

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**ARQUITETURA DE INDEXAÇÃO  
APLICADA A SERVIDORES PACS PARA  
PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

DANIEL DA SILVA COTRIM

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação na Pontifícia universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Eduardo Augusto Bezerra

Porto Alegre

2007

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C845a Cotrim, Daniel da Silva  
Arquitetura de indexação aplicada a servidores PACS para  
processamento de imagens / Daniel da Silva Cotrim. – Porto  
Alegre, 2007.  
85 f.

Diss. (Mestrado) – Fac. de Informática, PUCRS.  
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto Bezerra.

1. Informática. 2. Processamento de Imagens – Técnicas  
Digitais. 2. Diagnóstico por Imagem. 3. Informática Médica.  
4. Armazenamento de Imagens. 5. Reconhecimento de Padrões.  
I. Bezerra, Eduardo Augusto. II. Título.

CDD 006.61

**Ficha Catalográfica elaborada pelo  
Setor de Tratamento da Informação da BC-PUCRS**



## TERMO DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação intitulada "**Arquitetura de Indexação Aplicada a Servidores PACS para Processamento de Imagens**", apresentada por Daniel da Silva Cotrim, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação, Sistemas Embarcados e Sistemas Digitais - SESD,, aprovada em 15/08/2007 pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Augusto Bezerra -  
Orientador

PPGCC/PUCRS

Prof. Dr. Marcelo Blois Ribeiro -

PPGCC/PUCRS

Profa. Dra. Ana Maria Marques da Silva -

FAFIS/PUCRS

Homologada em...17/11/09..., conforme Ata No. 20/09. pela Comissão Coordenadora.

Prof. Dr. Fernando Luís Dotto  
Coordenador.



PUCRS

### Campus Central

Av. Ipiranga, 6681 - P32 - sala 507 - CEP: 90619-900  
Fone: (51) 3320-3611 - Fax (51) 3320-3621  
E-mail: [ppgcc@inf.pucrs.br](mailto:ppgcc@inf.pucrs.br)  
[www.pucrs.br/facin/pos](http://www.pucrs.br/facin/pos)

# ARQUITETURA DE INDEXAÇÃO APLICADA A SERVIDORES PACS PARA PROCESSAMENTO DE IMAGENS

## RESUMO

Apesar de existirem diversas técnicas de processamento de imagens, estas técnicas não costumam ser aplicadas nas imagens armazenadas nos servidores PACS (*Picture Archiving and Communication Systems*) pela dificuldade de sua extensibilidade a ambientes de hospitalares. Este cenário mostra a viabilidade de construir uma nova arquitetura de indexação para armazenamento e recuperação, com a capacidade de identificar a necessidade de executar determinados tipos de processamentos em imagens médicas com características específicas. A criação de um ambiente virtual para inclusão de diferentes tipos de processamento a serem executados diretamente nos servidores PACS, tem como objetivo estimular a aplicação de sistemas de apoio a diagnóstico nos setores de radiologia dos hospitais. A arquitetura proposta agrega informações às imagens armazenadas no PACS em um índice, que identifica as informações associadas a cada tipo de análise, estabelecendo uma relação entre as imagens e as diversas técnicas de processamento para apoio ao diagnóstico. Uma das características desta arquitetura está baseada na definição de ontologias que representam a formalização do conhecimento aplicado a cada conjunto de imagens ou estudo. Como estudo de caso, a arquitetura proposta foi desenvolvida e integrada a um servidor PACS. Nesta implementação, a arquitetura identifica o contexto das informações associadas às imagens e indica possibilidade de execução de um determinado tipo de processamento disponibilizado diretamente no servidor.

**Palavras Chaves:** Sistemas de Apoio ao Diagnóstico, Recuperação de Imagem Baseada em Conteúdo; Reconhecimento de Padrões; Imagens Médicas; DICOM e PACS.

# **INDEXING ARCHITECTURE APPLIED TO A IMAGE SERVER FOR IMAGE PROCESSING**

## **ABSTRACT**

Several techniques for image processing have been developed for diagnosis aid support. However, in some cases these techniques are not applied to the images stored in PACS servers (Picture Archiving and Communication Systems). This scene establishes the viability to build a new storage and recovery indexing architecture having the capability of identifying the need for executing certain types of imaging processing for examinations of patients with features defined by user. It can be explained as a result of the intrinsic difficulty related to the integration of these techniques to the hospital production environment. A possible solution for this problem would be a virtual environment to make different processing features available to be executed directly in the PACS. This environment would have as goal to stimulate the medical support application. The proposed indexing architecture uses information from images stored in PACS, relating them to the pre-defined processing class, establishing an execution context. The information associated to each processing class is based on ontologies representing the formalization of the knowledge applied to each group of images or study. A case study has been developed in a PACS.

Keywords: Computer-Aided Diagnosis; Recovery of Image Based on Content; Standards Recognition; Medical Images, DICOM e PACS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo do processo de digitalização de uma Imagem [CLI92].....	17
Figura 2: Modelo de comunicação geral do padrão DICOM [NEM06]. .....	20
Figura 3: Integração do PACS ao ambiente do hospital [TOD02]. .....	24
Figura 4: Integração do servidor PACS à arquitetura de um ambiente hospitalar [PAD06]. .....	25
Figura 5: Console de gerenciamento do INPACS [PAD06]. .....	30
Figura 6: Diagrama de classes do gerenciador de tarefas e roteamento [PAD06]...	32
Figura 7: Rede neural artificial multicamadas do tipo <i>feedforward</i> [CHA87] .....	39
Figura 8: Arquitetura de um sistema baseado em ontologia [TOD02]. .....	40
Figura 9: Exemplo de taxonomia. ....	41
Figura 10: Exemplo de mereologia. ....	41
Figura 11: Exemplo de temporalidade.....	42
Figura 12: Exemplo de topologia. ....	42
Figura 13: Exemplo de ontologia da anatomia Humana [ROS03]. .....	43
Figura 14: Ciclo de produção do conhecimento em um ambiente[BEJ06] .....	44
Figura 15: Etapas para o reconhecimento de padrões de imagens [CAS96]. .....	46
Figura 16: Definição dos níveis de abstração para a análise de conteúdo [ASL99].	47
Figura 17: Conjunto dos dados relevantes e não relevantes [KOW97]. .....	49
Figura 18: Processamento do texto [KOW97]. .....	50
Figura 19: Arquitetura do cbPACS [BUE02]. .....	54
Figura 20: Arquitetura de Ambiente MIII [HUA04]. .....	56
Figura 21: Padrões para identificação da idade óssea em crianças de idades crescentes. ....	58
Figura 22: Interface principal da aplicação de identificação da idade óssea [PIE04]. .....	58
Figura 23: Fluxo de operações para identificação da idade óssea implementados [PIE04]. .....	59
Figura 24: Arquitetura do CAD para identificação da idade óssea dividida em três camadas [PIE04]. .....	59
Figura 25: Forma de comunicação entre as camadas do sistema de CAD para identificação da idade óssea [PIE04]. .....	60
Figura 26: Diagrama da camada de aplicação do CAD para identificação de idade óssea [PIE04]. .....	60
Figura 27: Mapa conceitual com os conceitos clínicos relacionados ao conceito "Imagem". .....	63

Figura 28: Diagrama com o mapa conceitual dos principais conceitos de CAD relacionados ao conceito “Imagem”.....	64
Figura 29: Arquitetura de funcionamento do índice proposto. ....	67
Figura 30: Estrutura lógica da arquitetura proposta.....	68
Figura 31: ER do Banco de dados do modelo de indexação proposto.....	69
Figura 32: Diagrama de classes da aplicação.....	70
Figura 33: Tela de definição de contexto. ....	71
Figura 34: Diagrama de classes da arquitetura integrada ao INPACS.....	72
Figura 35: Exemplo do resultado do processamento da segmentação utilizado no projeto RPSOC [TRI07].....	74
Figura 36: Contexto de execução do algoritmo de segmentação definido pela ontologia. ....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ACR</b>	–	<i>American College of Radiology</i>
<b>CAD</b>	–	<i>Computer-Aided Diagnosis</i>
<b>CDI</b>	–	Centro de Diagnóstico por Imagem
<b>DICOM</b>	–	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
<b>HCTA</b>	–	<i>Health Care Technology Assessment</i>
<b>HIS</b>	–	<i>Hospital Information System</i>
<b>HL7</b>	–	<i>Health Level Seven</i>
<b>IHE</b>	–	<i>Integration Healthcare Enterprise</i>
<b>MIII</b>	–	<i>Medical Imaging Informatics Infrastructure</i>
<b>MPPS</b>	–	<i>Modality Procedure Performed Step</i>
<b>NEMA</b>	–	<i>National Equipment Manufacturers Association</i>
<b>PACS</b>	–	<i>Picture Archiving Communication System</i>
<b>PET</b>	–	<i>Positron Emission Tomography</i>
<b>RGB</b>	–	<i>Red Green Blue</i>
<b>RIS</b>	–	<i>Radiology Information System</i>
<b>RM</b>	–	Ressonância Magnética
<b>SPECT</b>	–	<i>Single Photon Emission Computed Tomography</i>
<b>TC</b>	–	Tomografia Computadorizada
<b>TCP/IP</b>	–	<i>Transmission Control Protocol/ Internet Protocol</i>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	Objetivo	12
1.2	Justificativa	13
1.3	Organização do texto	14
<b>2</b>	<b>IMAGENS MÉDICAS</b>	<b>15</b>
2.1	Conceitos básicos de imagens digitais	15
2.2	Protocolo DICOM	18
2.3	Utilização do protocolo DICOM	23
2.4	Resolução e compactação de imagens	25
2.5	Servidor de imagens médicas INPACS	29
<b>3</b>	<b>SISTEMAS DE CAD (COMPUTER-AIDED DIAGNOSIS)</b>	<b>34</b>
3.1	Reconhecimento de padrões	35
3.2	Análise de imagens	37
3.3	Conceitos de IA aplicáveis ao desenvolvimento de sistemas de apoio ao diagnóstico	38
<b>4</b>	<b>RECUPERAÇÃO DE IMAGENS MÉDICAS APLICADA À CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTO</b>	<b>45</b>
4.1	Extração de características das imagens	45
4.2	Estruturas de indexação para dados métricos da imagem	46
4.3	Conceitos sobre recuperação de informações	48
4.4	Conceitos sobre construção de conhecimento	51
4.5	Conceitos sobre aquisição de conhecimento	52
<b>5</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>54</b>
5.1	MIII – Medical Imaging Informatics Infrastructure	55
5.2	Sistemas de CAD em camadas	57
<b>6</b>	<b>ARQUITETURA DE INDEXAÇÃO (Definição e Implementação)</b>	<b>63</b>
6.1	Definição da arquitetura	63
6.2	Diagrama de classes e interface de definição de contexto	69
6.3	Exemplo de uso da arquitetura com a utilização da segmentação de pulmão	72
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>81</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As novas técnicas desenvolvidas para obtenção de imagens médicas digitais e o aumento de modalidades de diagnóstico por imagem estabelecem a necessidade do desenvolvimento de sistemas de gerenciamento para estas imagens [CAR00, STA01]. Desta forma, existem quatro grandes soluções tecnológicas utilizadas em um hospital: PACS (*Picture Archiving and Communication Systems*), que consiste em um sistema para armazenamento e recuperação de imagens onde são armazenadas todas as imagens dos pacientes analisados ou em processo de análise [CAO00, FUR99]; RIS (*Radiology Information System*), sistema de informações radiológicas responsável pelo gerenciamento das informações dos pacientes, dos estudos, séries e imagens; HIS (*Hospital Information System*), sistema de informações hospitalares que cadastra e agenda os pacientes, bem como gerencia o faturamento, estoque, entre outras informações do hospital; e MII (*Medical Imaging Informatics Infrastructure*) que fornece suporte às ferramentas de CAD (*Computer-Aided Diagnosis*) [HUA04].

A visualização de imagens é, portanto, uma das principais fontes de informações na área da saúde, tendo um papel decisivo para melhorar a qualidade do diagnóstico. Pode-se utilizar imagens para fazer desde um exame preventivo de câncer de mama até a visualização de estruturas complexas que envolvem o fluxo sanguíneo no próprio coração. Assim, há uma tendência de informatização dos hospitais e da própria aquisição das imagens em formato digital, sendo esta uma das principais razões para a implantação de um servidor PACS que traga benefícios efetivos quantificáveis, não apenas, para a otimização dos procedimentos internos, mas também, para os aspectos clínicos relacionados ao tempo de permanência do paciente e mesmo seu respectivo estado [TOD02].

Um sistema de PACS possibilita a associação das imagens aos laudos dos pacientes. O banco de imagens é abastecido com um grande número de exames realizados diariamente. Este cenário possibilita o desenvolvimento de técnicas para transformar os repositórios de imagens (conteúdo) em bancos de conhecimento baseado na identificação de características quantitativas, ou mesmo, padrões

pictóricos. Os padrões exigem uma otimização na sua recuperação para comparação de imagens adquiridas com imagens ou padrões de referência relevantes retirados do PACS. Buscando, justamente, estabelecer de forma eficiente o grau de semelhança entre as características de referência e as imagens analisadas. Outra questão relevante é a utilização de chaves textuais como filtros adicionais às consultas. As consultas são freqüentemente implementadas em aplicativos de suporte a diagnóstico, permitindo aos médicos analisarem a evolução do caso com a observação de estudos anteriores dos pacientes [MAR02]. Entretanto, é necessário prever como construir um ambiente único que seja primordialmente ergonômico e permita a exploração de todos os dados relacionados, dentro de um grande universo híbrido com imagens de diferentes tipos e informações textuais, ou mesmo, estruturadas. Este ambiente deve permitir a pesquisa nos diferentes tipos de informações, o suporte a diagnóstico e/ou ensino. Outras duas questões importantes são: o uso da tecnologia e a superação de problemas éticos, de segurança e usabilidade [TOD02].

Os sistemas de diagnóstico auxiliados por computador (CAD) têm a função de processar imagens em análise com a possibilidade de compará-las a imagens já diagnosticadas buscando fornecer o subsídio ao médico especialista. Sua finalidade é melhorar a consistência da interpretação da imagem, mediante o uso da resposta do computador como referência. Esta resposta pode ser útil, já que o diagnóstico do radiologista é subjetivo, com variações de um radiologista para outro, e existindo a não percepção de informação visual (baixa qualidade) inerente ao próprio método de aquisição da imagem, sobreposição de estruturas, fadiga visual ou distração. Assim uma dupla leitura por um radiologista e um computador pode melhorar a eficiência do diagnóstico [FUR99].

O acesso rápido às informações dos pacientes e seus exames, de forma organizada, descentralizada e distribuída, é muito importante para comunidade médica em geral [CAO00, MAR00, FUR99]. A utilização destas informações pelos sistemas de CAD pode aumentar a acurácia do resultado.

O uso do computador para o processamento de imagens, visando à distinção entre padrões normais e anormais, a partir dos atributos extraídos das imagens

utiliza técnicas relacionadas à seleção de atributos, como os baseados na separabilidade entre as distribuições de probabilidades das classes e algoritmos genéticos, e classificadores, como os baseados em técnicas de análise discriminante, sistemas especialistas baseados em regras específicas, métodos estatísticos, redes neurais artificiais e ontologias [TOD02].

## 1.1 Objetivo

O cenário descrito neste capítulo mostra a possibilidade de construção de um novo modelo de indexação com capacidade de identificar e executar os diferentes tipos de apoio ao diagnóstico disponibilizados nos servidores PACS, armazenando as informações relevantes para cada análise e identificando as imagens a serem processadas.

O objetivo deste trabalho é de investigar e definir conceitualmente uma arquitetura de indexação para as imagens médicas. O relacionamento das informações dos exames dos pacientes permite a execução dos diferentes tipos de processamento para apoio a diagnóstico definidos neste ambiente.

Para alcançar este objetivo, foi necessário executar as seguintes atividades:

- Realização da revisão de bibliografia das áreas que abrangem o escopo deste trabalho:
  - Estudo sobre imagens médicas;
  - Estudo sobre técnicas de apoio ao diagnóstico;
  - Estudo sobre recuperação de imagens baseada em conteúdo;
  - Estudo de trabalhos relacionados;
- Definição da arquitetura de indexação;
- Construção da aplicação e validação;
- Considerações sobre a arquitetura proposta.

## 1.2 Justificativa

Com a tendência de inclusão dos servidores de imagens PACS nos hospitais brasileiros, surge a necessidade de uma solução de indexação de imagens médicas que forneça suporte ao processamento de imagens para apoio a diagnóstico médico. Isso possibilita uma segunda opinião a vários tipos de diagnósticos em um único ambiente com acesso direto às imagens armazenadas no servidor PACS.

O processamento de imagens e o próprio reconhecimento de padrões requerem freqüentemente um conjunto de dados auxiliares que precisam ser armazenados em um sistema próprio de banco de dados com acesso a um conjunto de padrões e ou repositório de dados [PIE04]. Assim, os sistemas de CAD são freqüentemente desenvolvidos de forma independente. Entretanto, existe uma tendência destes sistemas utilizarem imagens recebidas como parâmetros de entrada no desenvolvimento das aplicações que são geralmente implementados com imagens de testes, existindo uma freqüente abstração da complexidade dos sistemas de CAD necessária para integração em ambientes reais.

A integração do processamento de imagens e ferramentas de manipulação com a estrutura de banco de dados e interface gráfica estabelecem a necessidade de que um sistema de CAD seja projetado para ser executado em um ambiente multi-camadas.

A disponibilização das aplicações aos ambientes de produção se constitui em um problema, já que cada aplicação utiliza diferentes padrões de acesso às imagens e freqüentemente desenvolvem aplicações específicas para interação com os usuários. Estas aplicações poderiam ser melhor aproveitadas se fossem considerados componentes adicionais que agregassem valor ao ambiente já implantado.

### **1.3 Organização do texto**

A revisão bibliográfica apresentada descreve respectivamente: no capítulo 2, imagens médicas; no capítulo 3, sistemas de diagnóstico auxiliado por computador (CAD); e no capítulo 4, recuperação de imagens baseada em conteúdo.

Posteriormente, no capítulo 5, são descritos trabalhos relacionados e no capítulo 6 é apresentada a arquitetura de indexação proposta com a respectiva implementação e validação realizadas.

Finalizando este trabalho, são apresentadas as discussões sobre a arquitetura e as considerações finais, assim como, as referências bibliográficas e os trabalhos publicados.

## 2 IMAGENS MÉDICAS

### 2.1 Conceitos básicos de imagens digitais

Em 1895, o físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen descobriu os raios X, que revolucionaram o meio científico, e em especial a medicina, de tal forma que em 1900 a radiologia já existia como especialidade médica. Por volta de 1940, novas tecnologias como a televisão e intensificadores de imagens permitiram a realização de fluoroscopias de ótima qualidade e em tempo real, as quais foram os únicos métodos existentes até a década de 70 [WEL93].

O desejo de separar estruturas sobre postas também levou ao desenvolvimento de uma variedade de técnicas tomográficas analógicas, especialmente a tomografia axial que permitia visualização de apenas um plano de corte. Inicialmente as imagens não eram nítidas o suficiente para permitir o diagnóstico. Este problema foi solucionado com o uso do computador, e da implementação de métodos matemáticos para reconstrução de imagens, principalmente por Cormack. Por volta de 1970, Hounsfield e sua equipe da *EMI Corporation* desenvolveram o primeiro tomógrafo computadorizado comercialmente viável [WEL93], que permitiu pela primeira vez a visualização de estruturas internas do corpo através de seções transversais, trabalho pelo qual, ambos pesquisadores receberam o prêmio Nobel de Medicina em 1979.

Após a invenção do tomógrafo computadorizado [SHO90], vários métodos de aquisição de imagens foram desenvolvidos, tais como as imagens de ressonância magnética, que produzem cortes a partir da interação de campos magnéticos, e a ultra-sonografia.

Podem-se atribuir muitos fatores para o surgimento de tantas modalidades de aquisição de imagens médicas, tais como a melhor compreensão dos princípios básicos da aquisição de imagens, o aperfeiçoamento de técnicas matemáticas de reconstrução, e a evolução dos computadores com desenvolvimento de equipamentos mais baratos e mais seguros. Esta melhoria na tecnologia da computação recentemente levou a uma tendência para a geração de

imagens digitais, e os exames tradicionais de raios X podem agora ser digitalizados e processados pelo computador [SHO90].

A aquisição e análise de imagens digitais de raios X formam a base de um novo campo chamado radiologia digital.

Os principais tipos de imagens médicas são a tomografia computadorizada, a ressonância magnética, a ultra-sonografia e as imagens funcionais geradas com a utilização de radiofarmacos, como PET (*Photon Emission Tomography*) e SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*).

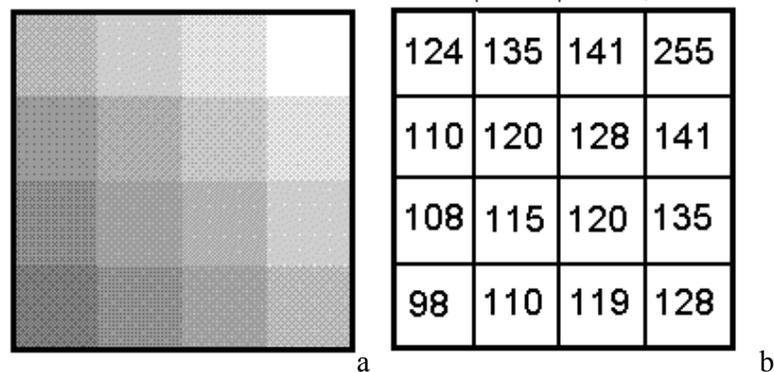
O computador não pode guardar em sua memória ou modificar em seus circuitos qualquer imagem na forma analógica, que é como o olho humano a enxerga, porque o computador trabalha com números discretos, não podendo representar diretamente tons de cinza ou cores contínuas. Uma imagem digital é uma imagem  $f(x,y)$  discretizada [GON00] e pode ser considerada uma matriz. Nesta matriz, os índices de linhas e colunas identificam a localização dos pontos na imagem, sendo os pontos elementos desta matriz com os seus respectivos valores de nível de cinza.

Em uma radiografia simples do tórax, as variações nas áreas claras e escuras são codificadas como um conjunto de números. Por exemplo, nas áreas claras do filme (correspondentes às regiões que absorvem uma grande intensidade de raios X), pode ser dado o valor numérico de 255, enquanto que nas áreas escurecidas (que são causadas por baixa absorção de raios X) poderá ser atribuído um valor baixo, ou mesmo 0 (zero) para o negro total [CLI92]. Aos níveis de cinza intermediários pode-se atribuir algum valor entre 0 e 255, por exemplo.

Para fazer essa conversão de imagem em números, a imagem é subdividida em uma grade, contendo milhões de quadrados de igual tamanho, sendo cada um dos mesmos associado a um valor numérico da intensidade de raios X naquele ponto. A essa grade de quadrados chamamos de "imagem matriz", e cada quadrado na imagem é chamado de "pixel" (do inglês *picture element*). Cada *pixel* carrega a informação sobre o nível de cinza que ele representa. Na

Figura 1 é possível observar a numeração atribuída (b) no processo de digitalização da imagem (a) em relação aos vários tons de cinza.

Deve-se salientar que este nível de cinza é o análogo de alguma propriedade do corpo na imagem que seja relevante (normalmente a intensidade do ponto), ou seja, a grandeza física que eles representam. Por exemplo, na imagem radiográfica, o valor numérico representa a atenuação de raios X no tecido, mas em uma imagem de medicina nuclear, esse valor é o número de fótons detectados por uma câmara de cintilação. Desta forma, a partir da notação de representação binária define-se o número de arranjos possíveis como:  $2^n$ , onde  $n$  é o número de opções possíveis.



**Figura 1:** Exemplo do processo de digitalização de uma Imagem [CLI92]

Essa regra também é válida para o número de níveis de cinza que se deseja representar. Com 2 dígitos binários (ou bits) na memória do computador, pode-se ter 4 tons de cinza, com 3 dígitos obtém-se 8 tons de cinza, com 4 dígitos, 16 tons e assim por diante [CLI92]. Cada pixel, então, tem um certo número de bits a ele associado, podendo, assim, representar não somente a localização do pixel na imagem matriz, como também o seu nível de cinza.

Existem basicamente dois tipos de formatos de imagens digitais: vetoriais e *raster*, chamada também de *bitmap* [TAU01]. Imagens *raster* são compostas por uma matriz de *pixel* e representam a cor e a localidade espacial do *pixel*. Esse formato é amplamente utilizado para fotografias e imagens de alta definição [TAU05]. Imagens vetoriais são representadas por um conjunto de comandos para se desenhar formas e figuras para dispositivos de saída. Imagens vetoriais são

muito mais fáceis de manipular, pois, por exemplo, se for necessário modificar a escala e rotação, aplicam-se transformações geométricas e somente depois a imagem é redesenhada no dispositivo. Porém, o formato *raster* representa muito melhor imagens de alta definição, pois seria muito custoso em termos de armazenamento e processamento ter uma imagem vetorial com alta definição [TAU01].

Imagens médicas correspondem a imagens *raster*, na qual a matriz de pixels armazena os valores das intensidades associados a respectiva localidade espacial. A imagem pode ser de diferentes tamanhos, dependendo do dispositivo de aquisição. Além disso, o formato de imagens *bitmap* é o utilizado no processo de compactação. Um único exame como, por exemplo, de Tomografia Computadorizada (CT), pode gerar várias imagens (ou fatias), cada uma ocupando 512 X 512 X 2 *bytes*. Nesse caso, cada *pixel* necessita de 2 *bytes* para ser representado. No modelo de cores [TAU01], a representação de cor em computador pressupõe a redução do espaço espectral da cor (que é contínuo) para um espaço discreto.

## 2.2 Protocolo DICOM

O gerenciamento de informações em um hospital envolve a transmissão de imagens. A integração de estações de visualização distribuídas, bases de dados *on-line*, sistemas de gerenciamento de imagens e redes locais de larga escala permitem que os dados ou imagens sejam compartilhados entre profissionais da saúde e que seja feita a visualização local ou remota. Além disso, os dados podem ser vistos em múltiplos locais simultaneamente. Entretanto, atualmente existem diversas superposições de funções entre o HIS (*Hospital Information System*), o RIS (*Radiology Information System*) e o PACS (*Picture Archiving and Communication System*) [GIL94].

Portanto, é necessária uma padronização de protocolos para garantir a comunicação entre os diversos equipamentos e softwares envolvidos no processo. Assim, permite-se a integração dos dados à estrutura do hospital e que estes

possam ser armazenados, visualizados e processados por programas ou métodos de forma única.

Para esse fim, o *National Equipment Manufacturers Association* (NEMA) e o *American College of Radiology* (ACR) cooperaram para criar um formato padrão, chamado ACR-NEMA, que foi o primeiro passo para conseguir a adesão dos fabricantes de equipamentos de imagem digital. Posteriormente, este evoluiu para o padrão DICOM (*Digital Image Communication in Medicine*) que se tornou amplamente aceito na área.

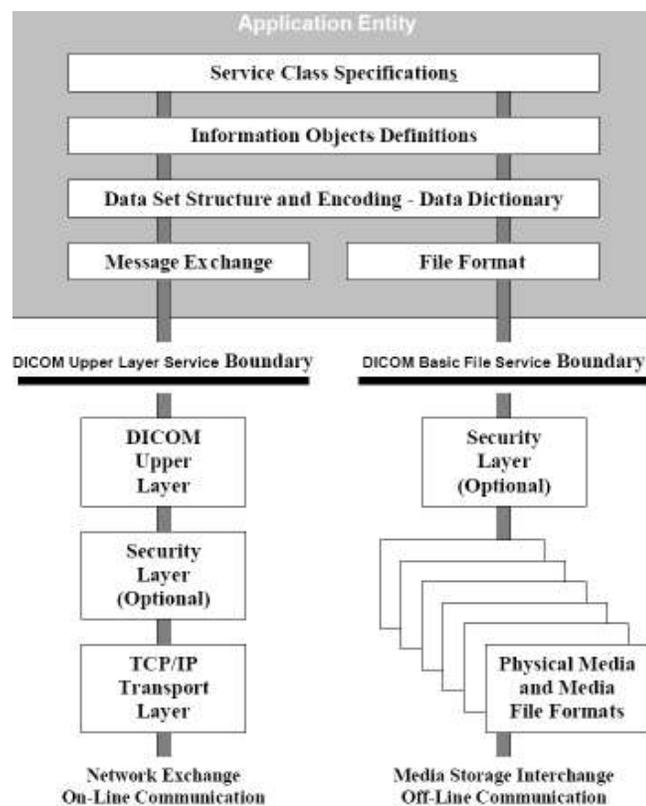
O objetivo do padrão DICOM é facilitar a interoperabilidade dos dispositivos, em diversos aspectos, conforme apresentado a seguir [NEM06]:

- Semântica dos comandos e de dados associados. Para que os dispositivos interajam, devem ser definidos padrões para os dispositivos reagirem aos comandos e aos dados associados, não apenas à informação que deve ser transferida entre dispositivos;
- Semântica dos serviços de arquivos, formatos de arquivos e informações necessárias para comunicação *off line*;
- Definição do protocolo de comunicação para executar o padrão. Em particular, uma informação enviada pode acionar a execução, no dispositivo remoto, de funções de recebimento que geram o reenvio de informações para o dispositivo solicitante;
- Facilidade de operações em rede;
- Estrutura permite a introdução de novos serviços (*tags* proprietárias), permitindo a evolução dos equipamentos e das aplicações médicas futuras;

O padrão DICOM facilita a implementação de sistemas de PACS, mas o uso do padrão sozinho não garante que todos os objetivos de um PACS serão atingidos. Esta apenas garante a aplicação dos padrões internacionais existentes. Este padrão permite que sistemas heterogêneos sejam construídos, desde que cada equipamento comunique-se utilizando o padrão DICOM.

A Figura 2 apresenta o modelo geral de comunicação do padrão DICOM [NEM06] que implementa, tanto a parte de rede (*on-line*), quanto a parte de armazenamento (*off-line*). Portanto, as implementações do DICOM podem trabalhar com independência em relação às camadas superior (DICOM UPPER), que fornece a comunicação com a utilização do protocolo TCP/IP) e básica (DICOM *Basic File Service*), que fornece o acesso aos meios de armazenamento de maneira transparente aos formatos de físicos de armazenamento.

A definição das informações dos objetos (*Information Object Definitions*) especifica um número de classes de informação do objeto que fornecem uma definição abstrata das entidades *real-world* (mundo real) aplicáveis a uma comunicação das imagens médicas digitais e da informação relacionada (por exemplo, relatórios estruturados, dose da terapia de radiação, etc.).



**Figura 2:** Modelo de comunicação geral do padrão DICOM [NEM06].

Cada definição da classe do objeto da informação consiste em uma descrição de sua finalidade e dos atributos que a definem. Uma classe de informação do objeto não inclui os valores para os atributos que compreendem sua definição. Dois tipos de classes de informação do objeto são definidos: normalizado

e composto. As classes normalizadas de informação do objeto incluem somente aqueles atributos inerentes na entidade *real-world* representada. Por exemplo, a classe de informação do objeto do estudo, que é definida como normalizada, contém a data do estudo e a hora do estudo, isto porque são inerentes a um estudo real. O nome do paciente, entretanto, não é um atributo da classe de informação do objeto estudo, porque é inerente ao paciente em que o estudo foi executado e não ao próprio estudo [NEM06].

O serviço de especificação de classes (*Service Class Specifications*) define um número de classes de serviço. Uma classe de serviço associa uma ou mais informações do objeto com um ou mais comandos a serem executados (aplicados) nos respectivos objetos. As especificações da classe de serviço indicam exigências para elementos de comando e como os comandos resultantes são aplicados às informações dos objetos. O padrão de DICOM define também as características compartilhadas por todas as classes de serviço [NEM06]. São exemplos de classes de serviço:

- *Storage* (armazenamento);
- *Query / Retrieve* (localização / busca);
- *Worklist* (lista de pacientes de trabalho);
- *Backup* (cópia de segurança).

Para a especificação de classes ainda são definidas as operações e as notificações executadas em cima das informações dos objetos, comandos e protocolos.

A estrutura e semântica dos dados (*Data Structure and Semantics*) especificam como as aplicações DICOM constroem e codificam a informação da série de dados referentes às informações dos objetos e prestam serviços de manutenção às classes [NEM06]. A seguir são apresentados exemplos:

- o suporte a compressão da imagem com perda (*lossy*) ou sem perda (*lossless*);
- construir um conjunto de regras para saber como uma mensagem foi especificada. Este conjunto é produzido da coleção dos elementos de dados que correspondem à série de dados e também definem a

semântica de um número de funções genéricas que são comuns a muitos objetos da informação;

- a definição das regras para o conjunto de dados referentes aos caracteres (internacionalização) usados dentro do DICOM.

O dicionário de dados (*Data Dictionary*) define o conjunto de todos os elementos dos dados DICOM disponíveis para representar a informação, ou seja, junto com os elementos utilizados para os meios permutáveis que codificam as informações e uma lista das representações identificadas que são atribuídos pelo DICOM. Para cada elemento, é especificado: *Tag*, que consiste em um grupo e um número para o elemento - exemplos, nome (nome do paciente), tipo (caractere, inteiro, etc.), multiplicidade (quantos valores por atributo) [NEM06].

O padrão DICOM suporta a codificação de informações do laudo do paciente através do DICOM *Structured Reporting* (DICOM SR). A troca de mensagens (*Message Exchange*) especifica o serviço e o protocolo usados por uma aplicação em um ambiente médico para trocar mensagens sobre os serviços de comunicação definidos e suportados pelo DICOM. Uma mensagem é composta por uma linha de definição seguida por uma outra linha de dados opcional [NEM06]. Assim, pode-se definir que:

- as operações e as notificações estarão disponíveis para prestar serviços de manutenção às classes definidas;
- as regras para estabelecer e terminar associações fornecerão suporte a comunicação;
- será possível controlar as transações de solicitação e resposta;
- o controle das regras necessárias para transferir as mensagens (*streams*) será realizado.

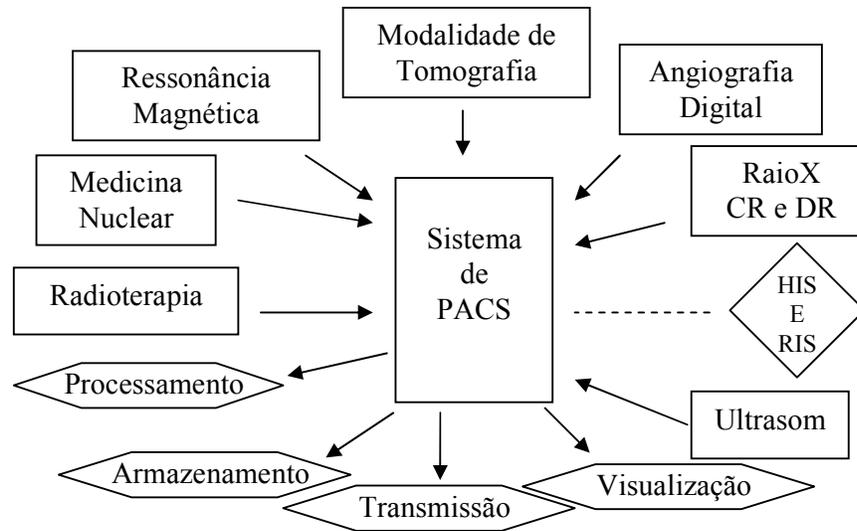
O suporte a comunicação em rede para troca de mensagens (*Network Communication Support for Message Exchange*) descreve os serviços de comunicação e os protocolos das camadas superiores necessários para suportar, em um ambiente de rede distribuído, a comunicação entre aplicações DICOM. Estes serviços e protocolos de comunicação asseguram-se de que uma comunicação entre aplicações DICOM seja executada de forma eficiente e coordenada através da rede. Os serviços de comunicação especificados são um

subconjunto apropriado dos serviços fornecidos pela especificação OSI (ISO 8822) e do serviço de controle de associação da OSI (ACSE) (ISO 8649). Os serviços da camada superior permitem que as aplicações estabeleçam conexões, transfiram mensagens e terminem conexões. O protocolo da camada superior do DICOM é, portanto, utilizado conjuntamente com protocolos do transporte do TCP/IP [NEM06], que é o principal protocolo de comunicação utilizado em redes locais e na Internet.

As mídias para armazenamento e formatos de arquivos (*Media Storage and File Format*) especificam o armazenamento de imagens médicas em meios removíveis. A finalidade desta parte é fornecer uma estrutura que permita a compatibilidade das imagens e das respectivas informações associadas com uma grande variedade de formatos de arquivos e meios de armazenamento físicos [NEM06].

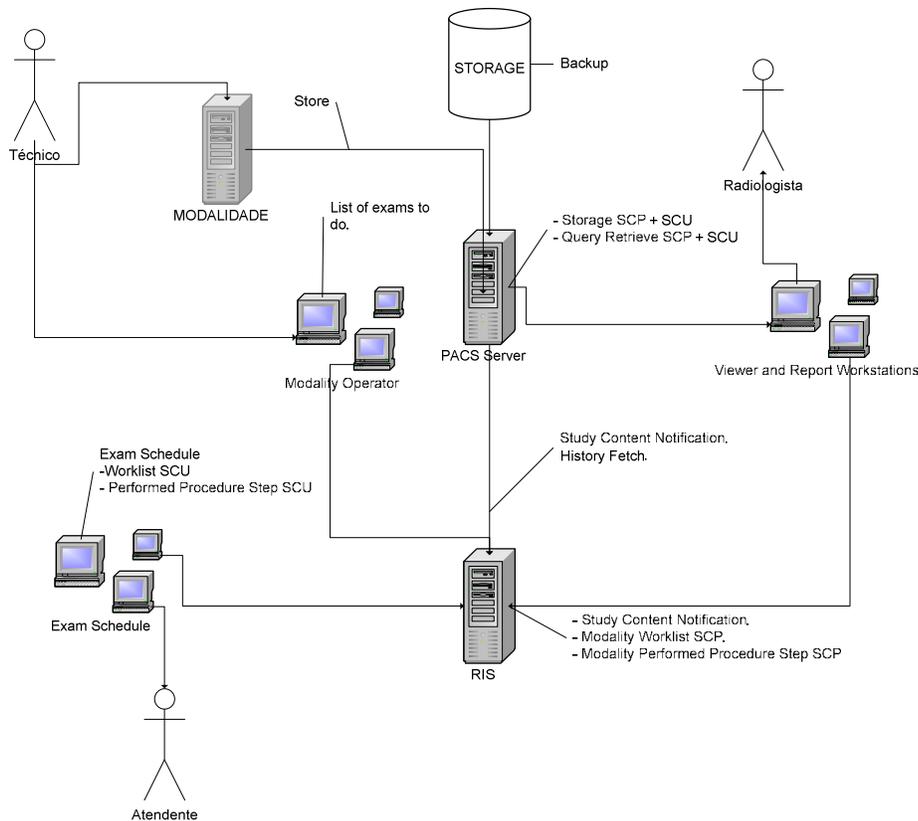
### **2.3 Utilização do protocolo DICOM**

Existem dois índices em um servidor PACS definidos pelo protocolo DICOM: *Worklist* e *MPPS (Modality procedure performed Step)*. O *Worklist* é um índice composto pelo nome do paciente, estudos, séries e imagens que garante a integridade das imagens armazenadas. O *MPPS* é um índice que identifica os diferentes estados de um exame, que vai desde a criação do estudo até a aquisição da imagem e laudo do médico durante o diagnóstico. Todo acesso às imagens é feito através destes dois índices que permitem, pela integração com as modalidades, o cadastramento único dos pacientes. Sendo que o duplo cadastramento é responsável por uma perda significativa de exames realizados em um hospital. A Figura 3 mostra a integração do PACS com o ambiente do hospital através do protocolo DICOM.



**Figura 3:** Integração do PACS ao ambiente do hospital [TOD02].

A arquitetura para a implantação de um servidor PACS está ilustrada na Figura 4. Nesta arquitetura é possível associar os serviços do protocolo DICOM com o fluxo das atividades e informações em um ambiente hospitalar. Inicialmente, o atendente marca o exame no *Exam Schedule* (agendamento) utilizando o *Worklist* e o MPPS. O sistema de radiologia (RIS), que registra o estudo do paciente no hospital, busca as informações do paciente no MPPS e envia para o console da modalidade de aquisição as imagens a serem adquiridas. A imagem gerada é armazenada no PACS Server que está integrado ao RIS, que tem o controle das atividades. O PACS Server, então, disponibiliza as imagens para a estação do médico radiologista, quando solicitado pelo RIS, que as classifica, de acordo com o estado do exame (aguardando aquisição da imagem, aguardando laudo ou laudo concluído). Observa-se, assim, que a base do PACS Server consiste na utilização do protocolo DICOM, que permite ao setor de radiologia disponibilizar os estudos clínicos para diagnóstico digital e também para os sistemas de informação dos demais setores do hospital como referência clínica.



**Figura 4:** Integração do servidor PACS à arquitetura de um ambiente hospitalar [PAD06].

Os serviços do protocolo DICOM utilizados no PACS Server são: *storage*, *query/retrieve*, *worklist* e *MPPS (Modality Performed Procedure Step)*. O *storage* é utilizado para enviar as imagens e o *Query/Retrieve* para receber. Assim, por exemplo, uma modalidade de tomografia computadorizada (TC) pode fazer um *storage* de uma série no PACS Server que receberá as solicitações de *Query/Retrieve* dos softwares de visualização para o radiologista fazer o laudo. Desta forma, é definida a comunicação no nível de aplicação que possibilita transferência de informações por objetos, permitindo que a imagem acompanhe os diferentes estágios do processo de diagnóstico médico.

## 2.4 Resolução e compactação de imagens

Todas as imagens podem ser caracterizadas por diversos parâmetros de qualidade. Os mais úteis desses parâmetros são a resolução espacial, a resolução de contraste e a resolução temporal [CLI92]. Esses parâmetros foram largamente usados para caracterizar imagens de raios X tradicionais; eles também provêm os

meios para comparação de imagens formadas por modalidades (equipamentos de tomografia ou ressonância magnética, entre outros) da aquisição de imagens digitais.

A resolução espacial está relacionada à distância entre as imagens 2D adquiridas pelas modalidades que empilhadas formam um volume 3D; ou seja, a separação física entre as imagens adjacentes de uma seqüência. Para a imagem digital, a resolução espacial é determinada pelo número de *pixel* por área de imagem. A resolução de contraste é a medida da capacidade para distinguir pequenas diferenças de intensidade, como mudanças nos parâmetros mensuráveis, tais como atenuação de raios X para imagens digitais. O número de bits por pixel determina a resolução de contraste da imagem. Finalmente, a resolução temporal é a medida de tempo necessário para formar imagens funcionais (produzir o comportamento dos batimentos cardíacos de um paciente). A taxa mínima para este tipo de imagem é de 30 *frames* (imagens) por segundo.

Uma resolução inadequada resulta na impossibilidade de distinguir estruturas; duas estruturas podem parecer uma só (baixa resolução espacial) ou uma lesão pode não apresentar limites precisos (baixa resolução de contraste).

Outros parâmetros que são especificamente relevantes para a produção de imagens médicas são os que quantificam o risco do paciente no exame, os graus de invasibilidade, a dosagem de radiações ionizantes, o grau de desconforto gerado no paciente, a portabilidade do instrumento, a capacidade de descrever as funções fisiológicas, bem como as estruturas anatômicas, e o custo do procedimento.

Uma modalidade de produção de imagens ideal deveria produzir imagens com alta resolução espacial de contraste e temporal; deveria ser de baixo custo, portátil, livre de risco, indolor, e não invasiva; não deveria usar radiações ionizantes; e deveria ter capacidade de descrever as funções fisiológicas, bem como as estruturas anatômicas. A primeira razão para a proliferação de modalidades de produção de imagens é que nenhuma única modalidade satisfaz todos estes requisitos, sendo cada uma poderosa para uma ou mais dessas dimensões e fraca para outras.

A seleção da modalidade mais apropriada para um diagnóstico em particular requer a renúncia entre essas várias dimensões. A resolução espacial é o problema mais freqüentemente questionado da imagem digital. A fim de igualar a resolução espacial típica do filme, uma imagem de 14 X 17 polegadas poderá ter aproximadamente 2000 X 2500 pixels, e para capturar todas as informações de níveis de cinza, cada pixel deve carregar pelo menos 10 bits (1024 tons de cinza). Por este método o tamanho da imagem chegaria a 6,5Mb [GON00]. Para dobrar-se a qualidade da resolução espacial é necessário quadruplicar o número de pixel. Já a resolução de contraste varia linearmente com o número de bits requeridos.

Em uma imagem digital há, basicamente, três tipos de redundâncias: código, *interpixel* e psicovisual [TAU01]. Na redundância de código, o processo de codificação atribui à informação códigos com número de *bits* variáveis de acordo com a probabilidade de ocorrência de determinado tom de cinza ou cor do *pixel* na cena. Em outras palavras, o nível de cinza ou cor com maior ocorrência, será representado por uma palavra-código de comprimento menor. Se um nível de cinza ou cor tem pouca presença na cena, este valor é representado por uma palavra-código maior.

A redundância psicovisual está relacionada à informação visual real ou quantificada em uma cena. Portanto, a redução ou a eliminação da redundância psicovisual, leva necessariamente a um processamento com perdas.

As técnicas de compressão exploram estas redundâncias para diminuir o espaço de armazenamento das imagens. Existem, basicamente, dois tipos de compressão de imagens: sem perdas e com perdas. A compressão sem perdas utiliza técnicas que permitem a reconstrução completa de todos os *pixel* da imagem. Ou seja, este tipo de compressão permite a recuperação exata dos dados da imagem original. Portanto, esta seria a técnica de compressão a ser utilizada para diagnósticos médicos, para não haver nenhuma alteração na imagem no momento do diagnóstico.

A compressão com perdas possibilita uma alta taxa de compressão, mas nem todos os *pixel* podem ser restaurados, caracterizando um processo irreversível. Por exemplo, um *pixel* com os valores RGB (tipicamente vermelho, verde e azul) teria os valores (128,243,118) e em uma imagem comprimida, pode produzir os valores (127,243,119), quando esta for expandida. Pode-se obter uma imagem de alta qualidade, mas em alguns casos, e dependendo da taxa de compressão e da aplicação que será utilizada aquela imagem, não é recomendada a utilização de compressão com perdas [MIA02].

Com o aumento dos dados e imagens disponibilizadas, a sua transmissão torna-se cada vez mais demorada. Para minimizar este problema são utilizadas técnicas de compressão de imagens, além da possibilidade de escolha da qualidade necessária de transmissão da imagem para cada tipo de diagnóstico.

Com o objetivo de aumentar a capacidade de armazenamento e permitir a telerradiologia através de conexões internet como ADSL e Cable Modem, pode-se utilizar o JPEG 2000. Este padrão de compactação é eficiente e atende o requisito de não perder informações da imagem permitindo o janelamento de níveis de cinza que é a base para diagnosticar inúmeras lesões.

Como exemplo pode-se citar o janelamento em imagem tomográficas por raios X, onde o equipamento produz números (CT ou Hounsfield) na faixa de aproximadamente [-3000 a 4000] níveis de cinza. Contudo, o olho humano não é capaz de distinguir mais do que cerca de 100 matizes de cinza. Para aproveitar a máxima precisão disponível da imagem de tomografia computadorizada, o operador pode fazer o janelamento da imagem ajustando o ponto médio e a gama de exibição dos valores CT. Deste modo, o radiologista consegue perceber melhor pequenas mudanças de contraste dentro da sub-região de níveis de cinza de interesse. Permitindo, por exemplo, a identificação de diferenças em regiões mais claras, sacrificando, porém, neste momento a resolução em regiões mais escuras.

Neste processo, as imagens DICOM adquiridas pelas modalidades TC, RM e RX (entre outras) são compactadas através do novo padrão proposto (JPEG2000) [TAU01], permitindo a compactação sem perda de informações da imagem adquirida. O padrão antigo JPEG não tem esta capacidade de compactar

sem perda. Desta forma, o tratamento da imagem no padrão JPEG2000 é igual ao tratamento de uma imagem DICOM. No momento em que uma solicitação remota é realizada, o sistema identifica a necessidade de transmissão compactada. Assim, a imagem é compactada sem perda no padrão JPEG2000, mas quando esta imagem chega no destino é descompactada. Este processo permite a extensão da imagem para o formato original (RAW) exatamente como no padrão DICOM em um processo de fluxo contínuo através de uma conexão do protocolo DICOM com uma associação por *socket* [PAD06].

A compatibilidade é garantida com outras estações de visualização DICOM através da identificação da solicitação de transmissão na associação DICOM (sem compactação ou com compactação) para cada estação de trabalho. Assim, se o PACS identifica que não existe compatibilidade com o padrão JPEG 2000, é realizada a transmissão DICOM sem a compactação para o visualizador que solicitou a imagem.

## **2.5 Servidor de imagens médicas INPACS**

A seguir é apresentado o servidor de imagens INPACS [PAD06] desenvolvido pela empresa INPAR que serviu de infra-estrutura tecnológica para implementação da arquitetura proposta.

O objetivo desta integração foi permitir a validação da arquitetura definida em um ambiente real utilização. O Servidor INPACS é compatível com o protocolo DICOM e foi desenvolvido em JAVA. A integração da arquitetura de indexação proposta ao INPACS foi definida baseando-se nestes dois aspectos. A arquitetura do INPACS, implantada no Hospital São Lucas da PUCRS, busca atender a necessidade de utilização de sistemas digitais para realização dos laudos radiológicos em ambientes de alta disponibilidade para garantir a continuidade do atendimento sem interrupções, aos pacientes em centros de pronto atendimento.

O gerenciamento das imagens médicas adquiridas em um hospital envolve o seu armazenamento, transmissão, recuperação e integração com modalidades de geração de imagens e estações de visualização distribuídas. Para

esse ambiente são necessários sistemas de gerenciamento de imagens juntamente com um banco de dados com boa performance. O grande volume de imagens geradas em um hospital agregado com o tamanho médio de uma imagem médica digital torna-se necessário um ambiente distribuído e com alta disponibilidade. Outra função importante de um sistema PACS é o roteamento de imagens que permite distribuir as imagens aos diversos setores do hospital. O INPACS apresenta um modelo personalizável de distribuição de imagens com possibilidade de aplicar filtros e conversões nas imagens antes de serem enviadas. Na Figura 5, é apresentado o console de gerenciamento do servidor INPACS.



**Figura 5:** Console de gerenciamento do INPACS [PAD06].

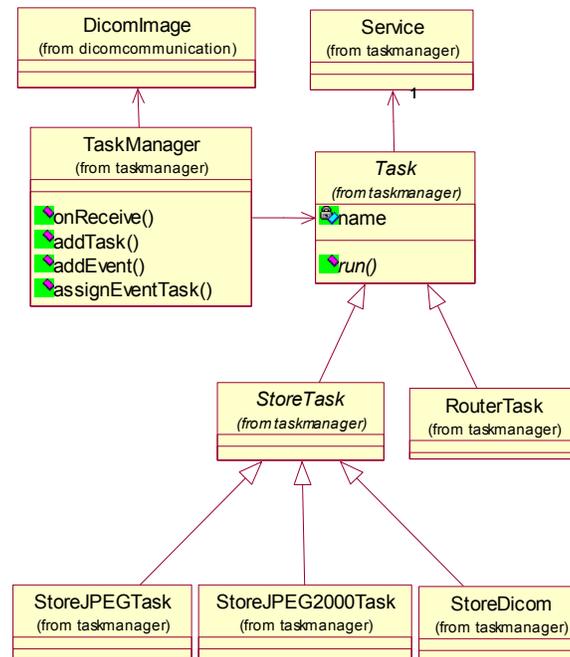
Conforme mencionado anteriormente, o sistema INPACS foi construído a partir da especificação DICOM. Sua função é permitir o armazenamento e a recuperação de imagens médicas. O INPACS implementa os serviços Storage e Query/Retrieve do referido protocolo DICOM. O sistema foi construído com uma arquitetura distribuída utilizando múltiplos servidores para armazenamento, mas um banco de dados centralizado. Devido ao grande volume de imagens e ao tamanho da imagem em bytes, foi utilizado o padrão JPEG 2000 para compactação sem perdas, que permite uma taxa de 3:1.

O INPACS foi implementado para criar um ambiente personalizável para a inclusão de novas modalidades e serviços radiológicos, permitindo que a imagem

seja transferida entre os diversos equipamentos de um hospital de forma eficiente. A solução INPACS permite a distribuição dos serviços, tornando-se escalável e com alto desempenho. O sistema foi dividido em três camadas: banco de dados, aplicação e armazenamento. Na camada de aplicação são executados os serviços do protocolo Dicom. Estes poderiam estar rodando em várias máquinas independentes com pouca capacidade de disco e teriam acesso a um banco de dados unificado que estaria clusterizado. Neste caso, as imagens poderiam estar armazenadas em diferentes *storages* (discos rígidos para armazenamento). No caso da primeira referência para uma imagem estar indisponível, a aplicação buscaria uma nova referência para a mesma imagem e faria a transferência para a estação que solicitou. Nesta solução teríamos um único índice de imagens, múltiplas referências e segmentação do tráfego na rede sem a necessidade de uma grande estrutura de hardware.

A arquitetura do sistema distribuído se baseia no conceito de um gerenciador de tarefas configuráveis. As tarefas são disparadas por eventos de recebimentos de imagens e mensagens do protocolo DICOM. Quando uma imagem é recebida em um servidor, pode-se configurar tarefas, como a compactação em JPEG2000 [TAU01], o armazenamento e o roteamento destas imagens.

O diagrama de classes na Figura 6 mostra o modelo do gerenciador de tarefas capaz de criar um ambiente personalizável para distribuição de imagens médicas. Neste modelo a imagem “DicomImage” é associada ao gerenciador de tarefas “TaskManager” que estabelece dois tipos de funções: armazenamento e roteamento. O armazenamento “StoreTask” suporta os formatos JPEG, Jpeg2000 e Dicom. As regras de roteamento são definidas na classe “RouterTask” e devem conter o destino da imagem recebida.



**Figura 6:** Diagrama de classes do gerenciador de tarefas e roteamento [PAD06].

Com esse sistema é possível criar um ambiente onde uma imagem é enviada para um servidor que envia uma cópia para outro. O segundo será o servidor de arquivamento principal e o primeiro servirá como um *gateway* para acesso por estações de visualização [HUA04]. Com isso, não haverá sobrecarregar o servidor de armazenamento. Um cenário possível é o armazenamento em dois servidores replicados, onde um recebe a imagem da modalidade e envia para o outro, também é enviada a imagem para um terceiro servidor que funciona com um *gateway* para envio de imagens para estações de visualização. Assim, é possível distribuir o tráfego de rede em servidores dedicados à transmissão e outros dedicados para o recebimento de imagens.

Normalmente o *gateway* não tem a mesma capacidade de armazenamento que os outros servidores e por isso, será necessário uma rotina de remoção das imagens menos acessadas e mais antigas. Um ambiente distribuído permite a alta disponibilidade de um serviço agregado com uma infra-estrutura de hardware de baixo custo. O roteamento inteligente e compactação de imagens implementados no INPACS possibilitam uma arquitetura apta a atender diversos setores de um hospital. O Centro de Diagnóstico por Imagem (CDI) do Hospital São Lucas da PUCRS utilizou o sistema no período de janeiro de 2006 a maio de 2007.

Observa-se que com a inclusão do setor de raios X, em janeiro de 2007 houve um aumento significativo no volume de imagens armazenadas, chegando à média de 300 exames por dia somente no setor de raios X.

### 3 SISTEMAS DE CAD (*COMPUTER-AIDED DIAGNOSIS*)

Os problemas das aplicações clínicas devem ser resolvidos de uma forma rápida e objetiva. Entretanto, o processo de observação humana é influenciado pelos aspectos internos e externos. Os aspectos externos fazem referência às informações identificadas que independem do observador (luz ambiente, monitores, ruídos e etc) e os aspectos internos fazem referência à fadiga que atrapalha o indivíduo no relacionamento das informações obtidas com o seu próprio conhecimento e a experiência do radiologista [PIE04].

Uma aplicação de CAD tem basicamente dois aspectos que influenciam na sua efetividade. O primeiro está associado à metodologia de processamento das imagens e o segundo com a visualização dos resultados através de uma interação intuitiva com o usuário

Na criação de ferramentas para auxiliar o processo de interpretação das imagens, que lida com a extração de informações específicas, pode-se classificar os tipos de informações resultantes em:

- transformação das imagens (realce, supressão de ruídos, registro, etc);
- extração de parte da imagem com determinada região anatômica;
- extração de informações (dados) relacionados à anatomia.

Em um sistema de CAD, estas funções podem ser executadas automaticamente ou através de um processo de interação com o usuário. A manipulação da imagem pode ser utilizada para aumentar o contraste de uma área em relação à outra, ou mesmo, para a extração de extremidades (interfaces/bordas) [CAN86, SAN91]. Supressão de artefatos (ruídos) e efeitos de espalhamento (*scattering effect*) [WAG89, BAM94] conduzem à redução de artefatos indesejados e à conseqüente melhora na qualidade da imagem.

### 3.1 Reconhecimento de padrões

Sistemas para auxílio à detecção têm sido desenvolvidos principalmente para imagens de tórax e de mama. Este processo de detecção automatizada de lesões envolve a localização de regiões contendo padrões anormais, que posteriormente devem ser submetidos a análise do radiologista que procura essencialmente por padrões indicadores das patologias, como nódulos e microcalcificações [GIG99].

Podem ser efetuadas comparações entre padrões de densidade de diferentes áreas de uma mama e entre as mamas direita e esquerda, que são descritas no método de análise computadorizada desenvolvido por Giger [GIG99]. Atualmente, estão sendo desenvolvidas diversas pesquisas para a detecção de lesões espiculadas, assimetrias, aumento de densidade, lesões circunscritas e distorções de parênquima [MAR02].

A partir da detecção de uma lesão, deve ser estabelecida pelo radiologista a forma de tratamento do paciente, com o acompanhamento da evolução da patologia, ou mesmo, com a realização de exames adicionais ou biópsias [MAR01].

Os sistemas de auxílio ao diagnóstico têm o objetivo de auxiliar na identificação de lesões, malignas ou benignas, e melhorar a eficiência do diagnóstico através do foco nas informações fornecidas pelo radiologista. Também são utilizados atributos extraídos e quantificados automaticamente. Desta forma, os radiologistas interpretam os atributos extraídos da imagem para fazer o laudo. O principal objetivo dos sistemas de auxílio à classificação é a diminuição do número de casos benignos enviados para biópsia (falsos positivos), não diminuindo, contudo, o número de casos verdadeiramente malignos enviados, pois o custo social gerado pela não identificação precoce de uma lesão desse tipo é muito grande [MAR02].

O desenvolvimento de métodos de auxílio à classificação, baseados na extração e quantificação automatizada de atributos, exige a definição dos atributos

cl clinicamente significativos e posteriormente o estabelecimento dos métodos para sua extração e quantificação [MAR01]. Como a interpretação cuidadosa de imagens radiográficas consome tempo, e o custo para treinar radiologistas é alto, alguns pesquisadores têm trabalhado no desenvolvimento de sistemas de ajuda à interpretação de imagens por computador. Esses sistemas podem ser particularmente utilizados com o propósito de triagem, por exemplo, em exames de tórax pré-operatórios ou mesmo em mamografias periódicas [HOR91]. Na condição de triagem, a probabilidade de verdadeiro positivo é relativamente baixa. Podendo ocorrer erros através do demorado e tedioso procedimento de análise manual. O sistema computacional tem a função de varrer as imagens indicando regiões com possíveis anormalidades para posterior interpretação do radiologista.

O processo de interpretação de imagens é baseado em técnicas de IA (Inteligência Artificial), existindo o consenso de que o desenvolvimento de uma interpretação automatizada seria muito complexo. Uma interpretação semi-automática seria viável através da resolução de sub-tarefas de uma tarefa de interpretação global [DAW83].

O reconhecimento de padrões e análise de imagens pode ser dividido em quatro sub-tarefas: processamento global, segmentação, detecção de características e classificação [ABD89]. Essas sub-tarefas são análogas ao processo sensorial do cérebro humano, conforme os cientistas acreditam.

O processamento global envolve o processamento da imagem inteira, sem levar em consideração o conteúdo local específico. O objetivo é realçar/destacar elementos da imagem para a visualização humana ou para posterior análise pelo computador. O processamento global é o mais ativo e mais próspero campo de pesquisa de análise de imagens, porque se utilizam os princípios físicos de geração de imagens. Um exemplo do processamento global aplicado a imagens tomográficas é a equalização do histograma, no qual a distribuição estatística de níveis de cinza é distribuída uniformemente, muitas vezes melhorando a resolução de contraste da imagem. Uma variedade de algoritmos de filtragem pode ser aplicada no processamento da imagem para remover ruídos, para realçar margens ou bordas, ou para melhorar a nitidez das imagens.

Durante a fase de segmentação, as regiões de interesse são extraídas da imagem. Estas regiões usualmente correspondem a estruturas significativas anatomicamente, tais como órgãos ou partes de órgãos. A estrutura pode ser identificada pelas suas bordas, nesse caso por meio de técnicas de detecção de bordas, como, por exemplo, algoritmo de aproximação de bordas.

A detecção de características é o processo de extração de informações úteis para as regiões segmentadas. Eles também podem ser aplicados dentro de um processo de classificação automatizado [DAW83], o qual determina o tipo de objeto construído. Por exemplo, pequenas regiões circulares na imagem de raios X de tórax, podem ser classificadas como tumores, dependendo de fatores como intensidade, perímetro, área e forma. Modelos matemáticos são freqüentemente utilizados para ajudar na execução de sub-tarefas de análise automática de imagens. Alguns pesquisadores estão aplicando técnicas de IA para imitar a interação entre sub-tarefas. O computador é programado com alguns dos conhecimentos anatômicos que o radiologista usa quando interpreta as imagens. Assim, um bom modelo orgânico (estrutura interna do corpo humano) dá uma referência de alto nível para que o processo de segmentação funcione a contento.

A classificação está relacionada à análise quantitativa da imagem, que agrupa os conjuntos pela relação de afinidade aos padrões normais ou anormais analisados. Como exemplo para classificação, pode-se citar a associação da quantidade e forma das microcalcificações presentes em uma região da mama com a malignidade ou não do tumor, ou a associação de determinadas texturas dos pulmões com lesões intersticiais em imagens de tórax [MAR01].

### **3.2 Análise de imagens**

Antes do início do processo de aquisição da imagem o médico escolhe a modalidade de melhor indicação. Por exemplo, a ressonância magnética geralmente é indicada para visualização e análise de tecidos moles [ABD89]. As imagens de TC por raios X são excelentes para análise dos ossos. As imagens de Medicina Nuclear (MN) fornecem informações fisiológicas ao invés de anatômicas.

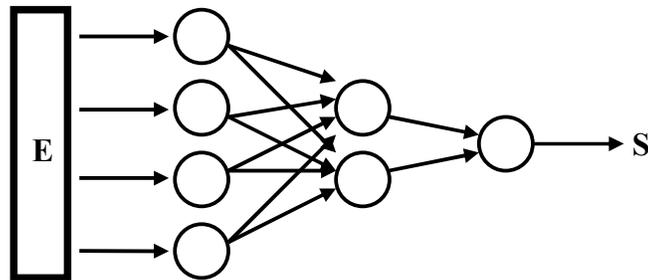
Depois da imagem ter sido gerada, é preciso analisá-la. Usualmente o exame radiológico é requisitado por quatro razões básicas: visualização, quantificação, localização e triagem. Por exemplo, pode-se ajustar os níveis de cinza de uma imagem para exibir as regiões de maior interesse. Técnicas de filtragens digitais também podem ser aplicadas para remover ruídos ou fazer a detecção de bordas melhorando a definição das imagens. Atualmente existem diversas técnicas de processamento para a análise de imagens, que permitem quantificar parâmetros, tais como o volume do coração ou o tamanho do feto, visando fornecer elementos para um melhor diagnóstico [ABD89].

Para certos propósitos, tais como cirurgias ou radioterapia, a localização precisa da lesão é a principal razão para estudo. A localização também é crucial para procedimentos radiológicos intervencionistas, tais como biópsias com agulha e drenagem de abscessos. Os radiologistas analisam as imagens para determinar o melhor local para chegar à lesão, e para determinar o ângulo de aproximação e a profundidade. Dados de imagens tridimensionais são inestimáveis para localização, porque estas devem ser relacionadas a pontos de referência externos no corpo. Esta informação também é usada no planejamento de radioterapia, no qual o oncologista deve examinar o volume da zona de tratamento precisamente, evitando órgãos sensíveis.

### **3.3 Conceitos de IA aplicáveis ao desenvolvimento de sistemas de apoio ao diagnóstico**

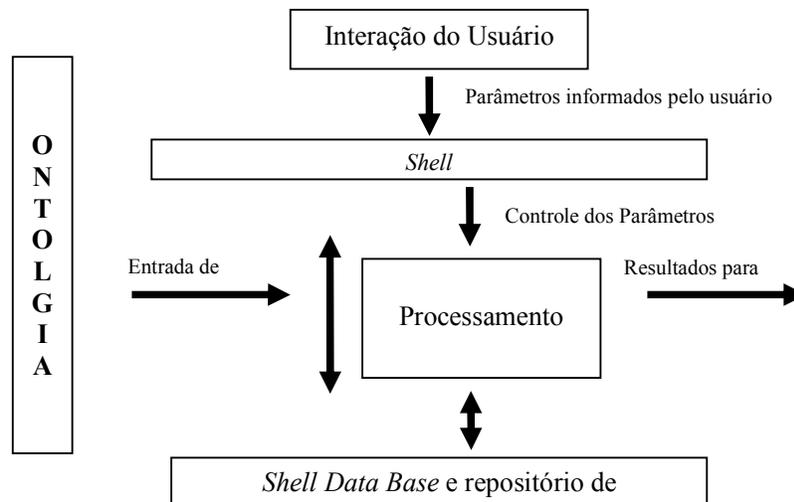
As técnicas para o desenvolvimento de uma aplicação de apoio ao diagnóstico médico envolvem o uso do computador para o processamento de dados, visando à distinção entre padrões normais e anormais, a partir dos atributos extraídos das imagens. As técnicas relacionadas a essa área do conhecimento incluem métodos para a seleção de atributos, como os baseados na separabilidade entre as distribuições de probabilidades das classes e algoritmos genéticos, e classificadores, como os baseados em técnicas de análise discriminante, sistemas especialistas baseados em regras específicas, métodos estatísticos, redes neurais artificiais e ontologias [GIG99, CAS96, DUD73, TOD02].

As Figuras 7 e 8 apresentam exemplos de redes neurais artificiais e de ontologia. A Figura 7 apresenta um esquema de uma rede neural artificial multicamadas do tipo *feedforward* [MAR01] que mostra os diferentes níveis criados em uma rede neural para permitir a classificação do conjunto de dados de entrada, no caso em específico do problema proposto, imagens de exames e ou informações clínicas.



**Figura 7:** Rede neural artificial multicamadas do tipo *feedforward* [CHA87]

O uso de ontologias pode ser aplicado à representação de conhecimento com suporte ao CAD. Um exemplo que utiliza o conceito de atlas digital é apresentado por Guliato [GUL05] que propõe o modelo AMDI (*An Atlas to Integrate Case Studies, E-Learning, and Research Systems via the Web*). Este modelo facilita a entrada de novos casos de referência associados à mamografias e informações clínicas e radiológicas, inclusive identificando hábitos relacionados à saúde e a qualidade de vida de cada paciente. Este atlas incorpora um sistema de ensino e um de pesquisa que são projetados para permitir suporte ao diagnóstico, telerradiologia, telemedicina, recuperação de imagens indexadas baseadas em mineração de dados. A Figura 8 apresenta a arquitetura de um sistema baseado em ontologia para inferir consultas a uma base de conhecimento. Nesta arquitetura é possível verificar que a “Ontologia”, o “Repositório de Conhecimento” e o “a unidade de Processamento de imagens” são independentes e interagem com a camada de controle da aplicação “Shell” para gerar os resultados a partir dos parâmetros definidos pelos usuários.



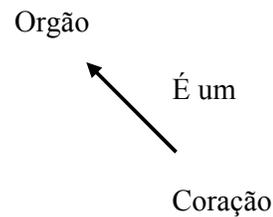
**Figura 8:** Arquitetura de um sistema baseado em ontologia [TOD02].

Esses dois exemplos representam a idéia básica de utilizar a Inteligência Artificial para tornar os sistemas de conhecimento e suporte ao diagnóstico mais eficientes [TOD02].

Ontologia pode ser definida como uma especificação explícita abstrata e simplificada (conceitualização) de um domínio a ser representado [GRU93]. Na IA se uma entidade pode ser representada, então ela é uma especificação explícita de uma conceitualização [BEJ06]. Assim, a conceitualização é definida como a interpretação estruturada dos conceitos, relacionando-os. Os conceitos, neste caso, referem-se àqueles selecionados como relevantes em um determinado domínio. O termo “explícito” significa que o conjunto de conceitos utilizados e as restrições aplicadas, são previamente e explicitamente definidas. A importância da formalização de uma ontologia refere-se à capacidade de processá-la pelo computador, o que exclui definições em linguagem natural. Finalmente, uma ontologia é compartilhada porque descreve um conhecimento consensual, que é utilizado por mais de um indivíduo e aceito por um grupo. Assim, uma ontologia é a união de um conjunto não vazio de atributos, conceitos e especificações em contraposição com as hierarquias, tendo como função básica a representação do conhecimento através dos relacionamentos e axiomas.

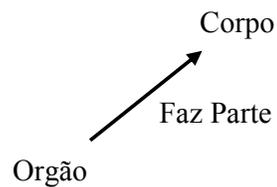
A hierarquia conceitual é estabelecida na ontologia através dos relacionamentos que podem ser subdivididos em taxonomia, mereologia, temporal e topológico [BEJ06], exemplificados a seguir.

a) Taxonomia - o significado da expressão “A é um B” é definido por “A é uma classe de B” (Figura 9). As propriedades da taxonomia são: irreflexividade, transitividade e simetria.



**Figura 9:** Exemplo de taxonomia.

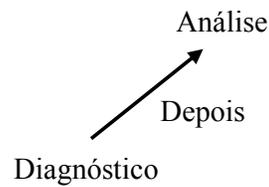
b) Mereologia - é definida como: “Parte de” (Figura 10). A expressão “Parte de B” é na verdade “A é uma parte de B”. As suas respectivas propriedades são: irreflexividade, assimetria e não transitividade.



**Figura 10:** Exemplo de mereologia.

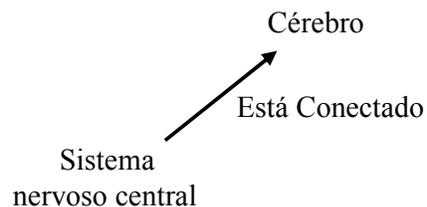
Pode-se citar como exemplos para mereologia as relações membro/conjunto (árvore/floresta) e fase/processo (adolescência/desenvolvimento).

c) Temporalidade - O significado de temporalidade é justamente uma seqüência temporal de eventos ou processos (Figura 11). Suas propriedades são a irreflexividade, a transitividade e a assimetria.



**Figura 11:** Exemplo de temporalidade.

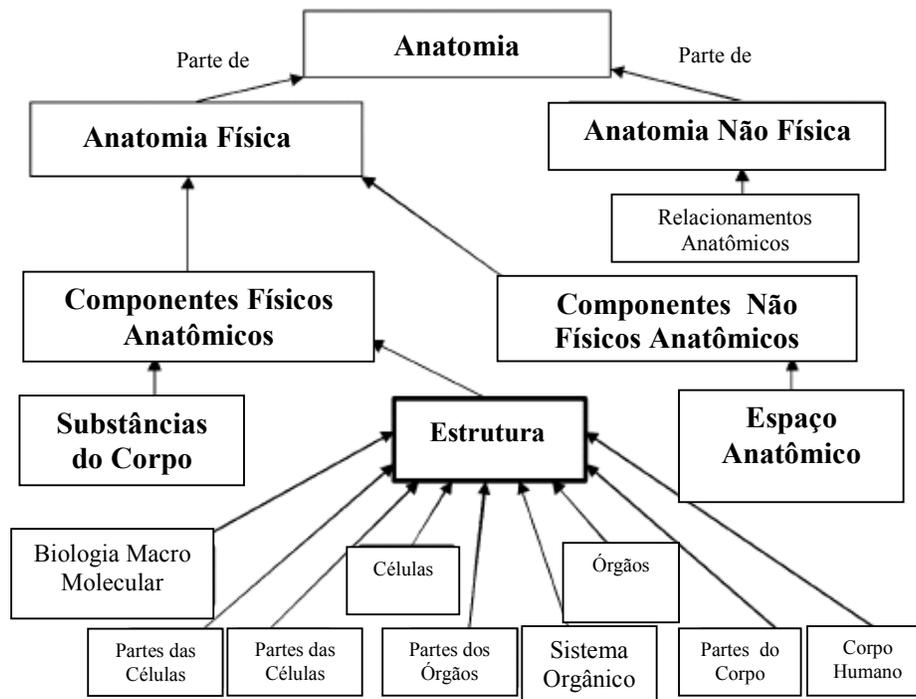
d) Topologia - define um simples relacionamento semelhante ao conceito de Engenharia de software. A expressão “A está conectado a B” apresenta sua respectiva forma e as propriedades são a irreflexividade, a assimetria e a não transitividade (Figura 12).



**Figura 12:** Exemplo de topologia.

As regras para modelar condições sempre apresentam axiomas. Os estruturados derivam de relacionamentos existentes entre conceitos e atributos (ex: A é um B); já os não estruturados definem o relacionamento apenas entre os atributos (ex:  $F=m*a$ ).

Na Figura 13, é apresentado um exemplo de formalização de ontologia, com dois tipos de relacionamento “Parte de” e “É um”. Estes relacionamentos fornecem a semântica necessária aos conceitos. Neste caso, o coração pode ser definido como um órgão pela simples inferência à ontologia.

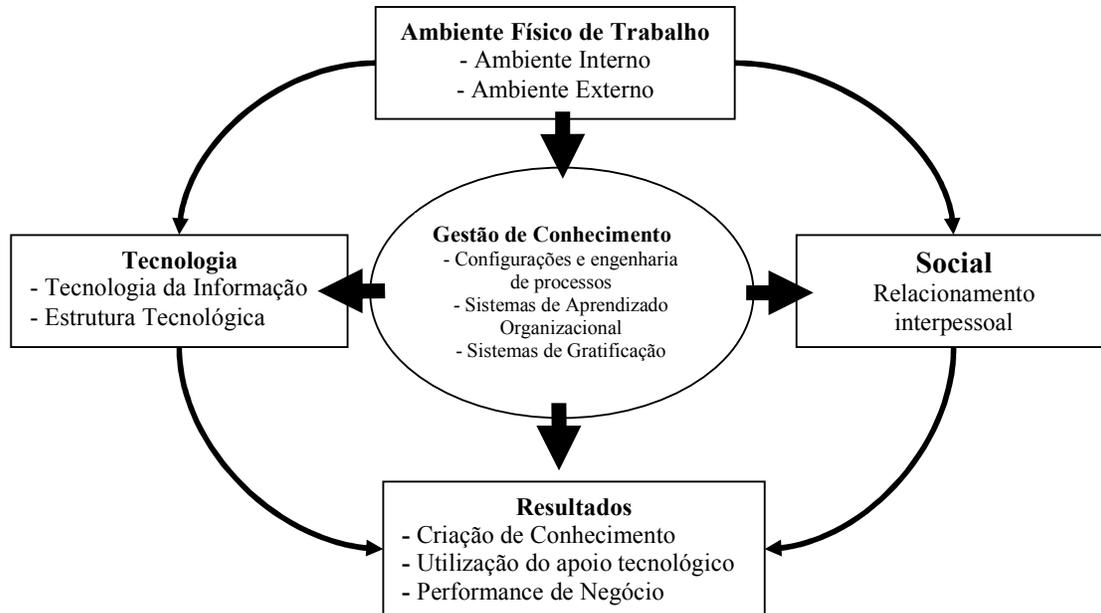


**Figura 13:** Exemplo de ontologia da anatomia Humana [ROS03].

Complementarmente a definição dos conceitos as aplicações de ontologia abrangem a definição de hierarquia e a gestão de conhecimento, através do controle e gerenciamento do conhecimento armazenado nas organizações. Na Figura 14 é apresentado um ambiente e o seu respectivo fluxo (ciclo de gerenciamento do conhecimento). Também pode-se citar o compartilhamento de conhecimento através do trabalho cooperativo e a formalização das atividades que compõem o próprio conhecimento do funcionário (ex.: como se realiza a atividade XYZ).

Os recursos de uma organização podem ser tangíveis (maquinário) ou intangíveis (melhores práticas). Neste contexto, se faz necessário melhorar os níveis de utilização dos recursos intangíveis, objetivando aumentar a performance e, manter de forma permanente, o conhecimento organizacional e mesmo, a representação da informação, assim como a própria informação com um alto grau de reusabilidade.

Manter a memória diagnóstica de uma instituição hospitalar implica na criação/formalização (cada radiologista deve contribuir com seu conhecimento), distribuição (todos os membros devem ter acesso à memória [conhecimento] corporativa), uso (este referido conhecimento deve ser utilizado) e consistência (verificação da validade desta memória sobre o aspecto da lógica [verdadeiro/falso] e do aspecto temporal [atualização]).



**Figura 14:** Ciclo de produção do conhecimento em um ambiente[BEJ06]

A integração de ontologias é na verdade um processo de unificação de conhecimento coletado de diferentes conjuntos. Suas vantagens são o comprometimento com o trabalho cooperativo e o aprimoramento pessoal com a construção de conhecimento gerado justamente por esta integração.

Os esforços nesta área estarão divididos em diferentes tópicos a serem desenvolvidos num futuro próximo. Entre estes, destacam-se: a adição de novos tipos de relacionamento; a definição do ambiente organizacional com maior realismo; a utilização de tecnologia multimídia para facilitar a representação; e a busca/armazenamento de conhecimento.

## **4 RECUPERAÇÃO DE IMAGENS MÉDICAS APLICADA À CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTO**

A busca por informações pode ser feita através de consultas por elementos textuais ou por informações sobre o conteúdo pictórico das imagens [MAR02]. Os que implementam esta busca por similaridade são chamados de sistemas de consulta baseados em conteúdo das imagens.

Estes sistemas devem estar integrados a um ambiente médico que se caracteriza pela diversidade e quantidade de informações que são produzidas no processo de diagnóstico do paciente. O serviço de Radiologia e o sistema hospitalar podem ser encontrados dentro desse ambiente, gerenciando os dados administrativos e clínicos. Estes dados podem estar na forma de atributos textuais, representando informações gerais sobre o paciente e dados do prontuário, bem como acessar as imagens armazenadas no servidor PACS.

### **4.1 Extração de características das imagens**

A extração de uma determinada região anatômica é freqüentemente um problema e depende da predefinição de uma configuração específica a ser aplicada a cada diferente estrutura anatômica. Certos métodos podem ser aplicados a toda imagem ou a regiões selecionadas [PIE04].

A seguir são apresentados os métodos mais comuns de formulação de consulta [ZAC99], de acordo com o tipo de informação a ser utilizada na caracterização do conteúdo da imagem:

- Baseadas em atributos textuais: As informações textuais são normalmente obtidas através da análise de um especialista no domínio de conhecimento relacionado ao tipo de diagnóstico. Apresenta alto índice de ambigüidade e é altamente dependente do conhecimento desse especialista.
- Baseadas em características pictóricas: Consistem na extração de uma série de elementos gráficos que caracterizam o conteúdo da imagem. São exemplos: histograma, textura, descritores da forma, etc. Exige a definição

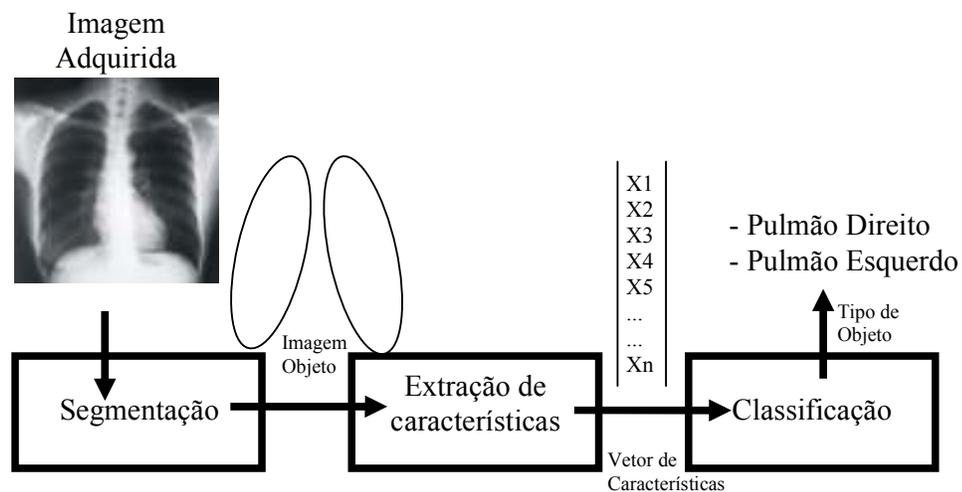
de uma semântica apropriada ao conjunto de informações ao domínio da aplicação [COL99].

- Baseadas em imagem-exemplo: Consistem em utilizar uma imagem de referência para comparação com as imagens analisadas.

## 4.2 Estruturas de indexação para dados métricos da imagem

O processo de extração das características das imagens permite relacionar de forma organizada as propriedades da imagem sobre os aspectos: forma, textura, distribuição de cores e relacionamento espacial, entre outros objetos presentes na imagem. Assim, a partir destas características é possível indexar as imagens buscando a similaridade baseada no seu conteúdo.

Esta indexação é associada ao reconhecimento de padrões através do processo de segmentação (localização do objeto de forma isolada que está contido na imagem); extração de atributos (cálculo dos valores que descrevem propriedades quantitativas internas e externas da imagem); e classificação da imagem (como por exemplo, em relação aos tipos de exames que definem os objetos esperados). A Figura 15 apresenta as etapas para o reconhecimento de padrões.

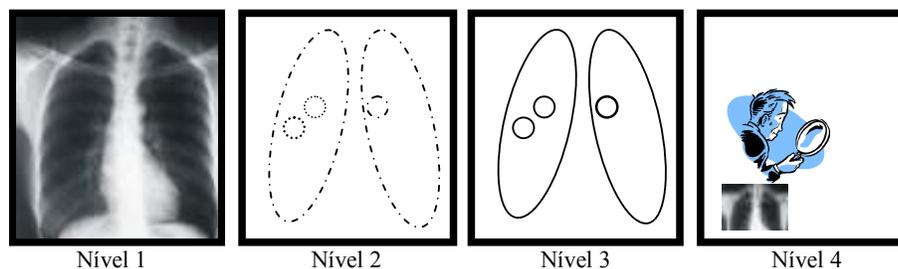


**Figura 15:** Etapas para o reconhecimento de padrões de imagens [CAS96].

A seguir é apresentada uma taxonomia, definida por [BRO92], sobre quais são os atributos mais utilizados no processo de extração de características, divididos em cinco categorias.

- **Intensidade bruta (*Raw Intensity*):** Baseia-se nas intensidades dos pixel da imagem;
- **Bordas:** Estrutura intrínseca, menos sensível a ruídos que incluem contornos e interfaces.
- **Características Salientes:** Estrutura intrínseca, posicionamento preciso com interseção de linhas, cantos e pontos de alta curvatura.
- **Características Estatísticas:** Usa toda informação presente na imagem e apresenta bons resultados para transformações rígidas. Também fornece suporte a suposições e apresenta eixos principais com a utilização de técnicas como: *Singular Value Decomposition* (SVD) e centróides
- **Características de Alto Nível:** Utilizam relações e informações de alto nível apresentando bons resultados para registro local e impreciso. Define características estruturais (grafos de configurações de sub padrões) e sintáticas (gramáticas compostas a partir de padrões); e redes semânticas. Nesta categoria podem ser criadas técnicas de assinatura para indexar imagens.

Na análise baseada em conteúdo define-se uma hierarquia de abstrações [ASL99] em quatro níveis distintos para modelagem deste processo de análise. No primeiro nível, o pixel da imagem define a informação referente à densidade (cor e brilho) associada a cada elemento. No segundo nível é realizada a análise sobre atributos (bordas, cantos, linhas curvas e regiões de mesma densidade). O terceiro nível associa os atributos em conjunto buscando relacioná-los. No quarto nível, o radiologista faz uma análise final. A Figura 16 apresenta a idéia da abstração descrita anteriormente.



**Figura 16:** Definição dos níveis de abstração para a análise de conteúdo [ASL99].

Neste contexto, os algoritmos para extrair formas e texturas são muito dispendiosos e dependem do domínio da aplicação (tipo de diagnóstico). Portanto, é melhor deixá-los para o último passo na separação de imagens, quando o conjunto resposta candidato já foi reduzido através do uso de outras formas características. Assim, a importância de histogramas de cor ou brilho é devido à simplicidade de obtê-los e compará-lo, pois as operações são executadas em tempo linear [TRA02, BUE02].

### 4.3 Conceitos sobre recuperação de informações

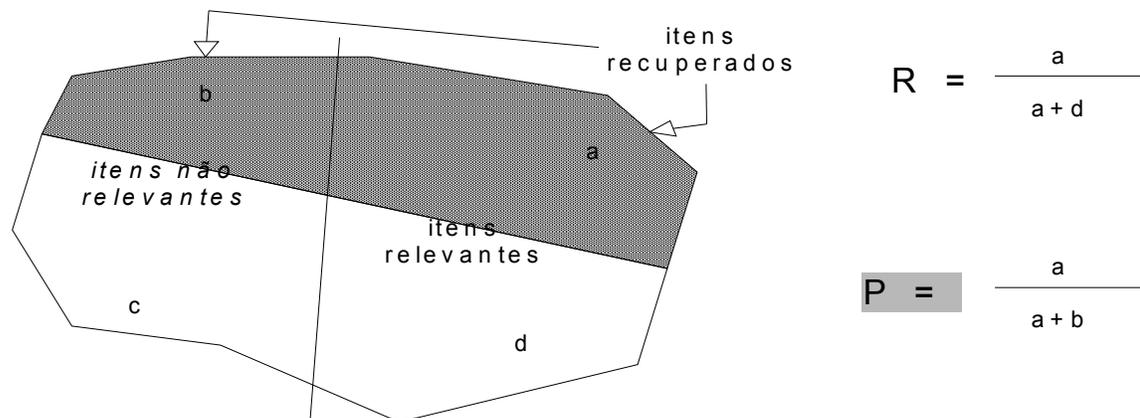
Esta seção apresenta alguns conceitos de recuperação e pesquisa de informações que foram utilizados para a especificação da arquitetura de indexação proposta. Sistemas de recuperação de informações devem ser capazes de armazenar, recuperar e manter as informações. Seu principal objetivo é minimizar o desperdício de tempo do usuário ao procurar a informação desejada, ou seja, a informação que está no sistema e que se relaciona com a necessidade do usuário [TEC98].

Duas formas de medida comumente associadas com sistemas de recuperação de informação são a precisão e *recall* (retorno). Assumindo a relevância de um resultado como documentos que contêm a informação que ajude o usuário a responder sua questão, pode-se definir a precisão como a razão entre o número de resultados de uma procura que são relevantes (corretas) e o número total de resultados.

O resultado desta relação reflete a eficiência do processo de procura e seleção das informações num espaço total de documentos. Se, por exemplo, o resultado de uma procura mostra uma precisão de 80%, os 20% restantes denotam o *overhead*, ou seja, a quantidade de itens não relevantes, mas que fazem parte do resultado. Além disso, existem resultados relevantes que não são retornados para o usuário. Para essa medida é utilizada a métrica mencionada de *recall* que é a razão entre o número de resultados relevantes e o número possível (total) de resultados relevantes [KOW97].

O *recall* é um conceito muito útil, mas não é calculável, pois se o sistema soubesse o número possível de resultados relevantes, então ele simplesmente poderia mostrá-los sem que houvesse margem de erro [KOW97].

A seguir é apresentada a Figura 17 que ilustra o cenário descrito anteriormente.



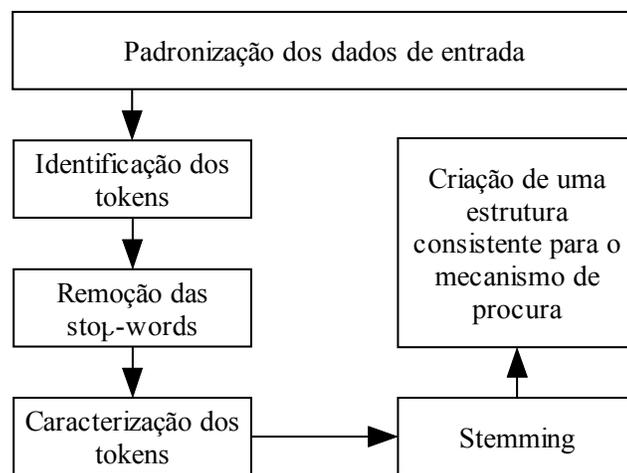
**Figura 17:** Conjunto dos dados relevantes e não relevantes [KOW97].

A precisão é diretamente afetada pela quantidade de resultados não relevantes. O *recall* não é afetado pelos resultados não relevantes. Assim sendo, se existem 20 documentos em um banco de dados dos quais 5 deles são relevantes e o resultado da procura nos mostra apenas 2 destes documentos relevantes, e 2 que não são relevantes, então se obtém uma precisão de 2/4 que resulta em 50% e um *recall* de 2/5 que resulta em 40%. Se por acaso o resultado nos mostrasse 10 documentos dos quais apenas 2 são relevantes, então a precisão ficaria em 2/10, que equivale a 20%, e o *recall* resultaria em 2/5, que equivale a 40%.

Como se pode observar, a quantidade de resultados não relevantes afetam a precisão do mecanismo de procura, mas não afetam o *recall*. O objetivo principal dos mecanismos de procura é balancear a relação entre precisão e *recall*, mostrando o máximo possível de documentos relevantes. Desta forma, tentando minimizar a quantidade de documentos no resultado que não interessa ao usuário. Um mecanismo eficiente e prático para o usuário final, faz com que o mesmo encontre as informações de forma rápida e eficiente, sem perder seu tempo em uma nova seleção dos documentos já identificados pelo sistema. Observa-se que

os conceitos de precisão e recall podem ser associados as idéias de sensibilidade e especificidade comumente utilizadas na área médica.

O primeiro passo em um sistema de busca e armazenamento de informações é a normalização dos dados. Essa normalização consiste em uma transformação dos dados para um formato padrão assumindo uma estrutura de dados consistente para posterior manipulação dos processos de pesquisa. As operações, apresentadas na Figura 18, são necessárias para normalizar os dados e criar uma estrutura consistente de pesquisa: identificação das palavras-chave (*tokens*), filtragem das *stopwords* (palavras não relevantes para busca que alteram o potencial de diferenciação dentre outros documentos), caracterização dos *tokens*, e *stemming* (remoção dos sufixos dos *tokens*) [KOW97]. O processamento dos *tokens* e sua caracterização são necessários para definir a parte essencial da totalidade do texto.



**Figura 18:** Processamento do texto [KOW97].

Os sistemas de busca e indexação recebem como entrada o texto e como saída uma versão processada ou filtrada desse texto. Isto é feito para reduzir o tamanho do texto ou padronizá-lo, tornando a pesquisa mais eficiente[BAE99].

Neste caso, qualquer *query* (pesquisa), antes de consultar o índice e posteriormente o banco de dados, deve ser filtrada, da mesma forma que os textos antes de serem indexados. Normalmente um usuário ao utilizar um mecanismo de busca, monta sua *query* e analisa os resultados retornados. De posse dos resultados ele volta a refazer a pesquisa, modificando a *query* para que o retorno

seja mais preciso e para que satisfaça as necessidades do usuário na busca das informações pretendidas [MEA00].

Uma das referências para a eficiência dos algoritmos de busca é a arquitetura de memória dos computadores atuais, que apresentam um excelente desempenho. Estas se baseiam em níveis diferenciados em relação à velocidade e a capacidade de armazenamento. A eficiência deste modelo está baseada nos conceitos de localidade temporal e localidade espacial [PAT98]. Localidade temporal estabelece que um item referenciado, tende a ser referenciado novamente dentro de um espaço de tempo curto. Localidade espacial está ligada ao fato de um item referenciado possuir relacionamento com itens cujos endereços sejam próximos e tendem a ser logo referenciados.

#### **4.4 Conceitos sobre construção de conhecimento**

Os conhecimentos utilizados no apoio ao diagnóstico provem dos dados clínicos e imagens dos exames, podendo ser construído através da identificação de cenários (contextos) utilizando ferramentas colaborativas de exploração de dados. Esta seção apresenta alguns dos conceitos de análise de dados biomédicos. A transformação de dados em conhecimento diagnóstico é uma tarefa complexa que pode fazer uso de análise multivariada dos dados e também dos conceitos de especificidade e sensibilidade, associados à precisão e recall. Os diferentes contextos de interpretação dos dados dificultam a formulação do conhecimento dos padrões que podem ser detectadas, bem como suas inter-relações. Uma nova maneira de abordar este problema seria a integração dos modelos automatizados com os definidos pelos usuários, baseando-se em uma visão humano-computador de colaboração envolvendo informações específicas. Neste caso pode-se considerar três princípios básicos a serem aplicados: autonomia, adaptabilidade e relevância. O suporte a co-construção de conhecimento é realizado através de um agente que tem a função de identificar os diferentes níveis de abstração para posterior interpretação dos dados.

Tomar decisões críticas com base na análise de dados é uma tarefa relativamente comum em domínios médicos. Esta tarefa revela-se de particular

importância no contexto diagnóstico. Atualmente existe uma crescente massa de dados sendo produzidos para auxiliar os médicos, entretanto, estes dados podem não ser plenamente utilizados, devido à falta de tempo, falta de pessoal, e uma falta de conhecimento formalizado. Neste sentido, a necessidade de criar modelos computacionais a serem aplicados neste domínio específico torna-se relevante.

A formalização do conhecimento é uma etapa preliminar que deve ser realizada para posterior auxílio ao diagnóstico. O objetivo é extrair conhecimento que trará uma melhor compreensão dos dados para apoio à tomada de decisões. Esta é constituída pela identificação das informações relevantes, a extração de padrões, o relacionamento dos mesmos para a construção de cenários significativos e pela validação do conhecimento produzido.

Considerando o caráter combinatório dos relacionamentos, uma abordagem incremental é proposta em que ambos, homem e máquina, colaboram para a definição progressiva dos contextos e refinamento dos modelos diagnósticos. A integração deve ser eficiente permitindo a comunicação entre homem e máquina permitindo a análise de vários níveis de abstração dos dados. O modelo utilizado deve suportar a criação de modelos diagnósticos personalizados. O médico pode intervir a qualquer momento durante o processo de criação de modelos diagnósticos adicionais, ou alterar modelos existentes.

Neste sentido, podem-se considerar três princípios fundamentais: a autonomia (capacidade de aprender), a capacidade de adaptação (para lidar com o padrão de variabilidade e heterogeneidade de características associadas a cada classe) e relevância (capacidade de identificação de contextos diagnósticos para triagem por inferência dos modelos em casos a serem diagnosticados). Um agente integrado aos sistemas hospitalar e radiológico e ao servidor de imagens é uma forma de aplicação destes princípios.

#### **4.5 Conceitos sobre aquisição de conhecimento**

Nesta seção são apresentados conceitos na construção colaborativa de conhecimento e exploração de dados.

Desde os primeiros trabalhos no desenvolvimento de sistemas especialistas, a aquisição do conhecimento humano tem se constituído em um problema crítico ainda não totalmente solucionado. Os esforços têm sido dedicados à extração de conhecimento para lidar com a imensa, e ainda crescente, massa de dados gerados para cada diagnóstico. Na maioria dos campos da medicina o número de variáveis é de fato grande e tende a aumentar cada vez mais de forma a impedir o julgamento médico por seres humanos [MOR00].

Um exemplo de abstração de análise funcional é apresentado por [VER05] que explora dados quantitativos. Neste estudo, são consideradas técnicas de descoberta de conhecimento que baseiam-se no próprio conhecimento e seus diferentes níveis de abstração. Assim como, o conhecimento específico expresso de forma qualitativa também é utilizado. Ambas as abordagens têm sido avaliadas na sua capacidade de auxiliar o diagnóstico, buscando fornecer subsídios para análises mais precisas.

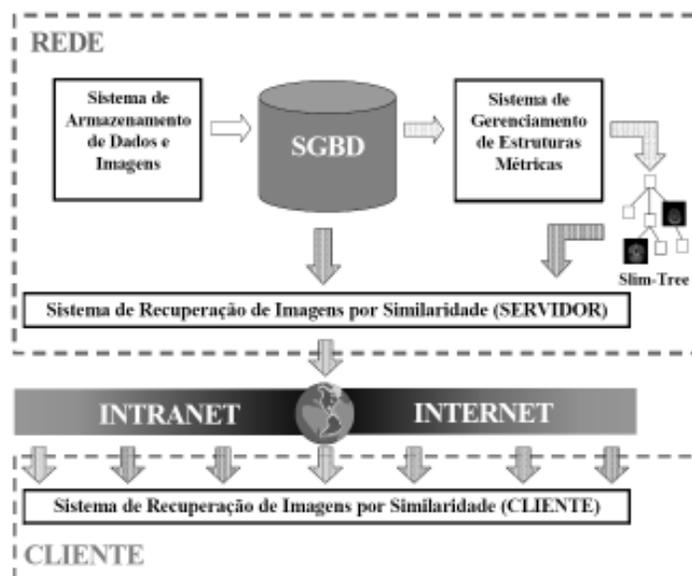
Conceitos utilizados em estudos qualitativos têm sido aplicados a dados quantitativos para tornar o processo de análise mais intuitivo e relacionado ao raciocínio humano. A necessidade de modelos computacionais para combinação de dados com análise orientada raciocínio humano tem sido amplamente reconhecida. Atualmente, a mineração de dados é cada vez mais considerada como um processo cooperativo, utilizada como estrutura computacional para criar formas (modelos conceituais, bibliotecas e componentes de software) de integrar os avanços recentemente obtidos no conhecimento especializado ao processo diagnóstico. Zupan et al. [ZUP06] propõem a noção de conhecimento em círculo para formalizar a alternância necessária entre análise de dados para obter conhecimento e a análise do próprio conhecimento para gerar mais conhecimento. Como mencionado pelos autores, à automatização deste ciclo, embora altamente desejável, é complexa e não freqüentemente encontrada nas aplicações do mundo real.

## 5 TRABALHOS RELACIONADOS

Existem diversos trabalhos relacionados ao tema proposto, como por exemplo, a arquitetura de PACS, chamada cbPACS [BUE02], que implementa a recuperação de imagens baseado em conteúdo utilizando um método de extração de características de imagens chamado histograma métrico.

O cbPCAS foi desenvolvido pelo grupo de Bases de Dados e Imagens (GDBI) do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da USP, em conjunto, com o Centro de Ciências de Imagens e Física Médica (CCIFM) da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP, apresenta uma nova função de distância métrica para comparar dois histogramas métricos e incorporados a um MAM (*Metric Access Method*) denominado de *Slim-Tree* [TRA02] que possibilita a indexação e recuperação das características extraídas das imagens de forma otimizada, através de consultas por similaridade.

A Figura 19 apresenta a arquitetura do cbPACS que é um sistema com suporte à recuperação de imagens médicas baseada em conteúdo.



**Figura 19:** Arquitetura do cbPACS [BUE02].

Com o objetivo de mostrar a importância da utilização da IA em sistemas de apoio ao diagnóstico é apresentado o trabalho desenvolvido por Moreno [MOR04]. O visualizador contextual ODIN do serviço de informática do InCor –

FM/USP, permite a identificação do contexto de exibição das imagens. A identificação dos contextos baseia-se na definição de ontologias. Dentre as suas características pode-se destacar o suporte ao protocolo DICOM e a extensão das suas funcionalidades através do conceito de inclusão de plug-ins que complementam as funções de manipulação padrão sobre as imagens. Um dos plug-ins disponibilizados no ODIN implementa o algoritmo de identificação de imagens similares definido por Bueno que foi utilizado no cbPACS.

A união de uma aplicação indexação (cbPACS) e uma de identificação de contextos (ODIN), ambas para apoio ao diagnóstico, abre espaço para a criação de estruturas de softwares que agreguem valor aos sistemas de CAD existentes.

Entre os trabalhos relacionados, pode-se destacar dois que foram utilizados como referência para a definição da arquitetura definida neste trabalho. O primeiro trabalho relacionado, descrita na seção 5.1, é a arquitetura MIII (*Medical Imaging Informatics Infrastructure*) definida por Huag [HUA04]. Neste trabalho são definidas as estruturas tecnológicas para fornecer suporte a CAD aos servidores PACS. O segundo trabalho destacado, na seção 5.2, foi desenvolvido por Pietka [PIE04] e estabelece a divisão dos sistemas de CAD em camadas (dados, aplicação e apresentação). A idéia é permitir a abstração da respectiva infra-estrutura através do suporte as camadas de dados e apresentação com a utilização da arquitetura proposta que será integrada ao servidor de imagens médicas INPACS [PAD06].

### **5.1 MIII – *Medical Imaging Informatics Infrastructure***

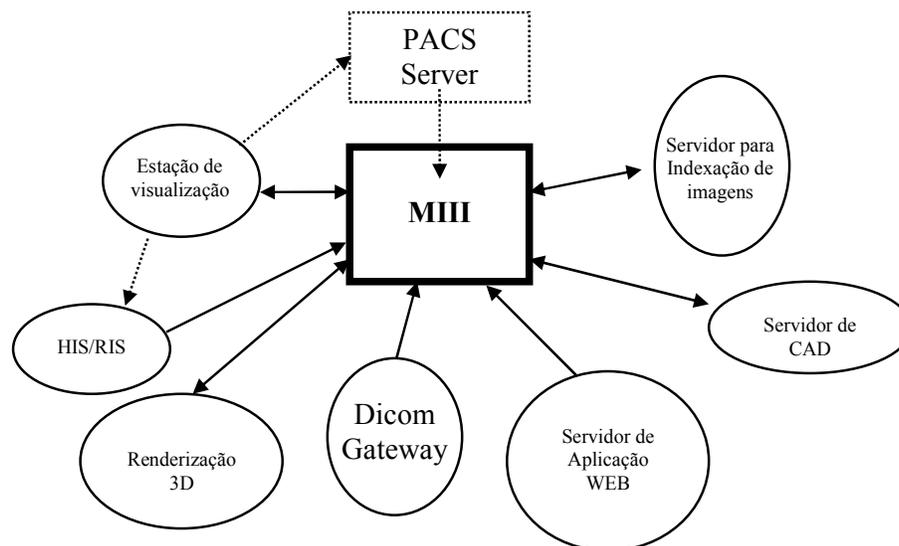
Um sistema de armazenamento de imagens PACS requer dados de outros sistemas de informação para seu efetivo funcionamento. Estes dados complementares estão no sistema hospitalar (HIS) e no sistema de radiologia (RIS). Assim, muitas funções de controle do PACS têm como base as informações passadas por estes sistemas, tais como, roteamento, busca de imagens (*prefetching*), agendamento, localização, agrupamento automático, etc. Observa-se ainda que os registros eletrônicos dos pacientes contidos no sistema hospitalar são informações complementares durante o processo de diagnóstico radiológico e estão diretamente relacionadas às funções básicas de um PACS. Neste contexto, surge a

necessidade de suprir as limitações de um armazenamento simples e buscar formas de fornecer subsídios aos radiologistas.

Quando uma solução PACS consegue suprir estas necessidades, Huang [HUA04] define que o conceito de MIII (*Medical Imaging Informatics Infraestrutura*) está sendo aplicado. A necessidade de um ambiente MIII é sobretudo evidenciada em ambientes educacionais, no treinamento de radiologistas residentes e de pesquisa diagnóstica devido à alta complexidade atribuída à sua construção. Mas, acredita-se que estas funcionalidades podem ser aplicadas de forma simplificada aos demais centros de diagnóstico radiológico.

Conforme mostrado na Figura 20, os componentes de uma arquitetura MIII são basicamente: uma base de imagens associadas às informações clínicas e diagnósticas (PACS Server, HIS e RIS); ferramentas de processamento de imagens e reconhecimento de padrões (CAD); consoles de visualização; renderização 3D; comunicação através de rede local ou remota; bases de conhecimento com suporte a mineração de dados (Indexação); e integração (Gateway e WEB Server).

As linhas pontilhadas relacionadas à estação de visualização mostram a independência de funcionamento do PACS em relação ao MIII. Entretanto, pode-se verificar o valor agregado que esta solução fornece ao PACS. A comunicação entre o MIII e o PACS é realizada via protocolo DICOM, já com os sistemas HIS e RIS é realizada a comunicação via HL7 (*Health Level Seven*).



**Figura 20:** Arquitetura de Ambiente MIII [HUA04].

Esta estrutura adicional ao PACS tem na realidade a função de fornecer informações complementares à visualização das imagens adquiridas para realização do laudo, que é a função principal de um servidor de imagens. Desta forma, como subsídio para visualização ao radiologista, são apresentadas informações sobre patologias de forma categorizada, exibidas imagens similares adicionais para referência e localizados artefatos internos nas imagens adquiridas.

Com estes objetivos, o processamento de imagens associado ao CAD permite a criação de um repositório de imagens relevantes para cada tipo de diagnóstico e está interligado com a indexação destas imagens (informações clínicas). Cada tipo de diagnóstico é associado a um contexto, sendo as imagens armazenadas no servidor PACS através de uma nova indexação relacionada à extração de características internas destas imagens. Assim, é possível buscar as imagens para visualização baseadas na similaridade, com suporte a categorização, ou mesmo, identificar imagens relevantes armazenadas no PACS para reconhecimento de padrões nas imagens adquiridas que estão em processo de diagnóstico. Esta arquitetura também permite o desenvolvimento de ferramentas de mineração de dados (*Data Mining*) para orientar os radiologistas com informações relevantes para cada tipo de patologia analisada.

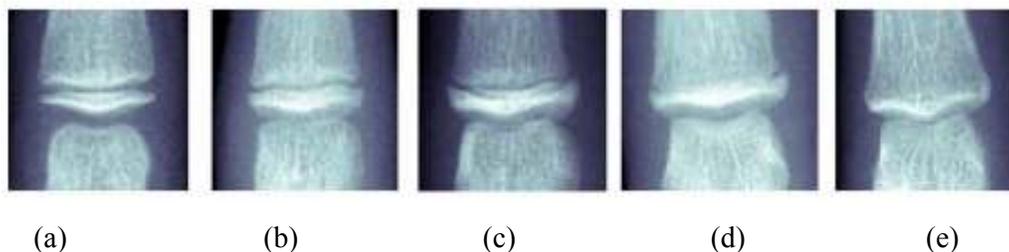
Assim, com o aumento do volume de imagens armazenadas digitalmente, e com o crescimento das funcionalidades de um servidor de imagens PACS, deve-se buscar novas formas para fornecer subsídios ao diagnóstico radiológico baseadas no conceito MIII [HUA04]. Entretanto, o conceito de MIII está muito associado às estruturas de hardware e ao desenvolvimento de softwares específicos para cada tipo de aplicação de apoio ao diagnóstico.

## **5.2 Sistemas de CAD em camadas**

Pietka [PIE04] apresenta uma aplicação para identificação de idade óssea como estudo de caso para o desenvolvimento de um sistema de CAD em três camadas. A identificação da idade óssea é um procedimento muito utilizado em radiologia pediátrica. O diagnóstico médico utiliza radiografias da mão esquerda dos

pacientes que são comparadas aos padrões (atlas) definidos pela literatura. A comparação está baseada na imagem da mão inteira [GRE71] ou regiões de interesse [TAN75]. A escolha de um padrão correspondente identifica a idade de osso. A análise da radiografia da mão está focada nas áreas situadas nas articulações. As epífises se modificam ao longo do tempo em relação ao seu tamanho e sua forma.

As características da sua forma na fase de desenvolvimento das crianças anterior a puberdade é apresentada na Figura 21 (a), (b) e (c). A fase de fusão entre a epífise e a metáfise que indica a informação diagnóstica é apresentada na Figura 22 (d) e (e).



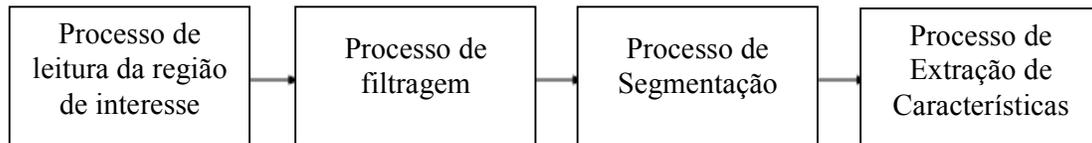
**Figura 21:** Padrões para identificação da idade óssea em crianças de idades crescentes.

A seguir, na Figura 22, é apresentada a interface da aplicação desenvolvida Pietka e colaboradores.



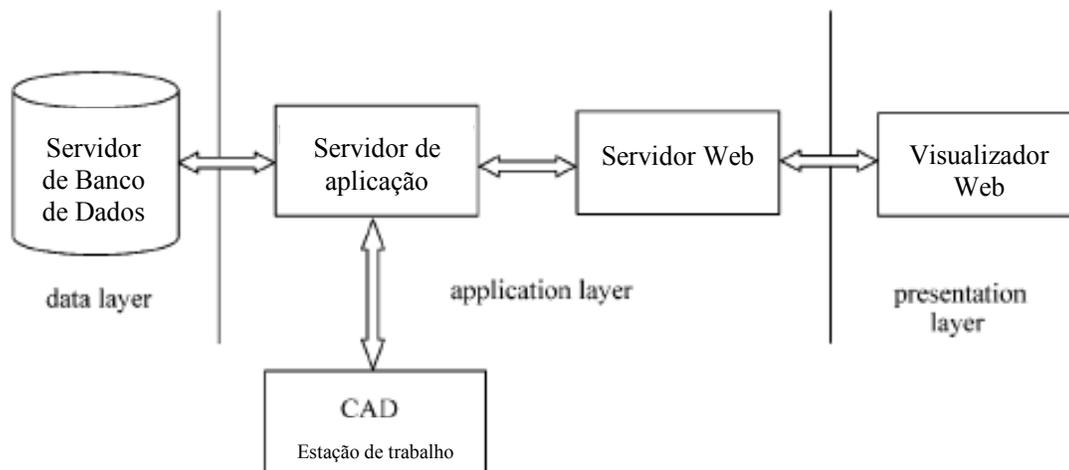
**Figura 22:** Interface principal da aplicação de identificação da idade óssea [PIE04].

Na Figura 23, é apresentado o fluxo de operações aplicadas às imagens analisadas. O processo é composto pela eliminação de ruídos, identificação de regiões de interesse, segmentação para separação das estruturas ósseas das cartilagenosas e extração dos atributos para classificação da idade óssea.



**Figura 23:** Fluxo de operações para identificação da idade óssea implementados [PIE04].

Pietka apresenta uma proposta de arquitetura de desenvolvimento deste sistema em três camadas na Figura 24. Estas são respectivamente divididas em camada de dados (*data layer*), camada de aplicação (*application layer*) e camada de apresentação (*presentation layer*).

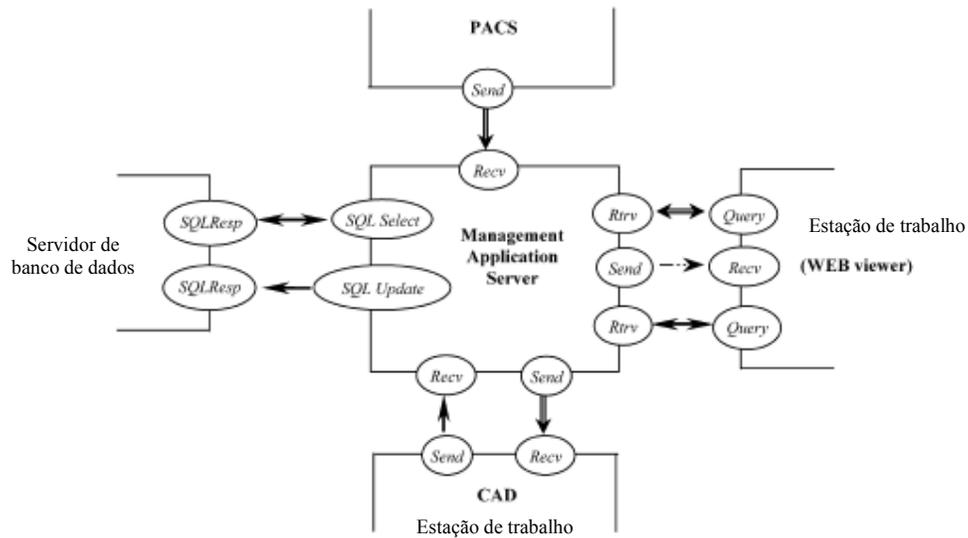


**Figura 24:** Arquitetura do CAD para identificação da idade óssea dividida em três camadas [PIE04].

A primeira camada (*data layer*) fornece acesso aos dados utilizados pela camada de aplicação (*application layer*) que é propriamente a implementação da metodologia de processamento auxílio ao diagnóstico. A terceira camada (*presentation layer*) é responsável pela apresentação dos resultados e interação com os usuários.

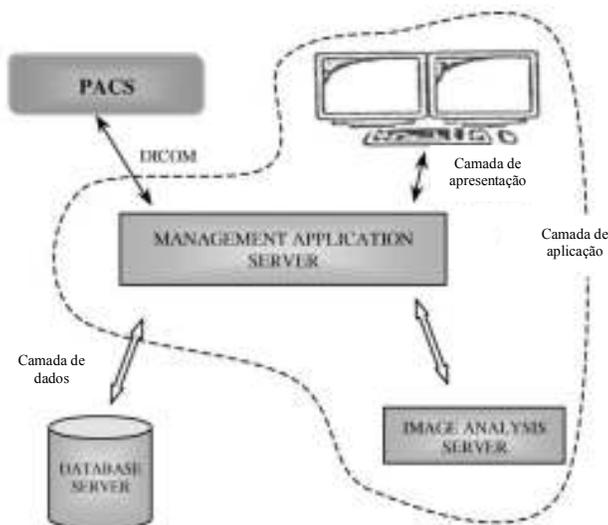
A Figura 25 apresenta a forma de comunicação entre as diferentes camadas definidas por Pietika. Dentro dos círculos, os comandos representam a comunicação através do protocolo DICOM para consulta (*Query*), envio (*Send*) e

*Rtrv*) e recebimento (*Recv*) de imagens. A comunicação com o banco de dados é realizada através do padrão SQL para consultas e atualização da base de dados.



**Figura 25:** Forma de comunicação entre as camadas do sistema de CAD para identificação da idade óssea [PIE04].

Na Figura 27 é apresentado um diagrama da arquitetura física da solução proposta por Pietka. Observa-se nesta arquitetura que existe um isolamento da aplicação em relação ao PACS. A base de dados da aplicação é independente e recebe os dados dos sistemas de informação do hospital através do *Worklist* e mantém um banco de dados interno para classificação das imagens.



**Figura 26:** Diagrama da camada de aplicação do CAD para identificação de idade óssea [PIE04].

Pietka [PIE04] define um sistema de CAD como um conjunto de diversos componentes independentes que interagem de forma substancial para a geração de um resultado.

A metodologia de processamento e análise envolve a criação de estruturas de bancos de dados, acesso as informações clínicas do paciente e dados das imagens. Neste conceito um sistema de CAD possui três camadas (dados, aplicação e apresentação) que podem ser instaladas em várias plataformas. A autora ainda considera que pelo fato das aplicações serem projetadas em módulos independentes, a sua integração se constitui em um problema a ser abordado.

Em caráter complementar, a autora considera que a implementação de um sistema de CAD busca melhorar e agilizar a análise, fornecendo resultados de referência e propondo a padronização do processo decisório buscando a aplicabilidade em novos casos. Este processo possibilita a identificação de padrões que podem ser utilizados em ambientes educacionais e de pesquisa.

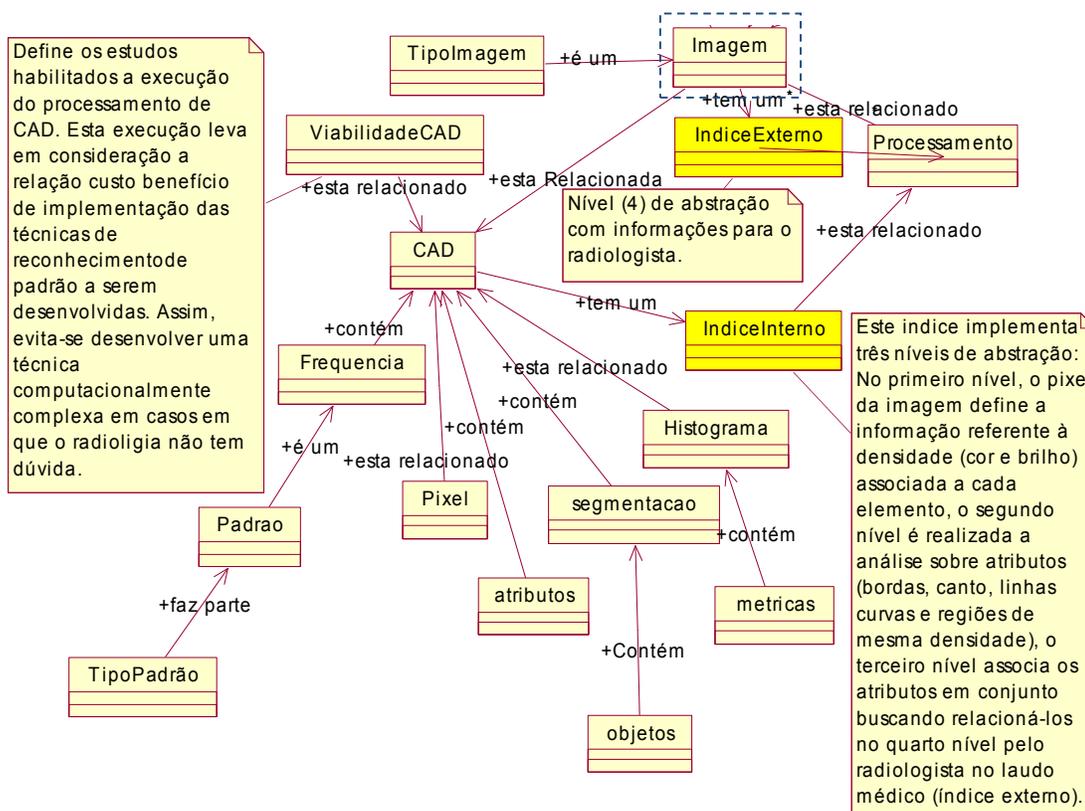
Freqüentemente as implementações de CAD não incluem componentes que poderiam ser úteis em aplicações clínicas ou de ensino. Como exemplo, pode-se citar a comparação com imagens de referência e o acesso a dados remotos. Outras duas questões são o pré-processamento das imagens nos servidores e a padronização para compartilhamento de casos de referência entre diferentes instituições [PIE04]. Neste sentido, um sistema de CAD deixou de ser considerado uma ferramenta básica de auxílio ao radiologista. Estes sistemas hoje utilizam sofisticadas arquiteturas e são executados em ambientes computacionais complexos. Outra questão é a interação executada por médicos durante o processo diagnóstico, trazendo a exigência da disponibilização de interfaces gráficas com aspectos de usabilidade otimizados.

A proposta de desenvolvimento das camadas de forma independente apresentada por [PIE04] traz o benefício da customização ideal para o seu desenvolvimento e validação da aplicação. Entretanto, estes sistemas tendem a ser utilizados de forma isolada pela complexidade do desenvolvimento de um sistema multi camada com desempenho eficiente e pela própria dificuldade de integração aos ambientes de produção. Uma alternativa para este problema seria a abstração

das camadas de dados e de apresentação. Estas camadas poderiam ser parcialmente implementadas no próprio servidor PACS que forneceria uma biblioteca de métodos de acesso às imagens e funcionalidades de interação com os usuários.



Da mesma forma, na Figura 28, é apresentado o mapa conceitual com os principais conceitos de sistemas de CAD relacionados ao conceito “Imagem”.



**Figura 28:** Diagrama com o mapa conceitual dos principais conceitos de CAD relacionados ao conceito “Imagem”.

Os relacionamentos neste mapa conceitual caracterizam a semântica necessária aos conceitos. Neste caso, o estudo pode ser definido como um subsídio para definição de um resultado em um laudo de um paciente.

O MPPS (*Modality Procedure Perform Step*) é uma variação do *Worklist* categorizando as imagens por estado em que o laudo se encontra (aguardando, em execução ou disponível, entre outros). O *Worklist* e o MPPS são suficientes para o modelo de uso tradicional, mas não são adequados para indexação em uma arquitetura MIII, que é baseada no conteúdo das informações clínicas e diagnósticas. A indexação por paciente se baseia em chaves definidas e padronizadas.

A indexação com suporte ao processamento para apoio ao diagnóstico fornece suporte as consultas relacionadas às informações clínicas e das imagens. Esta indexação não faz referência apenas às informações, mas também em termos abstratos das imagens (objetos de interesse), dados quantitativos derivados (área, volume, dos objetos) e informações sobre a textura. Uma alternativa para acesso as informações clínicas é a utilização do DICOM *Structure Reporting* que associa informações diagnósticas as imagens armazenadas no PACS.

Um estudo estabelece uma data de aquisição, não existindo alteração em seus dados ou imagens ao longo do tempo, permitindo a criação de estruturas de índices com atualização apenas na inserção do estudo (*Store*), possibilitando definir políticas de cachê de acesso às imagens que não sobrecarregam o processamento com atualizações constantes nos índices.

A arquitetura de indexação de imagens proposta foi baseada em uma ontologia [GUL05] que prioriza a formalização do conhecimento aplicado ao diagnóstico através da inclusão de conceitos baseado no método de categorização. Na Figura 29, é apresentada a arquitetura de funcionamento do modelo proposto.

A camada de dados de um sistema de CAD utiliza, além das tabelas internas, basicamente as informações contidas nos sistemas de informação HIS/RIS (hospital e de radiologia) e referências às imagens. O acesso as informações dos sistemas do hospital e de radiologia poderia ser fornecido pelo PACS através do *worklist* com a criação de interfaces de dados para as informações clínicas utilizadas pelos sistemas de CAD, sendo o acesso às imagens a principal função de um PACS.

A camada de aplicação poderia ser executada no PACS através da idéia de agentes sensíveis ao contexto com a utilização do conceito de ontologias que formalizam o conhecimento aplicado a cada tipo, identificando a relevância de execução para as imagens acessadas e ou armazenadas.

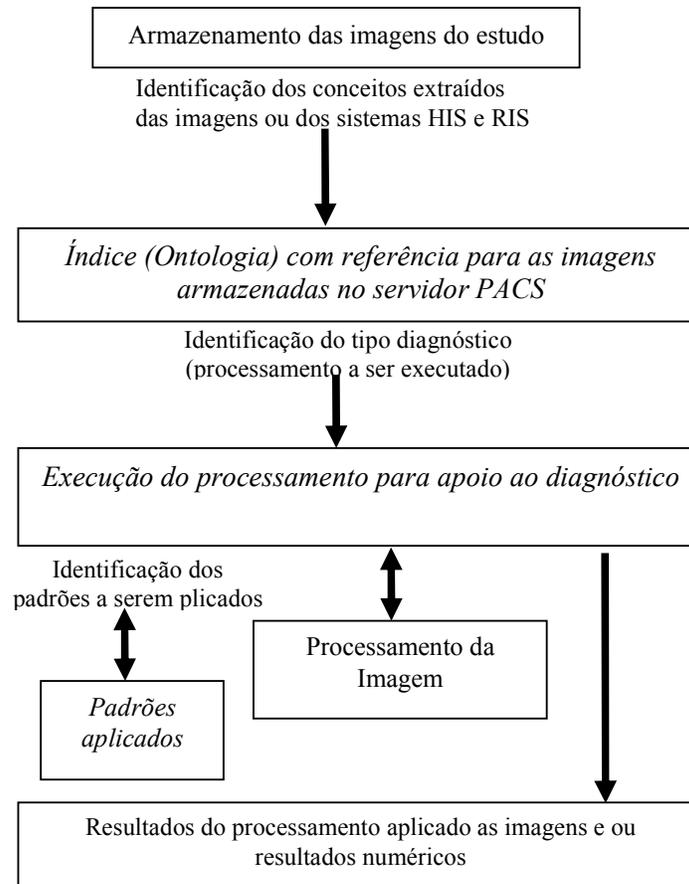
A terceira camada (*presentation layer*) fornece a interface gráfica com o usuário (GUI). São utilizados elementos comuns entre os sistemas de CAD, como por exemplo, respostas gráficas, textuais e solicitações de ações interativas. A

referência lógica para as imagens fornecida pelo PACS poderia ser estendida para trabalhar no conceito de referências em camadas como os softwares de manipulação gráfica modernos. Desta forma, a aplicação desenvolvida poderia disponibilizar os resultados do processamento em uma ou mais camadas que poderiam posteriormente ser ativadas pela *workstation* de visualização com suporte a este recurso.

Nesta arquitetura foi proposto um foco alternativo, com a aplicação da teoria da engenharia do conhecimento para transformar repositórios de armazenamento de imagens médicas em repositórios de armazenamento de conhecimento relevante ao diagnóstico. Portanto, a complexidade da tarefa em si é abstraída. A função do índice é relacionar cada tipo de processamento a ser aplicado a cada diagnóstico a ser realizado. A partir da identificação do tipo de apoio ao diagnóstico são identificados os processamentos a serem aplicados.

Uma das principais características desta arquitetura é a indexação com a associação de uma semântica no relacionamento entre os conceitos, permitindo um relacionamento específico entre os conceitos relativos à definição de contextos.

O radiologista pode simplesmente solicitar imagens com suporte a categorização baseadas em conceitos para utilizar como referência no laudo. Esta categorização é muito útil em ambientes de ensino para treinamentos de residentes em radiologia e clínicos que necessitam identificar os casos reais das patologias existentes nos servidores PACS que foram estudadas em sala de aula. Quando as imagens são retornadas, o índice as classifica em relação ao laudo realizado interativamente, com a escolha dos conceitos relevantes para realização do laudo.

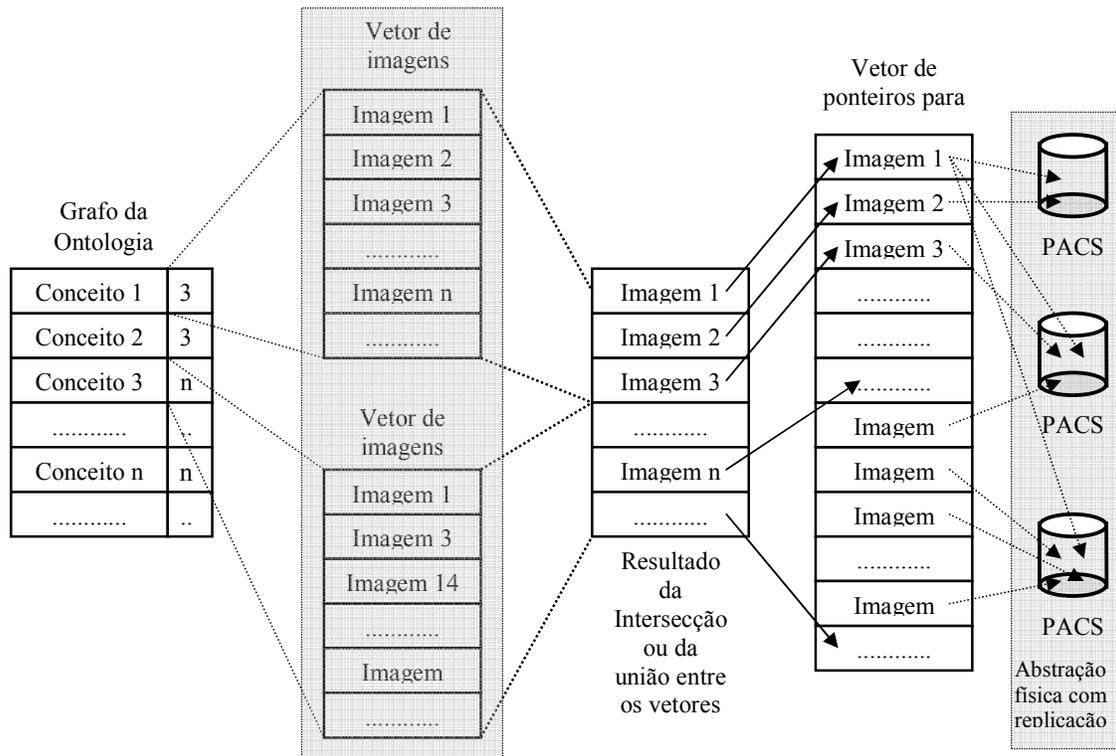


**Figura 29:** Arquitetura de funcionamento do índice proposto.

Existe uma abstração da complexidade de categorização fornecida pela ontologia que pode ser definida por um grafo de conceitos. Outra abstração relevante está na múltipla localização das imagens armazenadas.

O grafo na realidade é uma tabela de conceitos auto-relacionados que estabelecem o filtro ou a união de imagens em relação aos referidos conceitos. Os conceitos por sua vez têm referência a uma tabela de imagens que pode ser acessada de forma otimizada pelo sistema de gerenciamento do banco de dados para fornecer a abstração de localização.

A seguir é apresentada a Figura 30 com a estrutura lógica do modelo proposto.



**Figura 30:** Estrutura lógica da arquitetura proposta.

A identificação de conceitos associados definidos pela ontologia podem diminuir o universo de pesquisa e melhorar tanto a precisão quanto diminuir o índice de *recall* das consultas realizadas [KOW97]. Foi identificado como fator crítico de sucesso da arquitetura, a capacidade de formalizar o contexto necessário à execução de cada tipo de processamento disponível no PACS para apoio ao diagnóstico, associando-o à respectiva ontologia de conceitos ao processo indexação.

Os principais objetivos da arquitetura de indexação proposta são:

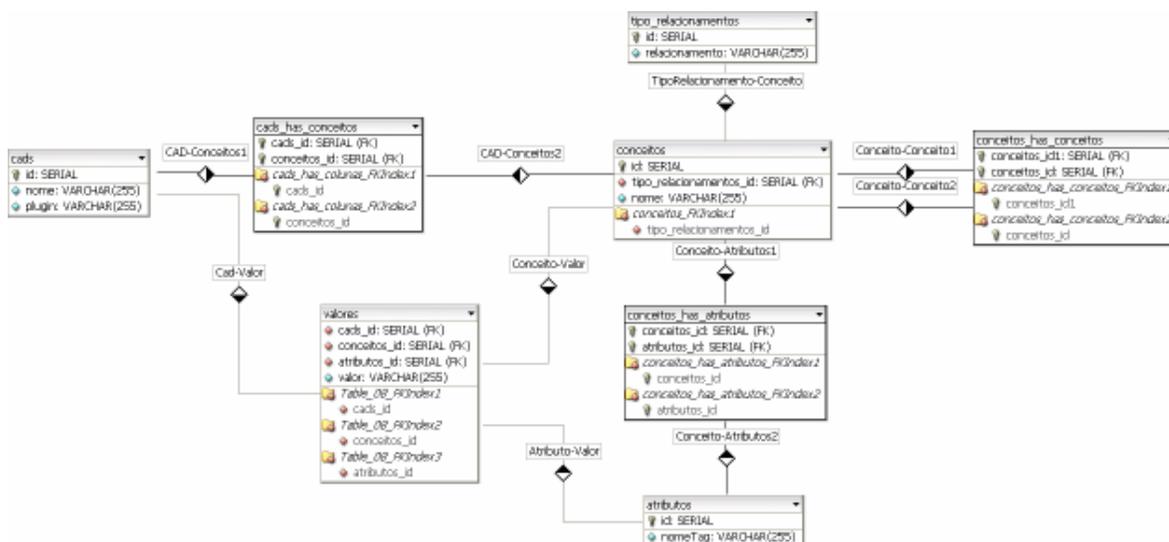
- Identificar as informações dos estudos dos pacientes;
- Definir o contexto de cada tipo de processamento (cenário: quando é acionado);
- Disponibilizar diretamente nos servidores PACS as várias técnicas de processamento de imagens desenvolvidas para cada tipo patologia;

- Visualização das imagens com suporte a categorização e a similaridade (patologias e outras informações);
- Interação do processamento executado com a interface de visualização utilizada pelo radiologista através da referência única a localização da imagem no servidor PACS;
- Abstração da complexidade do desenvolvimento de CAD's para as camadas de dados e apresentação.

## 6.2 Diagrama de classes e interface de definição de contexto

A arquitetura proposta foi implementada em JAVA e integrada ao INPACS [PAD06], conforme mencionado na seção 5.1. Foi utilizado o *framework* *Hibernate* [HIB07] para realizar a persistência dos dados da aplicação no banco.

Na Figura 31, é apresentado o diagrama ER (Entidade-Relacionamento) da arquitetura proposta.



**Figura 31:** ER do Banco de dados do modelo de indexação proposto.

Este diagrama representa uma implementação de uma ontologia. O diagrama de classes define um grafo através da classe conceito relacionada à classe *conceito\_has\_conceito*. Os conceitos podem ter atributos com respectivos valores. Cada conceito possui um tipo de relacionamento entre seus atributos (ou conceitos) que é uma idéia importante na definição de ontologia. Como forma de

facilitar a implantação foi definido que os conceitos relacionados estarão vinculados a um tipo de CAD a ser disponibilizado no servidor INPACS.

A seguir na Figura 32, é apresentado o diagrama de classes da aplicação desenvolvida. Este diagrama demonstra a interface gráfica para o cadastro de novos CAD'S. A classe *CadastroCadModel* tem a função de criar os objetos *Cad* e *Valore* realizando, entre outras funções, a sua persistência no banco de dados. A classe *AtributoNode* e *ConceitoNode* representam, na interface gráfica, os objetos atributo e conceito, respectivamente.

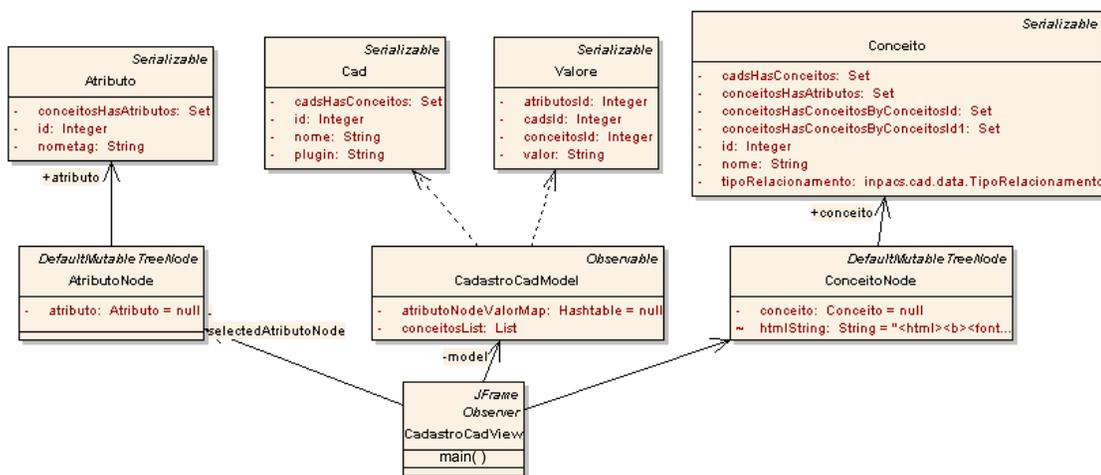


Figura 32: Diagrama de classes da aplicação.

O método *montaArvore* reproduz os conceitos e atributos da ontologia na interface gráfica. Este algoritmo busca todos os conceitos relacionados e respectivos atributos através de uma implementação recursiva baseado no diagrama de classes definido.

Na Figura 33 é apresentada a interface gráfica de cadastro de CAD da aplicação que é utilizada para definição dos contextos de execução dos processamentos cadastrados em relação às informações identificadas das imagens recebidas.



Figura 33: Tela de definição de contexto.

Esta tela permite a seleção do plug-in a ser disponibilizado no INPACS (classe ou arquivo .jar) e definido o contexto de execução através da seleção dos conceitos e atributos da ontologia com respectivos valores. Os conceitos podem ser adicionados ou retirados para definir a ontologia do CAD que está sendo disponibilizado.

A seguir, Figura 34, é apresentado o diagrama de classe da arquitetura integrada ao INPACS. O servidor INPACS recebe o estudo (imagens) a ser armazenado através do comando storage do protocolo DICOM.

O identificador do estudo (*studyInstanceUID*) é passado para classe *ConsultaCad* que tem a função de percorrer todos os CAD's cadastrados e cruzar os dados das imagens recebidas com os dados da classe *Valore* afim de identificar os possíveis CAD's a serem executados.

A interface gráfica para execução dos CAD's sugeridos é implementada na classe *ConsultaCadView*

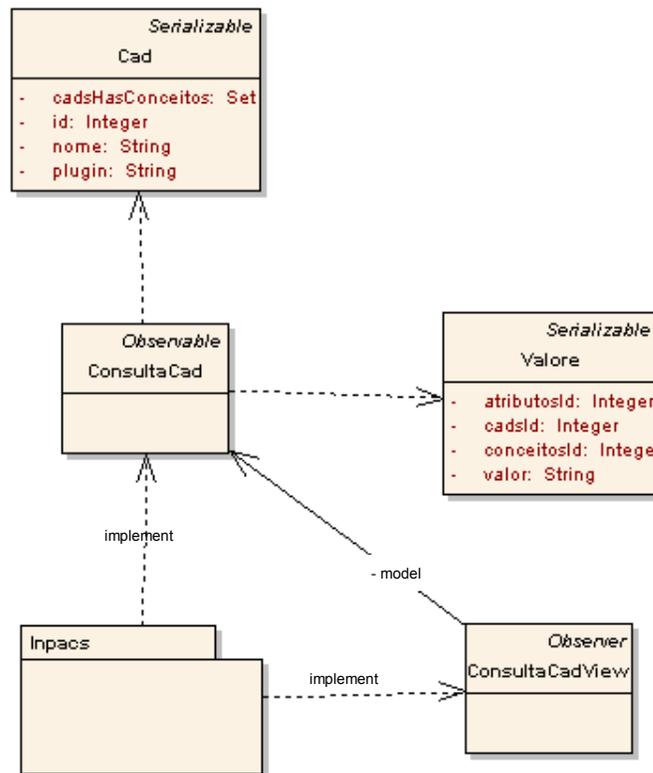


Figura 34: Diagrama de classes da arquitetura integrada ao INPACS.

O algoritmo de consulta de CAD's implementado é semelhante ao utilizado para apresentar a ontologia na interface gráfica, seguindo a mesma lógica recursiva para percorrer todos os CAD's e seus respectivos conceitos e atributos. Quando é estabelecida a associação dos conceitos e atributos entre a imagem e o CAD, é realizada a validação dos valores contidos na tabela *Valore*. Caso a imagem satisfaça todos os valores (ou intervalos) dos atributos então o CAD é sugerido para execução.

### 6.3 Exemplo de uso da arquitetura com a utilização da segmentação de pulmão

Nesta seção é apresentado um exemplo de funcionalidade para processamento das imagens como fragmento de um sistema de CAD. A funcionalidade utilizada é a segmentação de imagens para posterior processamento com o objetivo de identificar lesões pulmonares através de padrões de textura. Observa-se que existem muitas variações de contextos para diversos tipos de

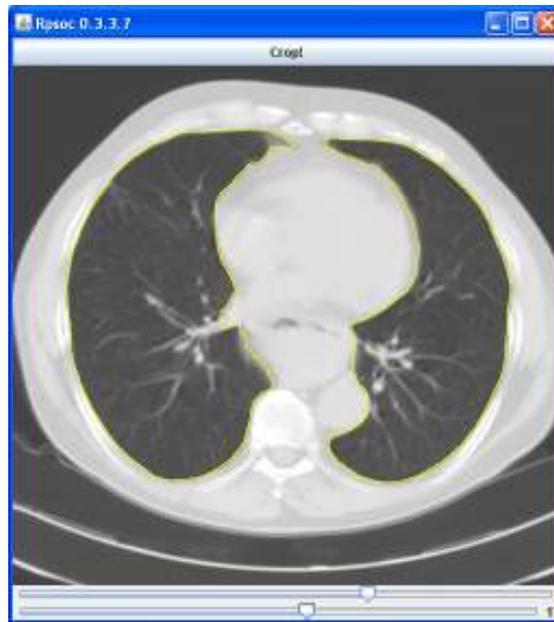
diagnósticos. Assim, estes resultados são apresentados apenas como referência para fornecer uma idéia de aplicabilidade de execução dos sistemas de CAD em um ambiente hospitalar.

Pode-se apresentar vários exemplos de doenças investigadas através de segmentação, como por exemplo, nódulos pulmonares, doenças intersticiais, pneumotórax e opacidades pulmonares, entre outros.

Os procedimentos de segmentação implementados podem utilizar técnicas de reconhecimento de padrão ou histograma de níveis de cinza para caracterizar regiões anatômicas [SHE87]. A segmentação também pode ser utilizada para identificação de bordas de uma região anatômica, como as extremidades do coração, pulmões ou costelas. Métodos de segmentação desenvolvidos para outras anatomias incluem imagens de mãos e de pulsos ou de mamografias.

A segmentação manual ou automática aplicada a imagens tem o objetivo de encontrar estruturas de interesse e anormalidades. Este processamento é freqüentemente seguido da fase de extração de característica e pode incluir medidas que refletem o tamanho e forma de certas estruturas anatômicas, resultados esperados (freqüentes no domínio), parâmetros estatísticos, etc. A classificação pelo tamanho inclui medidas do coração em imagens de tórax, forma de nódulos, falanges, ossos do carpo, tamanho e forma de epífises. Como exemplo, pode-se citar a identificação da espessura das extremidades em regiões da mão após a aplicação das transformadas de wavelet ou de Fourier [TAN94].

O algoritmo de segmentação de pulmão utilizado na validação foi desenvolvido para o projeto “Reconhecimento de padrões aplicado a sistemas embarcados - RPSOC” [TRI07]. Na Figura 35 é apresentado o resultado da execução do algoritmo em uma imagem de tomografia computadorizada por raios X para segmentação dos pulmões. A validação se dá através da identificação de um contexto cadastrado na ontologia. Quando o contexto estabelecido é identificado como relevante, o processamento é executado.



**Figura 35:** Exemplo do resultado do processamento da segmentação utilizado no projeto RPSOC [TRI07].

O resultado da execução do algoritmo de segmentação gera uma série de imagens adicionais ao estudo com as regiões dos pulmões identificadas.

A seguir é apresentado o algoritmo de segmentação desenvolvido para o projeto RPSOC [TRI07] utilizado como estudo de caso:

- Primeiro passo: Aplica-se um limiar de 166 (nível de cinza) sobre a imagem original. Estudos preliminares mostram que este limiar separa o tórax do pulmão (tecido esponjoso, etc.). O objetivo é definir um limiar que elimine a parte da mesa que fica junto ao tórax. Os métodos de limiarização tradicionais não provêm isso;
- Segundo passo: Acha-se a maior região dentro da imagem limiarizada, através de um *floodfill* (crescimento de região). Esta região corresponde ao tórax;
- Terceiro passo: Preenche-se o tórax (inclui-se os pulmões), fazendo um negativo a partir dos 4 cantos da imagem (*floodfill*) e ficando só com o tórax e seu interior;
- Quarto passo: Limiariza-se essa imagem, também com um limiar de 166. Este passo se faz necessário porque métodos tradicionais não separam bem objetos de interesse que tem um número

reduzido de pixels, como no caso de um corte que apenas a traquéia é visível;

- Quinto passo: Acha-se a maior região dentro da imagem limiarizada, através de um *floodfill*. Após isso, faz-se um *floodfill* de fora, para eliminar os buracos e pequenas regiões dentro deste pulmão;
- Sexto passo: Detecta-se a traquéia, através da circularidade da região e da posição na imagem;
- Sétimo passo: Inclui-se os vasos no pulmão, unindo-se os pontos que estão perto o suficiente através de uma reta e incluindo as regiões pequenas (no caso, os vasos) na região do pulmão;
- Oitavo passo: Detectam-se os contornos da região resultante;
- Oitavo passo: Faz-se o mesmo procedimento para o segundo pulmão.

Na figura 36, é apresentada a ontologia [TRI07] para identificação do contexto de execução do algoritmo de segmentação.



**Figura 36:** Contexto de execução do algoritmo de segmentação definido pela ontologia.

O índice foi projetado para identificar o contexto das imagens dos estudos no momento do seu recebimento através do comando *Storage* do protocolo DICOM sempre que o contexto das imagens for estabelecido. Mas, para validar a arquitetura foi realizada a identificação do contexto em background. A identificação da necessidade de execução do algoritmo de segmentação das imagens de tomográficas de tórax foi realizada em um banco de dados de mais de 3,5 milhões de imagens (mais de 62 mil pacientes) armazenadas no período de setembro de 2005 a maio de 2007 [PAD05]. Este banco foi criado para não afetar o desempenho do servidor INPACS de produção do Hospital, sendo realizada uma cópia do banco de dados do INPACS de produção para uma máquina de testes.

O contexto especificado estabelecia a segmentação para imagens de tomografia dos pacientes com idade entre 55 e 60 anos.

Como exemplo de execução do estudo de caso da arquitetura proposta para identificação de contexto ao banco de imagens armazenadas no servidor PACS do Hospital São Lucas da PUCRS, foram selecionadas 186.058 imagens de 1.548 pacientes. Estas imagens poderiam ser segmentadas e posteriormente processadas para identificação de padrões de opacidades. Observando-se o universo da amostra, e os resultados obtidos, considera-se relevante a criação de um ambiente para facilitar a integração de sistemas de CAD.

## 7 DISCUSSÃO

Neste trabalho, o uso de ontologias permite integrar os métodos de indexação definidos por [RAS97] com dois índices (interno e externo) em um único ambiente. O índice externo tem a função de contextualizar (baseado em conceitos) e categorizar as imagens retornadas do PACS, assim como definir que tipo de CAD deve ser aplicado. O índice interno estaria focado na construção dos CAD's através da utilização (definição) dos métodos baseados em conteúdo e em análises matemáticas das imagens fornecendo uma abstração para os físicos médicos definirem diferentes formas de processamento e apoio ao diagnóstico sem a necessidade de codificação (programação).

Assim, a arquitetura proposta poderia definir a integração dos padrões de reconhecimento de cada diagnóstico com a definição da ontologia de cada diagnóstico e com a identificação das características matemáticas das imagens a serem processadas ou mesmo de referência. Estas características representariam os fragmentos de padrões analisados pelos físicos médicos que definiriam a existência ou não da lesão sob o ponto de vista do processamento da imagem. Estes padrões exigem uma otimização na sua recuperação para comparação de imagens adquiridas com imagens ou padrões de referência relevantes retirados do PACS. Neste caso, imagens que possuem as mesmas características da referência ou que tenham um determinado grau de semelhança, em relação a aspectos específicos, podem ser solicitadas.

Uma possibilidade desta arquitetura é a utilização de chaves textuais baseadas em ontologias como filtros adicionais às consultas. Estas consultas são frequentemente implementadas em aplicativos de suporte ao diagnóstico, permitindo que os médicos analisem a evolução por comparação com estudos anteriores [MAR02].

Outro estudo está relacionado à integração da arquitetura em um único índice com os métodos de análise baseados em conteúdo e conceito para criação

de um ambiente virtual integrado ao PACS, que permita a definição e execução de diferentes tipos de técnicas de apoio ao diagnóstico.

A definição de um modelo para armazenamento e recuperação de imagens médicas digitais, tendo como referencial teórico os conceitos de formalização de ontologia através de uma semântica persistente associada aos relacionamentos, estabelecem como possibilidades as seguintes considerações para o conceito de virtualização dos ambientes MIII:

- Facilitar a integração dos sistemas de apoio ao diagnóstico aos servidores PACS através da disponibilização de uma infraestrutura de software (camadas de dados e apresentação) para publicação de classes de processamento de imagens;
- Abstração das técnicas de processamento de imagens e reconhecimento de padrões aplicados no apoio ao diagnóstico em um conjunto de ferramentas reutilizáveis disponíveis em servidores PACS que podem ser utilizadas para construção de novos CAD's.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um ambiente único que seja primordialmente ergonômico e permita a exploração de todos os dados relacionados, dentro de um grande universo híbrido com imagens de diferentes tipos e informações textuais, ou mesmo, estruturadas permitiria a pesquisa nos diferentes tipos de informações, o suporte a diagnóstico e/ou ensino. Um aspecto importante para sua criação é a superação de problemas éticos, de segurança e usabilidade [TOD02].

A criação de um ambiente com estas características poderia ser estabelecida pela integração de dois métodos de indexação: baseado em conceitos e baseados em conteúdo [RAS97]. O método baseado em conceitos está ligado à idéia de metadados associados às imagens, que incluem as modalidades de imagens, regiões e estruturas anatômicas e suas respectivas funções [BRI99]. Os métodos baseados em conteúdo referem-se diretamente ao processamento e técnicas para análise das imagens. A arquitetura de indexação desenvolvida neste trabalho agrega o método de identificação de conteúdo com o método de categorização baseado em conceito.

Definido, por Bueno [BUE02], o CbPACS estabelece a viabilidade para o desenvolvimento de novas técnicas para o armazenamento e recuperação de informações. O cbPACS apresenta recursos para recuperação de imagens baseado em conteúdo utilizando um método de extração de características as imagens. Neste caso, as ontologias não seriam definidas apenas para identificar contextos de execução de diferentes tipos de técnicas de processamento de imagens, mas também para a definição da própria técnica de processamento para apoio ao diagnóstico. Desta forma, a definição dos métodos de reconhecimento de padrões e identificação de dados quantitativos das imagens estabelece a ontologia do próprio processamento associado aos respectivos diagnósticos.

A virtualização de um ambiente MIII através da criação de uma arquitetura para identificação de tipos de processamento a serem executados em servidores PACS tem o objetivo estimular a disponibilização dos diferentes tipos de

sistemas de apoio ao diagnóstico desenvolvidos nos ambientes de produção dos hospitais.

Existem vários tipos de técnicas de processamento que não são aplicadas nas imagens armazenadas nos servidores PACS pela dificuldade de extensão para ambientes de produção, sendo seu uso de extrema importância para qualificar os laudos produzidos nos hospitais. As aplicações desenvolvidas em ambientes acadêmicos estão geralmente vinculadas a uma *workstation* com funcionalidades limitadas ao respectivo CAD, baseando-se na execução de um software independente que recebe um conjunto de imagens exportadas dos servidores PACS.

Assim, a arquitetura desenvolvida, neste trabalho busca estimular a integração destas técnicas de apoio a diagnóstico ao PACS, que muitas vezes são executadas posteriormente a publicação dos laudos radiológicos, evitando que seus resultados sejam utilizados apenas para publicação de artigos científicos, sem chegar a serem disponibilizados nos ambientes de produção dos hospitais.

Para estudos futuros, pretende-se disponibilizar um ambiente de diferentes aplicações de CAD desenvolvidas no método tradicional utilizando o modelo proposto, buscando validar e mostrar os benefícios de sua utilização em um ambiente integrado de reconhecimento de padrões de imagens médicas. Um dos benefícios dessa integração será a possibilidade de auxiliar na detecção precoce de doenças como câncer de mama, de difícil identificação em tumores muito pequenos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ABD89] ABAD, O. M.; BLANCO, A. N.; SOMONTE, E. E. "Processamiento de imagenes por computadora. Su aplicacion en la medicina.", Rev. Inf. Médica, vol. 3, 1989, pp. 245-250.
- [ASL99] ASLANDOGAN, Y. A.; YU, C. T., "Techniques and systems for Image and Video Retrieval", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 11, Jan/Feb 1999, pp. 56-63.
- [BAE99] BAEZA, R. Y.; RIBEIRO-NETO, B., "Modern Information Retrieval." New York, ACM Press, 1999, 511p.
- [BAM94] BARNES G. T.; WU X.; SANDERS P. C., "Scanning slit chest radiography: a practical and efficient scatter control design.", Radiology vol. 190, 1994, pp.525–533.
- [BEJ06] BÉJAR, R. M.; "Introducing to Ontologies", Universidad de Murcia, Spain, Capturado em: <http://klt.inf.um.es/rodrigo/>, Dez 2006.
- [BRI99] BRINKLEY, J. F.; WONG, B.A.; HINSHAW, K. P.; ROSSE, C., "Design of an anatomy information System", Computer Graphics and Applications, vol. 19, 1999, pp. 38-48.
- [BRO92] BROWN, L. G., "A Survey of Image Registration Techniques", Acm Computing Surveys, vol. 24, 1992, pp. 325-376.
- [BUE02] BUENO, J. M., "Suporte à recuperação de imagens médicas baseada em conteúdo através de histogramas métricos", Tese Doutorado, ICMC-USP, São Carlos/SP, 2002, 146p.
- [CAN86] CANNY, J. "A computational approach to edge detection." IEEE Trans Pattern, vol. 8, Mar 1986, pp. 679–714.
- [CAO00] CAO, X.; HUANG, H. K., "Current Status and Future Advances of Digital Radiography and PACS", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, vol. 9, 2000, pp.80-88.
- [CAR00] CARITÁ, E. C.; MARQUES, P. M. A., "Vinculação de Imagens para Busca e Visualização a Partir do Sistema de Informação em Radiologia (RIS)", In: VII Congresso Brasileiro de Informática em Saúde e do II Simpósio Internacional de Sistemas de Informação Hospitalar, São Paulo (SP), 2000.
- [CAS96] CASTLEMAN, K. N., "Digital image processing." New Jersey, Prentice-Hall, 1996, 667p.

- [CHA87] CHAN, H. P.; DOI, K.; GALHOTRA, S.; VYBORNÝ, C. J.; MACMAHON, H.; JOKICH, P. M., "Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography. I. Automated detection of microcalcifications in mammography.", *Med Phys*, vol. 14, 1987, pp. 538–48.
- [CLI92] CLIN, A. M. J. P., "Basic Principles of Image Processing.", *American journal of clinical pathology*, vol. 98(5), 1992, pp.493-501.
- [COL99] COLOMBO, C.; BIMBO, A. D; PALA, P., "Semantics in visual information retrieval." *IEEE Multimedia*, 1999, vol. 6, pp.38–53.
- [COT06] COTRIM, D. S.; PADILHA, F. O.; SILVA, A. M. M.; BEZERRA, E. A., "Modelo para indexação de imagens médicas com suporte a CAD.", In: X CBIS - Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, 2006, pp.824–829.
- [DAW83] DAWAN, A. P., "A review on biomedical image processing and future trends.", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Mar-Apr 1990, vol. 31, pp.141-83.
- [FUR99] FURUIE, S. S.; GUTIERREZ, M. A.; BERTOZZO, N. B.; FIGUEIREDO J. C. B.; YAMAGUTTI, M., "Archiving and Retrieving Long-Term Cineangiographic Images in a PACS". *Computers in Cardiology*, vol.26, 1999, pp.435-438.
- [GIG99] GIGER, M. L., "Computer-aided diagnosis." *RSNA - Categorical Course in Breast Imaging*, 1999, pp.249–72.
- [GIL94] GILLESPIE, T. 3rd.; Rowberg, A. N., "Displaying radiologic images on personal computer: image storage and compression.", *Digital Imaging*, 1994, vol. 7(1), pp.1-12.
- [GON00] GONZALEZ, R. C., "Processamento de imagens digitais.", São Paulo, Blucher, 2000, 509p.
- [GOO98] GOODMAN, C. S., *Nat. Library of Medicine/NICHSR*, Capturado em: <http://www.nlm.nih.gov/nichsr/ta101/ta101.pdf>, Jun. 2005.
- [GRE71] GREULICH, W. W.; Pyle, S. I., "Radiographic atlas of skeletal development of hand wrist.", Stanford, CA: Standford University Press; 1971.
- [GRU93] GRUBER, T. R. A., "Translation approach to portable ontologies.", *Knowledge Acquisition*, vol. 5 (2), 1993, pp.199-220.
- [GUL05] GULIATO, D.; BÔAVENTURA, R. S.; MELO, E. V.; De DEUS V.; JANONES, F. R.; RANGAYYAN R. M., "AMDÍ: An atlas to integrate case

- studies, e-learning, and research systems via the Web”, Proc. IASTED International Conference on Telehealth, Jul. 2005, pp. 69 – 74.
- [HIB07] HIBERNATE, “Hibernate Framework”, Capturado em: <http://www.hibernate.org>, Mar. 2007.
- [HOR91] HORII, S. C., “Computer applications in diagnostic imaging. Clinics in Chest Medicine”, Mar. 1991, vol. 12(1), pp.1-17.
- [HUA04] HUANG, H. K., “PACS and Imaging informatics: Based Principles and Application”, New York, John Wiley and Sons, 2004, 488p.
- [KOW97] KOWALSKI, G., “Information Retrieval Systems: Theory and Implementation.” USA, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [MAR01] MARQUES, P. M. A.; “Diagnóstico Auxiliado por Computador na Radiologia”, Radiologia Brasileira, vol. 34, 2001, pp. 285-293.
- [MAR02] MARQUES, P. M.; HONDA, M. H.; RODRIGUES, J. A. H.; *et al.*, “Recuperação de imagem baseada em conteúdo: uso de atributos de textura para caracterização de microcalcificações mamográficas.” *Radiologia Brasileira*, vol.35, 2002, pp.93-98.
- [MEA00] MEADOW, C. T.; BOYCE, B. R.; KRAFT, D. H., “Text Information Retrieval Systems.”, San Diego, Academic Press, 2000.
- [MIA02] MIANO, J. “Compressed Image File Formats”, Massachusetts, Addison Wesley Longman Inc., 2002, 253p.
- [MOR00] MORIK K.; IMHOFF M.; BROCKHAUSEN P.; JOACHIMS T.; GATHER U., “Knowledge discovery and knowledge validation in intensive care.”, *Artif Intell Med*, 2000, vol. 19(3), pp.225–49.
- [MOR04] MORENO, R. A.; FURUIE, S. S., “Contextual medical image viewer.” In: *Medical Imaging 2004: PACS and Imaging Informatics*, San Diego, SPIE, vol. 5371, 2004, pp.382-390.
- [NEM06] NEMA (National Electrical Manufacturers Association), Standards and guideline publications: DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), Capturado em: <http://medical.nema.org/>, Jun. 2006.
- [PAD06] PADILHA, F. O.; COTRIM, D. S.; SILVA, A. M. M., “Ambiente Distribuído de alta disponibilidade para o armazenamento e recuperação de imagens médicas.”, In: *X CBIS - Congresso Brasileiro de Informática em Saúde*, 2006, pp.935-940.

- [PAT98] PATTERSON, D. A.; HENNESSY, J. L., "Organização e projeto de computadores.", Rio de Janeiro, LTC, 1998, 551p.
- [PIE04] PIETKA, E.; GERTYCH, A.; WITKO K., "Informatics infrastructure of CAD system. Computerized Medical Imaging and Graphics.", vol. 29, 2004, pp.157–169.
- [RAS97] RASMUSSEN, E. M., "Indexing multimedia: Images.", Annual Review of Information Sciences and Technology, vol. 31, 1997.
- [ROS03] ROSSE, C.; MEJINO J. L. V. Jr., "A reference ontology for biomedical informatics: the Foundational Model of Anatomy", Departments of Biological Structure and Medical Education & Biomedical Informatics, Structural Informatics Group, University of Washington, Seattle, USA, Vol. 36, 2003, pp.478-500.
- [SAN91] SANADA, S.; DOI, K.; MACMAHON, H., "Image feature analysis and computeraided diagnosis in digital radiography. Automated delineation of posterior ribs in chest images." Med Phys, vol. 18, 1991, pp.964–71.
- [SHE87] SHERRIER, R. H.; JOHNSON, G. A.; "Regionally adaptive histogram equalization of the chest." IEEE Trans Med Imaging, Vol. 6, 1987, pp.1–7.
- [SHO90] SHORTLIFFE, E. H.; PERREAULT, L. E.; WIEDERHOLT G.; FAGAN, L. M., "Medical Informatics. Computer Applications in Health Care." Addison Wesley, Reading, Mass, USA, 1990, pp.715.
- [STA01] STASIU, R. K.; BICHINHO, G. L., "Components proposal for medical images and HIS.", Proceedings of the 14th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems, CBMS, Bethesda, Maryland, 2001, pp. 73-78.
- [TAN75] TANNER J. M.; WHITEHOUSE R. H., "Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method)." London: Academic Press, 1975.
- [TAN94] TANNER J. M.; GIBBONS R., "A computerized image analysis system for estimating tanner-whitehouse 2 bone age", Hormone Research, 1994, vol. 42, pp.282–287.
- [TAU01] TAUBMAN, D.; MARCELLIN, M., "JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice.", Springer, 2001, pp.800.
- [TAU05] TAUBMAN, D.; PRANDOLINI R., "Architecture, Philosophy and Performance of JPIP: Internet Protocol Standard for JPEG2000", Capturado em: <http://jpeg.org/demo/FAQJpeg2k/index.htm>, Jun. 2005.

- [TEC98] TECUCI, G., "Building Intelligent Agents: An Apprenticeship Multistrategy Learning Theory, Methodology, Tool and Case Studies." San Diego: Academic Press, 1998.
- [TOD02] TODD-POKROPEK, A., "Advanced Image Processing in Radiology.", *Imaging*, Vol. 14, 2002, pp.478-484.
- [TRA02] TRAINA, JR.; TRAINA, C.; FALOUTSOS, C.; SEEGER, B., "Fast Indexing and Visualization of Metric Datasets Using Slim-trees". *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol.14, n.2, 2002, pp.244-260.
- [TRI07] TRINDADE, F. R.; XERXENESKY, P.; DIEBOLD, E.; COTRIM, D. S., PINHO, MARQUES, A. M. M.; "Extração de descritores de textura em imagens segmentadas de tomografia computadorizada de pulmão." In: III Simpósio de Instrumentação e Imagens Médicas, São Carlos, SEL/EESC/USP, vol.1, 2007, pp.6–9.
- [VER05] VERDUIJN, M.; DAGLIATI, A.; SACCHI, L.; PEEK, N.; BELLAZZI, R.; JONGE, E.; et al. "Comparison of two temporal abstraction procedures: a case study in prediction from monitoring data." In: Friedman C, editor. *Proceedings of AMIA Annual Symposium.* , Am Med Inform Assoc, 2005, pp. 749–53.
- [WAG89] WAGNER, R. F.; MACOVSKI, A.; NISHIMURA, D. G.; "Effect of scatter in dualenergy imaging: an alternative analysis.", *IEEE Trans Med Imaging*, vol. 8, 1989, pp.236–44.
- [WEL93] WELLS, W. A.; RAINER, R.; MENOLI, U. A., "Equipment, standardization, and applications of image processing.", *American Journal of Clinical Pathology* , vol. 99(1), Jan 1993, pp.40-56.
- [ZAC99] ZACHARY, J. M.; IYENGAR, S. S., "Content-based image retrieval systems.", *Proceedings of the IEEE Symposium on Application-Specific Systems and Software Engineering & Technology*, 1999, pp.136–143.
- [ZUP06] ZUPAN, B.; HOLMES, J. H.; BELLAZZI, R., "Knowledge based data analysis and interpretation.", *Artif Intell Med*, 2006, vol.37(1), pg.163–165.