

» Consultar por: [Base Patentes](#) | [Finalizar Sessão](#)

Depósito de pedido nacional de Patente

(21) Nº do Pedido: PI0205430-2 A2

[Leia-me antes](#)

(22) Data do Depósito: 04/11/2002

(51) Classificação: G06T 7/40 ; H04N 1/415

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA ANÁLISE, CATALOGAÇÃO E GERENCIAMENTO DE AMOSTRAS DE TEXTURAS ESTOCÁSTICAS

"MÉTODO E SISTEMA PARA ANÁLISE, CATALOGAÇÃO E GERENCIAMENTO DE AMOSTRAS DE TEXTURAS ESTOCÁSTICAS". É descrito um método e sistema para análise, catalogação e gerenciamento de amostras de texturas estocásticas que compreende adquirir imagens de amostras do material e determinar, em múltiplas resoluções, os gradientes da imagem de textura, usando os coeficientes da Transformada Wavelet redundante em cada uma das escalas, nas direções x e y no plano da imagem, em seguida caracterizar ou indexar cada imagem adquirida em cada uma das escalas segundo dois atributos principais, esses

(57) Resumo: atributos sendo a anisotropia ou direcionalidade e a variabilidade da densidade superficial da textura, formando assim um catálogo de imagens de textura e de suas propriedades, as imagens de texturas estocásticas do catálogo formado sendo recuperadas do catálogo formado com base em similaridade a exemplos e propriedades das amostras. O sistema usado para implementar o processo descrito compreende uma câmera digital (11) para adquirir uma imagem da amostra/subamostra (10) e posterior envio de dados para um microcomputador (13), a partir do qual haverá extração de informações (14), um banco de imagens e de dados (15) e uma interface com o usuário (16).

(71) Nome do Depositante: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (BR/RS)

(72) Nome do Inventor: Jacob Scharcanski / [Cláudio Rosito Jung](#)

(74) Nome do Procurador: Paulo Afonso Pereira Cons. Em Marcas E Patentes LTDA S/C

MÉTODO E SISTEMA PARA ANÁLISE, CATALOGAÇÃO E GERENCIAMENTO DE AMOSTRAS DE TEXTURAS ESTOCÁSTICAS

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção trata de um método e sistema para análise, catalogação e gerenciamento de amostras de texturas estocásticas. Mais especificamente, a presente invenção trata de um processo para indexar e recuperar imagens de texturas estocásticas com auxílio de uma abordagem no espaço-escala empregando a Transformada
10 Wavelet para decompor e analisar as imagens, permitindo a recuperação das imagens das amostras por similaridade de atributos visuais e dispensando contato manual. O processo permite ainda catalogar e gerenciar as imagens recuperadas em catálogos digitais. Adicionalmente, o processo permite obter uma medida de similaridade
15 em múltiplas resoluções.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Imagens de texturas estocásticas são freqüentemente utilizadas no controle de qualidade e da manufatura em vários segmentos da indústria de não-tecidos, como papel, filtros, absorventes, isolantes,
20 etc. Estas imagens contêm informações sobre a estrutura do material produzido, principalmente em termos de variações de densidade destes materiais, já que em geral são constituídos por uma composição de estruturas periódicas e estocásticas em várias escalas, resultando de aglomeração local e alinhamento do material
25 constituinte com grau variado de regularidade.

Essas amostras são adquiridas, analisadas por um especialista para caracterizar a homogeneidade (ou heterogeneidade) das suas propriedades no sentido temporal ou espacial, e catalogadas para

referência posterior. O estado da técnica relativo ao processo de análise e catalogação geralmente tem uma componente subjetiva, e requer manipulação física das amostras, isto é, são realizados testes através do contato físico com estas amostras, o que pode ser indesejável por diversas razões, como custo, lentidão do processo, imprecisão na descrição das amostras, etc.

Outros processos para indexação de texturas que podem dispensar contato manual não são específicos para texturas estocásticas, e os processos específicos para medir propriedades das amostras de texturas estocásticas utilizados na indústria geralmente requerem contato com as amostras, e/ou são destrutivos, portanto não são adequados para avaliação destas amostras em tempo real ou de forma não-destrutiva, como é o caso das técnicas que medem a velocidade de propagação do ultra-som na folha, ou da distribuição de líquidos quando a folha é umedecida.

Ainda, a tecnologia atualmente utilizada não permite o acesso a coleções de imagens de texturas estocásticas com base em conteúdo, ou requer que estas imagens sejam descritas manualmente, o que geralmente é lento e custoso, além de impreciso.

Ao contrário dos processos do estado da arte, o processo utilizado pelo sistema ora proposto não requer contato direto com as amostras, sendo portanto passível de automação, uma vez que utiliza apenas imagens de texturas estocásticas, e remove o caráter subjetivo do processo de descrição das amostras, através de procedimentos de processamento e análise de imagens por computador, permitindo a recuperação das amostras por similaridade de atributos visuais.

Adicionalmente, possibilita a catalogação e recuperação

posterior das imagens das amostras e de dados associados às mesmas, usando similaridade a exemplos, no caso de uma descrição objetiva da amostra desejada não estar disponível.

A literatura de patentes apresenta documentos relativos à análise de amostras de papel e tecidos de papel nos modos *on-line* e *off-line*.

A patente US 5598006 ensina uma instalação para o controle de qualidade de folhas impressas que compreende dispositivos para transferir essas folhas, e máquinas fotográficas para controlar a qualidade da impressão. O controle de qualidade é feito usando transparência.

A patente US 5696591 ensina um aparelho e método para detectar falhas no revestimento de um material em movimento por um tecido. Aparelhos fotográficos múltiplos são posicionados em um arranjo transversal à largura do tecido perpendicular à direção do tecido em movimento. Cada máquina fotográfica compreende uma câmera eletrônica e um processador de sinais digital. A imagem é digitalizada e processada em tempo real fazendo a média de cada coluna de dados de imagem para produzir um perfil de intensidade de luz transmitido perpendicular à largura do tecido a partir do qual falhas que ocorrem na direção longitudinal são detectadas em um computador.

Estas patentes são voltadas para o controle de qualidade da impressão sobre a folha, ou do revestimento da folha, e não para avaliar e controlar a sua formação, ou seja, sua qualidade intrínseca, conforme a proposta da presente invenção.

A patente US 5899959 ensina um sistema de medida da formação de um tecido de papel que proporciona medida *on-line* e

controle das propriedades visuais de um tecido de papel em movimento. O sistema de medida inclui um sistema de aquisição de imagem para capturar imagens do tecido em movimento, e um sistema de análise de imagem para analisar as imagens capturadas.

5 No entanto, o sistema proposto não considera uma análise da anisotropia da imagem. Também não é empregada análise de similaridade em múltiplas escalas.

As patentes US 5821990 e US 6211905 ensinam um sistema para monitorar um processo que inclui uma pluralidade de dispositivos
10 de monitoramento como uma câmera de vídeo que coleta dados relativos ao processo. Os dados coletados são convertidos em formato digital e os dados digitalizados são armazenados em um dispositivo de armazenamento de dados digitais de modo que à medida que novos dados são armazenados os dados armazenados anteriormente são
15 removidos para manter aproximadamente o mesmo volume de dados armazenados. É incluído um controle como um computador que comunica com o dispositivo de armazenamento de dados digitais. Na eventualidade de um desvio de um parâmetro de processo, o controle é adaptado para extrair e apresentar os dados digitalizados
20 correspondentes ao desvio. No entanto, os sistemas propostos não consideram parâmetros relevantes para a análise da formação da folha, como a anisotropia, e são sensíveis ao iluminante. A técnica proposta é menos sensível ao iluminante por empregar gradientes, além de prover mais informações sobre as amostras usando a análise
25 de similaridade em múltiplas escalas. Para tal, a Transformada Wavelet é empregada. A Transformada Wavelet é uma ferramenta bastante aplicada na técnica para comprimir imagens, como descrito em vários artigos, um dos mais importantes sendo por Stéphane G.

Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol 11, n° 7, pp. 674-692 (July 1989).

A patente US 5880856 ensina uma aplicação da Transformada Wavelet discreta para a transmissão progressiva de imagens. Para transferir uma imagem, inicialmente os planos de cor são convertidos e em seguida a imagem assim convertida é transformada em uma pluralidade de níveis de decomposição usando um esquema de codificação hierárquico de sub bandas tal como o processo de transformada Wavelet. Cada nível de decomposição compreende uma pluralidade de subimagens que permite a reconstrução de uma representação da imagem original parada.

A patente US 5963670 ensina sistemas de classificação e identificação de imagem com base em conteúdo.

A patente US 5734893 ensina um método de execução de buscas pouco sensível ao tamanho da base de dados e da complexidade da busca. Nenhuma das patentes citadas é específica, e eficaz, para amostras de texturas estocásticas.

Na verdade, a Transformada Wavelet tem uma variedade de aplicações incluindo, sem ser limitada a, gerenciamento de museus, imagem e design de arquitetura, design de interiores, sensoriamento remoto e administração de recursos da terra, sistemas de informação geográfica, gerenciamento de bases de dados científicos, previsão do tempo, varejo, decoração de tecidos e de moda, gerenciamento de bases de dados de marcas e direito autoral, e outros.

No entanto, não é citado nem sugerido pela literatura de patentes que seja possível empregar a transformada Wavelet como uma ferramenta matemática para indexar e recuperar imagens de

texturas estocásticas.

Assim, embora a tecnologia apresente várias soluções para o controle de qualidade de tecidos e não tecidos, ainda há a necessidade de um processo para indexar e recuperar imagens de texturas estocásticas empregando múltiplas resoluções (espaço-escala), em que aspectos da formação da textura estão representados, tais como a anisotropia (ou direcionalidade) da formação e a distribuição espacial de massa na amostra, que tenham baixa suscetibilidade a variação de iluminação e ao modo de imageamento, e que permitam a indexação e recuperação das amostras por similaridade a exemplos apresentados. Para atender a estes requisitos, a invenção propõe um processo baseado na utilização de gradientes, análise das densidades locais nas imagens das amostras em múltiplas resoluções, utilizando a Transformada Wavelet para decompor e analisar imagens de texturas estocásticas com posterior recuperação dessas imagens com base em conteúdo, tal processo bem como o sistema a ele associado, sendo descritos e reivindicados no presente pedido.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

De um modo geral, a presente invenção refere-se a um processo para caracterizar, indexar e recuperar imagens de texturas estocásticas adquiridas por meios óticos e/ou eletrônicos, e compreende as seguintes etapas:

- a) adquirir imagens de amostras do material por transmissão luminosa ou beta-radiografias;
- b) determinar, em múltiplas resoluções, os gradientes da imagem de textura, usando os coeficientes da Transformada Wavelet redundante em cada uma das escalas, nas direções x e y no plano

da imagem;

c) caracterizar ou indexar cada imagem adquirida em cada uma das escalas segundo dois atributos principais, formando assim um catálogo de imagens de textura e de suas propriedades :

5 c.1. anisotropia ou direcionalidade da textura, que em cada escala é obtida a partir do histograma angular das orientações do gradiente, representado por um vetor \mathbf{k}_j de comprimento N_{k_j} ; e

c.2. variabilidade da densidade superficial da textura, tal como representada pelos tons de cinza da imagem, a variabilidade sendo obtida a partir do histograma das densidades (i.é tons de cinza), representado por um vetor \mathbf{g}_j de comprimento N_{g_j} ;

10 d) recuperar posteriormente as imagens de texturas estocásticas do catálogo formado (que estão associadas a amostras do material) com base em similaridade a exemplos e propriedades das amostras;

15 d.1. para recuperar estas imagens armazenadas, são combinados os histogramas angular e de densidades para obter uma medida de similaridade em múltiplas resoluções.

20 Assim, a presente invenção provê um processo para o controle de qualidade, indexação, catalogação e recuperação por conteúdo de texturas estocásticas (amostras), aplicável em vários segmentos da indústria de não-tecidos, como papel, filtros, absorventes, isolantes e outros.

25 A presente invenção provê ainda um processo que dispensa o contato direto com as imagens das amostras das quais se quer fazer o controle de qualidade e catalogar, removendo o caráter subjetivo do processo de descrição das amostras.

A presente invenção provê adicionalmente a possibilidade de catalogação e recuperação posterior das imagens das amostras e de dados associados a essas imagens, usando similaridade a exemplos, no caso de uma descrição objetiva da amostra desejada não estar disponível, em bancos de dados.

A invenção provê ainda uma medida de similaridade destinada a minimizar o espaço de busca evitando a procura seqüencial quando o número de imagens é grande.

A presente invenção provê ainda um processo para medir a anisotropia ou direcionalidade de amostras de texturas estocásticas por meios óticos e/ou eletrônicos, dispensando assim o contato manual com essas amostras.

A presente invenção provê ainda um sistema amostra/câmera digital para aquisição de imagens/microcomputador para extração de informações, banco de imagens e dados e interface com o usuário que viabiliza a execução do processo proposto.

A presente invenção provê ainda um processo para indexar e recuperar imagens de texturas estocásticas em que a transformada Wavelet é usada para representar imagens de texturas estocásticas em múltiplas resoluções, bem como descrever essas imagens em termos de sua orientação e distribuição de tons de cinza (ou seja, densidade).

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 mostra a visão geral do sistema.

A Figura 2 mostra o esquema geral do modo estático: "off-line".

A Figura 3 mostra o esquema geral do modo estático: "on-line".

A Figura 4 mostra o esquema geral do modo dinâmico: "off-line".

A Figura 5 mostra o esquema geral do modo dinâmico: "on-line".

A Figura 6 mostra o esquema da extração de informações da amostra: modo estático.

A Figura 7 mostra o esquema da extração de informações da amostra: modo dinâmico.

5 A Figura 8 mostra o esquema da extração da estimativa da anisotropia.

A Figura 9 mostra o esquema da extração da estimativa da formação/homogeneidade.

10 A Figura 10 mostra o acesso ao banco de imagens e dados (BID) : modo estático.

A Figura 11 mostra o acesso ao banco de imagens e dados (BID) : modo dinâmico.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES PREFERIDAS

15 Tal como utilizado no presente relatório, o termo “indexar imagens” significa representar ou descrever as imagens das amostras estudadas, para que possam ser catalogadas e recuperadas posteriormente em um banco (isto é, um catálogo) de amostras.

20 Estas amostras são estocásticas (i.é não determinísticas), logo a sua composição apresenta uma variabilidade maior, ou menor, dependendo da “formação” da amostra.

O termo “heterogeneidade da amostra” reflete a variabilidade encontrada na amostra em termos da distribuição espacial de massa. Amostras com baixa heterogeneidade apresentam “boa formação”, enquanto que amostras com alta heterogeneidade têm “má formação”.

25 E o conceito de recuperação de imagem por conteúdo significa classificar, detectar e recuperar imagens de catálogos digitais com base no conteúdo da imagem.

O processo da invenção é efetuado com auxílio de um sistema

de aquisição de imagem a partir de uma amostra/sub amostra, câmera digital, meios computacionais e interface com o usuário.

Sob um aspecto, basicamente o presente processo para indexação e recuperação de amostras de texturas estocásticas compreende, em uma fase inicial, a aquisição de imagens das amostras a serem analisadas, catalogadas, gerenciadas e posteriormente recuperadas.

Em seguida as imagens adquiridas são analisadas por computador, determinando os gradientes da imagem de textura em múltiplas resoluções usando os coeficientes da Transformada Wavelet redundante em cada uma das escalas 2^j nas direções x e y no plano da imagem.

Cada imagem apresentada ao sistema é indexada em cada uma das escalas segundo dois atributos principais:

- anisotropia ou direcionalidade da textura, e
- variabilidade da densidade medida a partir da imagem da amostra.

A descrição das amostras em múltiplas resoluções compõe um catálogo, as amostras sendo posteriormente recuperadas do catálogo com base na similaridade a exemplos de textura apresentados ao sistema.

O sistema utilizado para efetuar o processo da invenção compreende, conforme a FIGURA 1 anexa, uma câmera digital (11) para adquirir uma imagem da amostra/subamostra (10) e posterior envio de dados para um microcomputador (13), a partir do qual haverá extração de informações (14), um banco de imagens e de dados (15) e uma interface com o usuário (16).

A aquisição da imagem da amostra /sub amostra (10) com auxílio da câmera digital (11) não é objeto da invenção. Assim, a câmera

digital pode ser um dispositivo de aquisição de imagens acoplado a uma ótica apropriada, que permita a aquisição de imagens com resolução e definição adequadas, visando a discriminação entre texturas de tipos diferentes.

5 A câmera digital (11) possibilita a aquisição das imagens das amostras/sub amostras (10), que serão então processadas digitalmente para extrair informações que possibilitam representar e indexar estas imagens adquiridas (14). Após esta etapa de aquisição e indexação das imagens, estas imagens são armazenadas em um
10 banco de imagens e dados (15) juntamente com as informações associadas a elas que permitirão recuperá-las posteriormente, quando isto for necessário. O acesso a este banco de imagens e dados é realizado através de uma interface com o usuário (16), que faz com que este acesso seja padronizado, independentemente do banco de
15 imagens e dados que seja utilizado.

O sistema proposto pode operar nos modos *on-line* e *off-line*, assim como pode analisar, catalogar e gerenciar imagens estáticas ou dinâmicas das amostras.

O modo *off-line* é mais indicado para utilização em laboratório,
20 onde podem ser usadas imagens de amostras individuais ou seja, imagens estáticas, ou amostras em seqüência, por exemplo tiras de folha de papel obtidas diretamente da produção, representadas por imagens dinâmicas, isto é, várias imagens em seqüência como em um vídeo.

25 Por outro lado, o modo *on-line* é indicado para imagens adquiridas diretamente da linha de produção, tanto de amostras individuais ou estáticas, como de seqüências temporais e/ou espaciais de amostras como em vídeos.

A catalogação de imagens de acordo com o processo da invenção decorre da possibilidade de organizar catálogos de imagens de texturas estocásticas, que através da técnica atual de discriminação visual seria bastante dificultada e lenta. No entanto, através do processo proposto pode-se organizar e recuperar itens nestes catálogos de forma mais ágil, com pouca interação humana.

O gerenciamento de imagens de acordo com o processo da invenção envolve a representação, indexação e recuperação das imagens, usando técnicas de processamento de imagens em múltiplas resoluções, e uma métrica de similaridade entre imagens usando informações obtidas em múltiplas resoluções, permitindo a recuperação de imagens dentro de uma coleção de imagens de texturas estocásticas pela similaridade de seus atributos.

Portanto, o processo da invenção permite a recuperação de imagens em coleções de imagens de texturas estocásticas com base em propriedades relacionadas diretamente ao conteúdo da imagem, isto é, similaridade em termos das propriedades da textura das imagens, e também de propriedades não-relacionadas ao conteúdo das imagens, como por exemplo, nome da imagem, data e local de aquisição, etc.

O primeiro passo do processo utilizado no sistema proposto é a aquisição de imagens das amostras a serem analisadas, para extrair informações que permitam indexá-las e catalogá-las, conforme apresentado nas Figuras 6 e 7, e posteriormente recuperá-las. O processo proposto produz resultados consistentes para imagens adquiridas por diferentes modalidades de imageamento.

Assim, o processo de aquisição de imagens pode utilizar modalidades mais lentas e de custo mais elevado, como as *beta-*

radiografias, ou modalidades de custo inferior e mais rápidas, como a transmissão luminosa. Imagens obtidas por *beta-radiografia* são imagens radiográficas obtidas com radiação do tipo *beta*. Imagens obtidas por *transmissão luminosa* são obtidas através da
5 transparência do meio à luz visível.

Estas considerações se aplicam a imagens adquiridas nos modos *on-line*, conforme apresentado nas Figuras 3 e 5, ou *off-line*, conforme mostrado nas Figuras 2 e 4.

Ainda, o processo de aquisição de imagens pode operar em
10 modo dinâmico (seqüência de imagens captadas por câmeras de alta velocidade), ou em modo estático (imagens estáticas).

No modo dinâmico *off-line* em geral admite-se, como etapa preliminar a partição das amostras em seqüências de sub-amostras, o processo sendo todo efetuado sobre as sub-amostras, conforme
15 Figura 4.

Deve ficar pois bem claro que a aquisição de uma imagem digitalizada não constitui objeto da invenção e portanto pode ser qualquer.

Conforme o processo da invenção, as imagens adquiridas são
20 analisadas por computador, segundo o procedimento descrito a seguir.

Na análise por computador, é importante determinar os gradientes da imagem de textura.

A seguir é descrito o processo de determinação dos gradientes,
25 o gradiente sendo calculado em múltiplas resoluções com auxílio da Transformada Wavelet.

- **Determinação dos gradientes**

Os gradientes da imagem de textura são determinados, em

múltiplas resoluções, usando os coeficientes da Transformada Wavelet redundante com duas imagens de detalhe, conforme citado por Stéphane G. Mallat, em "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol 11, n° 7, pp. 674-692 (July 1989), em cada uma das escalas 2^j , sendo obtidas as imagens passa-bandas $W_{2^j}^1(x, y)$, $W_{2^j}^2(x, y)$ e a imagem passa-baixas $S_{2^j}(x, y)$.

As escalas 2^j representam as diferentes resoluções em que a imagem será tratada pela Transformada Wavelet.

A magnitude do gradiente é dada pela equação (1) a seguir

$$M_{2^j}(x, y) = \sqrt{(W_{2^j}^x)^2 + (W_{2^j}^y)^2} \quad (1)$$

onde $M_{2^j}(x, y)$ = magnitude do gradiente na posição (x, y) , e resolução 2^j

$W_x(x, y)^2$ = valor do coeficiente na direção x na posição (x, y)

$W_y(x, y)^2$ = valor do coeficiente na direção y na posição (x, y)

E a orientação do gradiente é dada pela equação (2) a seguir:

$$\theta_{2^j}(x, y) = \arctan\left(\frac{W_{2^j}^y}{W_{2^j}^x}\right) \quad (2)$$

onde $\theta_{2^j}(x, y)$ representa a orientação do vetor gradiente em cada escala 2^j , e é obtida como o arco tangente do quociente $W_{2^j}^y / W_{2^j}^x$

• Anisotropia ou Direcionalidade da textura e variabilidade da densidade de massa

Cada imagem de amostra (10) adquirida pela câmera digital (11) é indexada em cada uma das escalas segundo dois atributos principais: anisotropia ou direcionalidade da textura, e variabilidade da densidade de massa da amostra tal como representada pelos tons de

cinza da imagem, nos modos *on-line* e *off-line*, utilizando tanto imagens estáticas como dinâmicas.

A anisotropia, ou direcionalidade, em cada escala, é medida a partir do histograma dos ângulos (orientações) do gradiente, e pode ser quantificada pela relação entre os autovalores da distribuição dos ângulos do gradiente (i. é, do histograma), considerando todos os elementos de imagem, e utilizando a técnica da matriz de covariância.

O histograma das orientações do gradiente, em cada escala 2^j , é armazenado em um vetor k_j , com comprimento N_k . Histograma é entendido aqui como a contagem do número de vezes que um dado evento ocorre em uma imagem, segundo o tipo de evento. Ou seja, considerando-se que os eventos observados são as orientações do gradiente em cada um dos elementos da imagem em uma dada escala, e as orientações do gradiente em cada escala são quantizadas em N_k possíveis ângulos. Então, o histograma das orientações é um vetor de N_k contadores digitais, onde cada um destes contadores tem o número de vezes que um dado ângulo (quantizado) ocorreu na imagem.

A variabilidade dos tons de cinza da textura, em cada escala, representa informações importantes sobre a variabilidade da densidade local, bem como a homogeneidade do material. Na verdade, a homogeneidade é um importante parâmetro de qualidade em materiais planares, tais como o papel e os não-tecidos. Em cada escala 2^j , a distribuição de densidades é representada pelo histograma dos tons de cinza correspondente à imagem do passa-baixas da Transformada Wavelet. Dito de outra forma, em cada escala 2^j é apresentada uma versão suavizada da imagem de textura, ou seja, uma imagem com menos detalhes, como se estivesse sendo

vista a uma distância maior.

Este histograma dos tons de cinza é representado por um vetor \mathbf{g}_j de comprimento N_g . Tipicamente, considera-se que amostras de texturas são similares se apresentarem histogramas similares.

5 Assim, à partir das informações do vetor \mathbf{g}_j das densidades obtidas em cada resolução 2^j , pode-se estimar se a amostra é mais, ou menos homogênea em cada resolução 2^j . Desta forma, tem-se subsídios para avaliar a similaridade entre amostras em termos do atributo homogeneidade, em diferentes resoluções, aumentando
10 assim a precisão da comparação entre amostras, conforme mostrado na Figura 9.

As amostras, adquiridas por imagens de texturas estocásticas, são descritas em múltiplas resoluções, e estas descrições em múltiplas resoluções são armazenadas em catálogo, e posteriormente
15 são recuperadas desse catálogo com base em similaridade a algum exemplo apresentado do padrão desejado de textura. Portanto, sob um outro aspecto, a invenção contempla uma medida de similaridade destinada a minimizar o espaço de busca evitando a procura seqüencial quando o número de imagens é grande. A medida de
20 similaridade é descrita a seguir.

- **Similaridade**

Na abordagem utilizada pelo Requerente no desenvolvimento do presente processo e sistema as distribuições de densidades e angular são combinadas para a obtenção de uma medida de similaridade em
25 múltiplas resoluções. Essa medida é usada para a busca de texturas estocásticas baseada em exemplos, onde texturas similares a um dado exemplo são procuradas em um banco de imagens e dados.

Assim, cada amostra da coleção é representada em cada

resolução 2^j através do histograma angular \mathbf{k}_j^{teste} e do histograma das densidades \mathbf{g}_j^{teste} . Esses histogramas são recuperados e comparados com os histogramas obtidos da amostra fornecida $\mathbf{k}_j^{amostra}$ e $\mathbf{g}_j^{amostra}$, respectivamente.

5 A diferença entre as distribuições angulares em cada resolução 2^j é medida pela distância Euclidiana d_j^{ang} entre os vetores \mathbf{k}_j^{teste} e $\mathbf{k}_j^{amostra}$, ou seja:

$$d_j^{ang} = \|\mathbf{k}_j^{teste} - \mathbf{k}_j^{amostra}\|$$

10 Analogamente, a distância d_j^{dens} entre os vetores \mathbf{g}_j^{teste} e $\mathbf{g}_j^{amostra}$ é dada pela distância Euclidiana normalizada com relação a densidade das amostras, para levar em conta texturas com densidades médias diferentes, e otimizar a recuperação de amostras do catálogo. Em muitos casos, os histogramas \mathbf{g}_j^{teste} e $\mathbf{g}_j^{amostra}$ são disjuntos. Nesses casos, é desejável que a distância d_j^{dens} seja maior quando as diferenças entre as densidades médias (isto é, a média dos tons de cinza) da amostra e da imagem teste forem maiores. Para tal, um termo de normalização que leva em conta a média das amostras foi incluído no cálculo da distância.

20 Também deve-se notar que os vetores \mathbf{k}_j e \mathbf{g}_j podem ter tamanhos diferentes. Assim sendo, o fator de normalização $(N_g/N)^{1/2}$ foi também introduzido, onde N e N_g representam, respectivamente, o comprimento de \mathbf{k}_j e \mathbf{g}_j .

25 Como foi mencionado anteriormente, a medida de similaridade em múltiplas resoluções conforme a invenção combina as distâncias d_j^{ang} e d_j^{dens} em resoluções consecutivas, para minimizar o espaço de busca.

A cada resolução 2^j , os níveis $2^j, 2^{j+1}, \dots, 2^J$ também são utilizados no cálculo da medida de similaridade em múltiplas resoluções, e as distâncias d_j são computadas via

$$d_j = \sum_{k=j}^J (J - k + 1) (w d_k^{ang} + (1 - w) d_k^{dens})$$

onde $0 \leq w \leq 1$ é um parâmetro que controla os pesos atribuídos para d_k^{ang} e d_k^{dens} . O termo $(J - k + 1)$ foi incluído para que resoluções mais altas (k pequeno) tenham um peso maior que resoluções mais baixas (k grande).

A busca é realizada em resoluções consecutivas, partindo da resolução mais baixa para a resolução mais alta, isto é, começando em 2^J e acabando em 2^1 . Na resolução mais baixa, o custo para calcular a distância é minimizado, pois um teste de similaridade mais simples é utilizado, isto é, as amostras são analisadas em termos de apenas uma resolução. Nas resoluções subseqüentes 2^j , para $j < J$, as distâncias d_j entre a imagem exemplo e as outras imagens restantes no espaço de busca são computadas.

As imagens localizadas a uma distância d_j maiores que um certo limiar $\alpha_j = \text{mediana}(d_j)$ são excluídas do espaço de busca na resolução de uma consulta. Essa abordagem evita que itens importantes da coleção sejam omitidos, mas também pode levar a falsos alarmes que podem ser facilmente descartados com a inspeção dos resultados da busca.

Pode-se garantir que os itens restantes no espaço de busca estão na verdade a uma distância real $d_{real} \leq d_j$ da imagem exemplo (isto é, uma contração do espaço de medidas foi utilizado aqui).

Por exemplo, se α_j for escolhido como a mediana da distribuição das distâncias d_j na resolução 2^j , apenas a metade das amostras

permanecerão no espaço de busca. Como conseqüência, menos amostras serão testadas nessa resolução, onde o cálculo da medida de similaridade é mais complexo (com relação à resolução anterior).

Finalmente, quando a resolução mais alta 2^j for atingida, apenas
5 algumas poucas imagens terão restado no espaço de busca, e a complexidade computacional do teste de similaridade é minimizada.

As imagens recuperadas pelo algoritmo, ou seja, as imagens que permaneceram no espaço de busca na resolução mais alta, são organizadas em ordem decrescente com respeito à distância d^j , e
10 apenas as M imagens mais similares à imagem exemplo são mostradas ao usuário.

A abordagem proposta garante que as amostras similares serão recuperadas, estando a imagem exemplo contida no banco de imagens, ela será recuperada, pois sua distância será mínima,
15 conforme apresentado nas Figuras 10 e 11.

Também se obtém boa precisão na recuperação, pois as imagens mais similares à imagem exemplo são mostradas primeiro ao usuário, pois suas distâncias à imagem exemplo são menores.

A invenção será a seguir ilustrada pelos seguintes exemplos,
20 que não devem ser considerados limitativos.

EXEMPLOS

O desempenho do processo ora proposto foi avaliado mediante o uso de 38 imagens de β -radiografias de não-tecidos, com resolução de 100 x 100 pixels. Na verdade, 4 amostras de cada uma das 38
25 texturas foram utilizadas, totalizando 152 imagens no banco de texturas.

Para o processo de recuperação de texturas, três escalas diádicas consecutivas foram utilizadas (2^j , para $j = 1,2,3$). Os vetores

k_j e g_j tem, respectivamente, tamanhos de 32 e 256 elementos. O valor do limiar α_j foi escolhido como a mediana das distâncias d_j , e o peso $w = 0.5$ foi utilizado.

O processo de indexação e recuperação de texturas estocásticas da invenção permite organizar catálogos de imagens de texturas estocásticas, de difícil discriminação visual, e possibilita o acesso e a recuperação de itens de forma rápida e precisa, usando para isto similaridade a exemplos de texturas apresentados e/ou outras informações.

Além disto, o presente processo utiliza representações das texturas em múltiplas resoluções. Os índices utilizados são medidos nas amostras através de técnicas de processamento de imagens, portanto, sem contato.

O uso do processo inventivo pode vir a auxiliar na implementação de catálogos digitais de imagens de texturas para uso em controle de qualidade e de produção, pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, mineração de dados visuais visando, por exemplo, a predição eficiente de falhas, programação da manutenção e outros aspectos relevantes à produção como descoberta de relacionamentos complexos entre as variáveis de um dado processo, entre outras. Espera-se que novas aplicações virão a surgir através do uso da tecnologia presentemente proposta.

Outras áreas de interesse envolvem análise e catalogação para referência posterior das amostras testadas em laboratório, e/ou adquiridas diretamente da linha de produção.

A presente invenção se insere nos esforços para implementar equipamentos de controle de qualidade por imagens aplicados à indústria de não-tecidos, a tecnologia proposta representando uma

conseqüência da migração para tecnologia digital, que minimiza o manuseio das amostras. Portanto, diversas outras aplicações poderão surgir através do uso mais intensivo de imagens digitais neste segmento da indústria.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para indexar e recuperar por similaridade imagens de texturas estocásticas de amostras/subamostras (10) de um material, adquiridas por meios óticos e/ou eletrônicos, caracterizado por que compreende as seguintes etapas:

a) adquirir imagens de amostras/subamostras (10) do material;

b) determinar, em múltiplas resoluções, os gradientes da imagem de textura, usando os coeficientes da Transformada Wavelet redundante em cada uma das escalas, nas direções x e y no plano da imagem;

c) caracterizar ou indexar cada imagem adquirida em cada uma das escalas segundo dois atributos principais, formando assim um catálogo de imagens de textura e de suas propriedades:

c.1. anisotropia ou direcionalidade da textura, que em cada escala é obtida a partir do histograma angular das orientações do gradiente, representado por um vetor \mathbf{k}_j de comprimento N_k ; e

c.2. variabilidade da densidade superficial da textura, tal como representada pelos tons de cinza da imagem, a variabilidade sendo obtida a partir do histograma das densidades (i.é tons de cinza), representado por um vetor \mathbf{g}_j de comprimento N_g ;

d) recuperar posteriormente as imagens de texturas estocásticas do catálogo formado, associadas a amostras do material, com base em similaridade a exemplos e propriedades das amostras;

d.1. para recuperar estas imagens armazenadas, são combinados os histogramas angular e de densidades para obter uma medida de similaridade em múltiplas resoluções.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que as imagens são adquiridas por transmissão luminosa.

4. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que as imagens são adquiridas por beta-radiografias.

5 5. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que os coeficientes da Transformada Wavelet são usados com duas imagens de detalhe Wx^{2^j} e Wy^{2^j} , em cada uma das escalas 2^j , nas direções x e y no plano da imagem, obtendo as imagens passa-bandas $W_{2^j}^1(x, y)$, $W_{2^j}^2(x, y)$ e a imagem passa-baixas $S_{2^j}(x, y)$.

10 6. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que a direcionalidade, em cada escala, é medida a partir do histograma das orientações do gradiente, o histograma sendo armazenado em um vetor k_j , com comprimento N_k .

15 7. Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por que a direcionalidade é quantificada pela relação entre os autovalores da distribuição dos ângulos do gradiente, considerando todos os elementos de imagem, e utilizando a técnica da matriz de covariância.

8. Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por que o histograma das orientações é um vetor de N_k contadores digitais, onde cada um destes contadores tem o número de vezes que um dado ângulo (quantizado) ocorreu na imagem.

20 9. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que em cada escala 2^j , a distribuição de densidades é representada pelo histograma dos tons de cinza correspondente à imagem do passa-baixas da Transformada Wavelet.

25 10. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que permite a partir das informações do vetor g_j das densidades obtidas em cada resolução 2^j , a estimativa da homogeneidade em cada resolução 2^j .

11. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que na medida de similaridade, os histogramas obtidos da amostra fornecida $\mathbf{k}_j^{amostra}$ e $\mathbf{g}_j^{amostra}$, respectivamente são comparados com o histograma angular \mathbf{k}_j^{teste} e histograma das densidades \mathbf{g}_j^{teste} . de cada amostra da coleção representada em cada resolução 2^j .

12. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por que a diferença entre as distribuições angulares em cada resolução 2^j é medida pela distância Euclideana d_j^{ang} entre os vetores \mathbf{k}_j^{teste} e $\mathbf{k}_j^{amostra}$

13. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que a distância d_j^{dens} entre os vetores \mathbf{g}_j^{teste} e $\mathbf{g}_j^{amostra}$ é dada pela distância Euclideana normalizada com relação à densidade das amostras, para levar em conta texturas com densidades médias diferentes, e otimizar a recuperação de amostras do catálogo.

14. Processo de acordo com a reivindicação 13, caracterizado por que quando os histogramas \mathbf{g}_j^{teste} e $\mathbf{g}_j^{amostra}$ são disjuntos a distância d_j^{dens} deve ser maior quando as diferenças entre as densidades médias da amostra e da imagem teste são maiores, pelo que é incluído no cálculo da distância um termo de normalização que leva em conta a média das amostras.

15. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que se os vetores \mathbf{k}_j e \mathbf{g}_j têm tamanhos diferentes é introduzido o fator de normalização $(N_g/N)^{1/2}$ onde N e N_g representam, respectivamente, o comprimento de \mathbf{k}_j e \mathbf{g}_j .

16. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que para a medida de similaridade em múltiplas resoluções as distâncias d_j^{ang} e d_j^{dens} são combinadas em resoluções consecutivas, pelo que o espaço de busca é minimizado.

17. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que a cada resolução 2^j , os níveis $2^j, 2^{j+1}, \dots, 2^J$ também são utilizados no cálculo da medida de similaridade em múltiplas resoluções, e as distâncias d_j são computadas via

$$d_j = \sum_{k=j}^J (J - k + 1) (w d_k^{\text{ang}} + (1 - w) d_k^{\text{dens}})$$

5 onde $0 \leq w \leq 1$ é um parâmetro que controla os pesos atribuídos para d_k^{ang} e d_k^{dens} .

18. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que a busca é realizada em resoluções consecutivas, partindo da resolução mais baixa para a resolução mais alta, isto é, começando
10 em 2^J e acabando em 2^1 .

19. Processo de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por que na resolução mais baixa, as amostras são analisadas em termos de apenas uma resolução.

20. Processo de acordo com a reivindicação 18, caracterizado
15 por que nas resoluções subseqüentes 2^j , para $j < J$, as distâncias d_j entre a imagem exemplo e as outras imagens restantes no espaço de busca são computadas.

21. Processo de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por que as imagens localizadas a uma distância d_j maiores que um
20 certo limiar $\alpha_j = \text{mediana}(d_j)$ são excluídas do espaço de busca na resolução de uma consulta.

22. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que o gerenciamento de imagens envolve a representação, indexação e recuperação das imagens, usando técnicas de processamento de
25 imagens em múltiplas resoluções, e uma métrica de similaridade entre imagens usando informações obtidas em múltiplas resoluções,

permitindo a recuperação de imagens dentro de uma coleção de imagens de texturas estocásticas pela similaridade de seus atributos.

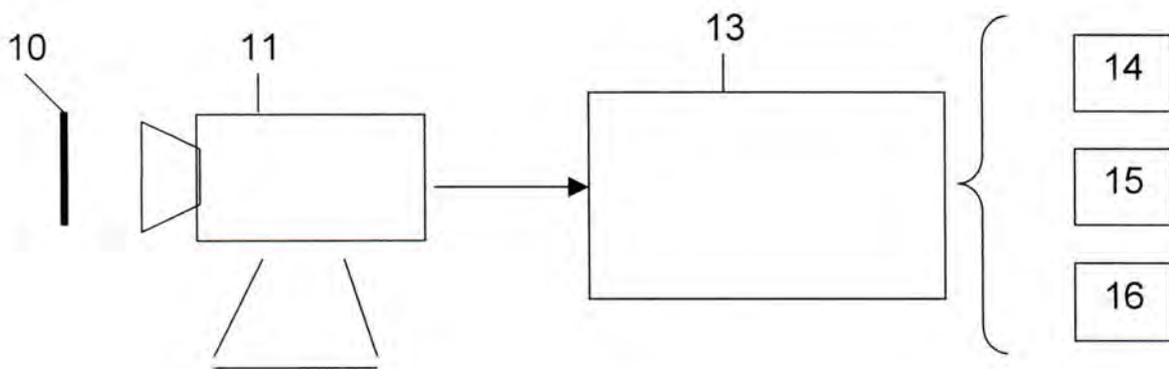
5 23. Sistema para implementar o processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por que compreende uma câmera digital (11) para adquirir uma imagem da amostra/subamostra (10) e posterior envio de dados para um microcomputador (13), a partir do qual haverá extração de informações (14), um banco de imagens e de dados (15) e uma interface com o usuário (16).

10 24. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado por que a câmera digital (11) adquire imagens das amostras/subamostras (10), que são processadas digitalmente para extrair informações que possibilitam representar e indexar as imagens adquiridas (14), ditas imagens sendo armazenadas em um banco de imagens e dados (15) juntamente com as informações associadas a elas que permitirão
15 recuperá-las posteriormente, o acesso ao banco (15) sendo efetuado realizado através de uma interface com o usuário (16), que faz com que este acesso seja padronizado.

25. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado por que opera nos modos *on-line* e *off-line*.

20 26. Sistema de acordo com a reivindicação 23, caracterizado por que cataloga e gerencia imagens estáticas ou dinâmicas das amostras/sub amostras (10).

FIGURA 1



aquisição de
Imagens "off-line" e
"on-line"

FIGURA 2

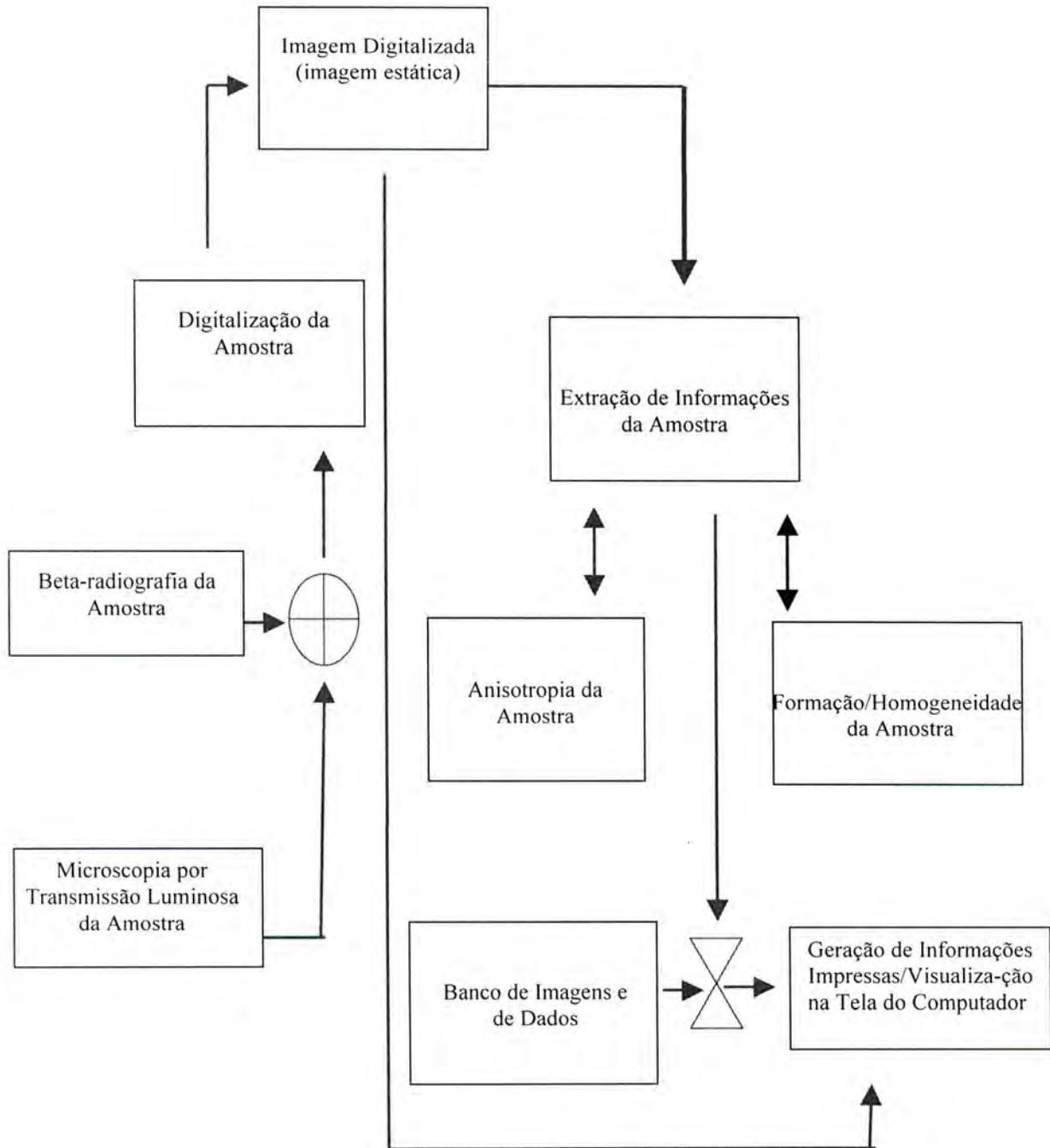


FIGURA 3

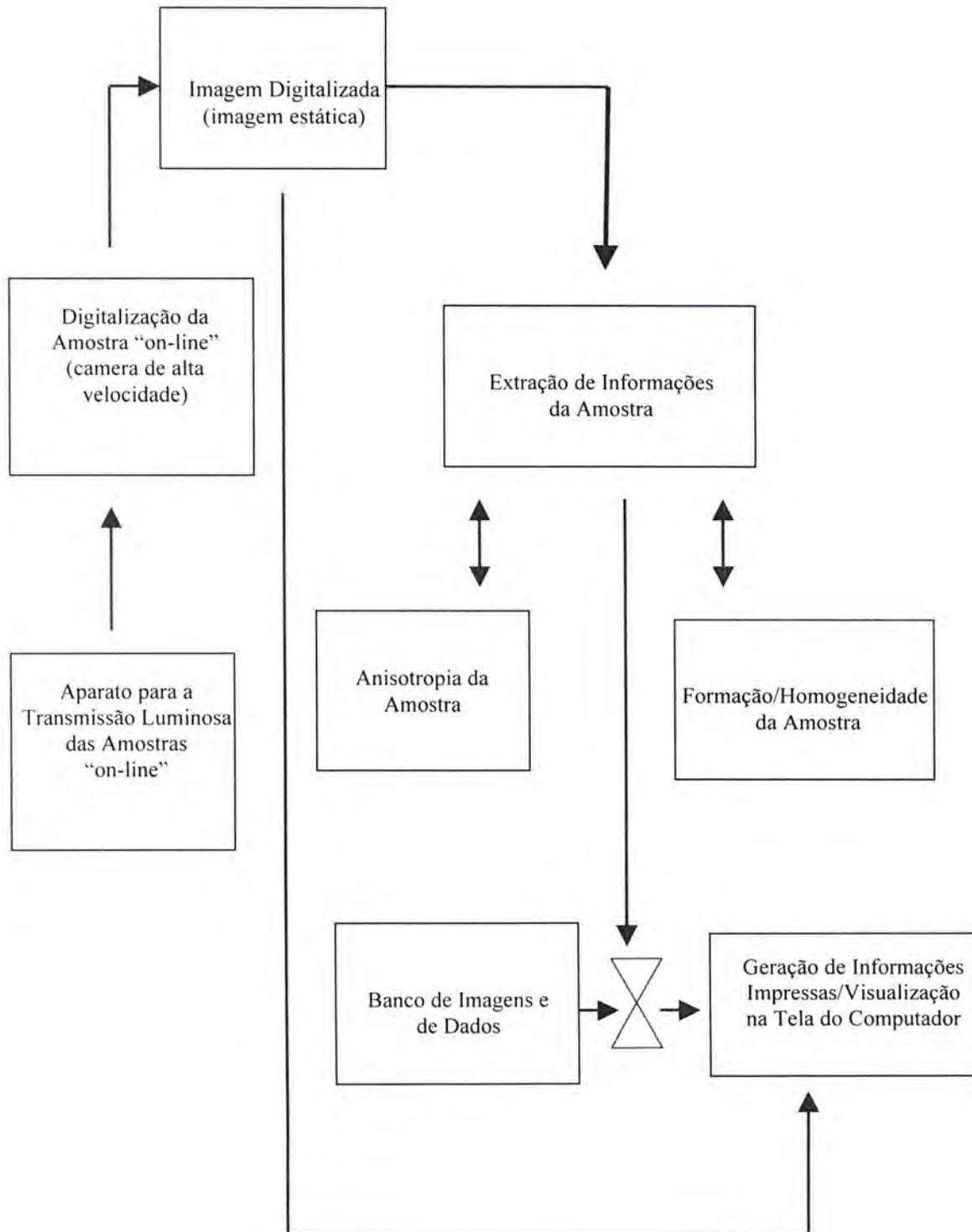


FIGURA 4

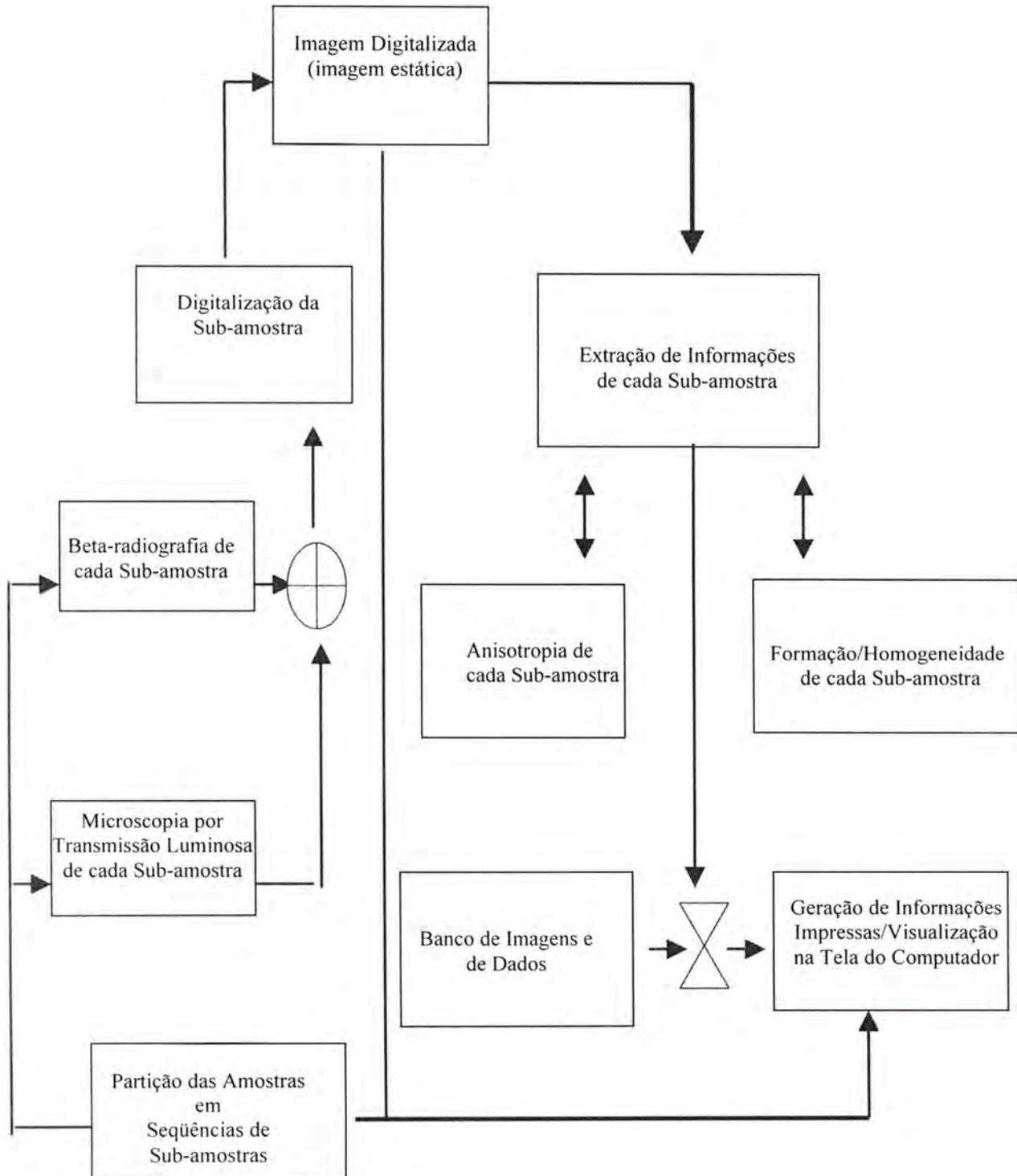


FIGURA 5

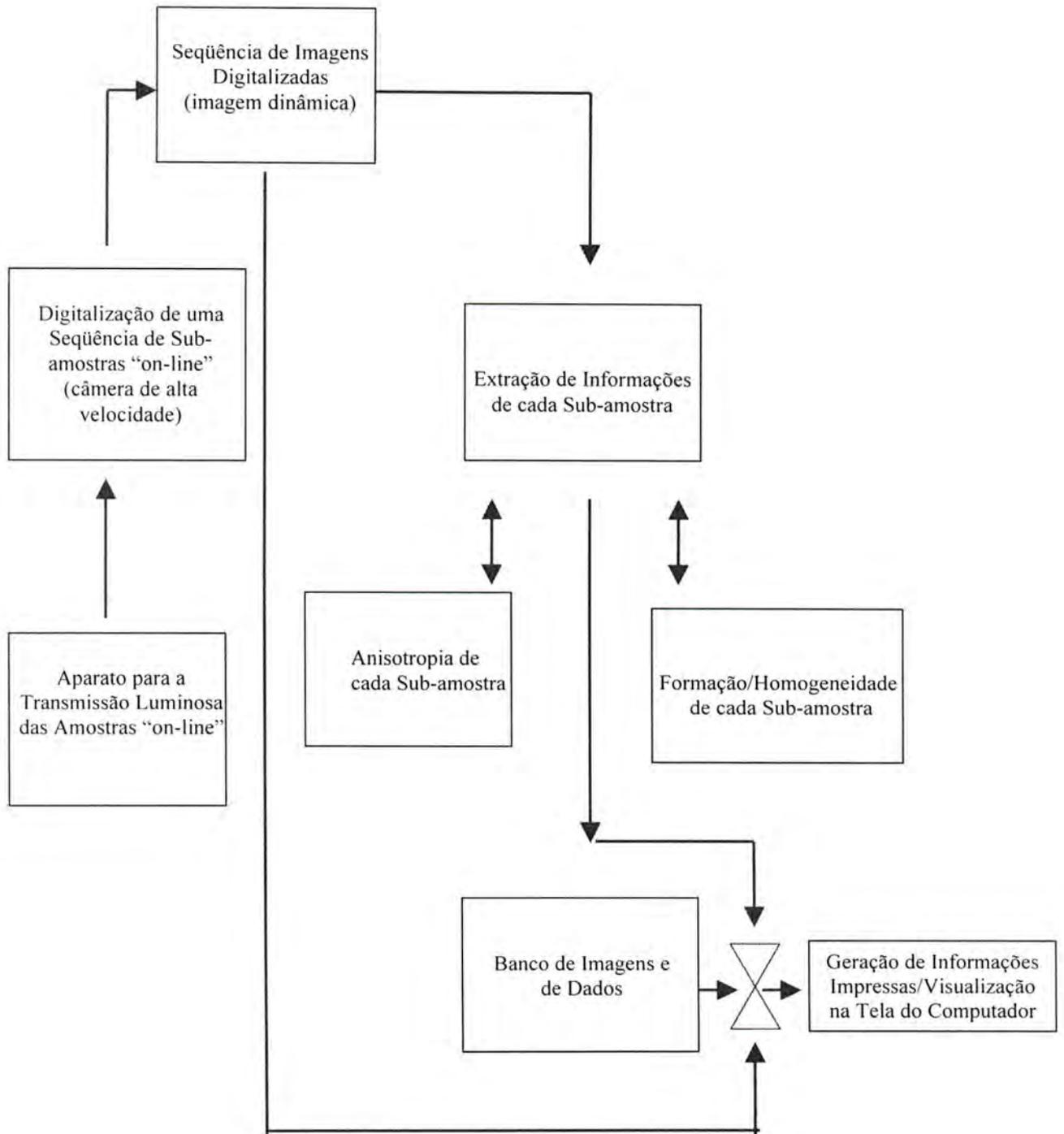


FIGURA 6

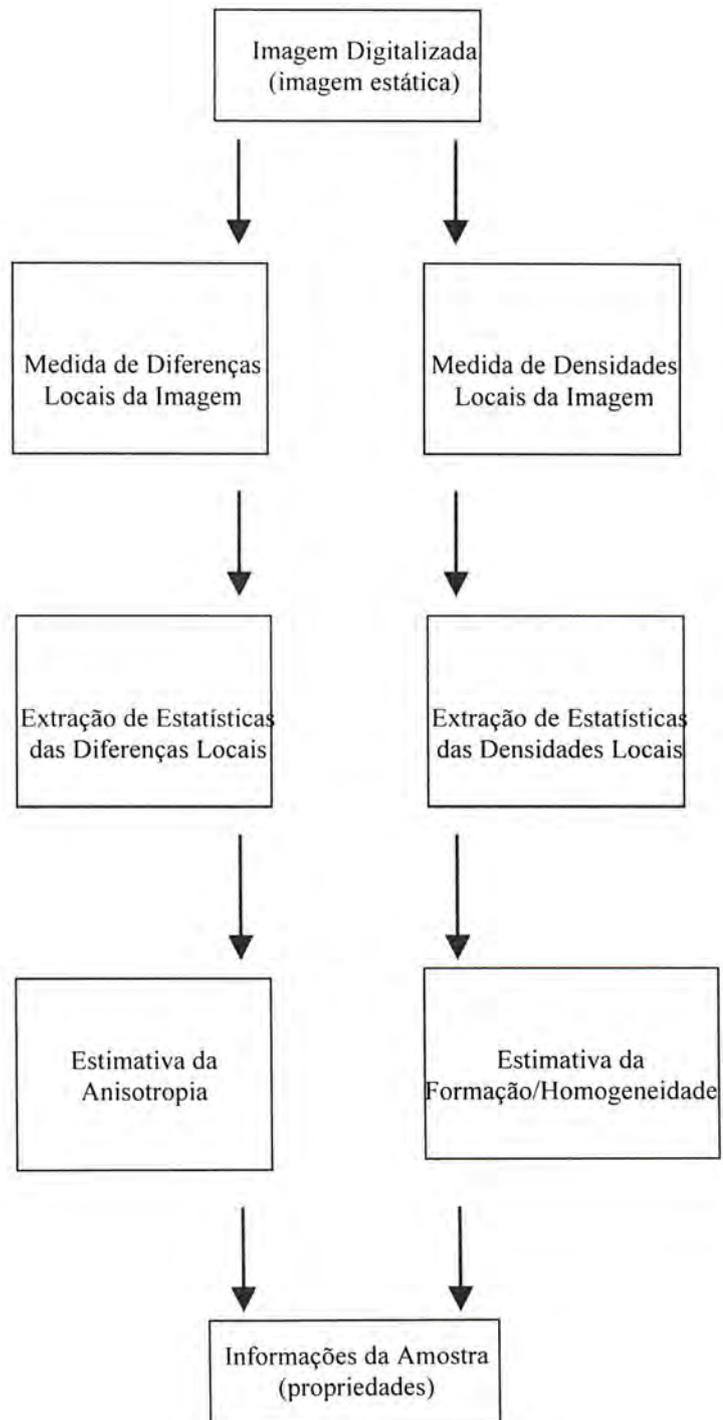


FIGURA 7

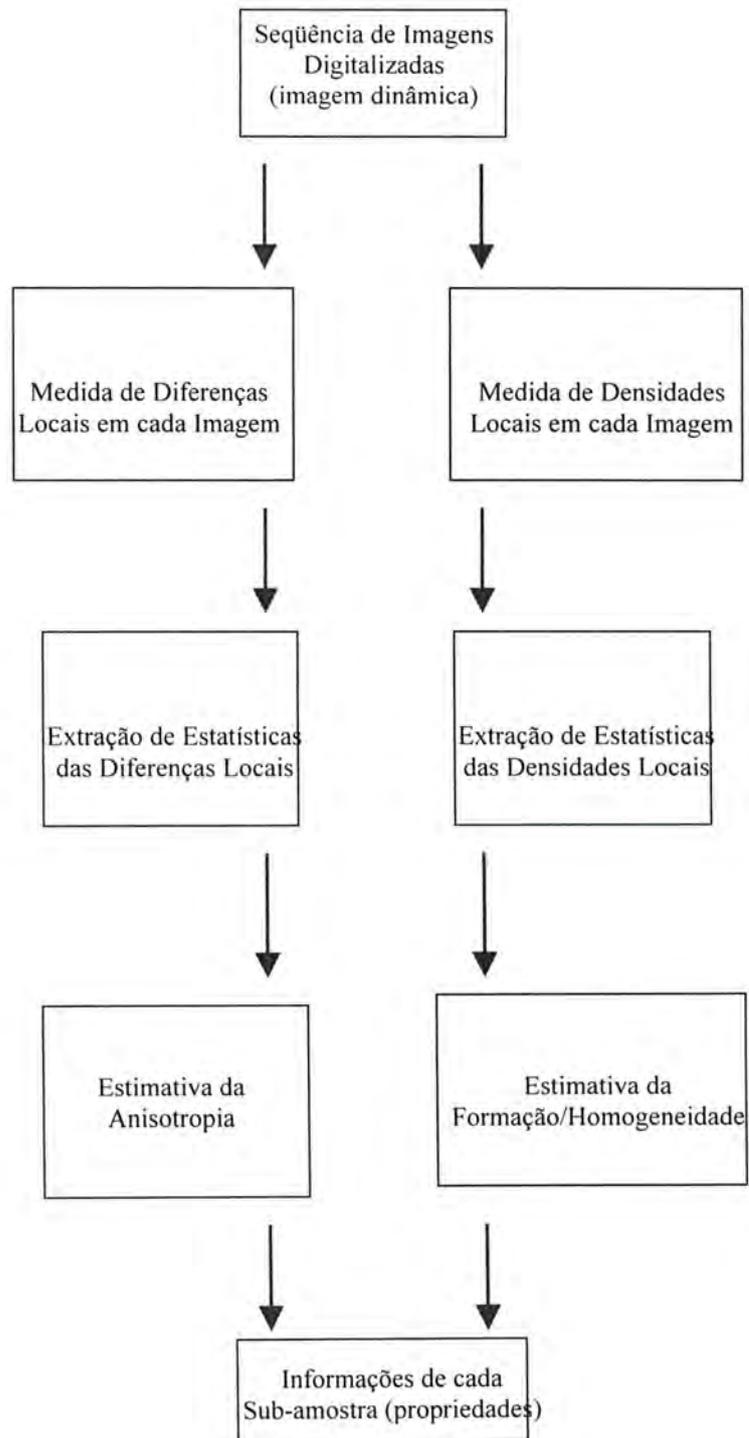


FIGURA 8



FIGURA 9

FIGURA 10

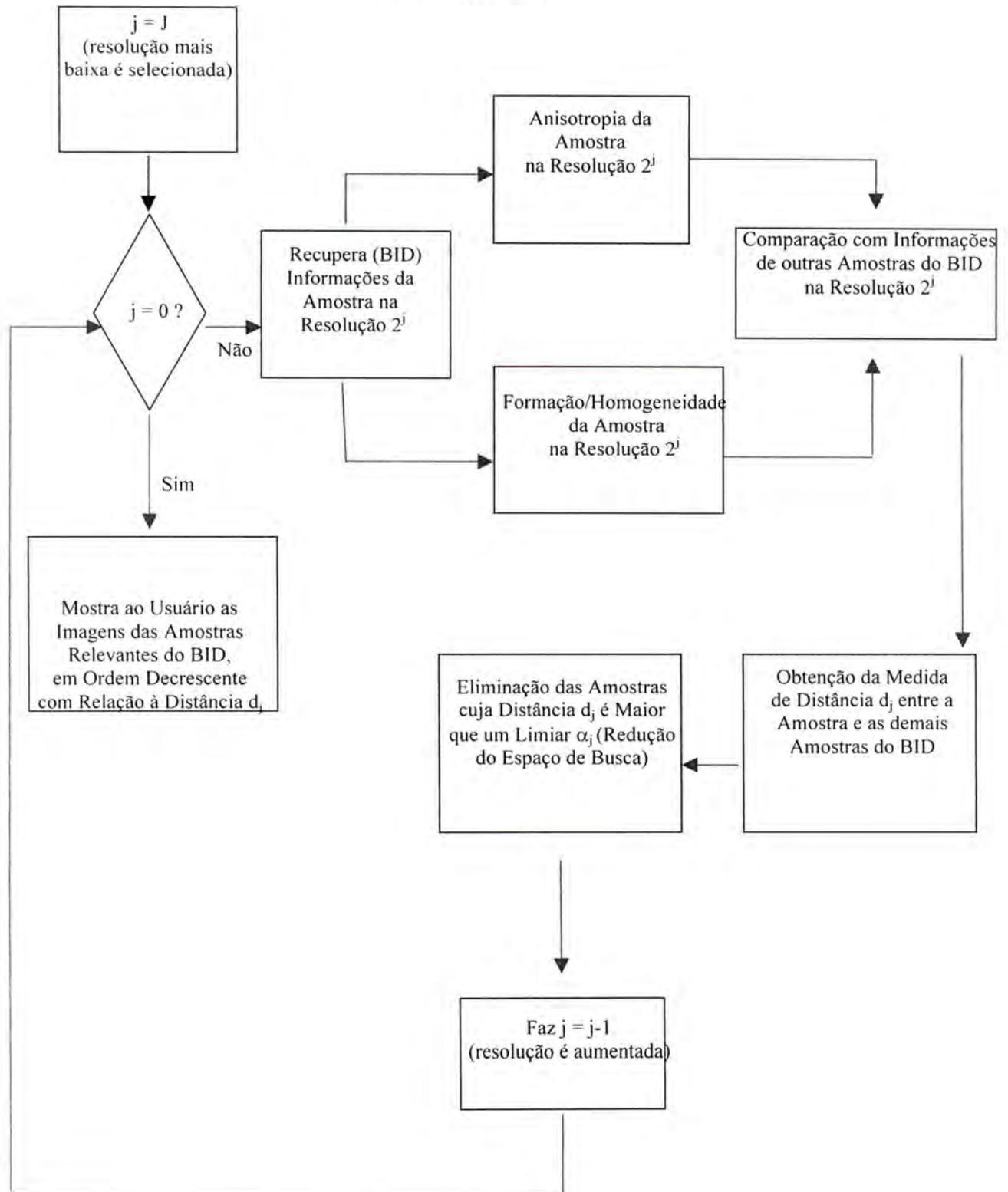
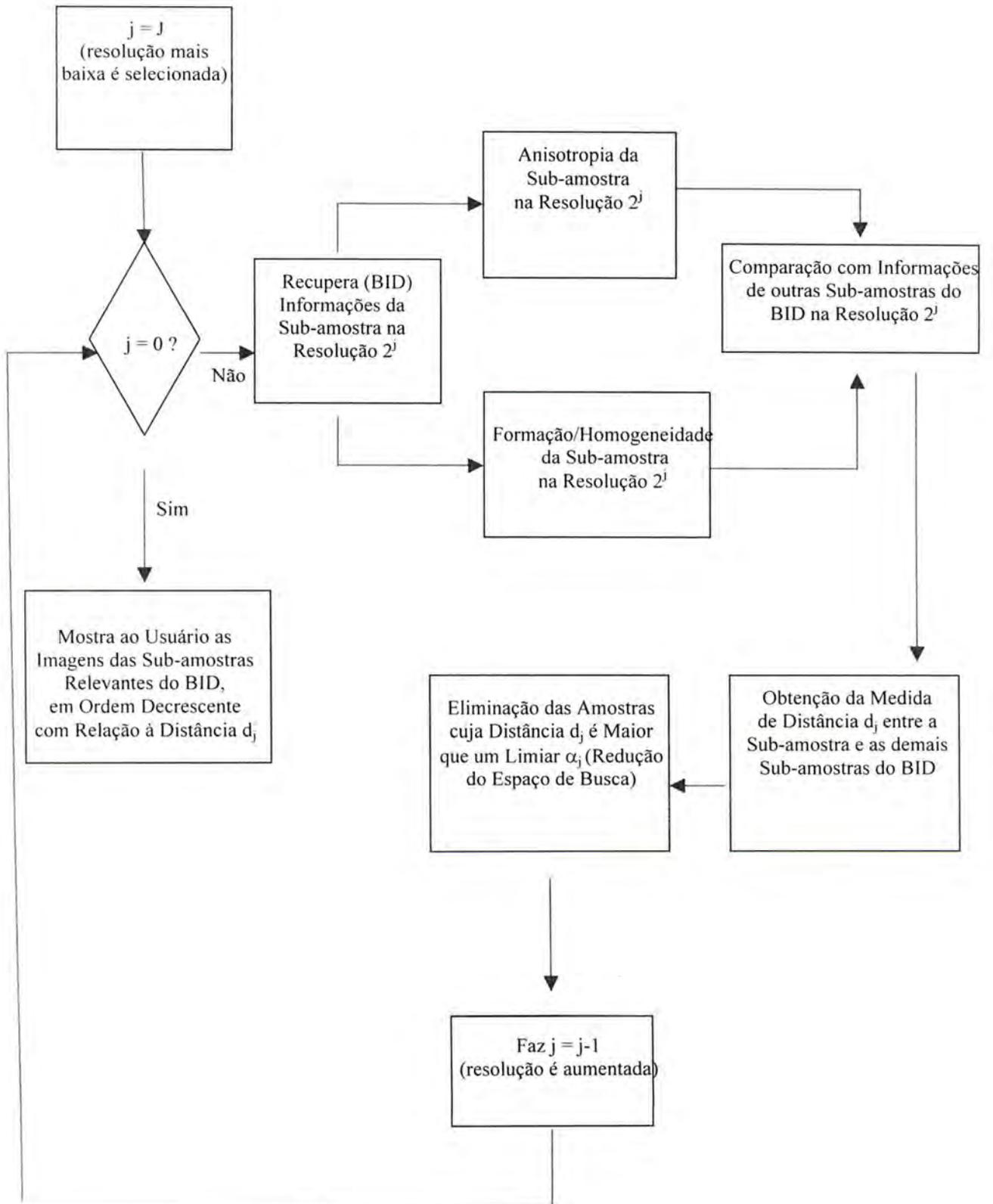


FIGURA 11



RESUMO

**MÉTODO E SISTEMA PARA ANÁLISE, CATALOGAÇÃO E
GERENCIAMENTO DE AMOSTRAS DE TEXTURAS
ESTOCÁSTICAS**

5 É descrito um método e sistema para análise, catalogação e
gerenciamento de amostras de texturas estocásticas que compreende
adquirir imagens de amostras do material e determinar, em múltiplas
resoluções, os gradientes da imagem de textura, usando os
coeficientes da Transformada Wavelet redundante em cada uma das
10 escalas, nas direções x e y no plano da imagem, em seguida
caracterizar ou indexar cada imagem adquirida em cada uma das
escalas segundo dois atributos principais, esses atributos sendo a
anisotropia ou direcionalidade e a variabilidade da densidade
superficial da textura, formando assim um catálogo de imagens de
15 textura e de suas propriedades, as imagens de texturas estocásticas
do catálogo formado sendo recuperadas do catálogo formado com
base em similaridade a exemplos e propriedades das amostras. O
sistema usado para implementar o processo descrito compreende
uma câmera digital (11) para adquirir uma imagem da
20 amostra/subamostra (10) e posterior envio de dados para um
microcomputador (13), a partir do qual haverá extração de
informações (14), um banco de imagens e de dados (15) e uma
interface com o usuário (16).