

CLORIS RAGNA FERREIRA

USO DE GRAFOS NA RECUPERAÇÃO DE IMAGENS POR CONTEÚDO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. André Luiz Pires Guedes

CURITIBA

2005

CLORIS RAGNA FERREIRA

USO DE GRAFOS NA RECUPERAÇÃO DE IMAGENS POR CONTEÚDO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Curso de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas,
Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. André Luiz Pires Guedes - UFPR

Profa. Olga Regina Pereira Bellon - UFPR

Profa. Tania Mezzadri Centeno – CEFET - PR

Curitiba, 31 de março de 2005.

“Dedico este trabalho à Deus, luz que guia a minha vida. Ao Patrick, meu marido, por estar sempre ao meu lado e ao meu orientador André por ter me apoiado e me incentivado mesmo nos momentos mais difíceis.”

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 TEMA DE ESTUDO	1
1.2 PROBLEMA	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
CAPÍTULO 2 - CONCEITOS	4
2.1 GRAFOS	4
2.2 ARG – ATTRIBUTE RELACIONAL GRAPHS	5
2.2.1 Atributos	7
CAPÍTULO 3 - TRABALHOS RELACIONADOS	8
3.1 IMAGENS DE COMPONENTES DA MECÂNICA	9
3.2 MEIO AMBIENTE E CONSTRUÇÃO	9
3.3 IMAGENS MÉDICAS	11
3.4 BANDEIRAS NACIONAIS.....	15
3.5 RECONHECIMENTO DE FACE	15
3.6 OUTRAS APLICAÇÕES	18
CAPÍTULO 4 - RECUPERAÇÃO DE IMAGENS POR CONTEÚDO	21
4.1 CARACTERÍSTICAS	24
4.2 EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS	28
CAPÍTULO 5 - CONSULTAS	35
5.1 FILTROS.....	37
CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DA TEORIA DOS GRAFOS NO PROJETO	
SRIC3D	40
6.1 IMAGENS DE PROFUNDIDADE	42
6.2 INDEXAÇÃO	45
6.3 COMPARAÇÃO ENTRE GRAFOS	49
6.3.1 Exemplos de Comparações.....	51
6.4 DESEMPENHO	56
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES	58
CAPÍTULO 8 - TRABALHOS FUTUROS	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: v_1 , v_2 e v_3 SÃO VÉRTICES REPRESENTADOS POR PONTOS E a_1 , a_2 E a_3 SÃO ARESTAS REPRESENTADAS POR LINHAS QUE LIGAM OS VÉRTICES.

FIGURA 2: APLICAÇÃO DOS ARGs NA COMPUTAÇÃO DE IMAGENS.

FIGURA 3: IMAGEM DE UMA FERRAMENTA (a) E SUA RESPECTIVA ESQUELETIZAÇÃO (b).

FIGURA 4: EXEMPLO DE UMA IMAGEM DE UMA FACE CONTENDO QUATRO OBJETOS (a) E SEU ARG CORRESPONDENTE (b).

FIGURA 5: EXEMPLO DE UMA IMAGEM ORIGINAL EM NÍVEL DE CINZA (a) E SUA SEGMENTAÇÃO MOSTRANDO TRÊS OBJETOS: BODY (CORPO) COM VALOR ZERO, LIVER (FÍGADO) COM VALOR UM E SPINE (ESPINHA) COM VALOR DOIS E DOIS OBJETOS DESCONHECIDOS COM VALORES TRÊS E QUATRO (b).

FIGURA 6: APLICAÇÃO DE MÉTODO PARA DELIMITAÇÃO DE INFORMAÇÕES RELEVANTES EM UMA IMAGEM DE UMA FACE.

FIGURA 7: MÁSCARAS DO MODELO PROJETADAS SOBRE SEUS RESPECTIVOS QUADROS SEGMENTADOS.

FIGURA 8: ETAPAS DE UM SRIC.

FIGURA 9: EXEMPLO DA CARACTERÍSTICA TEXTURA.

FIGURA 10: EXEMPLO DA CARACTERÍSTICA FORMA.

FIGURA 11: PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICA DE UMA IMAGEM.

FIGURA 12: UM EXEMPLO DE UMA IMAGEM E SEU HISTOGRAMA.

FIGURA 13: RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO UTILIZADA EM SCHWARTZ e PEDRINI (2003), (a) A IMAGEM ORIGINAL E (b) UMA IMAGEM CLASSIFICADA.

FIGURA 14: EXEMPLO DE UMA APLICAÇÃO QUE UTILIZA A CARACTERÍSTICA COR PARA REALIZAR FILTROS ANTES DA BUSCA.

FIGURA 15: IMAGEM UTILIZADA EM TAN e MULHEM (2001) COM A OCORRÊNCIA DE LUZ E SOMBRAS.

FIGURA 16: EXEMPLO DA APLICAÇÃO UTILIZADA EM FALCÃO, STOLFI e LOTUFO (2004), A LINHA BRANCA REPRESENTA A PARTE INTERNA DA IMAGEM E A LINHA ESCURA DELIMITA A PARTE EXTERNA.

FIGURA 17: EXEMPLO DE UMA FIGURA UTILIZADA EM WU, SILVA e MÁRQUEZ (2000).

FIGURA 18: EXEMPLO DE VÁRIAS VISTAS DE UMA MESMA IMAGEM.

FIGURA 19: EXEMPLO DE IMAGEM DE PROFUNDIDADE E SUA SEGMENTAÇÃO.

FIGURA 20: (a) REPRESENTA UMA IMAGEM EXEMPLO E (b) UMA IMAGEM ARMAZENADA NO BANCO DE DADOS.

FIGURA 21: (a) REPRESENTA UMA IMAGEM DE EXEMPLO, (b) ARG DA IMAGEM DE EXEMPLO, (c) UMA IMAGEM ARMAZENADA E (d) ARG DA IMAGEM ARMAZENADA.

FIGURA 22: VISUALIZAÇÃO DOS GRAFOS SOBREPOSTOS.

FIGURA 23: REPRESENTAÇÃO DOS CUSTOS NA COMPARAÇÃO DOS VÉRTICES E ARESTAS DE UM ARG. NESTE EXEMPLO FORAM UTILIZADOS OS ATRIBUTOS “a” (ÂNGULO COM DIREÇÃO HORIZONTAL DA LINHA QUE CONECTA OS CENTROS DAS MASSAS DOS VÉRTICES) E “l” (TAMANHO DA BORDA).

FIGURA 24: SIMILARIDADE ENTRE GRAFOS: G1 POSSUI MAIOR SIMILARIDADE COM G2 DO QUE COM G3.

FIGURA 25: (a) REPRESENTA UMA IMAGEM SEGMENTADA E (b) A SUA REPRESENTAÇÃO ATRAVÉS DE UM ARG.

FIGURA 26: (a) REPRESENTA UMA IMAGEM SEGMENTADA E (b) A SUA REPRESENTAÇÃO ATRAVÉS DE UM ARG.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	COMPUTER AIDED DESIGN
ARG	ATTRIBUTE RELATIONAL GRAPH
FARG	FUZZY ATTRIBUTE RELATIONAL GRAPH
HARAG	HIERARCHICAL ATTRIBUTED REGION ADJACENCY GRAPH
HVS	HUMAN VISUAL SYSTEM
IFT	IMAGE FORESTING TRANSFORMATION
MLP	MULTILAYER PERCEPTRON
RNA	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS
SRIC	SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE IMAGENS POR CONTEÚDO
UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RESUMO

Este trabalho apresenta a utilização dos grafos para a representação do conteúdo das imagens. As pesquisas que relacionam a utilização da teoria dos grafos estão ganhando espaço na busca de novas técnicas a serem usadas na computação de imagens. Os ARGs (*Attribute Relational Graphs*) estão sendo pesquisados pela representação bastante abrangente que este tipo de grafo pode oferecer, pois além das informações nos vértices e arestas, pode-se utilizar atributos relacionados. Neste trabalho será apresentado como os ARGs podem auxiliar nas etapas de representação e indexação em um sistema de recuperação de imagens por conteúdo (SRIC).

ABSTRACT

This work presents the use of the graphs for the representation of the content of the images. The research that relates the use of the theory of the graphs is gaining space in the search of new techniques to be used in the image processing. The ARGs (Attribute Relational Graphs) are being searched for the efficient representation that this type of graph can offer, therefore beyond the information in the vertices and edges can be used related attributes. In this work it will be presented as the ARGs can assist in the stages of representation and indexation in Content-based images retrieval systems (CBIRS).

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DE ESTUDO

O rápido crescimento das coleções de imagens digitais e a necessidade de armazenar e recuperar diversos *bytes* de informações contribuiu para o aumento de técnicas especializadas em organizar informações na computação de imagens.

Entre os grandes desafios da computação de imagens estão: representação de uma cena e o reconhecimento das regiões e seus relacionamentos espaciais. Técnicas estão sendo desenvolvidas para fornecer informações cada vez mais precisa em relação às imagens, vídeo e áudio. Para a recuperação de imagens pelo seu conteúdo são utilizados os Sistemas de Recuperação de Imagens por Conteúdo ou SRIC. Estes sistemas analisam as informações através das características que são extraídas das imagens. Alguns exemplos de características são: cor, textura e forma.

Algumas áreas e respectivas aplicações que utilizam informações do conteúdo das imagens são: medicina, na detecção de tumores; geoprocessamento, na análise de fotos de satélite; indústria, na inspeção de peças defeituosas e segurança: no reconhecimento de faces através da Biometria. Existem aplicações que são desenvolvidas para serem utilizadas pela Internet (SCLAROFF, TAYCHER, CASCIA, 1997) em museus virtuais, bibliotecas virtuais e etc.

Os grafos são estruturas simples que podem representar imagens complexas através das regiões que compõem a imagem e seus relacionamentos. As regiões podem representar qualquer conjunto de pixels que possuem uma mesma característica na percepção dos usuários e na aparência de uma imagem. As características podem possuir um alto nível de

semântica, como representar uma face ou um espaço geográfico ou possuir um baixo nível semântico, como a representação de texturas e cores dominantes.

Neste trabalho serão apresentados os grafos relacionais que possuem atributos ou *Attribute Relational Graphs* (ARGs) e a sua aplicabilidade na representação de informações baseadas no conteúdo das imagens. Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar a utilização dos ARGs, identificar algumas técnicas de representação que sejam mais adequadas em um SRIC (FONSECA e JORGE, 2002) e apresentar a utilização dos grafos na comparação de imagens similares.

1.2 PROBLEMA

As técnicas baseadas na recuperação do conteúdo das imagens pesquisam métodos eficientes para organização, armazenamento e busca das informações extraídas. A quantidade destas informações aumenta constantemente, tendo a Internet como grande ferramenta de propagação.

A maioria das aplicações desenvolvidas utiliza tipos específicos de imagens (como por exemplo: imagens de carros). Estas aplicações não podem ser usadas de maneira genérica com outras aplicações baseadas em outros tipos de imagens.

Quando são extraídas as informações de uma imagem, estas devem ser organizadas de forma adequada para que seja possível a sua recuperação. O processo que faz a extração das informações deve ser eficiente, o que muitas vezes o torna bastante complexo. Após o armazenamento das informações, devem existir métodos para realizar a sua recuperação. Dependendo da quantidade de imagens armazenadas em um banco de dados e o número de características extraídas, este processo acaba tendo um desempenho não satisfatório na recuperação de informações.

Todas as etapas que envolvem a recuperação de informações das imagens devem ser eficientes. As etapas serão apresentadas nos próximos capítulos. Caso ocorram problemas durante o processamento das imagens, e as etapas tenham como resultados informações não confiáveis, todo o processo de recuperação será comprometido.

A pesquisa de uma técnica que possa atender a diversos tipos de imagens e extrair quaisquer características, fazendo com que todo o processo possua baixo custo computacional, ainda é uma meta a ser atingida pelos pesquisadores da computação de imagens.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Neste Capítulo é feita uma introdução a este trabalho, mostrando os objetivos e problemas na recuperação de imagens. No Capítulo 2 serão apresentados alguns conceitos básicos de grafos e definição dos ARGs, no Capítulo 3 estão relacionados alguns trabalhos envolvidos com a recuperação de informações baseada no conteúdo das imagens. O Capítulo 4 demonstra como funciona um SRIC, no Capítulo 5 são apresentados alguns exemplos de consultas, o Capítulo 6 é voltado para a aplicação dos grafos nos SRIC. Para concluir, são apresentadas as conclusões do trabalho no Capítulo 7 e a apresentação dos trabalhos futuros no Capítulo 8.

CAPÍTULO 2 - CONCEITOS

Neste Capítulo serão apresentados alguns conceitos básicos sobre os grafos e sobre os tipos de grafos conhecidos como ARGs.

2.1 GRAFOS

Com seu conceito simples e sua estrutura abrangente, os grafos estão estimulando o aumento de pesquisas relacionadas a sua aplicabilidade na área de computação de imagens (BERRETTI et al., 2000; DICKSON, 2001).

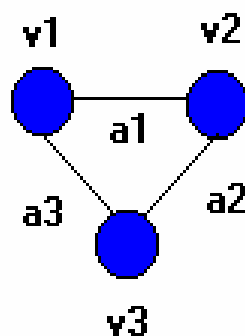
Os grafos podem ser utilizados na representação de imagens de profundidade e possuem grande abrangência no que se refere à representação de imagens (GOLD e RANGARAJAN, 1996). Quaisquer que sejam as características extraídas de uma imagem poder-se-ão representá-las através de um grafo.

Neste trabalho, serão demonstradas técnicas que utilizam a teoria dos grafos na recuperação de informações por conteúdo. Por este motivo, serão apresentadas abaixo algumas definições básicas dos grafos:

- Um grafo $G = (V, A)$ é um conjunto finito não vazio V e um conjunto A de pares não ordenados de elementos distintos de V .
- Os elementos de V são os vértices e os elementos de A são as arestas de G .
- Dois vértices v_1, v_2 são ditos adjacentes se $\{v_1, v_2\} \in A$.
- Se todos os vértices de G são adjacentes entre si, então G é denominado completo.

- Dois grafos $G1 = (V1, A1)$ e $G2 = (V2, A2)$ são isomorfos se existe uma correspondência entre seus vértices, preservando-se as suas adjacências.
- Um grafo pode ser apresentado através de uma representação geométrica, na qual seus vértices correspondem a pontos distintos do plano em posições arbitrárias, enquanto cada aresta é associada a uma linha arbitrária unindo os vértices. A representação gráfica de um grafo está representada na Figura 1.

FIGURA 1 - $v1, v2$ e $v3$ SÃO VÉRTICES REPRESENTADOS POR PONTOS E $a1, a2$ E $a3$ SÃO ARESTAS REPRESENTADAS POR LINHAS QUE LIGAM OS VÉRTICES



2.2 ARG – ATTRIBUTE RELACIONAL GRAPHS

Os ARGs são grafos que podem ser aplicados na recuperação de informações por conteúdo. Estes grafos possuem seus vértices e arestas associados a vetores de atributos.

A representação utilizada através dos grafos depende das informações que são extraídas das imagens e conseqüentemente do tipo de consulta permitida. O ARG é um conjunto de informações que irá agregar e representar as características relevantes que foram extraídas da imagem.

Nas aplicações que utilizam os ARGs como representação semântica, os vértices são usados para identificar as regiões resultantes da segmentação, e as arestas são os relacionamentos entre as regiões. Além destas informações, os ARGs permitem a inclusão de atributos (informações adicionais) nos vértices e nas arestas.

Para uma melhor representação do conceito dos ARGs e a sua aplicação em recuperação de informações por conteúdo, será mostrado o esquema exemplificado em HONG, WANG e HUANG (2000):

$$\text{ARG} = (V, A, Va, Aa)$$

Onde:

V: Conjunto finito de vértices

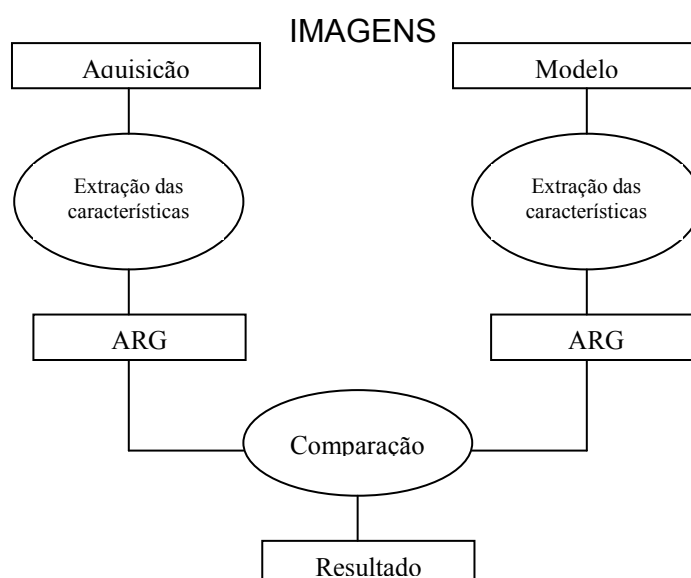
A: Conjunto de arestas

Va: Conjunto de atributos dos vértices

Aa: Conjunto de atributos das arestas

Na Figura 2, é mostrado um modelo de aplicação dos ARGs na computação de imagens.

FIGURA 2 – APLICAÇÃO DOS ARGs NA COMPUTAÇÃO DE



2.2.1 Atributos

Um atributo é uma tupla (t, a) que consiste de um tipo (t) e um valor (a) . Os atributos utilizados nos ARGs podem ser caracterizados por qualquer tipo de informação dependendo somente da necessidade e do objetivo da aplicação.

Alguns atributos usados nos vértices dos grafos são:

- Nível de cinza;
- Cor;
- Textura;
- Momentos;
- Características geométricas;
- Coeficientes de *Fourier*;
- Forma.

E nas arestas:

- Distância;
- Orientação.

Na escolha dos atributos, pode-se considerar a invariância em relação às transformações sofridas pelas imagens, como: rotação, escala e translação.

Para tornar a aplicação invariante à ocorrência destas transformações podem ser utilizadas algumas técnicas como:

- A utilização de posições relativas torna a aplicação invariante em relação à translação;
- A utilização de cálculos proporcionais em relação ao tamanho, diâmetro e área, para obter aplicações invariantes à escala;
- A utilização de transformações mais apropriadas como *Fourier* e momentos.

CAPÍTULO 3 - TRABALHOS RELACIONADOS

Diversas aplicações estão sendo desenvolvidas para atender às necessidades práticas de usuários que já utilizam *softwares* de manipulação e criação de imagens. Um exemplo são as aplicações baseadas na recuperação de informações do conteúdo das imagens.

As aplicações de recuperação de imagens por conteúdo que utilizam os grafos na representação das regiões realizam, após a etapa de construção dos grafos, a comparação entre as regiões da consulta e as regiões do banco de dados.

Estas comparações são tratadas como problemas de comparação entre grafos, ou seja, é feita a verificação de grafos isomorfos que é um problema NP-Completo (SOSSA e HORAUD, 1992).

NP é a classe dos problemas não determinísticos que, dado uma proposta de solução, é possível verificar se ela é verdadeira ou falsa em tempo menor que exponencial.

Problemas NP-Completo são os problemas mais difíceis da classe NP. Não se conhece (provavelmente não exista) solução para eles em tempo menor que exponencial e se conseguirmos resolver um deles, resolveremos todos, ou seja, eles são equivalentes.

Problemas P são problemas determinísticos onde existe um algoritmo que determina a(s) solução (ões) em tempo polinomial.

Quando se restringe a utilização de tipos de grafos, como por exemplo, grafos planares, a solução da comparação entre grafos deixa de ser um problema NP-Completo e passa a ser um problema P.

3.1 IMAGENS DE COMPONENTES DA MECÂNICA

JR. Ullmann (ULLMANN, 1976) propôs um algoritmo eficiente na comparação entre grafos. Este algoritmo está sendo utilizado por diversas técnicas (CORDELLA et al., 2000) na recuperação de imagens mecânicas armazenadas em formato CAD. Este algoritmo possui um tratamento genérico em relação aos tipos de grafos, realizando um mapeamento entre os vértices do grafo da consulta do usuário com os vértices dos grafos armazenados no banco de dados.

Para adaptação do algoritmo de Ullmann, em CORDELLA et al. (2000) foram acrescentados os atributos: posição, orientação e forma na representação dos ARGs para auxiliar a comparação entre grafos.

3.2 MEIO AMBIENTE E CONSTRUÇÃO

Para melhorar o desempenho das aplicações, muitas delas foram desenvolvidas para tipos definidos de imagens, como por exemplo: água, folhagem e prédios (TAN e MULHEM, 2001). Em outros casos a quantidade de vértices, ou seja, a quantidade de regiões é previamente definida, melhorando o tempo de comparação e recuperação de imagens.

As aplicações desenvolvidas em projetos gráficos podem ser utilizadas em situações como: auxiliar os projetistas a reutilizar imagens armazenadas em um banco de dados ou mesmo obter algumas idéias de um projeto antigo (FONSECA e JORGE, 2002). Nesta técnica, é proposta uma classificação das imagens baseando-se na forma e nos relacionamentos espaciais dos objetos que compõe a imagem. Estas características são melhores adaptadas para a situação específica de imagens armazenadas em formato eletrônico (CAD).

Neste método, as consultas são especificadas por *sketches*, que são esqueletos desenhados pelos projetistas por meio de uma interface gráfica.

A utilização de esqueletos é um método para representar as regiões de uma imagem previamente segmentada proposto por BLUM (1967). Esta técnica é bastante utilizada por ser uma poderosa ferramenta que resume as informações das formas dos objetos.

Abaixo, na Figura 3, é exemplificada a imagem de uma ferramenta e sua respectiva esqueletização (RUBERTO, RODRIGUEZ, CASTA, 2002).

FIGURA 3 – IMAGEM DE UMA FERRAMENTA (a) E SUA RESPECTIVA ESQUELETIZAÇÃO (b)



Na aplicação de RUBERTO, RODRIGUEZ e CASTA (2002), as formas das regiões são reduzidas através de um algoritmo de afinamento e a imagem é dividida em blocos dominantes, que são novamente divididos em novos blocos, tendo seus relacionamentos extraídos e armazenados.

Para indexação das informações, em RUBERTO, RODRIGUEZ e CASTA (2002), foi utilizada a estrutura *NB-Tree*. Esta técnica é baseada em um simples, porém eficiente, algoritmo para localizar pontos multidimensionais, usando um método de redução de dimensão.

A redução de dimensão é a escolha dos atributos que melhor representam uma imagem, permitindo diminuir a quantidade de dados para facilitar as etapas posteriores.

3.3 IMAGENS MÉDICAS

A utilização das informações adquiridas através das imagens tem sido fundamental na área médica (PETRAKIS, FALOUTSOS, LIN, 2002), (PETRAKIS e FALOUTSOS, 1997) e (FISCHER et al., 2004). Estas técnicas são capazes de encontrar tumores baseando-se, exclusivamente, na interpretação das imagens obtidas por meio do seu processamento, auxiliando os médicos no diagnóstico precoce de doenças.

Em PETRAKIS, FALOUTSOS e LIN (2002) foram utilizados como atributos nos vértices o tamanho¹, o raio² e a orientação³. Nas arestas foram utilizados a distância⁴ e o ângulo⁵. Neste método o usuário informa uma imagem como exemplo, adicionando um valor de tolerância para a localização de imagens semelhantes, este valor é utilizado pela estrutura de indexação na busca das imagens armazenadas no banco de dados.

A seguir será demonstrada a estrutura de arquivo para armazenamento dos dados proposto em PETRAKIS, FALOUTSOS e LIN (2002) esta estrutura é composta pela *R-Tree*, arquivo “ARG file” e arquivo “Image Store”. Cada imagem é transformada em um ARG, este ARG é mapeado em um vetor que será indexado por meio de uma estrutura *R-Tree*.

A *R-Tree* foi desenvolvida por GUTTMAN (1984) e é utilizada para indexar dados espaciais. A *R-Tree* é uma árvore balanceada onde cada nó

¹ Área de cada região

² Raio entre o menor e o maior 2º momento

³ Definida pelo ângulo entre a direção horizontal e a coordenada de comprimento

⁴ Menor distância entre as bordas de duas regiões

⁵ Ângulo da direção horizontal da linha que conecta os centros de massa de duas regiões

contém tuplas no formato $\langle l, ptr \rangle$ onde ptr é o endereço de um filho do nó, e l indica sua MBR retangular, pela indicação dos limites inferior e superior de cada dimensão. MBR (*Minimum Bounding Region*) é a menor região, geralmente retangular, que cobre toda uma figura geométrica. O número de tuplas em cada nó de uma *R-Tree* não pode ser maior do que M ou menor do que $m \leq M/2$.

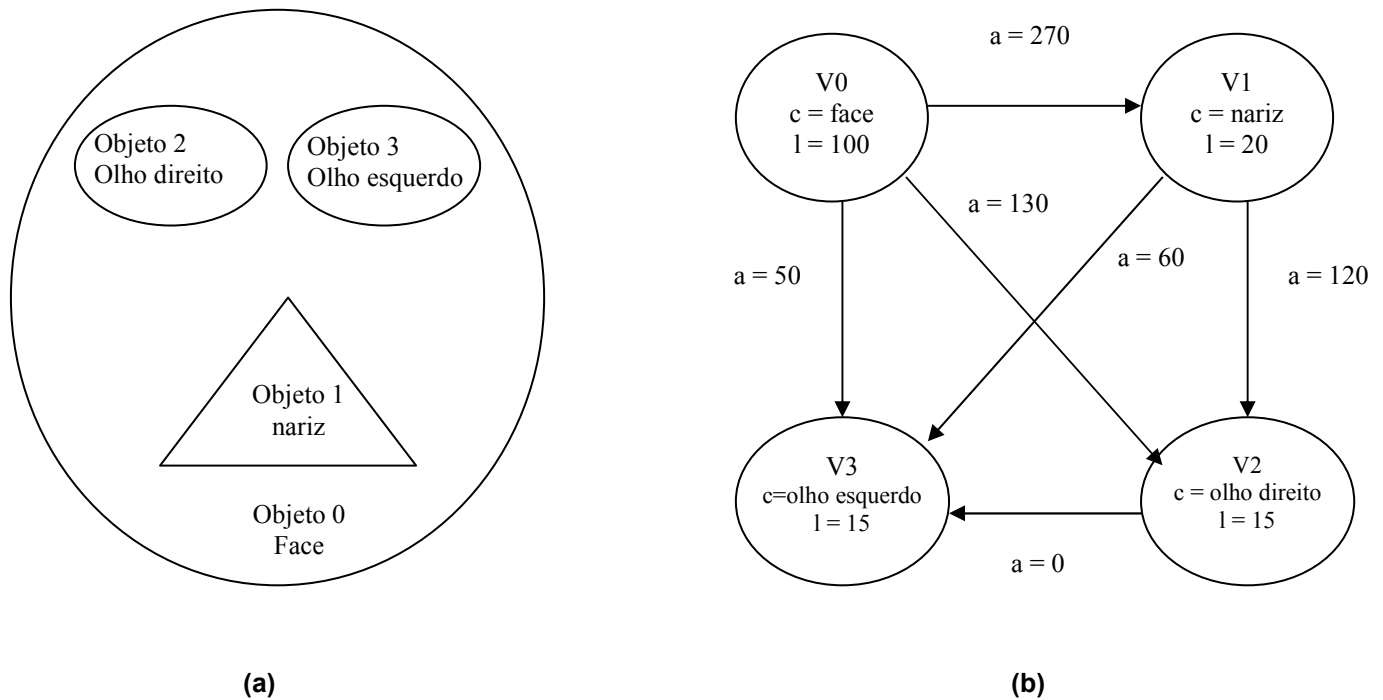
Neste trabalho foi utilizada a estrutura *R-Tree* pela eficiência na utilização de espaço em disco e rapidez de resposta de acesso. O arquivo “ARG file” é composto por ARGs, cada registro neste arquivo consiste em: um identificador (nome da imagem que formou o ARG), as características de cada região e seus relacionamentos com outras regiões.

O arquivo “*Image Store*” contém a imagem original que não é utilizada no processo de busca. Para a procura de imagens semelhantes, o usuário informa um valor de tolerância e uma imagem que será utilizada como exemplo. A imagem exemplo é transformada em ARG e depois em vetor, assim, todos os vetores que possuem a tolerância informada são recuperados pela estrutura *R-Tree*.

Na Figura 4, apresentada abaixo (PETRAKIS e FALOUTSOS, 1997) é exemplificada uma imagem contendo quatro regiões (numeradas de zero a três) e seu ARG correspondente. Cada região possui um atributo (c) que representa o nome e um atributo (l) que representa o tamanho da borda.

Os relacionamentos entre as regiões possuem apenas o atributo ângulo (a), que é calculado através da direção horizontal da linha que conecta os centros de massa dos dois objetos interligados.

FIGURA 4 – EXEMPLO DE UMA IMAGEM DE UMA FACE
CONTENDO QUATRO OBJETOS (a) E SEU ARG CORRESPONDENTE (b)



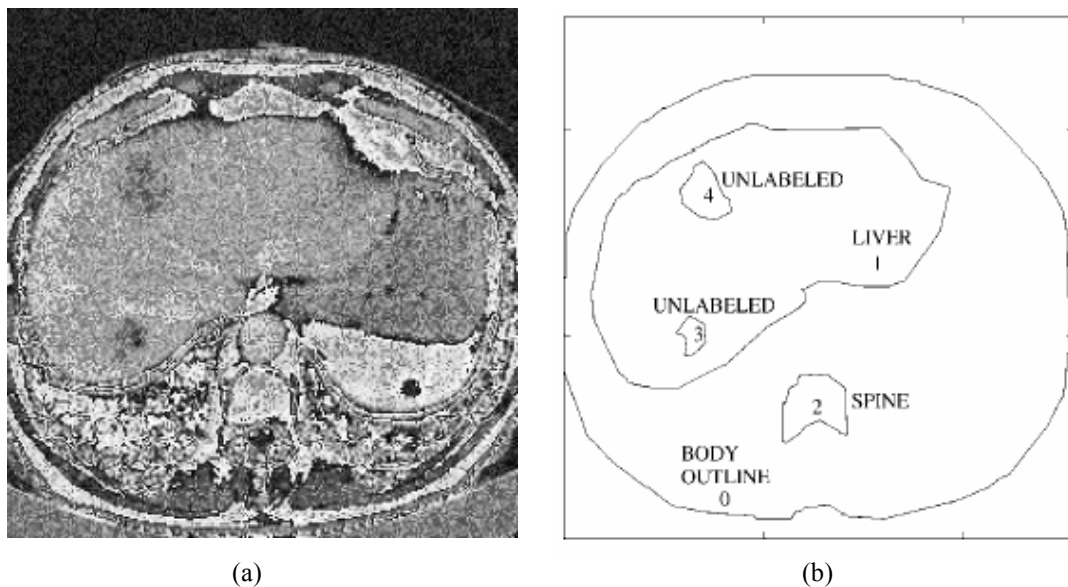
Após as imagens passarem pela etapa de segmentação (PETRAKIS e FALOUTSOS, 1997), suas características são armazenadas com a imagem original. O tamanho, contorno, orientação, distância e a posição são utilizados como atributos.

Neste trabalho foram identificadas regiões com nomes pré-definidos (regiões esperadas), estas regiões podem representar um órgão do corpo humano, como por exemplo, fígado ou coração. As regiões que não possuem nomes poderão ser tumores ou hematomas. Através deste conceito, a aplicação pode, facilmente, localizar e reconhecer problemas auxiliando médicos na tomada de decisões e tratamentos. Neste método foi utilizada a mesma estrutura de arquivos proposta em PETRAKIS, FALOUTSOS e LIN (2002) aplicado em imagens médicas. Na representação através dos ARGs foi

realizada a segmentação baseada nos contornos da imagem, podendo ser utilizada qualquer outra característica.

Abaixo, na Figura 5, serão apresentadas uma imagem médica e sua respectiva segmentação utilizada em PETRAKIS, FALOUTSOS e LIN (2002):

FIGURA 5 – EXEMPLO DE UMA IMAGEM ORIGINAL EM NÍVEL DE CINZA (a) E SUA SEGMENTAÇÃO MOSTRANDO TRÊS OBJETOS: BODY (CORPO) COM VALOR ZERO, LIVER (FÍGADO) COM VALOR UM E SPINE (ESPINHA) COM VALOR DOIS E DOIS OBJETOS DESCONHECIDOS COM VALORES TRÊS E QUATRO (b)



A eficiência da comparação entre imagens em PETRAKIS e FALOUTSOS (1997) parte do princípio que existem regiões pré – determinadas comuns a todas as imagens. Este método utiliza imagens como exemplo para a busca de imagens semelhantes e responde perguntas como: “Encontre todos os exames de mama similares ao exame da Sra. Maria”.

A utilização de uma estrutura hierárquica chamada HARAG (*hierarchical attributed region adjacency graph*) foi aplicada em FISCHER et al. (2004) para representar imagens médicas, sendo que os atributos utilizados formam um conjunto de informações globais e locais das imagens. Neste método foram

utilizados algoritmos para redução do grafo que representa a imagem, facilitando no momento da comparação entre dois grafos.

A redução do tamanho dos grafos foi bastante satisfatória e não houve uma significativa perda de informações, o índice de redução chegou a atingir 85% da quantidade de vértices (FISCHER et al, 2004). Para a comparação dos grafos foi utilizado o algoritmo *Similarity Flooding* e *Hopfiled-style*, sendo este último baseado em redes neurais. Estes dois algoritmos foram adaptados para aceitarem atributos nos vértices e arestas.

3.4 BANDEIRAS NACIONAIS

A recuperação de informações por conteúdo em bandeiras nacionais foi utilizada em GREGORY e KITTLER (2001), onde a característica cor foi aplicada na realização da segmentação, em conjunto com as informações dos relacionamentos entre as regiões.

Foi utilizado um conceito de dicionário pré-definido que contém informações de baixo e alto nível, atendendo a uma estrutura geral e permitindo uma interface mais amigável e intuitiva na construção da consulta pelo usuário. Nesta técnica foram utilizados como atributos dos vértices e arestas, as cores, a saturação e o brilho.

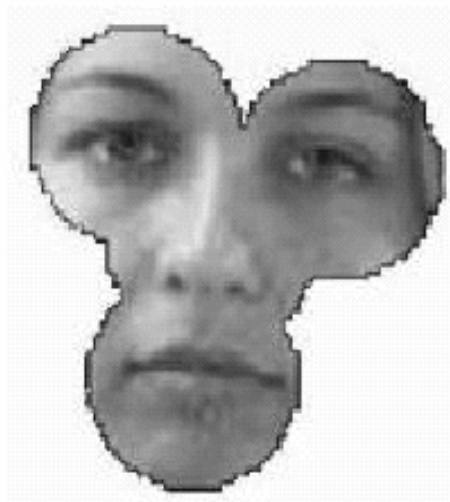
3.5 RECONHECIMENTO DE FACE

A utilização dos ARGs pode ser amplamente aplicada em imagens de profundidade, sua estrutura está sendo utilizada até em reconhecimento humano através da face. Este campo da ciência vem ganhando cada vez mais

espaço principalmente por motivos de segurança como a proteção de entrada de pessoas em ambientes.

Em CESAR e BLOCH (2001) os ARGs foram utilizados para a representação das características extraídas de faces humanas, como: sobrancelha, íris, lábios e narinas. A imagem toda da face não é necessária neste método de busca. Para a extração apenas das partes que serão utilizadas no processo é utilizado um método para a delimitação das informações relevantes, como olhos, nariz e boca (Figura 6).

FIGURA 6 – APLICAÇÃO DE MÉTODO PARA DELIMITAÇÃO DE INFORMAÇÕES RELEVANTES EM UMA IMAGEM DE UMA FACE

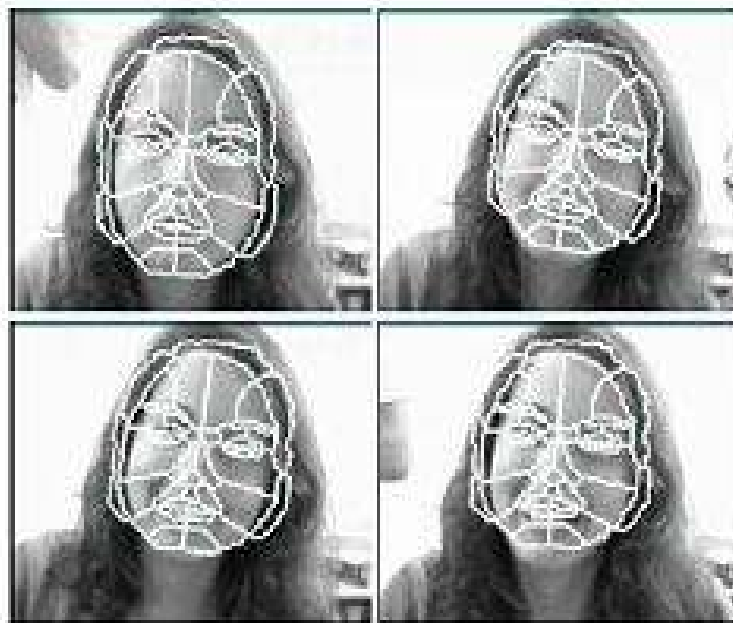


Este método mostrou-se rápido e eficiente mesmo nas ocorrências de olhos fechados e sorrisos. O método desenvolvido utiliza um algoritmo chamado *watershed* para segmentação baseada no gradiente da imagem, nesta fase, também são extraídos os atributos que serão utilizados nos ARGs para representar os vértices e arestas. Os atributos utilizados nos vértices dos ARGs foram a média do nível de cinza e a distância do centróide de cada

região ao limite pré-definido na fase da localização das partes relevantes da imagem.

Nas arestas foram utilizadas as informações de distância entre centróides de regiões adjacentes. Este método pode ser aplicado tanto em imagens como em seqüências de vídeo (GRACIANO, CESAR JR., BLOCH, 2003). A Figura 7 mostra as máscaras do modelo sobre os quadros segmentados.

FIGURA 7 – MÁSCARAS DO MODELO PROJETADAS SOBRE SEUS RESPECTIVOS QUADROS SEGEMENTADOS



A recuperação de imagens por conteúdo está ganhando espaço nas mais diversas áreas. Existe uma ciência muito explorada no campo de computação de imagens conhecida como Biometria, esta ciência é responsável por estudar as características individuais que nós seres humanos possuímos. Dentro da Biometria, a técnica do reconhecimento humano está sendo bastante utilizada em sistemas de segurança.

3.6 OUTRAS APLICAÇÕES

A esqueletização em conjunto com os ARGs foi utilizada em VIDAL et al. (2000), considerando apenas os pontos internos. Além da esqueletização na representação de regiões complexas, foi calculado o eixo médio, que é a união dos pontos da esqueletização e a distância entre cada um com o ponto mais próximo da borda. A união do eixo médio com a esqueletização foi realizada para atender aos casos em que imagens distintas possuem o mesmo esqueleto.

A esqueletização também foi utilizada em RUBERTO, RODRIGUEZ e CASTA (2002) para representação de ferramentas.

Essas ferramentas foram representadas através de imagens binárias, sua esqueletização é calculada e o resultado apresentado através de um ARG. A localização dos pontos, junções e curvas são importantes para descrever a topologia do objeto e conseqüentemente formar o esqueleto por meio de operadores morfológicos. Este esqueleto é, então, convertido no grafo ARG associando os pontos e as junções com os vértices e as curvas com as arestas. Os atributos utilizados representam características geométricas e topológicas. O esqueleto transformado em ARG é utilizado na comparação de imagens semelhantes, usando algoritmos de comparação entre grafos.

Com o avanço da Internet, as aplicações para a *web* têm crescido progressivamente. Em SCLAROFF, TAYCHER e CASCIA (1997) foi desenvolvida uma ferramenta para busca de imagens por conteúdo. Neste método foi usado um vetor de características para cada imagem, utilizado na localização de imagens semelhantes. O vetor representa o conteúdo pictórico da imagem, representando as características inerentes. Um vetor de “n” dimensões possui “n” características.

Em SCLAROFF, TAYCHER e CASCIA (1997) e BERRETTI, DEL BIMBO e VICARIO (2001) foi pesquisado a melhor forma de utilização de

característica para serem usadas nos vetores que representam as imagens. Neste caso, os pesquisadores optaram pelo histograma de cores e pela orientação.

Para suportar comparações entre imagens representadas por ARGs baseando-se em: regiões, relacionamento entre regiões, atributos das regiões e dos relacionamentos, foi utilizado em BERRETTI, DEL BIMBO e VICARIO (2001) um método de indexação e acesso baseado na própria estrutura ARG. Este método utiliza a segmentação baseada nas cores da imagem e o usuário tem duas opções para realizar a comparação entre as imagens: na 1º opção, pode-se utilizar uma imagem como exemplo e na 2º opção, o usuário pode desenhar regiões coloridas e seus relacionamentos.

Na prática este método requer grandes recursos computacionais pela complexidade na comparação entre as imagens representadas por grafos e na comparação dos subgrafos extraídos.

O conceito desenvolvido em JUNG (2001) e também utilizado em LIU e SUGENO (1996), adiciona os ARGs à lógica *fuzzy* formando os FARGs (*Fuzzy Attribute Relational Graph*). Neste método, foram utilizados alguns atributos para representação dos vértices e arestas como: nome, intensidade, cor, contraste, homogeneidade e tamanho (calculado em relação à quantidade de pixels existentes).

A lógica *fuzzy* foi aplicada para representação das informações dos vértices e arestas de maneira mais genérica, como: “pequeno” e “grande”. Este tipo de lógica permite maior flexibilidade na descrição de objetos ou cenas quando estes possuem valores indeterminados nos atributos dos vértices e arestas.

Ainda hoje, são poucas as aplicações que foram desenvolvidas para a recuperação de informações em vídeo. Nestas aplicações são considerados como características os movimentos dos objetos, tais como velocidade, trajetória e tamanho dos objetos contidos na cena. São restritos, também, os

trabalhos de recuperação de informações em áudio, sendo uma das razões a dificuldade de reconhecer e extrair informações de conteúdo deste tipo de objeto.

CAPÍTULO 4 - RECUPERAÇÃO DE IMAGENS POR CONTEÚDO

As imagens são representadas como um conjunto de elementos chamados de *pixels*. Os valores associados a cada *pixel* são obtidos do processo de quantização e correspondem à luminosidade associada à imagem. Estes valores são utilizados nos sistemas de recuperação de imagens por conteúdo (SRIC).

As informações resultantes dos SRIC buscam recuperar dados visuais que atendam a uma solicitação previamente especificada, baseando-se nas características extraídas das imagens.

Entre os SRIC pode-se exemplificar: o QBIC (FLICKNER, 1995), desenvolvido pela IBM, este sistema combina as características cor, textura, forma e esboço do objeto; o *Chabot* (OGLE e STONEBRAKER, 1995), sistema que agrupa informações de texto com o histograma de cores da imagem; o *Virage* (GUPTA e JAIN, 1997); o *VisualSEEk* (SMITH e CHANG, 1996), da Universidade de Columbia(USA), sistema que agrupa informações do histograma de cores com o relacionamento entre as mesmas; o SCARLET (LEE e KIM, 2001), baseado na forma; o RETIN (FOURNIER, CORD, PHILIPP-FOLIGUET, 2001) baseado na cor; o GRAS (RODRIGUES e ARAÚJO, 2002), baseado na estrutura, entre outros.

Os SRIC devem considerar as diferenças semânticas, a extração de características, a indexação e o uso destas informações com o objetivo de responder adequadamente a solicitação realizada.

A dificuldade de um SRIC é obter o resultado mais semelhante ao que o usuário deseja, levando em consideração além das etapas do processamento de imagens, as condições de aquisição como luminosidade e câmara.

As imagens resultantes de um SRIC não são necessariamente imagens idênticas à imagem exemplificada (PETRAKIS e FALOUTSOS, 1997). O

resultado da execução de uma aplicação geralmente contém imagens similares, pois a ocorrência de imagens idênticas é rara. E é essa a grande complexidade de um sistema que trabalha com informações obtidas do conteúdo das imagens, definir a semelhança baseando-se nas características extraídas.

Em MOURA et al. (2003) foi realizado um comparativo entre três diferentes técnicas de recuperação de imagens através do seu conteúdo. Os sistemas analisados foram o SCARLET, o RETIN, e o GRAS.

O sistema SCARLET (LEE e KIM, 2001) foi desenvolvido para extrair características da forma dos objetos em uma imagem através da Transformada de *Wavelets*. A Transformada de *Wavelets* codifica os sinais da imagem, calculando dois tipos de coeficientes: soma (coeficientes principais) e subtração (resíduos). Este método possui como vantagem o baixo custo de processamento e captura gradientes de bordas que sejam relevantes na imagem.

As informações utilizadas são os níveis de cinza em cada *pixel* da borda. Após a extração destes valores, cria-se um vetor e calcula-se a transformada sobre estes dados e não sobre a imagem inteira, ou seja, o *background* é descartado. Outra vantagem da utilização da transformada de *Wavelet* é que ela é irrelevante em relação a transformações como translação, rotação e escala.

O sistema RETIN (FOURNIER, CORD, PHILIPP-FOLIGUET, 2001) utiliza dois tipos de consultas: global e parcial. A consulta parcial é referente a objetos e áreas que são selecionadas dentro da imagem. A consulta global faz referência a imagem toda. Este método se baseia nas características cor e textura, utilizando histograma de cores no sistema HVS. Para a textura, são usados filtros de *Garbor*, que pode ser definido como a decomposição espectral do sinal que determina diferentes frequências e direções.

O sistema GRAS (RODRIGUES e ARAÚJO, 2002) baseia-se nas características globais gerando um grafo, onde podem extrair diversas informações como caminho mínimo, caminho máximo e números de ciclos.

Para a base que foi utilizada em MOURA et al. (2003), os sistemas RETIN e GRAS mostraram-se superior ao sistema SCARLET, sendo que na comparação entre os três sistemas, o sistema RETIN obteve o melhor desempenho.

Alguns SRICs utilizam métodos baseados em Inteligência Artificial que vêm ganhando espaço na manipulação de imagens por fornecerem grande precisão na recuperação.

A utilização de redes neurais pode ser usada para a extração de características e manipulação deste tipo de informação. Em BENDER e SANTOS OSÓRIO (2003) foram aplicados redes neurais artificiais (RNA) do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP) com algoritmo de aprendizado construtivo e incremental. Este algoritmo foi utilizado na recuperação de imagens estáticas do tipo *bitmap*, baseadas na característica cor e usando sistema de cores RGB ou HSV.

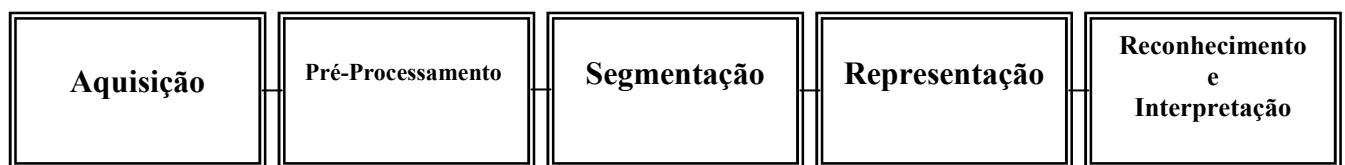
O método *ImageMatching (Imatch)* (BENDER e SANTOS OSÓRIO, 2003) escolheu RNAs pela capacidade que estas redes possuem em obter uma generalização de um padrão aprendido a partir de uma base de exemplos. A utilização de redes neurais também é utilizada em LOURENS et al. (2001). Neste método, após a extração das características, as informações são representadas através de ARGs.

Para que a comparação entre as imagens possa atender de maneira eficiente aos requisitos propostos, as imagens necessitam passar por algumas etapas (SILVA, 2000) que fazem parte do processamento de imagens. São elas: aquisição, pré-processamento, segmentação, representação, reconhecimento e interpretação (Figura 8). Estes processos são importantes, pois sua eficácia será proporcional ao sucesso de uma aplicação.

Para o bom êxito de um SRIC, este precisa (PETRAKIS, 2002b):

- Tratar imagens e consultas independente da complexidade do seu conteúdo e recuperar informações similares com a menor quantidade de erros possíveis;
- Ser rápido na resposta de informações.

FIGURA 8 – ETAPAS DE UM SRIC



4.1 CARACTERÍSTICAS

As características denotam propriedades da imagem que podem ser utilizadas na comparação entre imagens (MOURA et al., 2003). No processo de busca de imagens similares, não existe a característica “ideal”, mas sim, a característica que atende ao objetivo da consulta. A importância de uma determinada característica varia de acordo com o tipo de imagem utilizado, como por exemplo, a característica cor não é muito aplicada em métodos baseados em imagens médicas (LEHMANN et al., 2004).

Em VIEIRA (2002), são exemplificados métodos de mineração de imagens, que podem auxiliar na identificação das características que mais se destacam para classificar as imagens. Para a recuperação de informações similares, a utilização de apenas uma característica muitas vezes não é suficiente, sendo necessário um conjunto de características para a obtenção de resultados mais satisfatórios.

As características podem ser baseadas na parte externa ou interna das imagens. As baseadas nas partes externas são mais utilizadas quando o foco da aplicação é voltado aos atributos morfológicos da imagem. As características internas demonstram as propriedades refletivas da imagem como cor e textura.

Para a definição de quais atributos serão usados, deve-se analisar o objetivo da consulta, pois em uma mesma imagem, a importância das características varia de acordo com este objetivo.

Sistemas baseados unicamente na característica cor irão recuperar imagens com uma composição similar de cor, independentemente do contexto das imagens serem diferentes.

Uma das grandes vantagens de se utilizar a característica cor, é o fato de que na ocorrência de uma oclusão na imagem de exemplo, a recuperação das informações fica menos cara que a utilização de outras características.

Ao segmentar uma imagem baseada na característica cor, pode-se acrescentar informações importantes para cada região separada, como por exemplo: quantidade de *pixels* que possuem aquela cor específica, tamanho, posição e relacionamento. Sendo que estas informações podem ser representadas por um grafo, onde cada vértice representa as cores segmentadas e as arestas representam os relacionamentos entre estas cores (OLIVEIRA et al., 2002).

A característica textura representa a distribuição espacial dos elementos da imagem e de uma região. Ela é a representação de uma imagem quando esta não possui apenas uma cor ou uma intensidade, mas um conjunto deste tipo de informação. Como definida em SCHWARTZ e PEDRINI (2003) a textura é um conjunto de medidas estatísticas, descrevendo as variações locais dos valores de *pixels* que se repetem de maneira regular ou aleatória na imagem.

Existem três abordagens principais que são usadas para definição de textura, descritas a seguir (SCHWARTZ e PEDRINI, 2003).

- Abordagem Estatística: é extraído um conjunto de medidas do padrão. Para estes cálculos podem ser utilizados entropia, correlação e contraste;
- Abordagem Estrutural: são baseadas em valores dispostos regularmente e de forma repetida;
- Abordagem Espectral: são baseadas no espectro de *Fourier*.

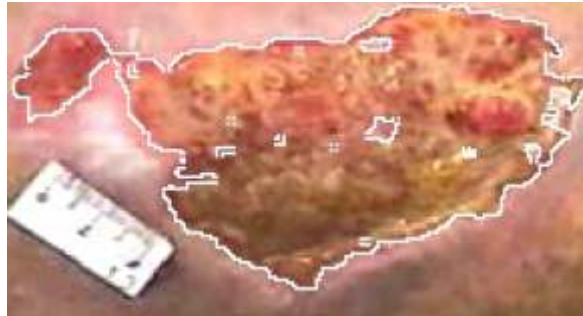
A textura pode ser localizada em superfícies de objetos como: madeira e areia. Abaixo um exemplo desta característica encontrada na madeira:

FIGURA 9 – EXEMPLO DA CARACTERÍSTICA TEXTURA



Outra característica usada é a forma, que representa a borda ou contorno de um objeto. Esta característica é bastante utilizada em imagens médicas para a localização de possíveis tumores (MOURA et al., 2003). A forma corresponde a informações globais que podem ser obtidas nas imagens. Na figura 10 é exemplificado a utilização da característica forma.

FIGURA 10 – EXEMPLO DA CARACTERÍSTICA FORMA



A vantagem de utilizar informações como cor e textura é a independência em relação à posição, orientação, tamanho, forma e brilho do objeto. O usuário que deseja selecionar imagens similares pode simplesmente informar a cor que deseja encontrar em uma imagem ou ainda a disposição, ou seja, o relacionamento que possíveis regiões coloridas podem ter.

Um exemplo de uma consulta baseada em regiões e relacionamentos utilizando a característica cor pode ser: “Desejo encontrar imagens que possuam regiões amarelas ao lado de regiões azuis” (OLIVEIRA et al., 2002).

São muitas as informações que podem ser extraídas de uma imagem após o seu processamento. Algumas destas informações podem não possuir grande importância, pois, seus valores não possuem destaque, tornando as informações redundantes em relação às demais.

Exemplificando este tipo de ocorrência, serão citados dois exemplos em que as características possuem valores redundantes (RUZON e TOMASI, 2001):

1. Extração da característica cor em uma imagem composta de apenas uma cor. Histogramas com uma única cor não são de interesse do ponto de vista da indexação, somente imagens com no mínimo duas cores;
2. Segmentar uma imagem de uma bola baseada na sua forma (a imagem será composta por apenas uma região).

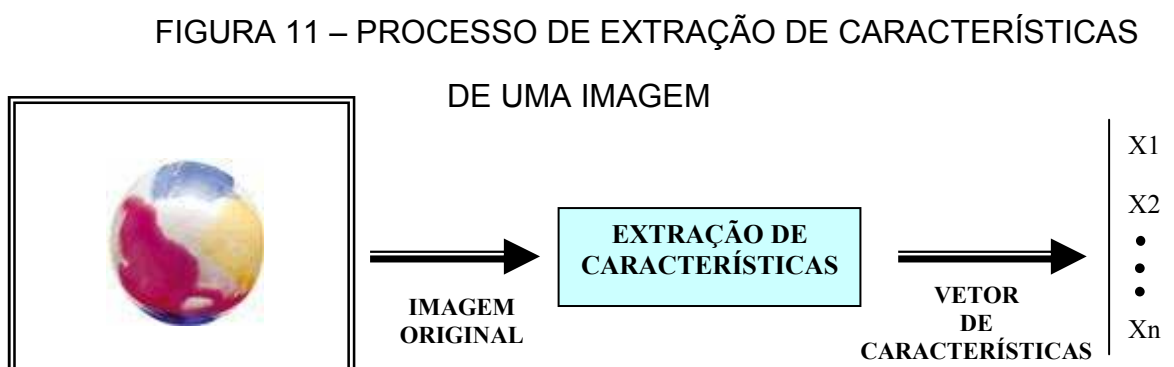
Para resolver este problema e melhorar as consultas a fim de encontrar imagens similares, podem-se utilizar apenas informações que estejam distribuídas na imagem.

Para que sejam descartadas informações que não são importantes dentro do conjunto dos dados extraídos da imagem, utilizam-se métodos de redução de dimensão. Em LEE, MEER e PARK (1998) é utilizado um método para encontrar as características homogêneas dentro da imagem. Esta informação é de suma importância para definir o processamento que será utilizado.

Existem diversos métodos que realizam a redução de dimensão. Em ABREU (2003), são citadas as técnicas mais populares como a transformada KL (*Karhunen-loeve Transform*), o agrupamento inteligente por coluna e algoritmos de mineração de dados. Os métodos de redução de dimensão possuem como grande desvantagem o alto custo computacional que é exigido.

4.2 EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS

O processo de extração das características das imagens produz um conjunto de “n” características que, juntas, formam o vetor de características. Este vetor é armazenado junto com a imagem em uma base de dados adequada. Através destes vetores, a imagem é indexada e posteriormente recuperada. A Figura 11 apresenta o processo de extração de características.



Os vetores de características gerados formam um espaço multidimensional. As imagens são manipuladas como objetos dentro deste espaço. Estes objetos podem ser representados por um ponto no espaço multidimensional ou por diversos polígonos distribuídos (ABREU, 2003). Além das informações contidas nos atributos, pode-se levar em consideração, em uma comparação de vetores, a localização espacial dos objetos inseridos no espaço multidimensional.

Métodos como a utilização de algoritmo genético podem ser usados para a extração de características. A utilização deste tipo de algoritmo é demonstrada em BRUMBY et al. (1999), onde a extração de característica é aplicada em imagens de fotografias aéreas, mas precisamente, em imagens de lagos e rios em uma floresta. O método desenvolvido é conhecido como GENIE.

Os algoritmos genéticos são utilizados não só para a extração de características, mas também para outros processos de manipulação de imagens como: detecção de borda, segmentação e compressão.

Nas imagens em que se pode considerar a característica cor como fator importante na busca de imagens similares, a utilização de histogramas (SCLAROFF, TAYCHER, CASCIA, 1997) e métrica de *Minkowski* (MOURA et al., 2003) são bastante usuais para medir a distribuição estatística da imagem.

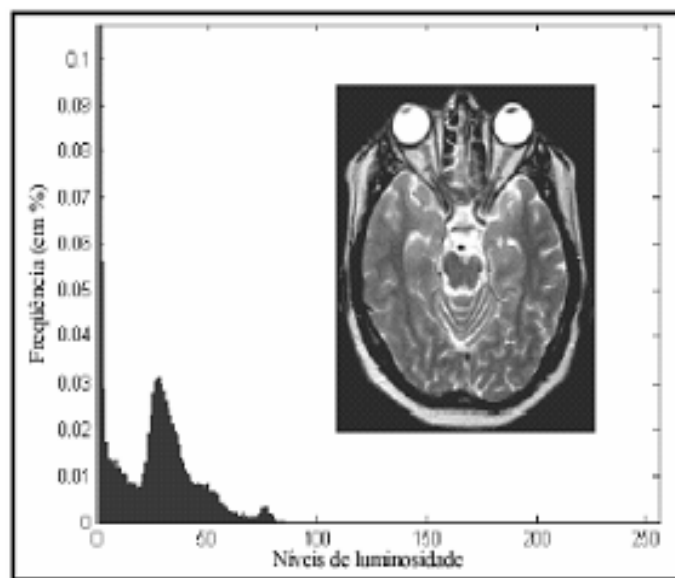
Os histogramas são ferramentas muito utilizadas em extração de características e serão amplamente citados neste trabalho, abaixo será detalhado um pouco mais sobre os histogramas.

Os histogramas representam a descrição das cores existentes na imagem e a quantidade de *pixels* que existe em cada cor. Eles são utilizados em sistemas de recuperação de informações baseado no conteúdo de imagens basicamente por dois fatores (BUENO, 2002):

1. É computacionalmente simples e barato calcular histogramas de cores;
2. Os histogramas não são alterados caso ocorram pequenas alterações na imagem;

A Figura 12 demonstra um exemplo de uma imagem e seu respectivo histograma.

FIGURA 12 – UM EXEMPLO DE UMA IMAGEM E SEU HISTOGRAMA



Um exemplo da utilização de histograma (SCLAROFF, TAYCHER, CASCIA, 1997), é a sua aplicação em uma imagem de exemplo e a comparação com os histogramas das imagens existentes no banco de dados. A comparação entre histogramas pode ser realizada baseando-se na norma euclidiana (MATHIAS e CONCI, 1997).

Na comparação, devem-se considerar informações baseadas em valores relativos e não absolutos. Isto é importante, pois nem sempre se tem imagens com mesmas dimensões.

A norma euclidiana é usada em alguns algoritmos na comparação de histogramas. A desvantagem de se utilizar apenas esta técnica é que esta não relaciona, nos resultados, todas as imagens que possuem histogramas similares (MATHIAS e CONCI, 1997).

Deve-se atentar à utilização dos histogramas, pois estes podem trazer falsos alarmes, ou seja, a consulta pode retornar imagens que não são semelhantes à imagem desejada, pois histogramas iguais podem representar imagens diferentes. O ideal seria acrescentar um outro nível de comparação, utilizando um filtro subsequente que use outro conjunto de características para completar a procura de imagens similares. Assim, métodos de extração que utilizam metodologias diferentes, ao atuarem de forma integrada, devem propiciar uma melhor discriminação entre as imagens.

Outro item que deve ser levado em consideração é que a indexação por histogramas funciona melhor quando os valores são esparsos dentro do espaço vetorial que representa o histograma (MATHIAS e CONCI, 1997).

Variações de histogramas foram desenvolvidas para se adaptarem a necessidades específicas. O histograma métrico é um tipo de histograma que permite comparar imagens de diferentes tamanhos e mapear em faixas de quantização diferentes. A dimensão deste histograma varia de uma imagem para outra.

Em BUENO (2002) são apresentados resultados de pesquisas que comprovam que os histogramas métricos chegam a ser até dez vezes mais rápidos que histogramas convencionais.

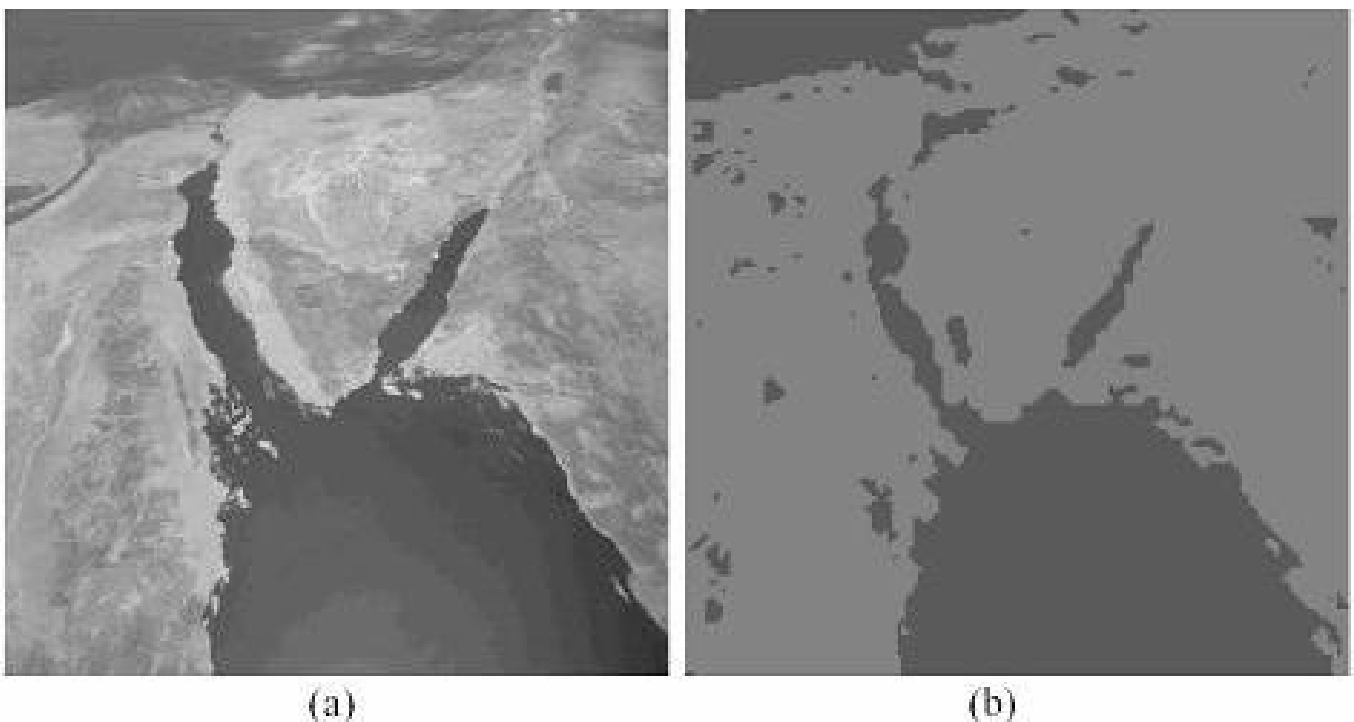
Outro tipo de histograma é o histograma de ângulos, este histograma é baseado nos ângulos encontrados entre um ponto de uma imagem com um ponto em outra imagem. Este histograma pode ser utilizado como um atributo de arestas em uma representação baseada em ARG. A adição de informações, como distância, aos valores do histograma de ângulos está sendo utilizada em

WANG e MAKEDON (2003), estas informações serão úteis para considerar os relacionamentos espaciais.

Para a extração da característica textura pode-se utilizar os filtros *Garbor*, que é a decomposição espectral do sinal que determina diferentes frequências e direções (MOURA et al., 2003). Em SCHWARTZ e PEDRINI (2003), o cálculo de textura em imagens de satélite utiliza matrizes de co-ocorrência e vetores de características. Estes vetores são calculados através de descritores estatísticos. Os descritores são utilizados para extrair as informações contidas nas matrizes.

A matriz de co-ocorrência responde pela quantidade de diferentes combinações, referentes a valores de intensidade dos *pixels* existentes em uma imagem. A Figura 13 exemplifica uma imagem utilizada em SCHWARTZ e PEDRINI (2003) que usa matriz de co-ocorrência.

FIGURA 13 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO UTILIZADA EM SCHWARTZ e PEDRINI (2003), (a) A IMAGEM ORIGINAL E (b) UMA IMAGEM CLASSIFICADA



Para a extração da característica forma, alguns métodos utilizam a transformada de *Wavelet* sobre mapa de bordas em imagens monocromáticas. Na transformada de *Wavelet*, os detalhes são eliminados (MOURA et al., 2003). A vantagem desta técnica em relação à transformada de *Fourier* é que o processamento é mais simples, pois não são utilizados números complexos, mas informações dos níveis de cinza de cada *pixel* da borda. O cálculo de similaridade é baseado na distância Euclidiana (MOURA et al., 2003).

A detecção de informações como borda é muito comum em imagens de profundidade (LEE, MEER, PARK, 1998), esta característica é a delimitação de uma região dentro das imagens (SILVA, 2000). A borda pode ser localizada pela imagem de gradiente, apesar deste processo ser bastante sensível a ruído (SILVA, 2000). Para o cálculo do gradiente define-se um limiar, um valor limite, com o qual são comparados todos os *pixels* da imagem, ou seja, valores que atendem a este limiar especificado podem ser considerados como borda (SILVA, 2000).

Definida a borda de uma imagem, pode-se definir: o tamanho de cada região segmentada, o tamanho da borda (perímetro) que delimita o espaço geral da imagem e a quantidade de regiões existentes. Estas informações podem ser extremamente úteis no que diz respeito à consulta de imagens (SILVA, 2000).

Em PULLI e PIETIKAINEN (1993) foram utilizados métodos para a segmentação de imagens de profundidade baseados nas curvaturas das superfícies. Neste método, as superfícies são reconhecidas baseadas no ângulo e tamanho. Após o reconhecimento das superfícies, a imagem é segmentada como se fosse uma imagem colorida baseada nos princípios das três bandas. Este processo utiliza a distância Euclidiana e a imagem segmentada é representada através de um grafo.

A comparação entre vetores pode ser de diversos tipos, abaixo são citadas algumas maneiras de comparar vetores de características:

1. Utilização da distância Euclidiana;
2. Comparação dos valores de dois vetores levando em consideração apenas uma determinada dimensão (característica). Os valores desta dimensão devem ser iguais ou diferirem em uma percentagem determinada;
3. Comparação dos valores de todas as dimensões e definição de limiares diferentes para cada dimensão. Os valores usados nos cálculos podem ser distintos ou proporcionais.

O item um não é bastante utilizado na comparação entre vetores quando os valores das dimensões não são muito diferentes.

Sistemas que possuem imagens simples e que através de apenas uma característica pode-se encontrar imagens similares utilizam o item dois.

O item três é bastante utilizado quando um sistema de comparação é flexível o bastante para serem definidos prioridades, ou seja, pode-se definir que uma característica possui maior importância que outras.

CAPÍTULO 5 - CONSULTAS

O desenvolvimento de interfaces amigáveis está cativando um número grande de usuários interessados em realizar buscas de informações através de informações multimídia. Em YOSHITAKA e ICHIKAWA (1999) foi desenvolvida uma pesquisa para avaliação dos métodos mais utilizados como comunicação entre usuário e aplicação.

Um dos métodos para auxiliar a consulta nas aplicações é o chamado “consulta por exemplo”. Neste método, o usuário informa uma imagem para ser usada de exemplo na busca de outra imagem semelhante. Um exemplo da aplicação deste método ocorre em PETRAKIS, FALOUTSOS e LIN (2002), onde o usuário pode fazer a seguinte consulta: “Desejo os exames que são parecidos com os exames do Sr. João Pereira”.

Também como “consulta por exemplo”, o usuário pode simplesmente selecionar uma foto (HIRATA e KATO, 1992) ou até desenhar a forma da imagem da qual está procurando. A utilização da foto é bastante intuitiva e expressa condições mais naturais que simplesmente palavras, mas a sua restrição ocorre na consulta de imagens que não estão disponíveis no banco de dados para serem utilizados de exemplo. Na consulta baseada no desenho (YOSHITAKA e ICHIKAWA, 1999; MATHIAS e CONCI, 1997), o usuário deve ter um mínimo de conhecimento para saber se expressar através de círculos, linhas e quadrados.

Outro método utilizado, como comunicação entre usuários e aplicações, é a palavra chave. Neste método é definida uma descrição textual que é relacionada com as informações multimídia para o auxílio na busca. Ele pode ser aplicado na localização de estradas, onde as palavras chaves são suficientes na localização destas informações, pois apenas pelo nome da estrada pode-se localizar o que deseja.

Este método não permite a consulta por sinônimos e a descrição é feita por uma pessoa, onde apenas a sua percepção é utilizada. Apesar disto, palavras chaves são muito utilizadas pela facilidade de implementação e resposta imediata.

A interação dos usuários no processo de busca é muito importante. Um sistema ideal possibilitaria que o usuário fornecesse em uma ordem especificada, as características que são mais relevantes em uma busca, ou ainda, informar se a imagem desejada é uma imagem colorida ou em nível de cinza. Estas informações irão definir a seleção das imagens e os métodos que serão utilizados durante a consulta (SCLAROFF, TAYCHER, CASCIA, 1997). Outro item que tornaria um sistema ideal, é a permissão de inclusão de novas características sem que sejam necessárias grandes mudanças no sistema (ABREU, 2003).

Pode-se definir também, antes de realizar a consulta, se as características selecionadas devem basear-se em informações globais (imagem toda) ou informações locais (regiões segmentadas) (MOURA et al., 2003).

A definição de limiares utilizada na comparação entre as imagens pode ser fornecida pelo próprio usuário ou definida dentro do sistema de comparação. Há também possibilidades do usuário informar situações do tipo: “alto”, “médio” e “baixo” (SCLAROFF, TAYCHER, CASCIA, 1997).

Para a formulação da consulta podem-se realizar diversos tipos de combinações, através das informações obtidas da extração de características. Mas o mais importante é compatibilizar a consulta do usuário com o processo de segmentação realizado pelo sistema de imagens. Como exemplo, pode-se citar um caso de incompatibilidade de consulta e processo: o usuário realiza a busca de informações baseada apenas na característica cor, o resultado do processamento das imagens é uma imagem de um círculo e um quadrado da mesma cor. O ideal, neste caso, seria a combinação das características forma

e cor (RUZON e TOMASI, 2001). Como exemplo, o usuário poderia realizar a seguinte consulta: “Desejo obter uma imagem que possua um círculo (forma) da cor amarela (cor)”.

5.1 FILTROS

Para auxiliar a consulta entre imagens similares, podem-se utilizar filtros com o objetivo de amenizar o processamento total que envolve sistemas que realizam a comparação entre informações multidimensionais, como as imagens. Estes filtros visam a realização de todo o processamento em um número menor de imagens.

O filtro de informações contribui para que os usuários construam parâmetros de consulta auxiliando na busca.

Os filtros podem ser utilizados também, como uma primeira etapa de uma consulta, onde podem ser utilizados métodos que façam uma análise geral da imagem levando em consideração informações globais. Nestes casos, podem ser utilizados histogramas, medida de curvatura, desvio – padrão e média (BUENO, 2002). Na Figura 14 é exemplificado um sistema que utiliza as cores para filtrar informações (OLIVEIRA et al., 2002).

FIGURA 14 – EXEMPLO DE UMA APLICAÇÃO QUE UTILIZA A CARACTERÍSTICA COR PARA REALIZAR FILTROS ANTES DA BUSCA



Em PATTANAIK e YEE (2002) foi aplicado como uma primeira etapa de filtragem, os filtros Gaussianos. Estes filtros são utilizados para amenizar a presença de grandes contrastes (iluminação) e removê-los preservando pequenos detalhes das regiões escuras e iluminadas (como por exemplo: a luz de um abajur na Figura 15). Este método foi aplicado em uma cena, onde a imagem representa um ambiente em uma casa.

Em cenas comuns, a ocorrência da iluminação de uma lâmpada pode afetar, e muito, o processamento e o reconhecimento de uma imagem de profundidade similar. As imagens do nosso cotidiano normalmente são compostas pela reflexão da luz nas superfícies dos objetos. Sendo que a reflexão desta luz depende da quantidade de luz que está incidindo no objeto e a capacidade de reflexão que a superfície possui. Às vezes, a ocorrência de luz pode provocar a perda de pequenos detalhes existentes na imagem.

FIGURA 15 – IMAGEM UTILIZADA EM TAN e MULHEM (2001) COM A OCORRÊNCIA DE LUZ E SOMBRAS



A utilização de filtros, na grande maioria das vezes, torna-se uma ferramenta crucial, principalmente se considerarmos sistemas com alto custo computacional como sistemas de recuperação de imagens. Em LEE, MEER e PARK (1998) é destacada a importância da utilização de filtros antes da consulta propriamente dita.

CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DA TEORIA DOS GRAFOS NO PROJETO SRIC3D

O projeto SRIC3D está sendo desenvolvido pelo grupo IMAGO⁶. Este projeto tem como objetivo realizar a recuperação das informações em imagens de profundidade através do seu conteúdo. Na computação de imagens, existem grandes quantidades de dados a serem manipulados, devido a isso, a teoria dos grafos está sendo investigada para auxiliar nas soluções que envolvem recuperação de imagens por conteúdo.

Diversas aplicações usam a teoria dos grafos em seus métodos de processamento de imagens. Algumas aplicações tratam as imagens como grafos, outras podem basear-se nos grafos para descrever as relações entre os objetos de uma imagem.

Em FALCÃO, STOLFI e LOTUFO (2004) foi desenvolvido um método de segmentação chamado *Image Foresting Transformation* (IFT). Apesar de este método ser desenvolvido para realizar a segmentação em imagens, ele poderia ser utilizado para as mais diversas etapas do processamento. O método IFT transforma imagens de escala de cinza em grafos, calculando seus caminhos mínimos, que são utilizados para a obtenção de objetos de uma imagem.

Em FALCÃO, STOLFI e LOTUFO (2004) foi descrita a utilização deste método em crescimento de região, detecção de borda e transformação da distância Euclidiana. Todas estas técnicas citadas utilizam o mesmo algoritmo do método IFT com os mesmos parâmetros, alterando somente os valores utilizados. Estas técnicas, mesmo utilizando o mesmo algoritmo, podem obter como resultados, grafos diferentes com diferentes valores nos vértices e relacionamentos. Mesmo que o grafo resultante seja distinto, a representação

⁶ www.inf.ufpr.br/imageno

das informações será a mesma, os *pixels* são representados pelos vértices do grafo e cada adjacência entre esses *pixels* é representada pelas arestas.

O método ITF, como descrito acima, é baseado em grafos e sua funcionalidade é totalmente dependente da interatividade do usuário. O ponto de partida do processamento é fornecido pelo usuário, que através de uma interface “marca” o que está dentro e o que está fora do objeto, este processo é mostrado da Figura 16. Este método mostrou-se bastante eficiente em imagens médicas por fornecer a organização e recuperação rápida e descentralizada das informações de pacientes, principais anseios da comunidade médica objetivando auxílio ao diagnóstico. Como as imagens são representadas por grafos, métodos conhecidos de procura entre grafos podem ser utilizados.

Para uma representação mais fiel de uma imagem e para evitar a ocorrência de oclusão foram usadas, em AHMADYFARD e KITTLER (2002), múltiplas representações de para cada vértice da imagem.

FIGURA 16 – EXEMPLO DA APLICAÇÃO UTILIZADA EM FALCÃO, STOLFI e LOTUFO (2004), A LINHA BRANCA REPRESENTA A PARTE INTERNA DA IMAGEM E A LINHA ESCURA DELIMITA A PARTE EXTERNA



6.1 IMAGENS DE PROFUNDIDADE

As imagens de profundidade (*range image*) são bastante utilizadas em processamento de imagens por possuírem informações tridimensionais (SILVA, 2000). Estas informações fazem com que duas imagens representem uma mesma cena e ao mesmo tempo, serem distintas. Isto ocorre por serem extraídas em ângulos diferentes (ZHIEN, KE, TANFENG, 1995).

As imagens de profundidade fornecem informações geométricas sobre os objetos, a intensidade de luz da cena e propriedades de refletância dos objetos (LEE, MEER, PARK, 1998). Estas imagens produzem, através de diversos ângulos, a superfície total de uma face da imagem. Esta análise não é trivial e têm sido uma das grandes dificuldades da visão computacional, ou seja, eliminar os problemas de oclusão e imprecisão na segmentação para obter uma reconstrução sem “lacunas”.

Os problemas da segmentação tornam-se sérios em relação às condições de imagens e ângulos de visão (AHMADYFARD e KITTLER, 2002).

Existem muitos métodos para fazer a reconstrução total de uma superfície, como a utilização de triangulação (WU, SILVA, MÁRQUEZ, 2000). Neste método, as superfícies são reconstruídas através do agrupamento de diversos ângulos de uma mesma imagem. Os modelos são reconstruídos baseando-se nos pontos adjacentes da imagem e são eficientes em reconstruir objetos sem “lacunas” entre faces adjacentes. Na Figura 17 é exemplificada uma imagem utilizada em WU, SILVA e MÁRQUEZ (2000).

FIGURA 17 – EXEMPLO DE UMA FIGURA UTILIZADA EM WU, SILVA e MÁRQUEZ (2000)

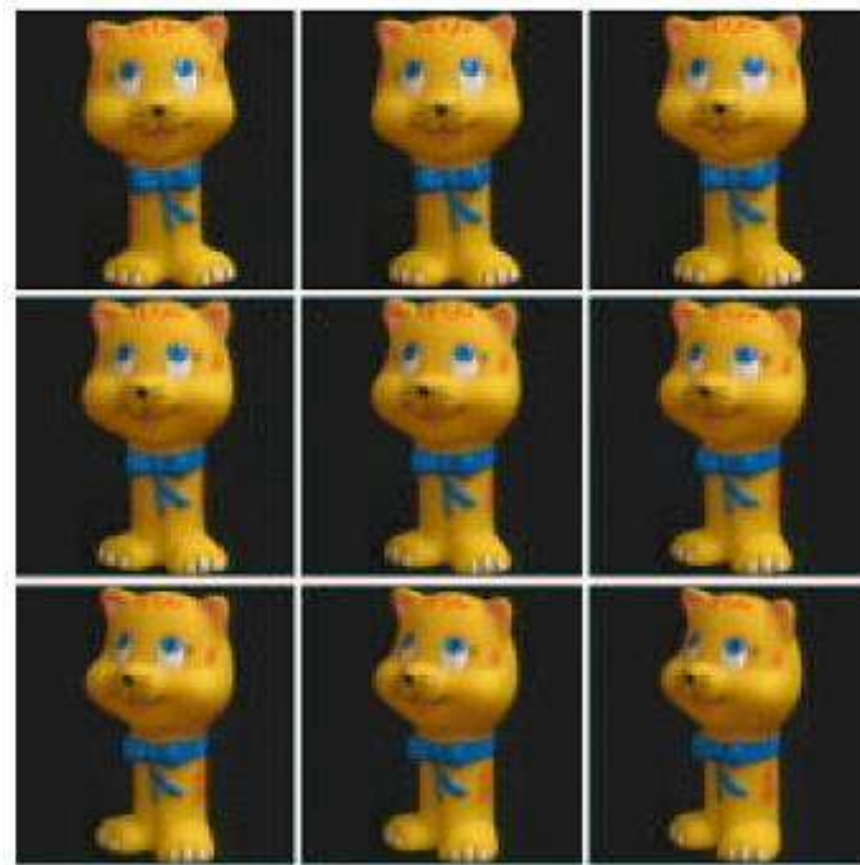


Para a análise da imagem, é necessária a separação do que é fundo da imagem e o que são os objetos pertencentes a esta imagem, este processo muitas vezes depende de grande processamento.

Em muitos métodos para experimentação, são utilizados fundos pretos e objetos brancos para análise como ocorrem em LEE, MEER e PARK (1998). Em TAYCHER e DARELL (2001) os *pixels* são analisados um por um, a verificação se o *pixel* pertence à imagem e não ao fundo, é feita através da existência de uma oclusão em um espaço vazio. Esta oclusão é baseada em outras vistas obtidas da mesma imagem. A utilização de diversas vistas auxilia na variação de iluminação que cada vista pode possuir, este método foi utilizado para a detecção de pessoas em ambientes.

Na Figura 18 são demonstradas várias vistas de uma mesma imagem.

FIGURA 18 – EXEMPLO DE VÁRIAS VISTAS DE UMA MESMA IMAGEM

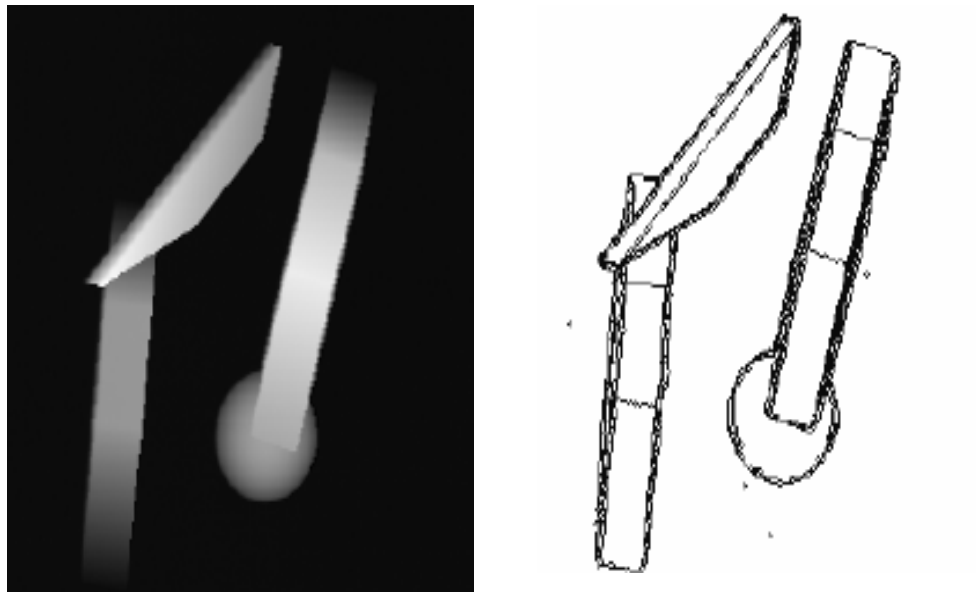


As imagens de profundidade possuem, muitas vezes, informações que não são necessárias no momento de uma consulta. Itens como sombras e oclusões parciais são informações que devem ser descartadas.

Combinações de histogramas baseados na intensidade, na norma e na curvatura (LEIBE, HETZEL, LEVI, 2001) demonstraram que este tipo de método consegue satisfazer consultas, em que ocorrem sombras ou oclusões, de maneira eficiente e rápida. Estas características não são muito complexas de calcular e possuem informações que descrevem a imagem corretamente, no método aplicado em LEIBE, HETZEL e LEVI (2001) foram utilizados valores proporcionais nos histogramas para compensar os diferentes tamanhos dos objetos.

Abaixo na Figura 19 é apresentado um exemplo de imagem de profundidade e o seu resultado após a etapa de segmentação:

FIGURA 19 – EXEMPLO DE IMAGEM DE PROFUNDIDADE E SUA SEGMENTAÇÃO



6.2 INDEXAÇÃO

A indexação é o processo que organiza eficientemente as informações em um banco de dados. Nesta etapa do processamento de imagens as informações organizadas são armazenadas para posterior recuperação.

No desenvolvimento de um sistema que possa fazer a indexação de um conjunto de imagens, deve-se primeiramente saber qual deve ser a resposta retornada ao usuário (“o quê indexar?”). Assim, pode-se definir uma estratégia de indexação (“Como indexar?”).

As estruturas de indexação ou métodos de acesso são utilizadas para acelerar a busca de dados, elas visam a otimização da recuperação dos dados armazenados, como por exemplo, em um vetor de características. As

estruturas de indexação são ferramentas fundamentais que habilitam os sistemas gerenciadores de dados a eficientemente armazenar e recuperar informações em um grande volume de dados.

As estruturas de dados denominadas árvores são usadas para otimização do processo de localização de informações baseadas em imagens. As árvores são grafos conexos e acíclicos, adequadas para armazenar e manipular as regiões de interesse de uma imagem, oferecendo uma solução eficiente em termos de espaço de armazenamento. Estas estruturas consideram as imagens como sendo conjuntos de objetos (linhas, círculos, retângulos, polígonos, etc.) dentro do espaço multidimensional.

As técnicas de indexação podem ser classificadas em três categorias. A primeira agrega as estruturas que foram derivadas da estrutura de indexação *KD-tree*, alguns exemplos desta categoria são: *VamSplit*, *KD-Tree*, *LSD-Tree* e a *Hybred-Tree*. A segunda envolve as estruturas derivadas da *R-Tree* (PETRAKIS, FALOUTSOS, LIN, 2002; OTTERMAN, 1992), alguns exemplos são: *SS-Tree*, *Sr-Tree*, *VamSplit R-Tree* e a *A-Tree*. Na terceira classificação, estão as estruturas que são o resultado de diversas combinações de metodologias com o objetivo de melhoramento de desempenho, alguns exemplos desta categoria são: *Va-Tree*, técnica da pirâmide e a *IQ-Tree* (PATRAKIS e FALOUTSOS, 1997).

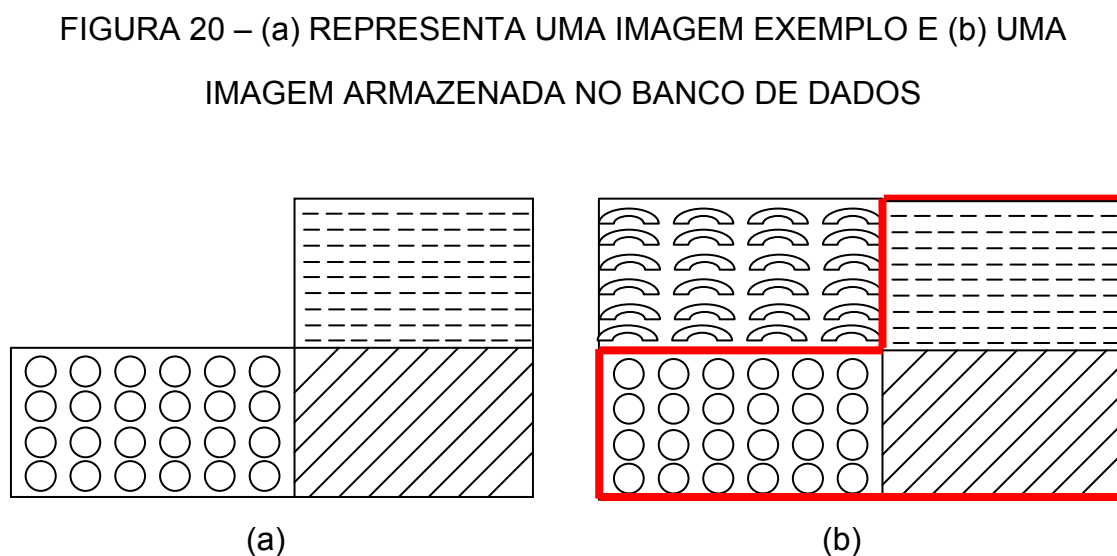
A *R-Tree* é aplicada em diversas técnicas que realizam a recuperação de imagens por conteúdo. Esta estrutura balanceada de dados espaciais é eficiente na manipulação de estruturas multidimensionais como as imagens. A *R-Tree* é bastante apropriada para dados do tipo polígono, além de ser uma estrutura de fácil implementação.

Classificar estruturas organizadas em grafos é uma tarefa bastante difícil, pois são estruturas que não possuem uma ordenação simples e objetiva. A indexação de números de 1 a 10, por exemplo, é bastante simplificada, consegue-se definir claramente os números maiores e os menores de seis.

Pouco tem-se esforçado para o desenvolvimento de estruturas de indexação eficiente. Como a indexação dos grafos não é trivial, podem-se utilizar classificações indiretas. Estas classificações têm por objetivo elaborar um mecanismo que possa endereçar as informações para desempenhar a busca. Assim, através de um filtro, serão eliminadas as falsas candidatas, reduzindo a quantidade de informações a serem pesquisadas.

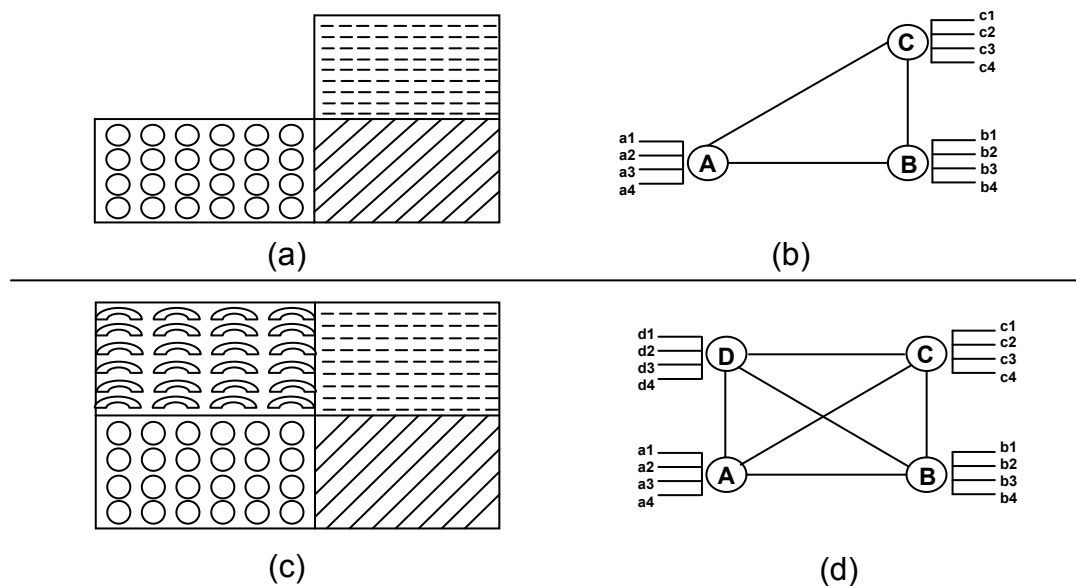
Em ABREU (2003) é demonstrado um método que faz a comparação entre regiões baseando-se nas características existentes em cada uma delas. Voltando para o uso em grafos, pode-se utilizar esta comparação para classificar as regiões existentes no banco de dados que possuem características similares com as regiões de exemplo. Assim, quando for utilizado um método de comparação entre grafos a fim de localizar grafos isomorfos, a quantidade de grafos utilizados na comparação poderá ter sido reduzida, o que acarretará em uma melhora de desempenho no processo.

Abaixo será exemplificada as etapas da comparação entre dois grafos. Na figura 20 é demonstrada duas imagens, a imagem (a) representa uma imagem de exemplo e a imagem (b) uma imagem armazenada no banco de dados. A imagem (b) contém a imagem (a), conforme destaque.



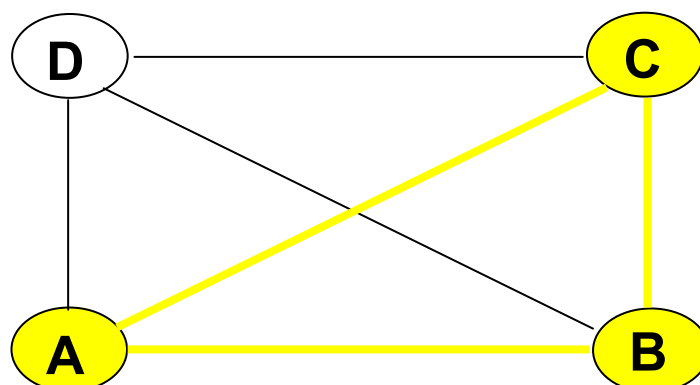
Na seqüência da comparação entre dois grafos, tem-se a representação das imagens através dos ARG's. A figura 21 demonstra a imagem de exemplo (a), o ARG da imagem de exemplo (b), a imagem armazenada no banco de dados (c) e o ARG que representa a imagem armazenada (d).

FIGURA 21 – (a) REPRESENTA UMA IMAGEM DE EXEMPLO, (b) ARG DA IMAGEM DE EXEMPLO, (c) UMA IMAGEM ARMAZENADA E (d) ARG DA IMAGEM ARMAZENADA



A figura 22 mostra de maneira simplificada a sobreposição do grafo da imagem de exemplo e da imagem armazenada no banco. Verifica-se que o grafo da imagem de exemplo está contido no outro grafo, ou seja, os dois grafos comparados possuem isomorfismo entre subgrafos.

FIGURA 22 – VISUALIZAÇÃO DOS GRAFOS SOBREPSTOS



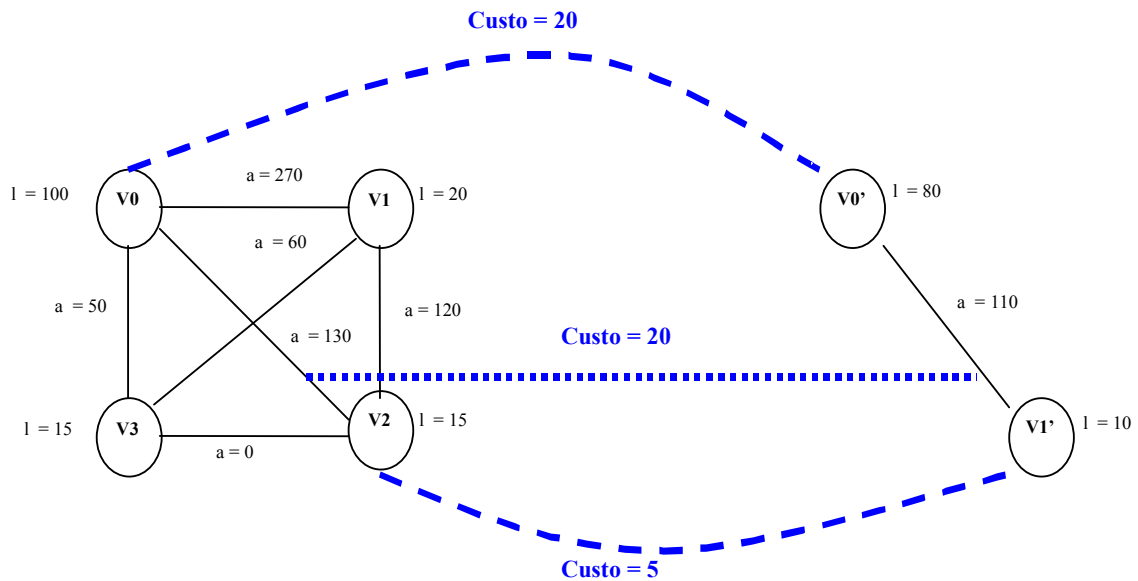
O melhor desempenho de um banco de dados com informações multimídia depende da melhor representação utilizada, do tipo de consulta permitida e da eficiência da técnica usada na recuperação (PETRAKIS, 2002a). Todos estes itens devem ser analisados a fim de proporcionar eficiência em um SRIC. De acordo com ABREU (2003), os requisitos fundamentais para um SRIC são: extração de características, métodos de acesso às informações armazenadas e os mecanismos de consultas.

6.3 COMPARAÇÃO ENTRE GRAFOS

Na comparação entre grafos, a meta é encontrar um mapeamento bijetor entre os vértices de um grafo e de outro, onde a estrutura das arestas permanece inalterada. Quando uma função entre dois grafos pode ser mapeada, então os grafos são isomorfos (MESSMER, 1995).

A comparação entre grafos envolve um ou vários grafos: os modelos armazenados no banco de dados (conhecidos) e o grafo de consulta (conhecido em tempo real). Na Figura 23 é mostrado um exemplo dos custos de dois grafos mapeados (PETRAKIS e FALOUTSOS, 1997).

FIGURA 23 – REPRESENTAÇÃO DOS CUSTOS NA COMPARAÇÃO DOS VÉRTICES E ARESTAS DE UM ARG. NESTE EXEMPLO FORAM UTILIZADOS OS ATRIBUTOS “a” (ÂNGULO COM DIREÇÃO HORIZONTAL DA LINHA QUE CONECTA OS CENTROS DAS MASSAS DOS VÉRTICES) E “l” (TAMANHO DA BORDA)



Em um banco de dados contendo grafos, dois tipos de buscas por similaridade podem ser aplicados: busca no grafo inteiro e busca em subgrafos (PAPADOPOULOS e MANOLOPOULOS, 1998). No primeiro tipo de busca, é necessário que os resultados sejam exatamente iguais ao grafo de exemplo. Em buscas em subgrafos, os grafos resultantes não necessitam ser iguais ao grafo de exemplo, podem ter apenas partes similares ao grafo dado.

A busca no grafo inteiro é mais simples e possui menor custo de processamento, mas nem sempre seu resultado é satisfatório. Como na utilização de grafos para representar imagens, o resultado eficiente da consulta não é trazer imagens idênticas, mas imagens que sejam similares.

Na comparação entre dois grafos, muitas vezes as informações relacionadas aos atributos dos vértices são de suma importância, outras vezes,

informações sobre as arestas, ou seja, os relacionamentos devem ter prioridade (FISCHER et al., 2004).

6.3.1 Exemplos de Comparações

A comparação entre grafos pode ser baseada na quantidade de subgrafos similares encontrados entre dois grafos, o resultado poderá definir se os grafos comparados são similares ou não (AHMADYFARD e KITTLER, 2002).

Outro exemplo de aplicação é a utilização de um algoritmo que faça a edição de um grafo para verificar o custo que este grafo teve para ser transformado em outro grafo, esta aplicação será vista com mais detalhes nos próximos parágrafos. Pode ser utilizado também, na comparação entre dois grafos, o valor do maior subgrafo comum entre eles (BUNKE e SHCARER, 1998).

Quando grafos representam imagens, o resultado de uma comparação resultando em grafos idênticos é muito raro, pois a igualdade entre imagens é quase impossível. Na comparação entre imagens devem-se buscar informações que mais se assemelhe àquela que está sendo procurada, analisando o quão distante as imagens do banco de dados estão da imagem que está sendo baseado o processo.

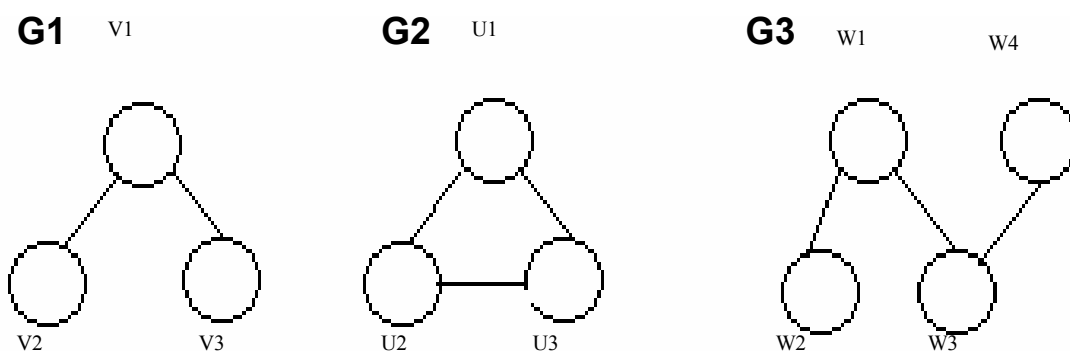
Baseados na premissa acima, em CORDELLA et al. (1996) foi desenvolvido um método de verificação entre ARGs para analisar a distância de um grafo à outro através de um algoritmo de comparação inexato. O grafo de consulta que será utilizado na comparação é passado por diversas transformações, considerando a quantidade de vértices e arestas, bem como os atributos existentes. Através de regras pré-definidas, o resultado das

transformações irá apontar a classe de grafos com a qual ele será comparado. A vantagem deste método está na diminuição da quantidade de grafos que são comparados por estarem divididos em classes.

A comparação entre dois grafos $G1$ e $G2$ pode ser baseada em operações que tornam $G1$ o mais similar possível de $G2$ (PAPADOPOULOS e MANOLOPOULOS, 1998). As operações utilizadas são: adição de vértice, remoção e atualização. A atualização é composta pela adição e remoção de arestas do vértice.

Na Figura 24 verifica-se que existe maior similaridade entre $G1$ e $G2$, ou seja, é necessário apenas adicionar uma aresta em $G1$ para que este se torne similar a $G2$. Na comparação entre $G1$ e $G3$, verifica-se a existência de maiores diferenças entre estes grafos, onde é necessário adicionar uma aresta e um vértice.

FIGURA 24 – SIMILARIDADE ENTRE GRAFOS: $G1$ POSSUI MAIOR SIMILARIDADE COM $G2$ DO QUE COM $G3$



Em CESAR e BLOCH (2001) uma imagem de exemplo é transformada em ARG, além deste grafo existe um outro que serve de modelo para o processo de comparação. É gerado um terceiro grafo baseado no relacionamento entre os valores do grafo da imagem e do grafo modelo. Após a geração deste grafo resultante, é extraído um subgrafo completo na qual a

quantidade de vértices deste subgrafo deve ser igual à quantidade de vértice do grafo derivado da imagem. Após esta etapa, é definida uma função para analisar o grau de similaridade entre o grafo da imagem e o subgrafo resultante.

A comparação entre ARGs utilizada em vídeos é demonstrada em GRACIANO, CESAR JR. e BLOCH (2003), este método foi baseado no método supracitado através da incorporação do aspecto temporal inerente nas seqüências de vídeo. O processo de comparação e reconhecimento entre os grafos consiste na localização de homeomorfismo entre os grafos correspondentes a uma imagem de exemplo utilizada e ao quadro corrente da seqüência de vídeo.

Dois grafos são homeomórficos quando podem ser obtidos a partir de um mesmo grafo pela adição de vértices às arestas. A localização do homeomorfismo entre grafos é a análise de subgrafos derivados dos grafos que estão sendo comparados e pode ser realizada através de diversas técnicas baseando-se no objetivo do método empregado.

Em GRACIANO, CESAR JR. e BLOCH (2003) o algoritmo ótimo de homeomorfismo foi realizado baseado em buscas em árvores. Este método mostrou-se satisfatório em relação a algumas mudanças consideráveis na face ao longo do tempo como sorrisos, piscar de olhos e movimentação da cabeça. Para uma seqüência de 96 imagens de tamanho 512X512, o tempo de processamento foi de, aproximadamente, duas horas e meia num computador com processador de 1.8 Ghz e 1Gb de RAM.

A edição dos grafos está sendo utilizada em conjunto com a representação das imagens através dos ARGs. Este método é conhecido como: *“optimal error correcting (sub)graph isomorphism”*. Neste método a comparação dos ARGs é baseada nas quantidades de alterações, inclusões e exclusões necessárias para o grafo da consulta do usuário (transformado em

ARG), tornar-se isomorfo ao grafo no banco de dados (também transformado em ARG) (PETRAKIS, FALOUTSOS, LIN, 2002).

Na Figura 25 (a) será mostrada, novamente, a segmentação da imagem apresentada na Figura 5 e na Figura 25 (b) a sua representação através de um ARG. Na Figura 26 (a) será mostrada a segmentação de uma imagem semelhante à imagem anterior e seu ARG correspondente (Figura 26 (b)).

Os atributos usados nas duas figuras foram: área de cada região (s), raio entre o menor e o maior 2º momento (r), ângulo entre a direção horizontal e a coordenada de comprimento (o), menor distância entre as bordas de duas regiões (d) e ângulo da direção horizontal da linha que conecta os centros de massa de duas regiões (p). Nestas figuras observa-se que a quantidade de objetos e as distancias entre os objetos são diferentes.

FIGURA 25 – (a) REPRESENTA UMA IMAGEM SEGMENTADA E (b) A SUA REPRESENTAÇÃO ATRAVÉS DE UM ARG

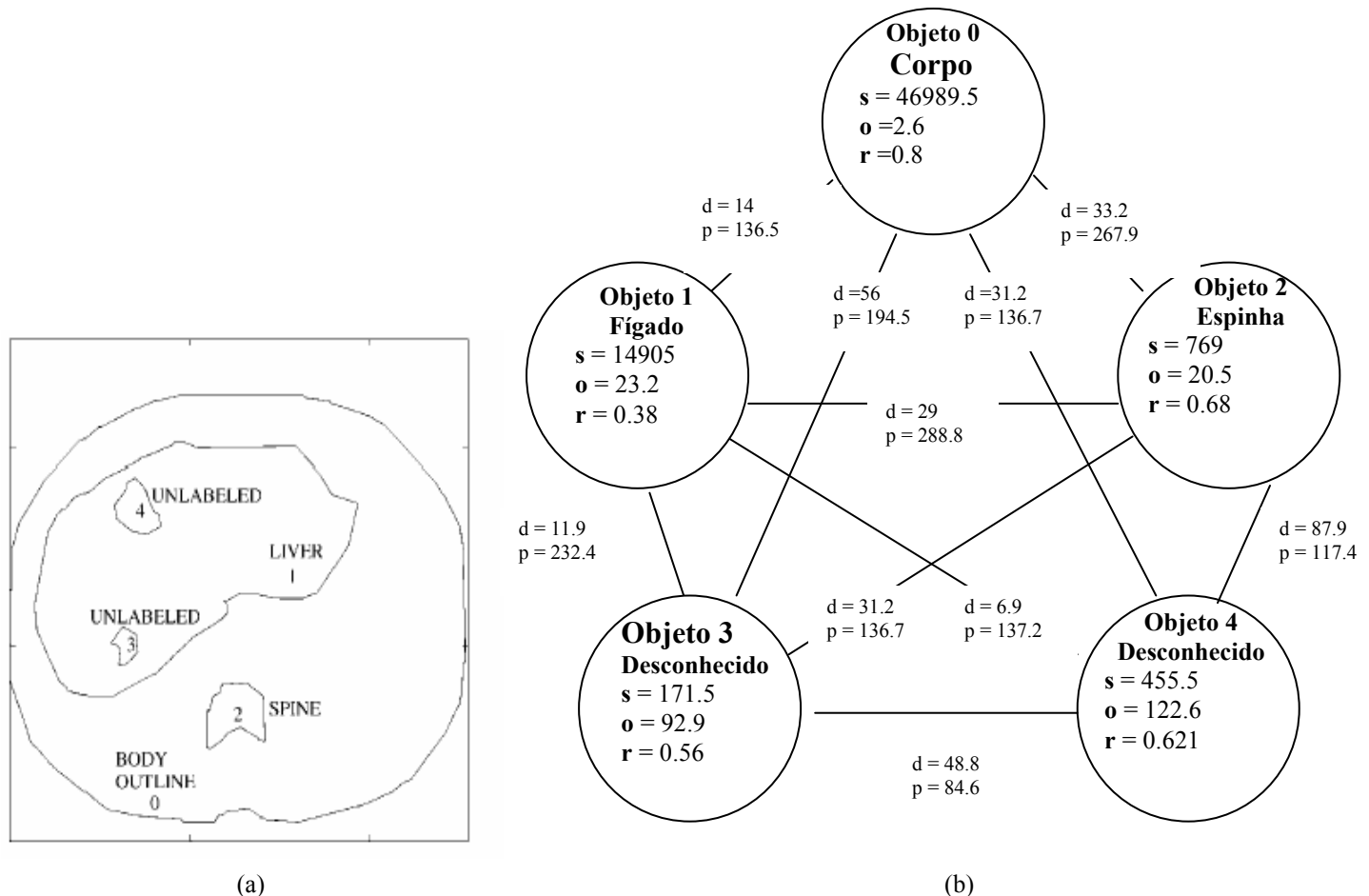
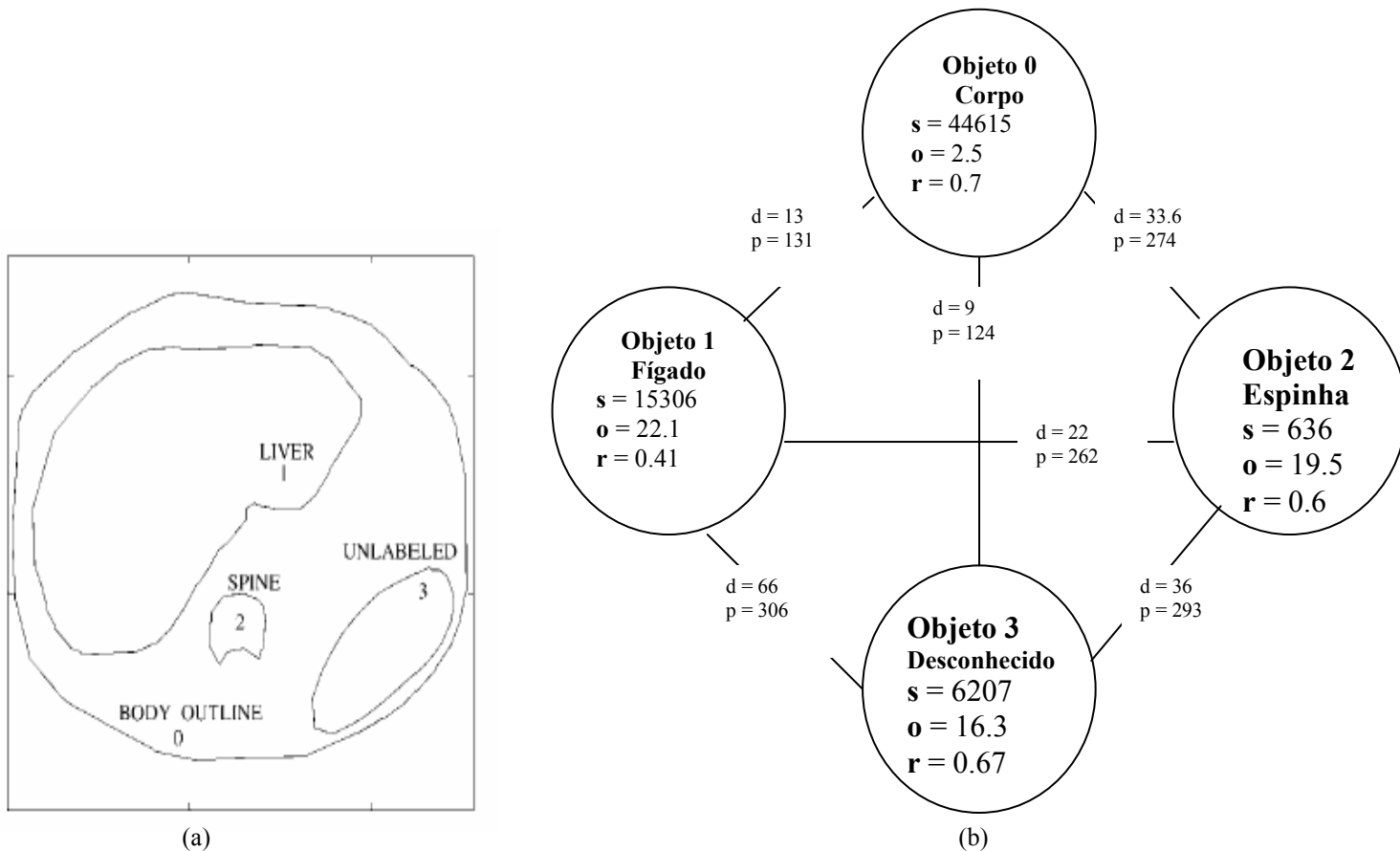


FIGURA 26 – (a) REPRESENTA UMA IMAGEM SEGMENTADA E (b) A SUA REPRESENTAÇÃO ATRAVÉS DE UM ARG



Em HONG, WANG e HUANG (2000) e BERRETTI, DEL BIMBO e VICARIO (2000) a comparação entre os ARGs é realizada através do cálculo de distância baseando-se nos atributos dos vértices e seus relacionamentos. O resultado da consulta é mostrado hierarquicamente ao usuário. Esta distância também é baseada no problema “*optimal error correcting (sub)graph isomorphism*”.

O método de comparação entre ARGs chamado “*graduated assignment*” é utilizado em RUBERTO, RODRIGUEZ e CASTA (2002). Este método é especializado em encontrar eficientes resultados para certos tipos de problemas que podem ser representados através de uma matriz. Esta matriz

apresenta as correspondências entre um conjunto de objetos com outro. Estes objetos podem ser pontos no espaço ou vértices e arestas de um grafo.

Alguns métodos estão utilizando pré-processamento nos grafos antes da etapa de comparação, um exemplo é o método usado em MESSMER (1995). Neste método, os grafos de consulta são comparados com um conjunto de modelos pré-definidos existentes no banco de dados. Estes modelos são gerados a partir de uma pré-classificação das imagens, onde cada tipo de imagem terá um modelo. Na fase de pré-processamento, os grafos modelos são subdivididos em pequenos subgrafos e estes são armazenados em uma representação compacta. Os subgrafos derivados serão utilizados na comparação com os grafos de consulta.

Esta estrutura compacta armazena apenas uma vez os subgrafos que possuem mais de uma ocorrência em um mesmo grafo. Conseqüentemente, subgrafos iguais serão comparados apenas uma vez com o grafo de consulta. Este tipo de comparação é superior aos algoritmos convencionais quando existe uma grande quantidade de grafos no banco de dados.

6.4 DESEMPENHO

Os grafos são representações bastante poderosas, capazes de expressar uma grande quantidade de informações usada por nosso sistema visual para reconhecer objetos.

A simplicidade da utilização dos ARGs para representação contrasta com a complexidade da indexação e comparação entre estes grafos. Artíficos como a utilização de ARGs com tamanhos pré-definidos são um exemplo de simplificação, mas estes casos não atendem a imagens de tamanhos diferentes.

A utilização de muitos atributos gera um maior custo de processamento, tendo como vantagem, a facilidade na recuperação de informações semelhantes. Alguns atributos são provavelmente mais úteis que outros que podem ser descartados sem grandes problemas. A dimensão e conseqüentemente a complexidade do espaço de atributos podem ser reduzidas por apenas atributos úteis a serem utilizados.

A redução da quantidade de atributos é utilizada para encontrar a melhor combinação, um exemplo de método utilizado para este processo é a transformação K-L (*Karhunen – Loeve*) e mineração de dados (VIEIRA, 2002).

Pesquisas apresentadas em PETRAKIS e FALOUTSOS (1997) mostraram que um número menor de atributos (por volta de três a cinco) pode capturar informações suficientes em nível de similaridade sem perder qualidade nos resultados das consultas.

Para auxiliar no desempenho, pode-se utilizar uma pré-classificação de imagens. Nesta pré-classificação, para cada classe de imagem é gerado um modelo que será utilizado na comparação entre os grafos, assim, os grafos serão comparados com modelos. Esta técnica facilita na comparação entre grafos por diminuir a quantidade de grafos que serão utilizados na verificação de similaridade (MESSMER, 1995).

A utilização da representação das imagens através dos ARGs oferece como vantagem à utilização e conseqüentemente avaliação, de diferentes métodos existentes de comparação de grafos. Assim, pode-se analisar qual o melhor método a ser usado para cada aplicação específica.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados alguns conceitos e exemplos de uso dos grafos no processamento de imagens. Alguns destes exemplos utilizam os grafos para a representação de informações baseadas no conteúdo das imagens, destacando os grafos conhecidos como *Attribute Relational Graphs* (ARGs).

Diversas aplicações estão utilizando os ARGs como estruturas para organizar as informações das imagens. Os ARGs permitem agregar quaisquer informações das imagens nos vértices e arestas. Estes conjuntos de informações facilitam na busca de imagens similares.

Foi verificado que a utilização de grandes quantidades de características torna o processo ineficiente no que se refere o tempo de processamento. No entanto, levando em consideração apenas os resultados, percebe-se que a quantidade de características é proporcional a um resultado bastante satisfatório e confiável.

A escolha dos atributos que serão utilizados em um sistema de buscas depende de cada aplicação, mas o sistema deve estar preparado para a manutenção destes, como a inclusão e a exclusão de atributos sem que sejam necessárias grandes modificações no sistema.

A redução de dimensão ainda é uma etapa pouco aperfeiçoada dentro do processamento de imagens, pois as definições de quais características são mais importantes que outras depende de grande processamento e necessita de algoritmos eficientes de classificação.

Foram destacados métodos que visam facilitar a busca de imagens similares como a aplicação de filtros no processo que antecede a comparação das mesmas e a exploração da interação do usuário com o sistema. Estes

métodos visam auxiliar no momento da consulta e na obtenção de resultados eficientes.

Através da utilização dos grafos para representar informações, pode-se utilizar diversos métodos existentes de comparação entre grafos. Esta vantagem permite a escolha de um método que seja mais eficiente e que atenda aos objetivos de uma aplicação específica, avaliando seu desempenho e técnica utilizada.

O processo de comparação entre grafos ainda ineficiente em relação ao tempo de processamento e a maioria dos métodos existentes são utilizados para tipos específicos de grafos⁷. Os resultados, nestes métodos, são eficientes em tempo de processamento, mas o método fica restrito a especificidade dos grafos, não podendo ser utilizado por outra aplicação com grafos de diferentes tipos.

A aplicação de classificações indiretas é uma saída inteligente para o melhoramento do processo de comparação entre grafos. Como a indexação dos grafos não é uma tarefa simples, podem-se utilizar métodos que visem a reduzir a quantidade de informações que serão comparadas obtendo, quando possível, uma melhora no desempenho.

O bom desempenho do processo de comparação entre grafos depende do tamanho da imagem, da quantidade de características que podem ser extraídas e da quantidade de imagens existentes em um banco de dados.

Embora a implementação de um sistema que utilizasse os ARGs, não tenha sido possível, essa pesquisa levou a conclusão de que esta estrutura é muito abrangente no que diz respeito a organização de informações, sendo interessante a sua utilização no conteúdo das imagens.

⁷ Métodos que realizam a comparação entre grafos planares são um exemplo

CAPÍTULO 8 - TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro, é proposta a implementação de um sistema que utilize a estrutura dos grafos para a representação de imagens, atendendo de maneira eficiente ao processo de redução de dimensão.

A redução de dimensão ainda é um dos grandes problemas encontrados na recuperação de informações, pois as definições de quais características são mais relevantes que outras depende de algoritmos eficientes.

Por meio da representação das informações em grafos, deve-se implementar um processo eficaz de comparação entre estes, e que o mesmo possa ser utilizado em diferentes tipos de imagens. O ideal é desenvolver um método de comparação entre grafos que atenda de maneira eficiente e genérica a qualquer tipo de imagem, podendo ser utilizado em diferentes aplicações.

Em relação a tipos de grafos, por se tratar de imagens, pode-se desenvolver um método de comparação e representação que atenda de maneira eficiente tipos de grafos planares.

Com o processo de representação e comparação implementados, o próximo passo é a validação do processo construído, através da aplicação de diferentes testes e a utilização de imagens bastante distintas no que se refere a tipo, tamanho e cor.

Muitos caminhos referentes à recuperação de imagens devem ser perseguidos, para atender cada vez mais as necessidades dos usuários. Os usuários podem não estar interessados em localizar apenas imagens similares, mas sim, recuperar fotos e cenas específicas ou mesmo um objeto em particular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. F. C. de. *Indexação de Imagens de profundidade baseada em conteúdo*. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Departamento da ciência da computação, Universidade Federal do Paraná.
- AHMADYFARD, A. R.; KITTLER, J.. Using relaxation technique for region-based object recognition. *Image and Vision Computing*, p.769-781, mar. 2002.
- BENDER, T. C.; SANTOS OSÓRIO, F.. Reconhecimento e Recuperação de Imagens Utilizando Redes Neurais Artificiais do Tipo MLP. *ENIA – Encontro Nacional de Inteligência Artificial*, Campinas, SP, 2003.
- BERRETTI, S.; DEL BIMBO, A.; VICARIO, E.. The Computacional Aspect of Retrieval by Spatial Arrangement. In: *International Conference on Pattern Recognition* , v.1, p.1047-1051, Spain: Set. 2000.
- BERRETTI, S.; DEL BIMBO, A.; VICARIO, E.. Efficient Matching and Indexing of Graph Models in Content-Based Retrieval. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.23, n.10, p.1089-1105, 2001.
- BLUM, H. A transformation for Extracting New Descriptors of Shape. In *Models for the Perception of Speech and Visual Form*. Cambridge: MIT Press. 1967
- BRUMBY, S. P. et al. Investigation of Image Feature Extraction by a Genetic Algorithm. In: *Proceedings. SPIE*, v.3812, p.24-31, 1999.
- BUENO, J. M.. *Suporte à Recuperação de Imagens Médicas Baseada em Conteúdo através de Histogramas Métricos*. São Carlos, 2002. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo.
- BUNKE, H.; SHCARER, K. A graph distance metric based on the maximal commom subgraph. *Pattern Recognition Letters*, p.255-259, 1998.
- CESAR, R.; BLOCH, I. First Results on Facial Feature Segmentation and Recognition using Graph Homeomorphisms. In: *Proceedings. VI Simpósio Ibero - Americano de Reconhecimento de Padrões*, 2001. p.95-99.
- CORDELLA, L. P. et al. An Efficient Algorithm for the Inexact Matching of ARG Graphs Using a Contextual Transformational Model. In: *Proceedings*

of the *International Conference on Pattern Recognition*, v.3, p.180-184, Áustria, Aug. 1996.

- CORDELLA, L. P. et al. Fast Graph Matching for Detecting CAD Image Components. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, p.1034-1037, 2000.
- DICKSON, S. Introduction to the Special Section on Graph Algorithms in Computer Vision. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.23, n.10, p.1049-1052, Oct. 2001.
- FALCÃO, A. X.; STOLFI, J.; LOTUFO, R. A. The image foresting transform: Theory, algorithms, and applications. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.26, n.1, p.19-29, 2004.
- FISCHER, B. et al. Content - based image retrieval by matching hierarchical attributed region adjacency graphs. In: *Proceedings of SPIE*, v.5370, p.598-606, May 2004.
- FLICKNER, M.. Query by Image and Video Content: the QBIC System. *IEEE Computer*, 1995.
- FONSECA, M. J.; JORGE, J. A.. Towards content-based retrieval of technical drawings through high-dimensional Indexing. *Computers & Graphics*, p.61-69, 2002.
- FOURNIER, J.; CORD, M.; PHILIPP-FOLIGUET, S.. RETIN: A content - based image indexing and retrieval system. *Pattern Analysis and Applications Journal*, v.4, p.153-173, 2001.
- GOLD, S.; RANGARAJAN, A.. A Graduated Assignment Algorithm for Graph Matching. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.18, n.5, p.377-388, 1996.
- GRACIANO, A. B. V.; CESAR JR. R. M.; BLOCH I.. Inexact Graph Matching for Facial Feature Segmentation and Recognition in Video Sequences: Results on Face Tracking. In: *Iberoamerican Congress on Pattern Recognition*, p.71-78, Nov. 2003.
- GREGORY, L; KITTLER J.. Using Contextual Information for Image Retrieval. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, p.230-235, 2001.
- GUPTA, A; JAIN, R.. Visual Information Retrieval. *Communications of the ACM*, v.40, n.5, p.70-79, May 1997.

GUTTMANN, A.. R-Trees: A dynamic index structure for spatial searching. In: *Proceedings of the 1984 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, p.47-58, 1984.

HIRATA, K.; KATO, T. Query by Visual Example - Content Based Image Retrieval. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Extending Database Technology: Advances in Database Technology*, p.56-71, March 1992.

HONG, P.; WANG, R.; HUANG, T.. Learning Patterns from Images by Combining Soft Decisions and Hard Decisions. In: *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, v.1, p.78-83, 2000.

IMAGO - Grupo de Pesquisa em Processamento de Imagens e Visão Computacional do Departamento de Informática da Universidade Federal do Paraná - UFPR, em www.inf.ufpr.br/imago

JUNG, S. H.. Content-Based Image Retrieval Using Fuzzy Multiple Attribute Relational Graph. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, p.1508-1513, 2001.

LEE, D. H.; KIM, H. A Fast Content-Based Indexing and Retrieval Technique by the Shape Information in Large Image Database. *The Journal of Systems and Software*, v.56, p.165-182, 2001.

LEE, K. M.; MEER, P.; PARK, E. H.. Robust Adaptive Segmentation of Range Images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.20, n.2, p.200-205, Feb. 1998.

LEHMANN T. M. et al. Content - based image retrieval in medical applications. *Methods of Information in Medicine*, 2004.

LEIBE, B.; HETZEL, G.; LEVI, P.. Local Feature Histograms for Object Recognition from Range Image. *Technical Report – TR 6/2001*, University of Stuttgart, August 2001.

LIU, W. J.; SUGENO, M. A Similarity Measure of Fuzzy Attributed Graphs and Its Application to Object Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, p.767-772, 1996.

LOURENS, T. et al. Graph Extraction from Color Images. In: *Proceedings of 11th International Conference Image Analysis and Processing*, p.302-308, Spain: June 2001.

- MATHIAS, E.; CONCI, A. Pesquisa de Imagens em Banco de Dados por Semelhança de Cor. In: *X Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens*, Campos do Jordão – SP, Out. 1997.
- MESSMER, B. *Efficient Graph Matching Algorithms*. Switzerland, 1995. PhD Thesis - Univ. of Bern.
- MOURA, D. M. de. et al. Recuperação de Imagens Baseado em Conteúdo. In: *Anais do IV Workshop em Tratamento de Imagens*, 2003. p.101-109.
- OGLE, V. E.; STONEBRAKER, M. Chabot: Retrieval from a Relational Databases of Images. In: *IEEE Computer*, v.28, n.9, p.40-48, 1995.
- OLIVEIRA, C. J. S. et al. Protótipo de um sistema de recuperação de imagens baseado na cor. In: *Proceedings of the VIII Brazilian Symposium on Multimedia and Hypermedia Systems - SBMIDIA, Tools and Applications Workshop*, 2002. p.411-414.
- OTTERMAN, M. *Approximate Matching with High Dimensionality R-Trees*. Maryland, 1992. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Dept. of Computer Science, Univ. of Maryland.
- PAPADOPOULOS, A. N.; MANOLOPOULOS, Y. Structure - Based Similarity Search with Graph Histograms. In: *Proceedings of the 10th International Workshop on Database e Expert Systems Applications*, p.174-178, 1998.
- PATTANAİK, S.; YEE, H.. Adaptive Gain Control for High Dynamic Range Image Display. In: *Proceedings of the 18th spring conference on Computer graphics*, 2002.
- PETRAKIS, E. G. M. Design and Evaluation of Spatial Similarity Approaches for Image Retrieval. *Image and Vision Computing*, v.20, n.1, p.59-76, January 2002.
- PETRAKIS, E. G. M. Fast Retrieval by Spatial Structure in Image Databases. *Journal of Visual Languages and Computing*, v.13, n.5, p.545-569, October. 2002.
- PETRAKIS, E. G. M.; FALOUTSOS, C.; LIN, D.. ImageMap: An Image Indexing Method Based on Spatial Similarity. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v.14, n.5, p.979-987, October 2002.
- PETRAKIS, E. G. M.; FALOUTSOS, C.. Similarity Searching in Medical Image Databases. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v.9, n.3, p.435-447, May 1997.

- PULLI, K.; PIETIKAINEN, M. Range image Segmentation Based on Decomposition of Surface Normals. In: *Proceedings of the 8th Scandinavian Conference on Image Analysis*, v.2, p.893-899, May 1993.
- RODRIGUES, P. S.; ARAÚJO, A. A Region-based object recognition algorithm. In: *Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens*, p.283-289, October 2002.
- RUBERTO, C. di; RODRIGUEZ, G.; CASTA, L. Recognition of shapes by morphological attributed relational graphs. In: *Atti del VIII Convegno AllA - Associazione Italiana Intelligenza Artificiale*, Italy, September 2002.
- RUZON, M. S.; TOMASI, C.. Edge, Junction, and Corner Detection Using Color Distributions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.23, n.11, p.1281-1295, 2001.
- SCHWARTZ, W. R.; PEDRINI, H. Método para Classificação de Imagens Baseada em Matrizes de Co-ocorrência Utilizando Características de Textura. In: *Proceedings of III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*, Maio 2003. p.1-11.
- SCLAROFF, S.; TAYCHER, L.; CASCIA, M.. ImageRover: A Content-Based Image Browser for the World Wide Web. In: *Proceedings IEEE Workshop on Content-based Access if Image and Video Libraries*, EUA: 1997.
- SILVA, L.. *Segmentação de Imagens em Profundidade por Detecção de Bordas*. Curitiba, 2000. Dissertação (Mestrado em Informática) - Departamento de Informática, Universidade Federal do Paraná.
- SMITH, J.R.; CHANG, S. Fu.. Visual SEEK: A Fully Automated Content-Based Image Query System. In: *Proceedings of the Annual ACM International Conference on Multimedia*, Boston: 1996.
- SOSSA, H.; HORAUD, R.. Model Indexing: The Graph-Hashing Approach. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, p.811-814, 1992.
- TAN, T.; MULHEM, P.. Image Query System Using Object Probes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, p.701-704, 2001.
- TAYCHER, L.; DARRELL, T. Range Segmentation Using Visibility Constraints. In: *Proceedings of the IEEE Workshop on Stereo and Multi-Baseline Vision*, 2001.
- ULLMANN, J. R.. An Algorithm for Subgraph Isomorphism. *Journal of the ACM*, v.23, p.31-42, 1976.

- VIDAL, S. F. et al. Object Representation and Comparison Inferred from its Medial Axis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, p.712-715, 2000.
- VIEIRA, E. V.. *Mineração de Imagens*. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado em Informática) - Departamento de Informática, Universidade Federal do Paraná.
- YOSHITAKA, A.; ICHIKAWA, T.. A Survey on Content-Based Retrieval for Multimedia Databases. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v.11, n.1, p.81-92, 1999.
- WANG, Y.; MAKEDON, F. R-Histogram: Quantitative Representation of Spatial Relations for Similarity-Based Image Retrieval. In *Proceedings of the 11th Annual ACM International Conference on Multimedia*, p.323, USA: 2003.
- WU, S. T.; SILVA, R. M. da; MÁRQUEZ, M. R. G. Reconstructing a 3D-Model from a Unregistered Range Image In: *Proceedings of the International Conference on Imaging Science, Systems and Technology*, v.1, p.297-303, USA: June 2000.
- ZHIEN, Y.; KE, W.; TANFENG, S.. Matching Condition for Range Images. In: *Proceedings of the International Conference on Industrial Electronics*, p.239-242, 1995.