferença nos impulsos calculados de uma iteração de corrente e impulsos calculados experimentalmente são determinados em 168. A diferença define um termo de atualização usado para atualizar a estimativa em 164 nesse processo iterativo. O termo de atualização calculado de uma diferença em impulsos pode ser definido conforme a seguir:

$$\sigma^{i+1} = \sigma^i + \alpha (S^H S)^{-1} S^H (M_{exp} - M_{comp})$$

Equação 15

O termo atualizado (por exemplo, um termo de erro) é então novamente inserido na etapa de estimativa em 164, de tal modo que uma distribuição de condutividade atualizada é fornecida iterativamente. Este processo iterativo é realizado até uma convergência de uma solução ser alcançada, por exemplo, quando: $M_{comp} \approx M_{exp}$. Conseqüentemente, uma convergência pode ser alcançada quando não há diferença ou uma diferença predeterminada (por exemplo, uma variância aceitável) na diferença em impulsos.

Assim, em várias realizações, a reconstrução iterativa de SCT usa um processo de multiplicação de matriz conforme descrito na presente invenção. Adicionalmente, o Jacobiano (S) ao inverso é pré-computado. Em uma realização, uma malha retangular é usada para aumentar a taxa de reconstrução, por exemplo, para cerca de 2500 frames por segundo. Utilizar outras redes de modelo pode resultar em taxas de reconstrução diferentes. Por exemplo, utilizando uma malha triangular, uma taxa de reconstrução de cerca de 80 frames por segundo pode ser fornecida em algumas realizações.

Conseqüentemente, utilizar várias realizações determina Y a partir das excitações aplicadas e respostas medidas. Então, Y_s pode ser

determinado de Y . Consequentemente, os impulsos podem ser determinados como Y_s/b , os quais são utilizados na reconstrução iterativa.

As várias realizações e/ou componentes, por exemplo, os módulos, elementos, ou componentes e controladores do mesmo, também podem ser implantados como parte de um ou mais computadores ou processadores. O computador ou processador podem incluir um dispositivo de 5 computação, um dispositivo de entrada, uma unidade de visor e uma interface, por exemplo, para acessar a Internet. O computador ou processador podem incluir um microprocessador. O microprocessador pode ser conectado a um barramento de comunicação. O computador ou processador pode também 10 incluir uma memória. A memória pode incluir uma Memória de Acesso Randômico (RAM) e uma Memória Unicamente de Leitura (ROM). O computador ou processador pode ainda incluir um dispositivo de armazenamento, o qual pode ser uma unidade de disco rígido ou uma unidade 15 de armazenamento removível, tal como uma unidade de disco óptico, unidade de disco sólido (por exemplo, RAM Flash), e semelhantes. O dispositivo de armazenamento pode também ser outros meios similares para carregar programas de computadores ou outras instruções no computador ou processador.

Conforme usado na presente invenção, o termo “computador” ou 20 “módulo” pode incluir qualquer sistema com base em processador ou com base em microprocessador, incluindo sistemas que utilizem microcontroladores, computador com um conjunto reduzido de instruções (RISC), circuitos integrados para aplicações específicas (ASICs), arranjo de portas programável em campo (FPGAs), unidades de processamento gráfico (GPUs), circuitos 25 lógicos, e qualquer outro circuito ou processador capaz de executar as funções descritas na presente invenção. Os exemplos acima são somente exemplares, e então não são pretendidos a limitar, de qualquer maneira, a definição e/ou

significado do termo “computador”.

O computador ou processador executa um grupo de instruções que são armazenados em um ou mais elementos de armazenamento, de forma a processar dados de entrada. Os elementos de armazenamento podem também armazenar dados ou outra informação conforme desejado ou necessitado. O elemento de armazenamento pode ser na forma de uma fonte de informação ou um elemento de memória física dentro de uma máquina de processamento.

O conjunto de instruções pode incluir vários comandos que orientam o computador ou processador como uma máquina de processamento para realizar operações específicas tais como os métodos e processos das várias realizações. O grupo de instruções pode estar sob a forma de um programa de software, o qual pode fazer parte de um meio ou meios legíveis por computador não transitórios tangíveis. O software pode estar sob várias formas, tais como um software de sistema ou software de aplicação. Ademais, o software pode estar sob a forma de uma coleção de programas ou módulos separados, um módulo de programa dentro de um programa maior ou uma porção de um módulo de programa. O software também pode incluir uma programação modular sob a forma de programação orientada a objetos. O processamento de dados inseridos pela máquina de processamento pode ser em resposta a comandos do operador, ou em resposta a resultados de processamentos prévios, ou em resposta a uma solicitação feita por outra máquina de processamento.

Conforme usado na presente invenção, os termos “software”, “firmware” e “algoritmo” são intercambiáveis, e incluem qualquer programa de computador armazenado na memória para a execução por um computador, incluindo memória RAM, memória ROM, memória EPROM, memória EEPROM e memória RAM não volátil (NVRAM). Os tipos de memória acima são somente

exemplares, e são, então, não limitantes em relação aos tipos de memória utilizáveis para armazenamento de um programa de computador.

Deve ser compreendido que a descrição acima se destina a ser ilustrativo, e não restritivo. Por exemplo, as realizações descritas acima (e/ou
5 aspectos do mesmo) podem ser utilizadas em combinação entre si. Além disso, muitas modificações podem ser feitas para adaptar uma situação ou material em particular aos ensinamentos das várias realizações sem se desviar dos mesmos. Enquanto que as dimensões e tipos de materiais descritos na presente invenção são destinados a definir os parâmetros das várias
10 realizações, as realizações não são de forma alguma limitantes e são realizações exemplares. Muitas outras realizações serão aparentes para os versados na técnica mediante a revisão da descrição acima. O escopo das várias realizações deve ser, dessa maneira, determinado com referência às reivindicações anexas, juntamente ao escopo total de equivalentes para qual
15 tais reivindicações são designadas. Nas reivindicações anexadas, os termos "incluindo" e "no(a) qual" são utilizados como óbvios equivalentes na língua portuguesa dos respectivos termos: "compreendendo" e "em que." Além do mais, nas reivindicações a seguir, os termos "primeiro(a)," "segundo(a)," e "terceiro(a)," etc. são utilizados meramente como rótulos, e não são destinados
20 a impor requisitos numéricos em seus objetos. Além disso, as limitações das reivindicações a seguir não são escritas em formato de meio-mais-função e não são destinadas a ser interpretadas com base em 35 U.S.C. § 112, sexto parágrafo, a menos que – e até – tais limitações de reivindicação utilizem expressamente a frase "meios para" seguida de uma afirmação de função vazia
25 de uma estrutura adicional.

Esta descrição escrita usa exemplos para revelar as várias realizações, incluindo o melhor modo, e também para permitir que qualquer pessoa versada na técnica pratique as várias realizações, incluindo produzir e

utilizar quaisquer dispositivos ou sistemas e realizar quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável das várias realizações é definido pelas reivindicações e pode incluir outros exemplos que ocorrem àqueles versados na técnica. Tais outros exemplos são destinados a estarem dentro do escopo 5 das reivindicações se os exemplos tiverem elementos estruturais que não se diferenciam da linguagem literal das reivindicações, ou se os exemplos incluem elementos estruturais equivalentes com diferenças insubstanciais relativas às linguagens literais das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA RECONSTRUÇÃO DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE, sendo que o método compreende:

5 obter informações de entrada aplicada e de saída medida para um objeto excitado com o uso de uma pluralidade de transdutores;

formar uma matriz de admitância com base nas informações de entrada aplicada e de saída medida;

determinar uma pluralidade de impulsos com o uso da matriz de admitância; e

10 calcular uma distribuição de propriedade do objeto excitado com o uso da pluralidade de impulsos.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, que compreende adicionalmente comparar iterativamente a pluralidade de impulsos determinados com uma pluralidade de impulsos experimentais calculados para
15 calcular uma estimativa da distribuição de propriedade.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, que compreende adicionalmente transformar a matriz de admitância e determinar a pluralidade de impulsos com o uso da matriz de admitância transformada.

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 3, que
20 compreende adicionalmente usar uma matriz de transformada de Fourier para a transformação.

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, que compreende adicionalmente usar uma reconstrução com base em formato para calcular a distribuição de propriedade.

25 6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, em que a reconstrução com base em formato usa uma malha formada a partir de um dentre elementos retangulares e circulares.

7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, que

compreende adicionalmente usar uma reconstrução com base em grade para calcular a distribuição de propriedade.

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 7, que compreende adicionalmente refinar de modo adaptativo uma malha de grade usada para a reconstrução com base em grade.

9. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 8, que compreende adicionalmente comparar iterativamente a pluralidade de impulsos determinados a uma pluralidade de impulsos experimentais calculados para a malha de grade refinada para calcular uma estimativa da distribuição de propriedade.

10. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 7, em que a reconstrução com base em grade compreende inversão para uma dentre uma grade polar ou uma grade cartesiana.

11. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, em que o objeto excitado é um tubo e a pluralidade de transdutores forma uma pluralidade de anéis ao longo de uma circunferência interna do tubo, sendo que a pluralidade de anéis é distanciada axialmente ao longo do tubo.

12. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 11, em que o cálculo da distribuição de propriedade compreende calcular a distribuição de propriedade de gás fluente no interior do tubo.

13. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 11, que compreende adicionalmente calcular uma velocidade de gás fluente no interior do tubo com o uso de uma reconstrução de campo mole na pluralidade de anéis.

14. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, em que a distribuição de propriedade é uma distribuição conforme determinada em uma dentre Tomografia de Impedância Elétrica (EIT), Tomografia óptica de difusão (DOT), Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIRS), termografia,

elastografia ou tomografia por micro-ondas.

15. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, em que a distribuição de propriedade compreende uma distribuição de uma ou mais dentre condutividade elétrica, permissividade elétrica, permeabilidade magnética, absorvância óptica, dispersão óptica, refletividade óptica, elasticidade ou condutividade térmica.

16. MÉTODO PARA RECONSTRUÇÃO DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE, sendo que o método compreende:

obter informações de entrada aplicada e de saída medida para um objeto excitado com o uso de uma pluralidade de transdutores;

realizar uma reconstrução iterativa de transformada de componente simétrico (SCT) com o uso das informações de entrada aplicada e de saída medida; e

determinar uma distribuição de propriedade do objeto excitado com base na reconstrução iterativa de SCT.

17. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 16, em que a reconstrução iterativa de SCT compreende uma reconstrução de frequência espacial.

18. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 16, em que o objeto excitado é um tubo e a pluralidade de transdutores forma uma pluralidade de anéis ao longo de uma circunferência interna do tubo, sendo que a pluralidade de anéis é distanciada axialmente ao longo do tubo, e em que determinar a distribuição de propriedade compreende determinar a distribuição de um gás fluente no interior do tubo.

19. SISTEMA DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE, que compreende:

uma pluralidade de transdutores configurados para se posicionarem próximos a uma superfície de um objeto;

um ou mais acionadores de excitação acoplados à pluralidade de transdutores e configurados para gerar sinais de excitação para a pluralidade de transdutores;

um ou mais detectores de resposta acoplados à pluralidade de transdutores e configurados para medir uma resposta do objeto na pluralidade de transdutores para a excitação aplicada pela pluralidade de transdutores com base nos sinais de excitação; e

um módulo de reconstrução de campo mole configurado para reconstruir uma distribuição de propriedade do objeto com base nos sinais de excitação e na resposta medida com o uso de uma pluralidade de impulsos determinados a partir de um processo de reconstrução de matriz de admitância.

20. SISTEMA DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE, de acordo com a reivindicação 19, em que o objeto é um tubo e a pluralidade de transdutores forma uma pluralidade de anéis ao longo de uma circunferência interna do tubo, sendo que a pluralidade de anéis é distanciada axialmente ao longo do tubo, e em que o módulo de reconstrução de campo mole é adicionalmente configurado para calcular a distribuição de propriedade de gás fluente no interior do tubo.

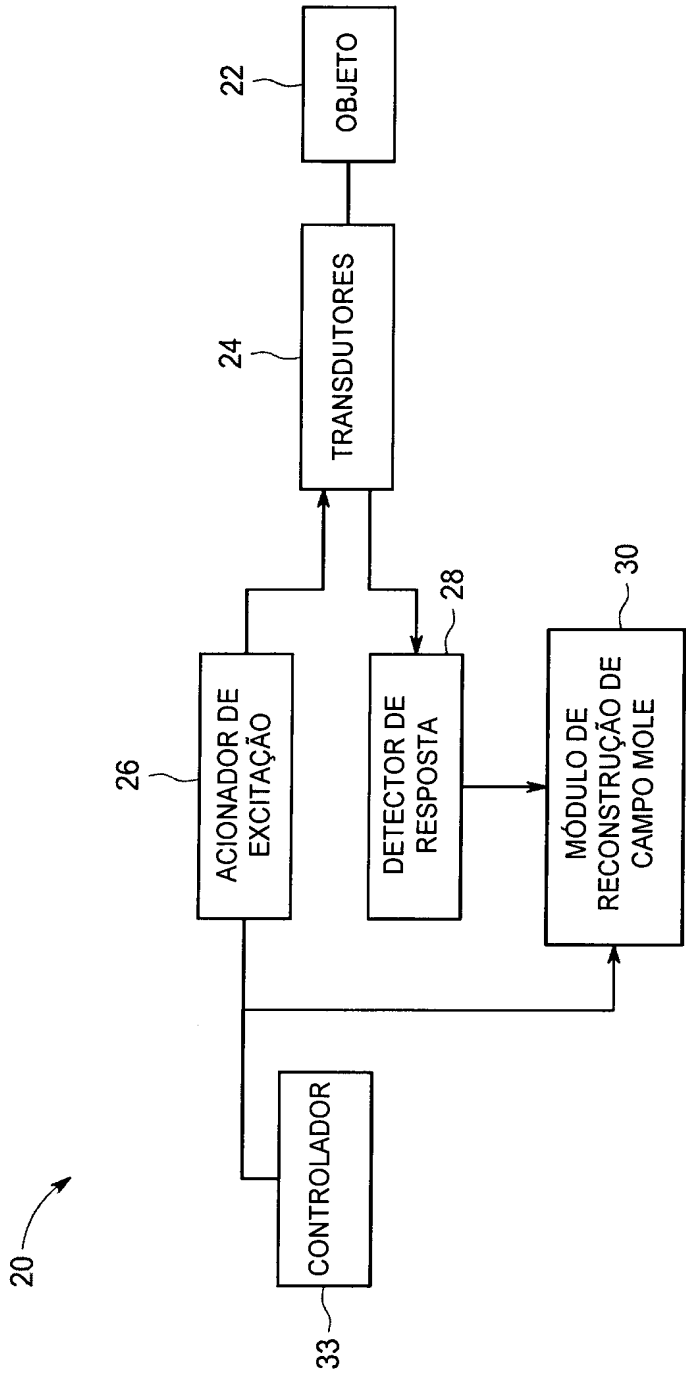


Fig. 1

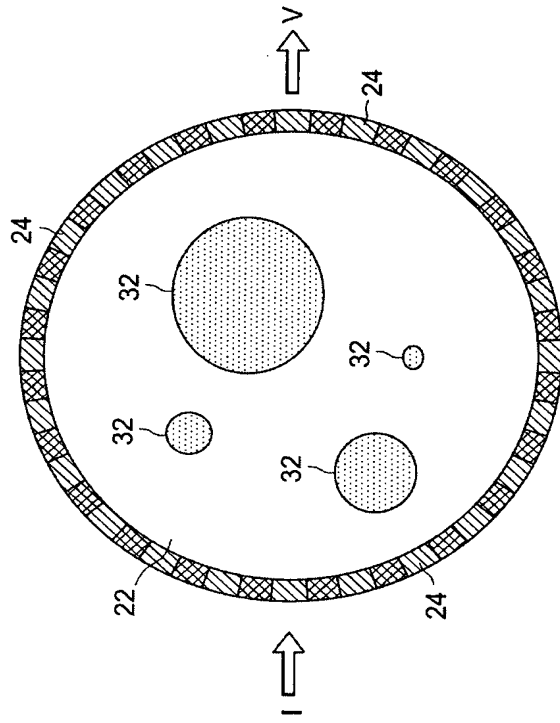


Fig. 3

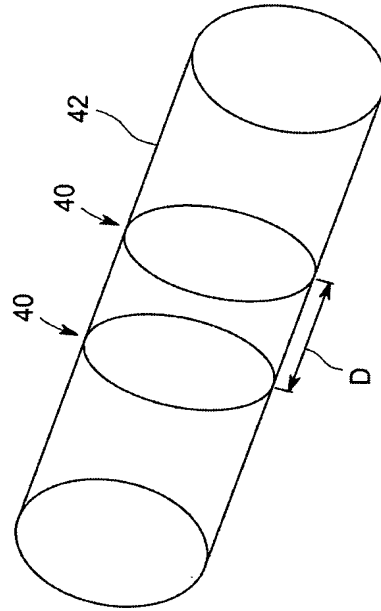


Fig. 2

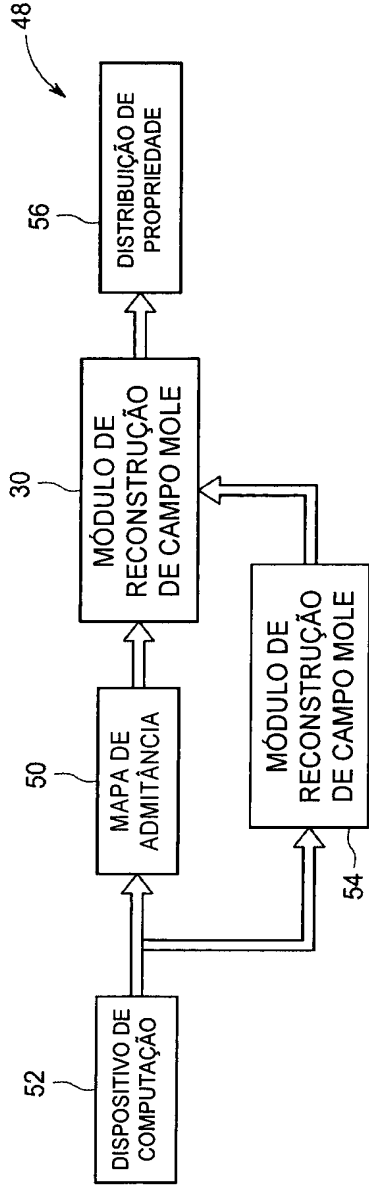
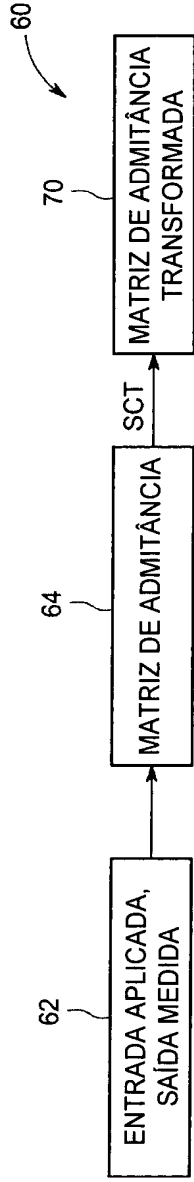


Fig. 4



MAPA QUE CAPTURA FÍSICA (LEIS DE KIRCHOFF) MAPA QUE CAPTURA GEOMETRIA (SIMETRIA ESPACIAL)

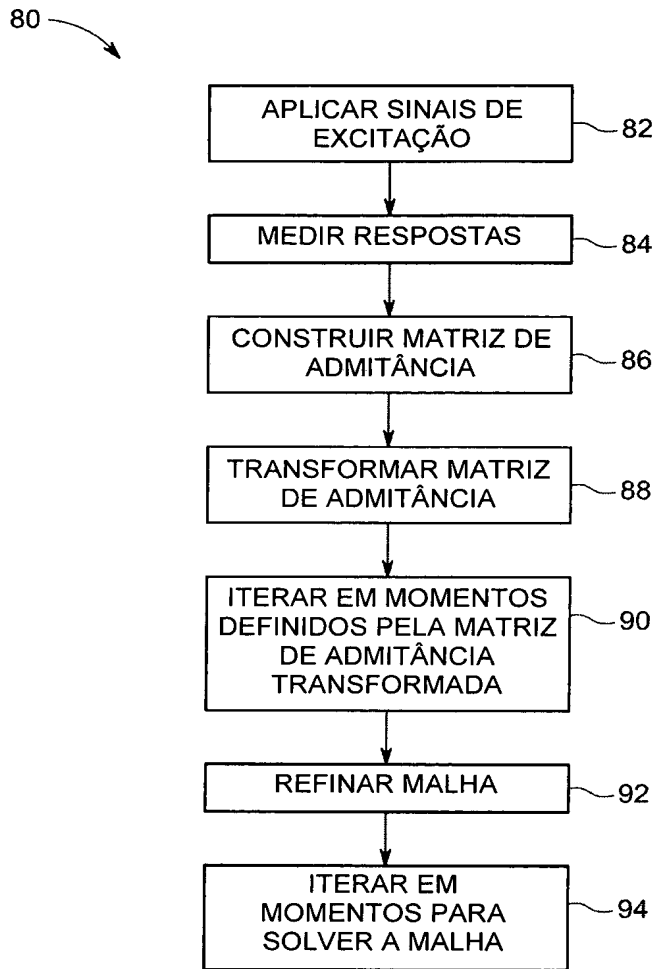
$$Y = I \cdot (V^H V)^{-1} \cdot V^H$$

66

$$Y_s = C \cdot Y \cdot C^{-1}$$

68

Fig. 5

**Fig. 6**

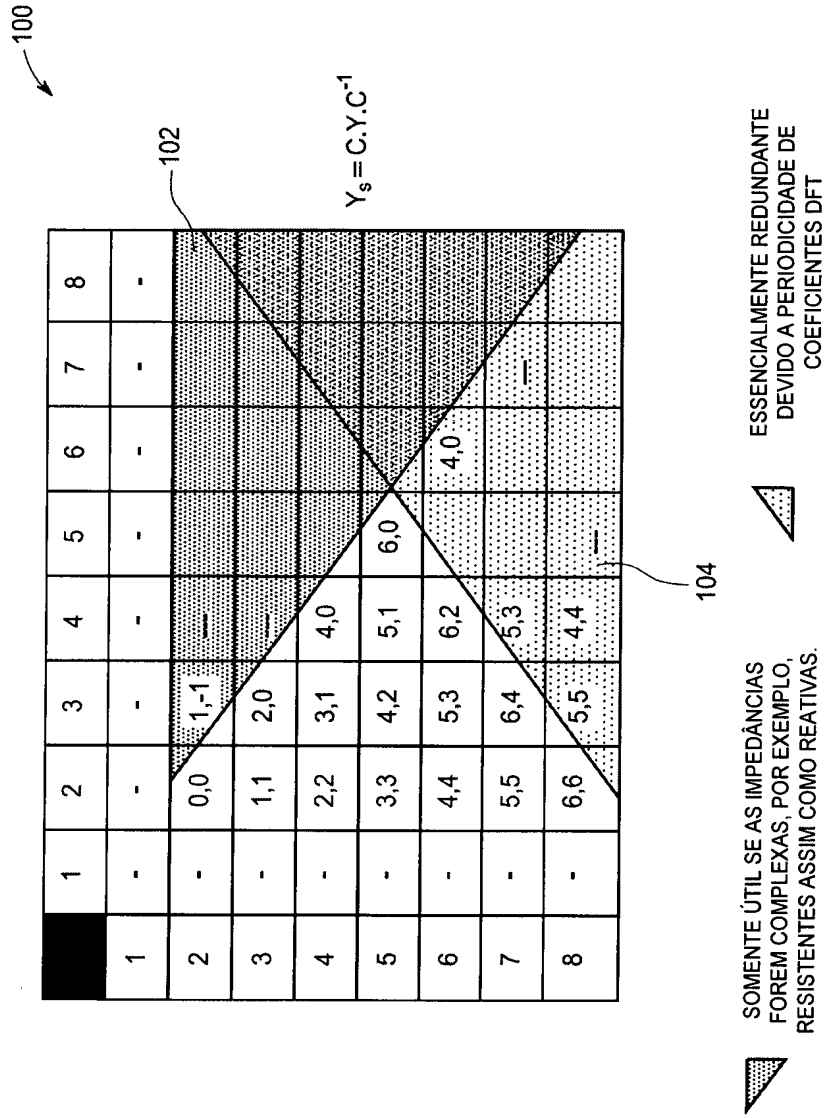


Fig. 7

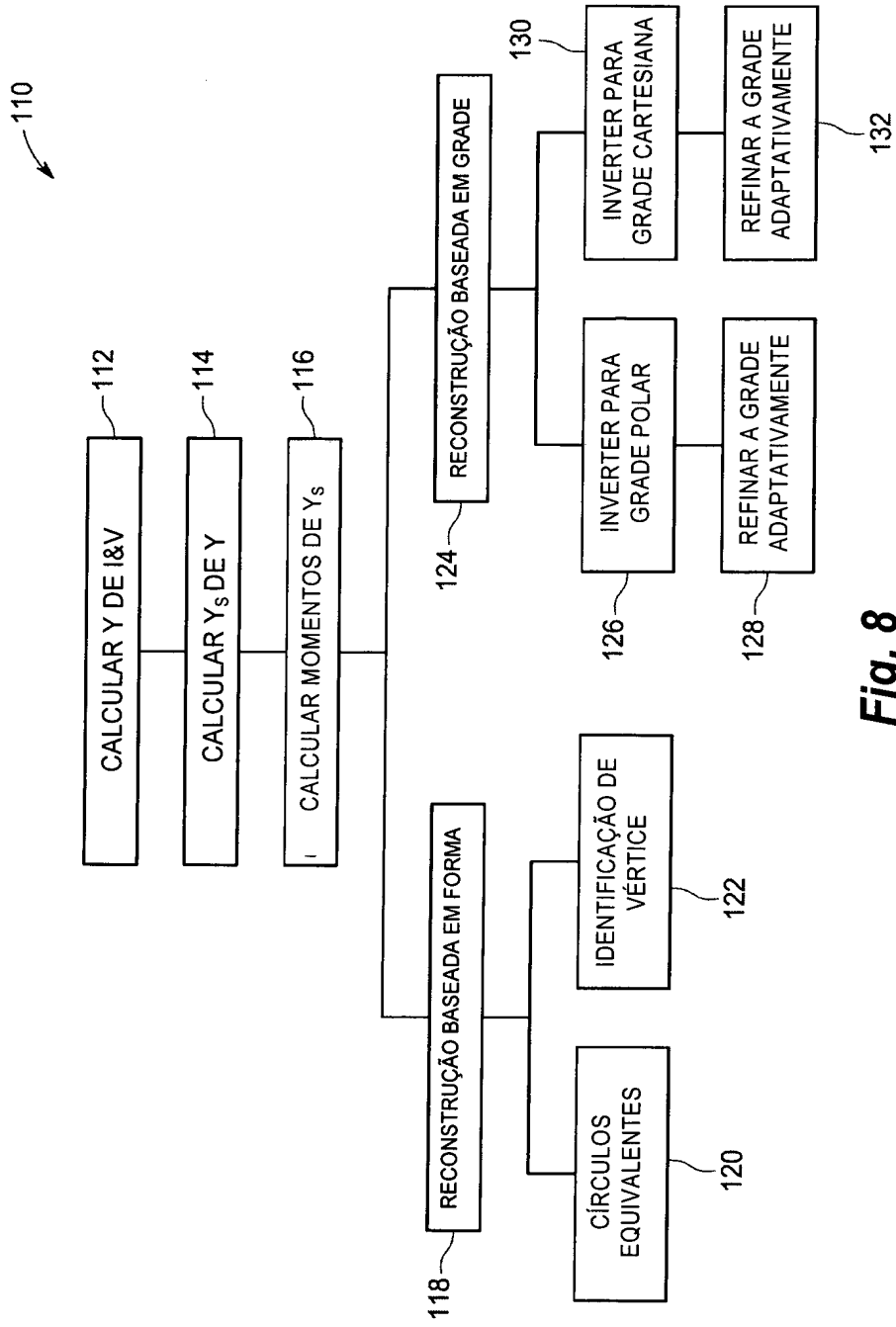


Fig. 8

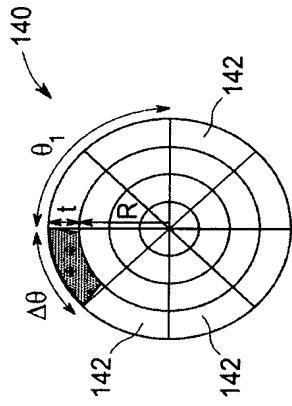


Fig. 9

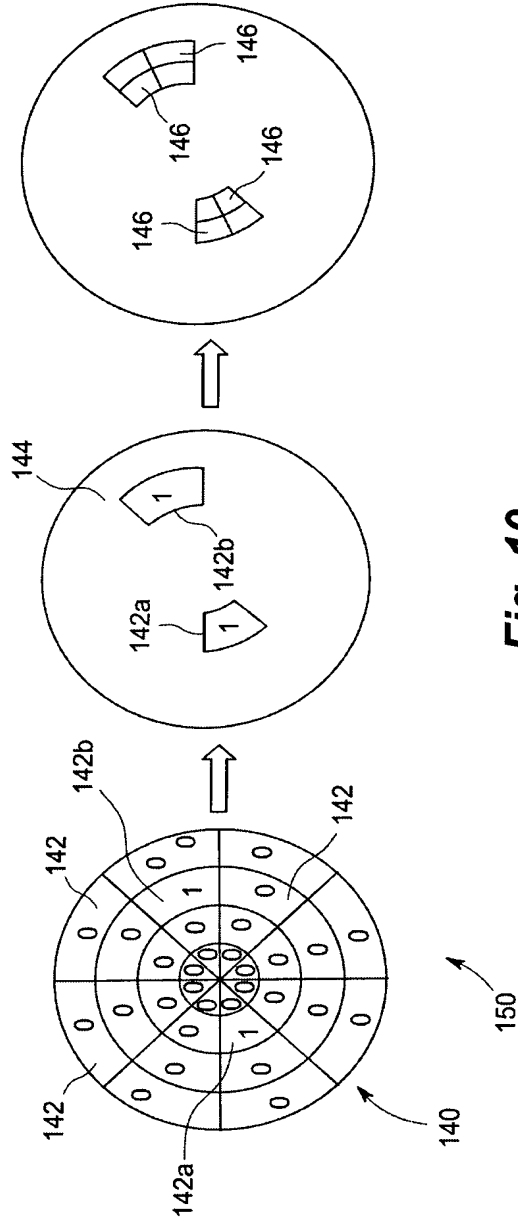
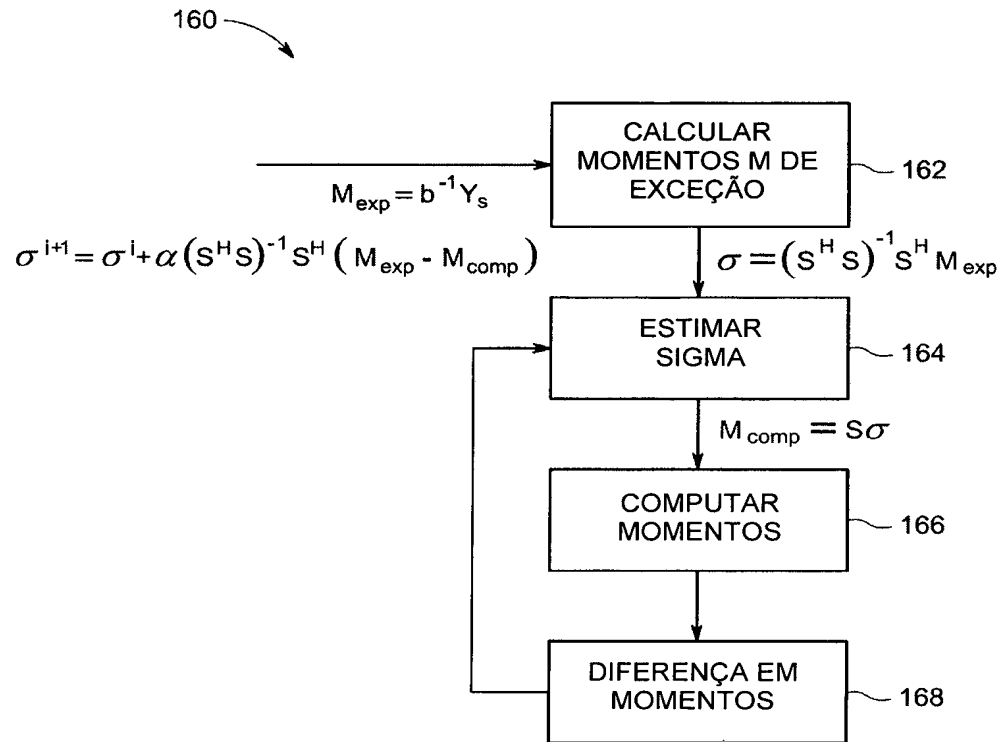


Fig. 10

**Fig. 11**

RESUMO**“MÉTODO PARA RECONSTRUÇÃO DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE E SISTEMA DE TOMOGRAFIA DE CAMPO MOLE”**

Trata-se de um sistema e um método para a reconstrução de campo mole. Um método inclui obter informações de entrada aplicada e de saída medida para um objeto excitado com o uso de uma pluralidade de transdutores e formar uma matriz de admitância com base nas informações de entrada aplicada e de saída medida. O método também inclui determinar uma pluralidade de impulsos com o uso da matriz de admitância e calcular uma distribuição de propriedade do objeto excitado com o uso da pluralidade de impulsos.