SAMUEL COVAS SALOMÃO

**INTEGRANDO SISTEMAS DE AUXÍLIO AO
DIAGNÓSTICO NO SISTEMA GERENCIADOR DE
IMAGENS MÉDICAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades Bioengenharia – Escola de Engenharia de São Carlos / Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto / Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Bioengenharia.

Área de Concentração: Bioengenharia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Mazzoncini de Azevedo Marques

São Carlos,
2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S173i Salomão, Samuel Covas
Integrando sistemas de auxílio ao diagnóstico no
sistema gerenciador de imagens médicas / Samuel Covas
Salomão ; orientador Paulo Mazzoncini de Azevedo Marques.
-- São Carlos, 2010.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área
de Concentração em Bioengenharia) -- Escola de Engenharia
de São Carlos/Faculdade de Medicina de Ribeirão
Preto/Instituto de Química de São Carlos da Universidade
de São Paulo, 2010.

1. Radiologia. 2. Integração de sistemas. 3. CAD.
4. PACS. 5. DICOM. I. Título.

Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia
EESC / FMRP / IQSC

SAMUEL COVAS SALOMÃO
MESTRADO EM CIÊNCIAS
ÁREA DE BIOENGENHARIA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS
- GRADUAÇÃO INTERUNIDADES BIOENGENHARIA
EESC – FMRP – IQSC DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
CIÊNCIAS NA ÁREA DE BIOENGENHARIA.

Aprovado em: 07/06/2010

PROF. DR. PAULO MAZZONCINI DE
AZEVEDO MARQUES (ORIENTADOR)

Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - USP

Resultado: APROVADO

Assinatura:

PROF. DR. LAURO WICHERT ANA

Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - USP

Resultado: ¹
Aprovado

Assinatura:

PROFA. DRA. AGMA JUCI MACHADO
TRAINA

Instituto de Ciências Matemáticas e de
Computação - USP

Resultado: APROVADO

Assinatura:

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Miguel Jorge e Neusa, pelo apoio e incentivo em todos os momentos desta importante etapa da minha vida; e à minha esposa Thalita, com amor e gratidão, pela sua paciência e compreensão durante a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida e pela sua constante presença em minha caminhada.

À minha mãe Neusa que muitas vezes abdicou de seus sonhos e vontades para que os meus se tornassem possíveis, tenho um orgulho muito grande em ser seu filho. Muito obrigado mãe.

Ao meu pai Miguel Jorge, meu motivo de inspiração e exemplo de vida. Obrigado pai por acreditar em mim e pelo incansável apoio. Esta conquista não é somente minha, mas também sua.

À minha esposa Thalita, pela sua dedicação e paciência nos momentos em que não pude estar presente, pela sua ajuda e compreensão, essa vitória é nossa. Eu te amo.

Aos meus irmãos Eduardo e Maira que sempre compartilharam comigo as alegrias e dificuldades. Obrigado.

Aos colegas do Centro de Ciências das Imagens e Física Médica do HCFMRP. Obrigado pelos conhecimentos compartilhados e a ajuda a mim dispensada.

Aos amigos Luis Ricardo e Marília que sempre estiveram presentes durante a realização deste trabalho. Obrigado pelas oportunidades concedidas e pela amizade.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao prof. Dr. Paulo Mazzoncini de Azevedo Marques, orientador deste trabalho, sempre presente na arte do ensino e pronto a ajudar na resolução dos problemas com seus sábios conselhos e sugestões. Agradeço pelas oportunidades e principalmente pela confiança depositada em mim durante estes meses. Espero sempre poder contribuir com seu belo trabalho desenvolvido no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto.

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

RESUMO

SALOMÃO, S.C. Integrando Sistemas de Auxílio ao Diagnóstico no Sistema Gerenciador de Imagens Médicas. 2010. 65f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação Interunidades Bioengenharia – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

O avanço tecnológico percebido nos últimos anos proporcionou a utilização em larga escala de equipamentos de aquisição de imagens médicas em formato digital, tais como: raios-X, tomografia computadorizada, ressonância magnética e ultrassom. O uso desses aparelhos na rotina diária de um hospital gera um volume expressivo de dados, o que demanda soluções para armazenamento, distribuição e visualização dessas imagens. Tal papel é desempenhado por sistemas de comunicação e arquivamento de imagens – PACS – através do protocolo de comunicação DICOM, o padrão internacional para codificação e transmissão de imagens médicas. Devido à sua natureza digital, recentemente várias aplicações voltadas para o processamento de imagens médicas foram desenvolvidas, inclusive programas para processar mamografia e tomografia computadorizada de tórax tornaram-se produtos comerciais nos últimos cinco anos. Tais aplicações são conhecidas por CAD ou diagnóstico auxiliado por computador. Sabe-se que soluções CAD podem aprimorar a eficiência e a precisão de diagnósticos clínicos detectando e/ou classificando automaticamente anormalidades e/ou doenças em exames médicos radiológicos. Entretanto, pouco esforço foi realizado no sentido de se integrar as ferramentas CAD a sistemas de comunicação e arquivamento de imagens. Para que o CAD auxilie no diagnóstico médico ele necessita processar imagens digitais que normalmente estão armazenadas no PACS. Atualmente, ainda o padrão para a utilização de sistemas especialistas em processamento de imagens médicas como CAD permanece sendo uma estação de trabalho isolada, e os resultados obtidos dos processamentos não são integrados de forma apropriada a outros sistemas de informação, tais como HIS (Sistema de Informação Hospitalar), RIS (Sistema de Informação em Radiologia) e PACS. O trabalho aqui descrito apresenta uma solução de integração CAD-PACS baseada em bibliotecas livres e de código aberto. Espera-se que essa solução possa contribuir de forma efetiva para um aumento de produtividade e melhoria dos processos na radiologia, beneficiando todo o ambiente hospitalar.

Palavras-chave: integração de sistemas, CAD, PACS, DICOM, radiologia.

ABSTRACT

SALOMÃO, S.C. Integrating Computer-aided Diagnosis Systems into the Picture Archiving and Communication System. 2010. 65f. Dissertation (Master's degree) – Programa de Pós Graduação Interunidades Bioengenharia – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

The technology evolution seen in the last years provided large adoption of digital image acquisition equipments, such as: x-rays, computed tomography, magnetic resonance and ultrasound. The use of these devices in daily hospital routine generates an expressive image data volume which demands intelligent solutions for image storage, distribution and visualization. Such role is played by picture archiving and communication systems – PACS – which make extensively use of the DICOM protocol, world industry standard for image transmission and codification in medicine. Due to its digital nature, recently several medical image processing applications were developed and some programs used to process mammography and chest computed tomography images became commercial products in the last five years. These applications are usually known as CAD or computer-aided diagnosis. It's known that CAD solutions may improve the diagnosis efficiency and accuracy by detecting and/or classifying automatically abnormalities and/or diseases in radiologic exams. However, little effort was done in the sense of integrating the CAD tools and picture archiving and communication systems. To really assist radiologist diagnosis CAD needs to process digital images that are usually stored in the PACS server. Nowadays, specialist image processing programs like CAD still remains being used on an isolated workstation and the processing results are not integrated in a suitable fashion to other information systems such as HIS (Hospital Information System), RIS (Radiology Information System) and PACS. The work described in this dissertation presents a CAD-PACS integration solution based on free and open source programming libraries. It's hoped that this solution may contribute in an effective manner to increase the productivity and improve the radiology workflow, bringing benefits to the whole hospital environment.

Keywords: system integration, CAD, PACS, DICOM, radiology,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Envio de uma série de imagens de tomografia computadorizada de um scanner para uma WS. a) O scanner codifica todas as imagens em um objeto DICOM. b) O scanner invoca uma série de serviços para mover o objeto até a camada física do modelo OSI. c) A WS utiliza uma série de serviços para receber o objeto através da camada física e depois move-lo para camadas de maior nível. d) A WS decodifica e apresenta a imagem do objeto DICOM..... 26

Figura 2. Envio de múltiplas imagens de um SCU para um SCP. 0) Scanner e servidor estabelecem uma associação. 1) Scanner (SCU) solicita um serviço C-Store ao servidor (SCP). 2) Servidor recebe solicitação do scanner e envia resposta de aceitação à solicitação do serviço. 3) Scanner envia pacote de dados referente à primeira imagem ao servidor. 4) Servidor executa serviço C-Store solicitado, armazenando o pacote. 5) Quando o serviço é terminado o servidor envia uma resposta de confirmação para o scanner. 6) Após receber a confirmação da execução do serviço, o scanner envia o próximo pacote de dados da imagem para o servidor. 7) Os passos 4, 5 e 6 se repetem até que todos os pacotes de dados da primeira imagem sejam transmitidos. 8) O scanner solicita um segundo serviço C-Store ao servidor para transmitir a segunda imagem. Os passos de 1 até 7 se repetem até que todas as imagens do estudo sejam transmitidas. 9) O scanner e o servidor invocam comandos DICOM para se desconectarem. 27

Figura 3. Operação de consulta e recuperação de imagens. 0) WS e servidor estabelecem uma associação. 1) WS solicita serviço C-Find ao servidor. 2) Servidor recebe a solicitação da WS (2a); executa o serviço C-Find (2b) e depois envia os resultados para a WS (2c). 3) WS recebe resposta do servidor com resultados da consulta. 4) Usuário da WS escolhe imagens desejadas para recuperação e solicita serviço C-Move ao servidor. 5) Servidor recebe solicitação de serviço C-Move (5a) e prepara serviço C-Store SCU (5b). 6) Serviço C-Store SCU do servidor recupera imagens do banco de dados. 7) Servidor solicita serviço C-Store à WS (C-Store SCP). 8) WS recebe solicitação C-Store do servidor e inicia processo de armazenamento das imagens. 9) Após a WS receber e armazenar os dados da última imagem, as duas entidades terminam a associação. 28

Figura 4. Componentes básicos e fluxo de dados de um PACS. Nota-se que o PACS sintetiza a integração de vários sistemas, passando pelo sistema de informação hospitalar, aquisição, arquivamento e visualização de imagens. Servidores de aplicação acoplados ao PACS expandem a estrutura para pesquisa, educação e outras aplicações clínicas. 30

Figura 5. Esquema que apresenta um sistema de aquisição de imagens (equipamento radiológico) acoplado a um computador que atua como canal de comunicação com o PACS. 31

Figura 6. A configuração de um sistema de arquivamento e de uma rede PACS. Uma biblioteca DLT é utilizada para armazenamento permanente nesse exemplo. O servidor de arquivamento está conectado à DLT e a um par espelhado de servidores de banco de dados. Informações de pacientes e estudos são armazenadas no banco de dados, as imagens são armazenadas na DLT. Uma rede Ethernet local conecta todos os componentes PACS e um Switch de alta velocidade conecta o servidor de arquivamento a estações de trabalho para

visualização. Também, o servidor de arquivamento está conectado a sistemas remotos, como por exemplo, sistemas HIS e RIS. 33

Figura 7. Esquema típico de uma estação de trabalho com dois monitores. A estação é composta por um computador, uma placa de vídeo com capacidade para processamento de imagens, dois monitores 1600x1280 cada, disco magnético e conexões de rede. 34

Figura 8. Perfil IHE Fluxo de Trabalho Programado (*Radiology Scheduled Workflow – SWF*). 38

Figura 9. Perfil IHE Fluxo de pós-processamento (*Post-Processing Workflow – PWF*). 38

Figura 10. Interface do servidor *Conquest* para gerenciamento de imagens médicas. O menu à direita apresenta as diversas funcionalidades fornecidas pelo servidor, dentre elas pode-se destacar funções para visualização do cabeçalho DICOM, envio de imagens para outros SCPs, e anonimização de séries e estudos. 43

Figura 11. Interface para consulta e recuperação de imagens do *K-PACS*. É possível requisitar informações de pacientes de qualquer servidor PACS configurado, além de importar, transferir, exportar e gravar exames de imagem em CD ou DVD. 44

Figura 12. Interface do módulo de visualização de imagens do *K-PACS*. O painel inferior apresenta várias ferramentas para manipulação de imagens. Dentre elas pode-se destacar o recurso de janelamento, zoom/pan e o efeito de lupa. 45

Figura 13. Esquema que apresenta a arquitetura do modelo de integração e seus principais componentes. As aplicações CAD se comunicam com o servidor PACS através dos serviços de comunicação fornecidos pelo cliente *Client-CAD*. 46

Figura 14. Princípio de funcionamento do software *Client-CAD* criado utilizando o *framework* para integração CAD-PACS. Ilustra o funcionamento dos processos Receptor, Robô e Transmissor responsáveis pelo processamento e envio dos resultados de CAD para o PACS. 48

Figura 15. Diagrama de classes que inclui as principais classes envolvidas na integração CAD-PACS. Pode-se destacar a classe *DicomQueryRetrieveSCUService* responsável pela pesquisa e recuperação de imagens, a classe *Robot* que executa o processamento CAD e a classe *DicomCStoreSCUService* utilizada para enviar os resultados para o PACS. 50

Figura 16. Interface do software *Client-CAD*. Configurações para comunicação com o PACS. 53

Figura 17. Software *Client-CAD* em ação. Solicitação de pesquisa e recuperação de imagens. 54

Figura 18. Software *Client-CAD* em ação. Processamento e envio das imagens para o PACS. 54

Figura 19. Interface do servidor *Conquest* para visualização de eventos e status. No destaque é possível visualizar a interação do servidor com o cliente para integração *Client-CAD*. 55

Figura 20. Interface de pesquisa do visualizador *K-PACS*. No destaque, três novas séries de imagens processadas após a integração CAD-PACS. 56

Figura 21. Módulo de visualização do *K-PACS* após a integração CAD-PACS. A faixa superior apresenta as séries de imagens originais do paciente. A faixa inferior apresenta as séries correspondentes de imagens processadas por CAD. 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de objetos de informação DICOM.....	24
Tabela 2. DIMSEs normalizados.....	25
Tabela 3. DIMSEs compostos.	25

LISTA DE SIGLAS

ACR	American College of Radiology
CAD	Computer Aided Diagnosis
CRT	Cathode Ray Tube
CT	Computed Tomography
DICOM	Digital Imaging and Communication in Medicine
DIMSE	DICOM Message Services Elements
DLT	Digital Linear Tape
HD	Hard Disk
HIS	Health Information System
HRCT	High Resolution Computed Tomography
LCD	Liquid Crystal Display
MRI	Magnetic Resonance Imaging
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model
PACS	Picture Archiving and Communication System
RAID	Redundant Array of Inexpensive Disks
RIS	Radiology Information System
ROI	Region of Interest
SCP	Service Class Provider
SCU	Service Class User
WS	Workstation

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
1.2 MOTIVAÇÃO.....	18
1.3 OBJETIVO	20
1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	20
2. DICOM, PACS, IHE e CAD – CONCEITOS E APLICAÇÕES.....	22
2.1 O PADRÃO DICOM	22
2.1.1 Classes de objetos	23
2.1.2 Serviços	24
2.1.3 Comunicação.....	26
2.1.4 Utilização de serviços DICOM	27
2.2 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E ARQUIVAMENTO DE IMAGENS – PACS.....	29
2.2.1 Aquisição de imagens	30
2.2.2 Controlador PACS e servidor de arquivamento de imagens	32
2.2.3 Apresentação de imagens.....	33
2.3 IHE – INTEGRATING THE HEALTHCARE ENTERPRISE	36
2.4 DIAGNÓSTICO AUXILIADO POR COMPUTADOR – CAD	40
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE INTEGRAÇÃO	46
4 RESULTADOS	51
5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	57
5.1 LIMITAÇÕES	57

5.2 CONCLUSÕES	59
5.3 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	60
6 ARTIGOS RESULTANTES DA PESQUISA.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A grande evolução tecnológica percebida nas últimas décadas proporcionou um avanço significativo em áreas relacionadas à informática, tais como: tecnologia da informação, engenharias e ciência da computação. Como se trata uma ciência aplicada, esse aprimoramento computacional contribui também para o desenvolvimento de outras áreas de cunho científico, de modo especial, a medicina. Tal progresso, consequentemente, levou ao barateamento das tecnologias de coleta de dados e imagens, incentivando instalações médicas a fazer uso de sistemas de informação que gerenciam, armazenam e organizam os dados clínicos de pacientes.

Nos hospitais, o Sistema de Informação Hospitalar (*Hospital Information System* - HIS) é responsável por gerenciar, armazenar e prover acesso a diversas informações de pacientes. Geralmente o HIS trata três categorias principais de serviços: suporte clínico e médico nas atividades de cuidado ao paciente, administração diária das transações de negócio do hospital (finanças, folha de pagamento, etc.) e avaliação do desempenho hospitalar com previsão de projetos em longo prazo. Nesse sistema a natureza da informação é textual, ou seja, é comum médicos efetuarem consultas à base de dados do hospital para obter históricos de atendimento ou informações de laudo referentes a um determinado paciente.

O impacto tecnológico é tão grande que a abordagem diagnóstica médica sofre influências e vem sendo bastante modificada, como por exemplo, com o uso de equipamentos radiológicos cada vez mais potentes que geram imagens médicas digitais de qualidade muito

superior e a preços mais acessíveis. Dessa forma, a crescente utilização desses equipamentos em consultórios, clínicas e hospitais, gradativamente, gera um volume expressivo de imagens todos os dias. A solução para gerenciar essas imagens de forma eficiente está na adoção de um Sistema de Comunicação e Arquivamento de Imagens (*Picture Archiving and Communication System* - PACS). Ele é responsável por receber, armazenar e disponibilizar para médicos ou outros sistemas, as imagens dos diversos dispositivos de aquisição, como por exemplo, raios-X, ressonância magnética, tomografia computadorizada e ultrassom (CAO e HUANG, 2000).

Ainda dentro do ambiente de diagnóstico por imagens, o Sistema de Informação em Radiologia (*Radiology Information System* - RIS) foi concebido para controlar processos como geração e agendamento de exames, manutenção e geração de laudos e relatórios. De modo geral todo RIS, assim como o HIS, trata informações de pacientes relacionados a exames, incluindo informações médicas, administrativas e demográficas. No entanto, é um sistema especializado e específico para a radiologia. Embora seja independente, de certa forma o RIS pode ser considerado um subsistema do HIS dentro de um ambiente hospitalar amplo e com centro de diagnóstico próprio, uma vez que ambos compartilham as mesmas informações (MARQUES et al., 2000).

1.2 MOTIVAÇÃO

Devido à natureza digital das imagens médicas geradas pelos equipamentos de última geração, a pesquisa e desenvolvimento de técnicas de processamento de imagens contribuíram para o surgimento de ferramentas de Diagnóstico Auxiliado por Computador (*Computer*

Aided Diagnosis - CAD). Sabe-se que o CAD pode aprimorar a eficiência e a precisão de diagnósticos clínicos detectando e/ou classificando automaticamente anormalidades e/ou doenças em exames médicos radiológicos. Várias aplicações CAD foram desenvolvidas pela comunidade científica especializada em processamento de imagens (BURHENNE, 2000). Dentre estas, aplicações voltadas para mamografia, raios-X e tomografia computadorizada de tórax surgiram como produtos comerciais nos últimos cinco anos (BAKER, 2003).

Aliados a aplicações CAD, percebe-se que sistemas HIS, RIS e PACS compartilham diversas informações entre si, principalmente no que diz respeito a dados de pacientes. A integração entre eles é fundamental para o bom desempenho do fluxo de trabalho e sabe-se que ela tem sido o grande interesse de médicos e do setor hospitalar em geral (FURUIE et al., 2007). Entretanto, pouco esforço foi realizado no sentido de se integrar sistemas CAD com Sistemas de Comunicação e Arquivamento de Imagens. Para que o CAD auxilie no diagnóstico médico ele necessita processar imagens digitais que normalmente estão armazenadas no PACS. Atualmente, ainda o padrão para a utilização de sistemas especialistas em processamento de imagens médicas como CAD permanece sendo uma estação de trabalho (*Workstation* – WS) individual, e os resultados obtidos dos processamentos não são integrados de forma apropriada aos outros sistemas de informação ou ao PACS (ZHOU, BRENT e ANH, 2007). Espera-se que uma solução completa e integrada possa contribuir significativamente para a produtividade e melhoria dos processos na radiologia, beneficiando todo o ambiente hospitalar.

1.3 OBJETIVO

O objetivo desse estudo foi desenvolver um *framework* que implementa métodos de integração entre sistemas CAD e PACS. A forma de se integrar os dois sistemas deve ser genérica para que seja possível aplicá-la também a sistemas CAD proprietários que já existam no mercado. O resultado da integração deve possibilitar o pronto acesso a exames com imagens originais do paciente e imagens resultantes do processamento do CAD, fornecendo ao radiologista informações adicionais relevantes para a tomada de decisão.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Essa dissertação apresenta a seguinte organização:

- No presente capítulo foram apresentadas considerações iniciais, a motivação para o desenvolvimento do trabalho, os objetivos de seu desenvolvimento e a organização desse documento;
- No capítulo 2 são introduzidos os principais conceitos sobre o padrão DICOM, a estrutura e o funcionamento de sistemas de comunicação e arquivamento de imagens médicas, a iniciativa IHE, bem como o conceito de diagnóstico auxiliado por computador;
- No capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos, demonstrando como esse trabalho foi desenvolvido e aplicado, as tecnologias utilizadas e a arquitetura detalhada do modelo de integração;

- No capítulo 4 são apresentados os resultados da integração entre os sistemas CAD e PACS aplicando-se o modelo proposto;
- No capítulo 5 são discutidas as contribuições da dissertação e suas limitações, apontando as conclusões do trabalho, possíveis melhorias e trabalhos futuros.
- No capítulo 6 são apresentados os artigos publicados resultantes desse estudo.

2. DICOM, PACS, IHE e CAD – CONCEITOS E APLICAÇÕES

2.1 O PADRÃO DICOM

DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) é o padrão global para transferência de imagens radiológicas e outras informações médicas entre computadores. O DICOM atual, geralmente identificado como versão 3.0, evoluiu das versões 1.0 (1985) e 2.0 (1988) de um padrão desenvolvido pelo Colégio Americano de Radiologia (*American College of Radiology* - ACR) em conjunto com a Associação Nacional de Fabricantes Elétricos (*National Electrical Manufacturers Association* - NEMA) dos Estados Unidos.

Sabe-se que a conectividade prevista pelo padrão é muito importante no que diz respeito à razão custo/benefício para áreas da saúde que fazem uso de imagens médicas. Usuários DICOM podem prover serviços de radiologia entre instalações localizadas em diferentes regiões geográficas, aproveitar recursos de tecnologia da informação já existentes e manter os custos baixos através da compatibilidade e interoperabilidade de novos equipamentos e sistemas. Como resultado, as imagens podem ser capturadas e transferidas de forma mais rápida e eficiente, médicos podem concluir o diagnóstico brevemente e, conseqüentemente, antecipar a decisão de qual tratamento deve ser adotado para determinado paciente (HORII, 2009).

O DICOM é extremamente adaptável, uma característica que levou outras especialidades a adotarem o padrão, tais como: endoscopia e odontologia. O fato de que muitos fabricantes de equipamentos de diagnóstico por imagem são corporações globais despertou um interesse considerável no padrão. Por exemplo, na Europa organizações de

regulamentação utilizam o DICOM como base para o padrão compatível MEDICOM (BJERDE, 1995) daquele continente. Organizações do Japão também adotaram partes do padrão para atender suas necessidades. Devido a seu impacto mundial o DICOM agora é mantido e atualizado por um comitê multidisciplinar internacional.

2.1.1 Classes de objetos

O DICOM é um padrão orientado a objetos que abstrai objetos do mundo real. Conceitualmente, todo objeto pertence a uma determinada classe de objetos. No padrão DICOM, uma classe de objeto consiste de objetos normalizados e objetos compostos. Classes de objetos de informação normalizados incluem atributos inerentes ao mundo real. Considerando duas classes de objeto, como por exemplo, Estudo e Paciente, pode-se afirmar que a data do estudo e a hora de geração da imagem são atributos da classe Estudo, pois estão presentes sempre que um estudo é realizado. Por outro lado, o nome do paciente não pertence à classe Estudo, pois é uma informação pertinente ao paciente e, portanto, atribuído à classe Paciente.

O uso de classes de objetos de informação pode identificar de forma mais precisa e sem ambiguidade objetos encontrados em equipamentos e aplicações de diagnóstico por imagem. No entanto, pode ser vantajoso em alguns casos combinar objetos normalizados para formar classes de objetos compostos. Por exemplo, o objeto de informação de uma radiografia computadorizada é considerado composto, pois possui atributos da classe do Estudo (data e hora da imagem) e da classe do Paciente (nome do paciente), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de objetos de informação DICOM

Normalizado	Composto
Paciente	Radiografia computadorizada
Estudo	Tomografia computadorizada
Resultados	Imagem de filme digitalizado
Fonte de armazenamento	Imagem digital de subtração
Anotações da imagem	Imagem de ressonância magnética
	Imagem de medicina nuclear
	Imagem de ultrassom
	Gráficos/ Curvas

2.1.2 Serviços

Serviços DICOM são utilizados para a comunicação de objetos de informação dentro de um dispositivo e para que dispositivos possam executar serviços para um determinado objeto, como por exemplo, armazenar ou mostrar esse objeto. Um serviço geralmente é construído sobre uma série de Elementos de Serviço de Mensagem (*DICOM Message Services Elements* - DIMSEs). Existem dois tipos de DIMSEs, um para objetos normalizados (mais específico) e outro para objetos compostos (mais geral), conforme mostram as Tabelas 2 e 3. Esses elementos são programas de computador especialmente escritos para executar funções específicas. De modo geral um dispositivo lança um comando de solicitação e o receptor responde com um comando de aceitação.

Um serviço também é conhecido como Classe de Serviço por causa da natureza orientada a objetos do seu modelo de informação. Dessa maneira, se um dispositivo oferece um serviço, então ele pertence a uma Classe Provedora de Serviços (*Service Class Provider* -

SCP). Caso ele apenas utilize um serviço, então é considerado um Usuário de Serviços (*Service Class User* - SCU). Por exemplo, uma unidade gravadora de discos Blu-ray em um servidor PACS assume o papel de um SCP para o servidor armazenar imagens. Por outro lado, um scanner de CT assume o papel de SCU ao solicitar que imagens sejam armazenadas no servidor PACS. Dependendo do caso, um dispositivo pode atuar tanto como SCP, SCU ou ambos.

Tabela 2 – DIMSEs normalizados.

Comando	Função
N-Event-Report	Notificação de evento para um objeto
N-Get	Recuperação do valor de um atributo de um objeto
N-Set	Especificação do valor de um atributo para um objeto
N-Action	Especificação de ação para um objeto
N-Create	Criação de um objeto
N-Delete	Exclusão de um objeto

Tabela 3 – DIMSEs compostos.

Comando	Função
C-Echo	Verificação da conexão
C-Store	Transmissão da instância de um objeto
C-Find	Consulta informações da instância de um objeto
C-Get	Transmissão (servidor-cliente) da instância de um objeto para a entidade solicitante.
C-Move	Transmissão (servidor-cliente) da instância de um objeto. Nem sempre o receptor será a mesma entidade que solicitou a transmissão.

2.1.3 Comunicação

O padrão DICOM utiliza padrões já existentes de comunicação em rede baseados no Modelo de Referência para a Interconexão de Sistemas Abertos (*Open Systems Interconnection Reference Model* - OSI) para transmissão de informações e imagens médicas. O modelo OSI consiste de sete camadas, onde a camada mais alta compõe as interfaces de aplicação com o usuário e a camada mais baixa consiste no meio físico (fios e cabos) pelo qual a informação é enviada e recebida (TANENBAUM, 2003). Quando objetos com informação ou imagens médicas são enviados entre camadas de um mesmo dispositivo, esse processo é chamado de serviço. Por outro lado, quando objetos são enviados entre dois dispositivos diferentes, tal processo é considerado um protocolo. Dessa maneira, quando um processo caracteriza um protocolo, diz-se no padrão DICOM que os dois dispositivos estabeleceram uma associação. A Figura 1 ilustra a transmissão de imagens de CT de um scanner para uma WS.

Figura 1. Envio de uma série de imagens de tomografia computadorizada de um scanner para uma WS. a) O scanner codifica todas as imagens em um objeto DICOM. b) O scanner invoca uma série de serviços para mover o objeto até a camada física do modelo OSI. c) A WS utiliza uma série de serviços para receber o objeto através da camada física e depois move-lo para camadas de maior nível. d) A WS decodifica e apresenta a imagem do objeto DICOM.

2.1.4 Utilização de serviços DICOM

Para usuários finais, as funcionalidades DICOM mais esperadas para a rotina diária são serviços eficientes para enviar, receber, consultar e recuperar imagens. A Figura 2 apresenta os passos envolvidos no envio de múltiplas imagens de um exame de CT para um determinado servidor PACS. Nesse exemplo, cada imagem é transmitida do scanner para o servidor utilizando o serviço DICOM C-Store, onde o scanner assume o papel de SCU e o servidor o papel de SCP.

Figura 2. Envio de múltiplas imagens de um SCU para um SCP. 0) Scanner e servidor estabelecem uma associação. 1) Scanner (SCU) solicita um serviço C-Store ao servidor (SCP). 2) Servidor recebe solicitação do scanner e envia resposta de aceitação à solicitação do serviço. 3) Scanner envia pacote de dados referente à primeira imagem ao servidor. 4) Servidor executa serviço C-Store solicitado, armazenando o pacote. 5) Quando o serviço é terminado o servidor envia uma resposta de confirmação para o scanner. 6) Após receber a confirmação da execução do serviço, o scanner envia o próximo pacote de dados da imagem

para o servidor. 7) Os passos 4, 5 e 6 se repetem até que todos os pacotes de dados da primeira imagem sejam transmitidos. 8) O scanner solicita um segundo serviço C-Store ao servidor para transmitir a segunda imagem. Os passos de 1 até 7 se repetem até que todas as imagens do estudo sejam transmitidas. 9) O scanner e o servidor invocam comandos DICOM para se desconectarem.

Figura 3. Operação de consulta e recuperação de imagens. 0) WS e servidor estabelecem uma associação. 1) WS solicita serviço C-Find ao servidor. 2) Servidor recebe a solicitação da WS (2a); executa o serviço C-Find (2b) e depois envia os resultados para a WS (2c). 3) WS recebe resposta do servidor com resultados da consulta. 4) Usuário da WS escolhe imagens desejadas para recuperação e solicita serviço C-Move ao servidor. 5) Servidor recebe solicitação de serviço C-Move (5a) e prepara serviço C-Store SCU (5b). 6) Serviço C-Store SCU do servidor recupera imagens do banco de dados. 7) Servidor solicita serviço C-Store à WS (C-Store SCP). 8) WS recebe solicitação C-Store do servidor e inicia processo de armazenamento das imagens. 9) Após a WS receber e armazenar os dados da última imagem, as duas entidades terminam a associação.

O processo de envio e recebimento utilizando C-Store é considerado relativamente simples comparado ao serviço de consulta e recuperação de imagens (*Query and Retrieve – Q/R*). A Figura 3 ilustra um exemplo mais complexo onde uma WS efetua consultas no servidor para recuperar exames. É um serviço composto que envolve o trabalho de três DIMSEs: C-Find, C-Move e C-Store. Nesse caso específico, como a WS necessita consultar e depois armazenar os exames recuperados, ela assume respectivamente o papel de Q/R SCU e C-Store SCP. Por outro lado, o servidor assume o papel de Q/R SCP e C-Store SCU.

2.2 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E ARQUIVAMENTO DE IMAGENS – PACS

No ambiente de geração e análise de imagens em hospitais e clínicas, a transmissão, o gerenciamento e o armazenamento dessas imagens médicas são realizados por sistemas de comunicação e arquivamento de imagens (*Picture Archiving and Communication System – PACS*) que revolucionaram a prática da radiologia e da medicina em geral. O conceito de PACS foi introduzido pela primeira vez em meados de 1980 após uma série de estudos relacionados ao diagnóstico por imagem digital ser apresentada em várias conferências e universidades norte-americanas (WILEY, 2005). Todo sistema PACS deve ser compatível com o padrão DICOM devido à sua natureza de aplicação. É composto por equipamentos e sistemas voltados para aquisição, arquivamento e apresentação de dados e imagens médicas (HUANG, 2004). Cada componente é devidamente integrado através de redes de computadores e aplicações de software. A Figura 4 apresenta os componentes básicos e o fluxo de dados de um PACS.

Figura 4. Componentes básicos e fluxo de dados de um PACS. Nota-se que o PACS sintetiza a integração de vários sistemas, passando pelo sistema de informação hospitalar, aquisição, arquivamento e visualização de imagens. Servidores de aplicação acoplados ao PACS expandem a estrutura para pesquisa, educação e outras aplicações clínicas.

2.2.1 Aquisição de imagens

A aquisição de dados e imagens é fundamental, pois é um componente indispensável para a existência de um PACS. Muitas vezes ela foi considerada um trabalho complexo no que diz respeito à comunicação com o PACS. Existem vários fabricantes de equipamentos para aquisição e muitos deles não eram compatíveis com o padrão DICOM, exigindo trabalho redobrado para transformar os dados adquiridos em objetos DICOM válidos para armazenamento no PACS. Entretanto, a cada ano surgem dispositivos cada vez mais modernos, como por exemplo, a tomografia computadorizada de alta definição (*High Resolution Computed Tomography* – HRCT). Sabe-se que o equipamento Discovery CT750 HD da multinacional GE alia alta definição a baixa dosagem de radiação. Tal tecnologia

possui um detector chamado *Gemstone* capaz de fornecer imagens até 100 vezes mais rápido, com até 33% mais detalhes para exames de corpo inteiro e até 47% para exames cardíacos. E ainda, essa tecnologia reduz em 50% as doses de radiação se comparado a sistemas anteriores (DUO, 2009).

Figura 5. Esquema que apresenta um sistema de aquisição de imagens (equipamento radiológico) acoplado a um computador que atua como canal de comunicação com o PACS.

Esses equipamentos de diagnóstico por imagem mais avançados possuem acoplado um computador, que além de armazenar as imagens adquiridas funciona como um canal de comunicação (*gateway*) com o PACS, como mostra a Figura 5. Eles executam três tarefas primárias: adquire a imagem através do equipamento radiológico, converte os dados para um formato padrão compatível com o PACS (padrão DICOM) e, enfim, encaminha o estudo que contém a imagem para o servidor PACS ou estações de trabalho.

2.2.2 Controlador PACS e servidor de arquivamento de imagens

O servidor é a peça fundamental de uma arquitetura PACS. Ele consiste de dois componentes principais: o controlador PACS e o servidor de arquivamento de imagens. O primeiro consiste de equipamentos de hardware e aplicações de software que controlam a comunicação e todo fluxo de dados no PACS. O segundo é responsável pelo armazenamento, segurança e integridade dos dados das imagens recebidas pelo PACS.

Em termos de hardware, o servidor de arquivamento de imagens pode ser considerado um *datacenter* composto de computadores de alto desempenho, dispositivos de armazenamento e conexões de rede ultra rápidas. Os principais dispositivos para armazenamento em um PACS incluem discos magnéticos (*Hard Disk* – HD), conjunto de discos independentes (*Reduntant Array of Inexpensive Disks* – RAID), fitas magnéticas (*Digital Linear Tape* – DLT), além de CDs e DVDs. Devido à grande velocidade de acesso e confiabilidade, geralmente sistemas PACS utilizam RAID para armazenamento de dados que não necessitam estar disponíveis por um longo período de tempo. Por outro lado, fitas magnéticas são comuns quando o armazenamento é permanente ou deve ser mantido por muitos anos. A Figura 6 apresenta uma possível configuração para o servidor de arquivamento de imagens.

O software implementado no servidor de arquivamento deve ser compatível com o padrão DICOM, pois é através dele que o servidor recebe exames, grava informações do paciente no banco de dados e armazena as imagens em discos ou fitas magnéticas. O servidor deve suportar também serviços Q/R assim como serviços independentes para C-Store, C-Find e C-Move para comunicação com diferentes estações de trabalho.

Figura 6. A configuração de um sistema de arquivamento e de uma rede PACS. Uma biblioteca DLT é utilizada para armazenamento permanente nesse exemplo. O servidor de arquivamento está conectado à DLT e a um par espelhado de servidores de banco de dados. Informações de pacientes e estudos são armazenadas no banco de dados, as imagens são armazenadas na DLT. Uma rede Ethernet local conecta todos os componentes PACS e um Switch de alta velocidade conecta o servidor de arquivamento a estações de trabalho para visualização. Também, o servidor de arquivamento está conectado a sistemas remotos, como por exemplo, sistemas HIS e RIS.

2.2.3 Apresentação de imagens

Sabe-se que a radiografia é a primeira modalidade de exame por imagem que se tem notícia. Mesmo depois de décadas de evolução tecnológica ela ainda permanece ativa respondendo por aproximadamente 70% do volume de estudos em todo o mundo. Até meados de 1980 a única forma de aquisição de uma radiografia era através de filme. De forma semelhante, quando outras modalidades como ultrassom, tomografia computadorizada e ressonância magnética surgiram, ainda era necessário imprimir as imagens em filme para visualização. Com o surgimento do PACS percebeu-se a necessidade da utilização de

monitores acoplados a computadores para visualização de imagens. Os primeiros monitores padrão CRT não exprimiam a qualidade necessária comparada à de um filme radiológico, portanto os fabricantes tiveram de produzir monitores específicos para a área médica com fósforos especiais para atingir níveis maiores de luminância e menor distorção espacial. Mais tarde os monitores LCD foram adotados devido ao seu baixo custo, durabilidade e qualidade de exibição de imagens coloridas. As primeiras estações de trabalho (*Workstations* – WS) PACS eram compostas por quatro monitores. O número de monitores estava diretamente ligado ao costume dos radiologistas para visualizar imagens.

Figura 7. Esquema típico de uma estação de trabalho com dois monitores. A estação é composta por um computador, uma placa de vídeo com capacidade para processamento de imagens, dois monitores 1600x1280 cada, disco magnético e conexões de rede.

Uma WS para visualização de imagens é composta basicamente de quatro componentes de hardware: um computador, uma placa de vídeo, monitores e dispositivos de armazenamento. O computador da estação possui software instalado para se comunicar com o PACS via rede e, através da placa de vídeo, transforma os dados de imagem armazenados

para visualização nos monitores. Dispositivos RAID são utilizados para armazenamento. A Figura 7 apresenta a composição de uma WS típica que contém dois monitores.

As estações de trabalho podem ser categorizadas em seis tipos diferentes de acordo com sua aplicação: diagnóstica, revisão, análise, digitalização e impressão, ensino e estação *desktop*:

- WS diagnóstica é geralmente utilizada por radiologistas para determinar o diagnóstico primário. Utiliza monitores de maior resolução e qualidade, além de apresentar uma interface amigável com funções fáceis de usar;
- WS para revisão é voltada para radiologistas e médicos que desejam rever casos de pacientes. Tanto imagens quanto laudos devem ser apresentados nessa estação;
- A análise de imagens é feita por uma WS específica onde é possível executar tarefas computacionalmente pesadas, tais como: processar imagens, extrair parâmetros de regiões de interesse (ROI) e renderizar volumes 3D de exames de CT ou MRI. Nesse caso necessita de processador e placa de vídeo de alto desempenho;
- WS para digitalização e impressão é normalmente utilizada por técnicos em radiologia que necessitam digitalizar filmes para armazenamento em banco de dados de histórico. Quando houver necessidade, técnicos também efetuam a impressão de imagens em filme ou papel;
- Uma WS para ensino é utilizada para ensino interativo da estação. Ela simula a utilização do sistema de visualização acelerando o aprendizado;
- A estação *desktop* é utilizada por médicos, pesquisadores ou professores que necessitam de informações armazenadas no PACS para criar slides para aulas ou palestras.

Vale ressaltar que uma WS pode desempenhar mais de uma ou todas as categorias citadas, dependendo dos seus recursos de hardware e de sua capacidade de processamento. Em alguns casos, devido ao atual estágio da tecnologia da informação, os computadores pessoais podem ser utilizados como WS em um sistema de comunicação integrado ao PACS.

2.3 IHE – INTEGRATING THE HEALTHCARE ENTERPRISE

Mesmo com a adoção dos vários sistemas de informação heterogêneos para o ambiente hospitalar, ainda existe a necessidade de um consenso de como realizar a integração entre essas diversas soluções. Pensando nessa questão, por volta de 1998 a RSNA (*Radiological Society of North America*) e a HIMSS (*Healthcare Information and Management System Society*) iniciaram a construção do modelo IHE (*Integrating the Healthcare Enterprise*). Trata-se de um modelo de informação de alto nível desenvolvido para orientar na utilização e adaptação dos padrões DICOM e HL7. O padrão HL7 (*Health Level Seven*) foi estabelecido em março de 1987. Ele foi organizado para desenvolver métodos voltados para a troca de informação digital entre ambientes médicos, particularmente no que diz respeito a programas de computador hospitalares. Seu principal objetivo é simplificar a interface entre aplicações de vários fabricantes. O HL7 enfatiza o formato de dados, protocolos e certos elementos textuais chave para a troca de informação entre sistemas como HIS, RIS e PACS (HUANG, 2004).

As diretrizes propostas pelo IHE definem um modelo de informação comum entre os padrões DICOM e HL7 para completar tarefas definidas para transações clínicas e radiológicas. Segundo Huang (2004), existem três conceitos principais no modelo IHE:

- Modelo de dados: o modelo de dados é adaptado dos padrões DICOM e HL7 e apresenta o relacionamento entre as informações chave, como por exemplo, paciente, visita, pedido e estudo;
- Ator: um ator é aquele que troca mensagens com outros atores para concluir tarefas ou transações específicas. Um ator, não necessariamente uma pessoa, é definido em termos genéricos como um produto neutro dentro de um ambiente hospitalar ou empresarial;
- Perfis de integração: um perfil de integração é a organização de funções que inclui atores e transações requeridos para resolver uma tarefa ou necessidade clínica em particular. Como exemplo, pode-se citar o perfil “Fluxo de trabalho programado” (*Radiology Scheduled Workflow – SWF*) que incorpora todos os passos e processos de um típico agendamento de pacientes, que vai desde o registro do paciente, exame, aquisição de imagens, até a visualização e laudo, e o perfil “Fluxo de pós-processamento” (*Post-Processing Workflow – PWF*) que complementa o perfil anterior, mais especificamente atua como uma extensão do passo de aquisição de imagens, fornecendo meios de gerenciar tarefas de pós-processamento, tais como: controle de qualidade, reconstrução 3D e diagnóstico auxiliado por computador (CAD), conforme mostram as Figuras 8 e 9.

Os perfis de integração IHE são extremamente importantes para fabricantes de equipamentos médicos e desenvolvedores de sistemas para a área hospitalar, principalmente para a radiologia, pois orienta e incentiva a implementação de métodos de integração padronizados entre as soluções que seus produtos oferecem (CHANNIN, 2001). A versão do documento técnico IHE mais recente para a área de radiologia é de 2008 e contempla dezessete perfis (IHE, 2010):

- Fluxo de trabalho programado (*SWF*);

Figura 8. Perfil IHE Fluxo de Trabalho Programado (*Radiology Scheduled Workflow – SWF*).

Figura 9. Perfil IHE Fluxo de pós-processamento (*Post-Processing Workflow – PPW*).

- Reconciliação de informação do paciente (*PIR*);
- Apresentação consistente de imagens (*CPI*);
- Apresentação de procedimentos agrupados (*PGP*);
- Acesso a informações de radiologia (*ARI*);
- Anotação de imagem chave (*KIN*);
- Relatório numérico e imagem simples (*SINR*);
- Custo de postagem (*CHG*);
- Fluxo de pós-processamento (*PWF*);
- Fluxo de relatório (*RWF*);
- Documentos de evidência (*ED*);
- Dados portáteis para imagem diagnóstica (*PDI*);
- Imagem de medicina nuclear;
- Compartilhamento de documentos entre centros de saúde para imagem diagnóstica (*XDS-I*);
- Imagem de mamografia;
- Importação de fluxo de reconciliação (*IRWF*);
- Arquivo de ensino e exportação de estudos médicos (*TCE*);

Sabe-se que integrando os sistemas RIS e PACS, conforme as orientações do IHE, é possível reduzir significativamente a quantidade de processos e pessoas envolvidas no fluxo de trabalho de um departamento de radiologia. A otimização pode chegar a mais de dez processos a partir do momento que existe um ambiente digital integrado (CHANNIN, SIEGEL e CARR, 2002).

2.4 DIAGNÓSTICO AUXILIADO POR COMPUTADOR – CAD

Diagnóstico auxiliado por computador (*Computer-Aided Diagnosis – CAD*) pode ser definido como um diagnóstico feito por um radiologista que utiliza o resultado de análises quantitativas automatizadas de imagens radiográficas como uma segunda opinião para a tomada de decisões diagnósticas. Vale ressaltar que o computador é utilizado apenas como ferramenta para fornecer informação adicional, sendo o diagnóstico final sempre realizado pelo radiologista. Portanto, o diagnóstico auxiliado por computador é diferente do conceito básico de diagnóstico automatizado, que foi um conceito proposto e estudado nas décadas de 60 e 70. A finalidade do CAD é melhorar a precisão do diagnóstico, bem como a consistência da interpretação da imagem radiológica, mediante o uso da resposta do computador como referência. Basicamente, existem dois tipos de aplicações de sistemas CAD. O primeiro consiste no auxílio à detecção de lesões. Através da varredura da imagem pelo computador ele localiza padrões considerados anormais, como por exemplo, agrupamentos de microcalcificações em imagens mamográficas ou nódulos pulmonares em imagens de tórax. O segundo consiste no auxílio ao diagnóstico. Pela quantificação de características da imagem e sua classificação, o sistema identifica padrões normais ou anormais, como por exemplo, a associação da quantidade e forma das microcalcificações presentes em um agrupamento com a malignidade ou não do tumor, ou a associação da textura dos pulmões com lesões intersticiais em imagens de tórax (DOI, 2007).

Em geral, os sistemas CAD utilizam-se de técnicas provenientes de duas áreas do conhecimento: visão computacional, que envolve o processamento de imagens, segmentação e extração de atributos, e inteligência artificial, que inclui métodos para seleção de atributos e reconhecimento de padrões (GONZALES e WINTZ, 1987). CAD agrega uma base conceitual

ampla e genérica e pode ser aplicada a todas as modalidades de obtenção de imagem, incluindo radiografia convencional, tomografia computadorizada, ressonância magnética, ultra-sonografia e medicina nuclear. Pode-se, também, desenvolver esquemas de CAD para todos os tipos de exame de todas as partes do corpo, como crânio, tórax, abdome, osso e sistema vascular, entre outros. Porém, atualmente os principais objetos de pesquisa para o desenvolvimento de sistemas CAD incluem imagens de tórax, mamografias e intestino (YOSHIDA et al., 2002). Nota-se que a detecção de câncer de mama, pulmão e intestino através de CAD vem sendo avaliada, pois são lesões difíceis de encontrar e demandam muito tempo dos radiologistas. Inclusive, sistemas comerciais para detecção desses tipos de câncer já estão disponíveis para uso clínico (BYERS et al., 2006).

É provável que no futuro aplicações CAD sejam incluídas junto com outros softwares para processamento de imagens em estações de trabalho que manipulam modalidades tais como: mamografia digital, tomografia computadorizada e ressonância magnética. Da mesma forma, muitos outros projetos de CAD devem ser utilizados como pacotes de software implementados como parte integrante do PACS. Assim os radiologistas poderão usar esses pacotes na estação de trabalho de duas formas: primeiro para realizar a leitura das imagens sem o auxílio da máquina, e segundo, solicitar ao computador o resultado do processamento CAD como ajuda para a tomada de decisão. Uma outra importante aplicação seria a pesquisa e recuperação de imagens similares no PACS através da técnica conhecida como Recuperação de Imagens Baseada em Conteúdo (*Content Based Image Retrieval* – CBIR). Estudos recentes apontam que a similaridade de nódulos de pulmão em exames de CT e lesões em mamografias podem ser quantificadas através do uso de redes neurais artificiais treinadas com características referentes aos exames em questão e com informações subjetivas dadas por um grupo de radiologistas (DOI, 2007). Entretanto, pouco esforço foi tomado no sentido de se

integrar CAD a sistemas PACS, onde CAD geralmente é ou pretende ser utilizado. Portanto, CAD permanece sendo uma única e isolada estação de trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O *framework* para integração entre sistemas CAD e PACS, objeto deste estudo, foi desenvolvido no Centro de Ciências das Imagens e Física Médica (CCIFM) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (HCFMRP) – USP. Para validar o experimento, um ambiente de testes foi construído utilizando um sistema CAD desenvolvido no CCIFM para classificação de lesões intersticiais de pulmão em exames de tomografia computadorizada de alta resolução (HRCT) de tórax, o sistema *Conquest* como servidor PACS e o software *K-PACS* como cliente DICOM para visualização de imagens na estação de trabalho do médico. Os equipamentos foram conectados em rede local (LAN) de 100Mbit/s.

Figura 10. Interface do servidor *Conquest* para gerenciamento de imagens médicas. O menu à direita apresenta as diversas funcionalidades fornecidas pelo servidor, dentre elas pode-se destacar funções para visualização do cabeçalho DICOM, envio de imagens para outros SCPs, e anonimização de séries e estudos.

Conquest é um servidor compatível com o padrão DICOM e foi desenvolvido baseado no código de domínio público UCDMC DICOM criado por Mark Oskin quando esteve no Centro Médico da Universidade da Califórnia em Davis (Figura 10). O software do servidor *Conquest* foi desenvolvido por Marcel van Herk and Lambert Zijp no Instituto de Câncer da Holanda, que também decidiram estender o sistema para o domínio público (CONQUEST, 2010). O *Conquest* é extensivamente utilizado no HCFMRP para o gerenciamento de diversas modalidades de imagens médicas.

Figura 11. Interface para consulta e recuperação de imagens do *K-PACS*. É possível requisitar informações de pacientes de qualquer servidor PACS configurado, além de importar, transferir, exportar e gravar exames de imagem em CD ou DVD.

Figura 12. Interface do módulo de visualização de imagens do *K-PACS*. O painel inferior apresenta várias ferramentas para manipulação de imagens. Dentre elas pode-se destacar o recurso de janelamento, zoom/pan e o efeito de lupa.

K-PACS é uma aplicação de uso geral para visualização de imagens médicas (Figura 11). Foi construída com software livre e fornece diversas ferramentas para manipulação de imagens. O software também implementa as mais importantes classes serviços DICOM, tais como: C-Store SCP para armazenamento local de exames, pesquisa e recuperação de imagens (Q/R) e envio de imagens (K-PACS, 2010). Os serviços de comunicação em rede encontrados no *K-PACS* foram implementados utilizando o *Charrua DICOM toolkit* (CHARRUA, 2010). Alguns módulos fazem uso da biblioteca DCMTK da Universidade de Oldenburg, Alemanha (DCMTK, 2010). O módulo de visualização é baseado no excelente plugin *ezDICOMax ActiveX* (EZDICOM, 2010), conforme mostra a Figura 12. Assim como o *Conquest*, o *K-PACS* é largamente utilizado no HCFMRP.

3.1 ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE INTEGRAÇÃO

O *framework* do modelo de integração é composto por uma série de pacotes de software escritos na linguagem Java de programação com o objetivo de realizar a integração entre os sistemas CAD e PACS. O *framework* também faz uso extensivo da biblioteca *dcm4che 2 toolkit*, uma implementação do padrão DICOM em Java, de alta performance e de código aberto (DCM4CHE, 2010). A partir desses pacotes foi concebido um software cliente denominado *Client-CAD* que atua como uma entidade intermediária entre o PACS e o CAD. A integração entre as duas aplicações é realizada através do protocolo de comunicação DICOM. O modelo inclui ainda a implementação de um componente de software denominado *i-cad* utilizado especialmente para alterar o número de série de imagens DICOM (ZHOU et al., 2007), além de interfaces que permitem o acoplamento de módulos específicos para o processamento de outras modalidades de imagens médicas, como mostra a Figura 13.

Figura 13. Esquema que apresenta a arquitetura do modelo de integração e seus principais componentes. As aplicações CAD se comunicam com o servidor PACS através dos serviços de comunicação fornecidos pelo cliente *Client-CAD*.

No ambiente construído para o experimento, um sistema CAD para classificação de lesões intersticiais de pulmão foi instalado e executado em um computador individual, permanecendo em pleno funcionamento com seu próprio recurso de hardware e software. Para que o CAD possa estabelecer uma conexão com o PACS, o software cliente *Client-CAD* foi instalado nesse mesmo computador. O cliente exerce um papel fundamental na integração. De acordo com a terminologia DICOM ele pode atuar tanto como SCU ou SCP, dependendo do processo interno invocado.

Uma vez ativado, o software *Client-CAD* interage periodicamente com o servidor PACS através de comandos DICOM C-Find e C-Move. O comando C-Find exprime uma consulta baseada no cabeçalho DICOM, podendo ou não conter filtros para retornar resultados mais específicos. No caso do experimento, o cliente foi configurado para consultar estudos de modalidade CT (tomografia computadorizada) e região anatômica CHEST (tórax). Dessa forma, quando o servidor PACS recebe um novo exame de HRCT de tórax o cliente solicita ao PACS uma cópia desse exame através de uma operação de pesquisa e recuperação de imagens (Q/R). As imagens recuperadas são então processadas uma de cada vez pelo pipeline CAD.

O pipeline CAD é composto de cinco passos: pré-processamento, segmentação, extração de características, classificação e pós-processamento. No pré-processamento os dados de imagem (pixels) são extraídos do arquivo DICOM. No passo seguinte, os pulmões são segmentados utilizando-se um algoritmo iterativo para limiarização de imagens (PONCIANO da Silva, 2009) e depois a imagem resultante é demarcada por regiões de interesse (ROIs) de 20x20 pixels. Durante o passo de classificação, cada ROI é definida como pertencente a uma das sete classes de caracterização de lesões intersticiais de pulmão conhecidas: Normal, Vidro fosco, Reticular, Nodular, Favo de mel, Enfisematoso e Consolidação. No passo de pós-processamento, cada ROI recebe uma coloração que identifica

sua classe de caracterização e um novo arquivo DICOM com o resultado do processamento é gerado.

Concluindo a integração CAD-PACS, o *Client-CAD* inclui o novo arquivo DICOM em uma nova série de imagens através do componente *i-cad* e o envia de volta para o servidor PACS. A Figura 14 apresenta o princípio de funcionamento do *Client-CAD*.

Figura 14. Princípio de funcionamento do software *Client-CAD* criado utilizando o *framework* para integração CAD-PACS. Ilustra o funcionamento dos processos Receptor, Robô e Transmissor responsáveis pelo processamento e envio dos resultados de CAD para o PACS.

O primeiro processo chamado de Receptor representa uma *thread* Java que implementa o serviço DICOM C-Store SCP. Ele entra em ação sempre que o *Client-CAD*

solicita uma cópia de um determinado exame armazenado no servidor PACS. Para cada imagem recebida, o cliente invoca o processo Robô que inicia a execução do pipeline CAD.

O Robô foi programado para trabalhar de duas formas diferentes. A primeira diz respeito a soluções CAD proprietárias, onde não é possível obter o código fonte do programa. Nesse caso o Robô se utiliza de métodos nativos fornecidos pela classe Java *Robot*. A classe *Robot* torna possível a utilização do CAD pelo próprio computador, pois ela simula entradas de teclado, movimentos e clique de mouse, portanto, é como se uma pessoa estivesse utilizando o sistema, quando na verdade essa pessoa é o próprio *Client-CAD*. A segunda forma é voltada para soluções CAD de código aberto. O *framework* do modelo de integração fornece uma classe específica para a implementação e/ou chamada dos algoritmos de processamento CAD.

Uma vez que a execução do pipeline CAD é finalizada, o Robô armazena localmente a imagem resultante do processamento e invoca o terceiro e último processo. Trata-se do processo Transmissor. Nessa etapa o componente de software *i-cad* é utilizado para alterar o número de série da imagem processada. Através de um comando DICOM C-Store SCU, o Transmissor envia a imagem resultante para o servidor PACS, fechando o ciclo de funcionamento do *Client-CAD*. O diagrama de classes da Figura 15 apresenta as principais classes desenvolvidas para a implementação do projeto.

Figura 15. Diagrama de classes que inclui as principais classes envolvidas na integração CAD-PACS. Pode-se destacar a classe *DicomQueryRetrieveSCUService* responsável pela pesquisa e recuperação de imagens, a classe *Robot* que executa o processamento CAD e a classe *DicomCStoreSCUService* utilizada para enviar os resultados para o PACS.

4 RESULTADOS

O software cliente *Client-CAD* foi desenvolvido para integrar a aplicação CAD para classificação de lesões intersticiais de pulmão desenvolvida no Centro de Ciências das Imagens e Física Médica (CCIFM) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (HCFMRP-USP) ao servidor PACS em produção nessa instituição.

O CAD foi instalado e ativado juntamente com o software *Client-CAD* em um computador individual e dedicado. Devido aos serviços de comunicação implementados, o *Client-CAD* transforma o computador em uma entidade de aplicação DICOM reconhecida na rede. Isso significa que através do cliente, o computador agrega a funcionalidade de se comunicar com qualquer servidor PACS.

O fluxo de trabalho do *Client-CAD* implementa quatro tarefas importantes para o êxito da integração:

- Pesquisa e recuperação (Q/R): o cliente consulta o servidor PACS periodicamente pesquisando por novos exames realizados através do envio de comandos DICOM C-Find SCU. A consulta sempre é realizada em nível de estudo, utilizando a sintaxe DICOM *Study Root Query Retrieve Information Model FIND*;
- Processamento CAD: uma vez que as imagens são recebidas e armazenadas o cliente invoca a rotina CAD para processar e gerar o resultado de cada imagem. O resultado consiste de uma imagem JPEG que contém informações relevantes para auxiliar na tomada de decisão do médico radiologista. O CAD pode ser executado de duas maneiras: utilizando um script automatizado ou implementando uma integração com software de código aberto. A primeira opção é mais voltada para soluções CAD proprietárias onde não é possível ter acesso ao código fonte do

sistema. Portanto, um script é interpretado pela classe Java *Robot* que através de métodos nativos executa o CAD como se a aplicação estivesse sendo utilizada por uma pessoa real. Por outro lado, caso o CAD seja um sistema de código aberto, o *Client-CAD* fornece uma classe chamada *CADProcessing*, que permite ao desenvolvedor de software implementar os algoritmos de processamento de imagens diretamente no cliente. Essa classe atua como uma interface entre o cliente e o software CAD;

- Encapsulamento: para cada imagem JPEG resultante do processamento CAD, o cliente gera um novo arquivo DICOM que encapsula a imagem JPEG. Todas as *Tags* DICOM requeridas, como por exemplo, *Patient ID*, *Patient Name*, *Study Instance UID*, entre outras, são copiadas do arquivo DICOM original. A diferença entre o arquivo original e a versão encapsulada é que o arquivo encapsulado é codificado com uma imagem JPEG utilizando a classe DICOM *Secondary Capture Image Storage* (segunda captura) e a sintaxe de transferência *JPEGLossless*. O arquivo encapsulado possui também novos valores para as *Tags*: *Series Number*, *Series Instance UID* e *SOP Instance UID*;
- Transferência: a última tarefa do cliente é enviar cada arquivo DICOM com o resultado CAD encapsulado para o servidor PACS. O envio é realizado através do comando DICOM C-Store SCU implementado no cliente. Quando o servidor PACS recebe o arquivo, o gerenciador de arquivamento armazena seu conteúdo na mesma pasta do paciente do arquivo original, mas dentro de uma nova série de imagens de acordo com os novos valores gerados para as *Tags*: *Series Number*, *Series Instance UID* and *SOP Instance UID*.

Figura 16. Interface do software *Client-CAD*. Configurações para comunicação com o PACS.

A Figura 16 apresenta a interface do software cliente *Client-CAD*. É possível visualizar os parâmetros utilizados pelo cliente. Os campos no canto superior esquerdo são utilizados para configurar a entidade de aplicação DICOM do *Client-CAD*. Logo abaixo estão os campos que identificam o servidor PACS que será consultado. Ainda abaixo, o último bloco estabelece as configurações do agendador de consultas e filtros do cliente para pesquisa e recuperação de imagens. Do lado direito é possível selecionar a opção de integração: através de script ou integração de código aberto.

A segunda aba da interface do *Client-CAD* apresenta o *log* de atividade da aplicação. É possível visualizar pelas Figuras 17 e 18 o registro de cada tarefa realizada pelo cliente. Considerando uma consulta que satisfaça as configurações, inicialmente o cliente se conecta ao servidor PACS, depois recupera e armazena as imagens, finalmente invoca o processo robô para processamento e envio das imagens resultantes do CAD.

Figura 17. Software *Client-CAD* em ação. Solicitação de pesquisa e recuperação de imagens.

Figura 18. Software *Client-CAD* em ação. Processamento e envio das imagens para o PACS.

A Figura 19 apresenta a interação entre o cliente e o servidor PACS (*Conquest*). No destaque é possível visualizar a entidade de aplicação DICOM *CLIENT-CAD* solicitando o armazenamento de uma imagem, resultado do processamento CAD.

Figura 19. Interface do servidor *Conquest* para visualização de eventos e status. No destaque é possível visualizar a interação do servidor com o cliente para integração *Client-CAD*.

Com as imagens processadas corretamente armazenadas no servidor PACS é possível visualizar a nova série criada pela integração CAD-PACS na estação de visualização. As Figuras 20 e 21 mostram o visualizador *K-PACS* apresentando exemplos de séries de imagens originais ao lado da correspondente série processada pelo sistema CAD.

Figura 20. Interface de pesquisa do visualizador K-PACS. No destaque, três novas séries de imagens processadas após a integração CAD-PACS.

Figura 21. Módulo de visualização do K-PACS após a integração CAD-PACS. A faixa superior apresenta as séries de imagens originais do paciente. A faixa inferior apresenta as séries correspondentes de imagens processadas por CAD.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

5.1 LIMITAÇÕES

Durante o desenvolvimento da aplicação *Client-CAD* e após os testes iniciais foram detectadas algumas limitações quando se utiliza o método de integração com script automatizado. O script é gerado através de um programa desenvolvido para capturar cliques, movimentos de mouse e entradas de teclado. Com esse software ativado, basta que uma pessoa utilize o sistema CAD simulando uma rotina comum de processamento que o programa grava todo comportamento e utilização do CAD pelo usuário.

Quando o *Client-CAD* interpreta um script, seu robô interno tenta reproduzir exatamente o comportamento do usuário executando passo a passo e no tempo designado os comandos definidos. Considerando que a aplicação CAD esteja funcionando em um computador estável, com software e hardware robustos, a execução dos comandos teoricamente ocorrerá de forma satisfatória, iniciando e finalizando cada ciclo de processamento de forma correta. No entanto, o maior problema com este método de integração foi exatamente o sincronismo. Uma vez iniciado, o robô apenas termina sua tarefa quando finaliza o último comando presente no script. O robô não reconhece mensagens de aviso ou de erro do sistema CAD e nem do sistema operacional, o que invalida a execução do script nesses casos.

Outro fator limitante é o fato de que o script automatizado depende de uma rotina de processamento CAD padronizada, com início, meio e fim bem definidos. Caso a rotina seja

dinâmica, como por exemplo, a necessidade de ajustes diversos durante o processamento, o robô também deveria ser inteligente o suficiente para detectar as mudanças no fluxo de informação e iniciar novos processos de interpretação. Nesse caso o robô necessitaria ser dotado de inteligência artificial ou então fornecer pré-requisitos para sua utilização, o que não exclui a limitação.

No que diz respeito ao formato dos arquivos utilizados durante a integração, os únicos formatos suportados pelo *framework* são o DICOM e o JPEG. Portanto, o modelo de integração é compatível apenas com aplicações CAD que fornecem uma imagem JPEG como resultado do processamento. Caso o CAD não forneça tal saída, uma solução seria capturar e encapsular a imagem da tela do computador no momento que o resultado é apresentado. Essa alternativa simples, no entanto, pode de certa forma comprometer a qualidade da leitura dos resultados e atrapalhar a interpretação dos dados por parte do médico, devido aos vários elementos visuais e textuais presentes na tela do computador que formam a imagem capturada.

De modo geral, sistemas CAD nem sempre apresentam seus resultados apenas na forma de imagem. É comum encontrar dados quantitativos distribuídos em planilhas, gráficos, documentos HTML e até relatórios completos no formato de arquivo PDF. São dados relevantes que se integrados ao exame do paciente no servidor PACS fornece um conjunto valioso de informações para auxiliar na tomada de decisão do médico radiologista. Tal integração pode ser realizada utilizando-se métodos propostos pelo *DICOM Structured Reporting* (SR), uma nova extensão do padrão DICOM que estabelece padrões para a codificação de documentos que incorporam referências para imagens médicas e dados relacionados, bem como serviços para a transmissão e troca de informação. Em outras palavras, o DICOM SR abstrai o modelo de informação e de serviços DICOM para o armazenamento e transmissão de documentos estruturados.

5.2 CONCLUSÕES

Como apresentado neste estudo, de certa forma, sistemas PACS e CAD se complementam e uma convergência no sentido de se integrar essas duas tecnologias já é cogitada em estudos recentes. Através dos vários serviços DICOM, tais como: C-Find, C-Move e C-Store, programas de computador construídos para auxiliar o meio médico podem se comunicar livremente com servidores PACS e estações de diagnóstico desde que um *framework* ou metodologias de integração estejam disponíveis para esse fim. Não existe na literatura da área um estudo que apresente formas de integração utilizando software de código aberto que contemple o padrão DICOM.

Os resultados alcançados com o modelo de integração CAD-PACS apresentado neste trabalho demonstram que é possível integrar os dois sistemas por meio de serviços de comunicação DICOM implementados por bibliotecas de software livre, como por exemplo, o excelente *dcm4che 2 toolkit*. Embora os resultados tenham sido obtidos a partir de exames de tomografia computadorizada de alta resolução de pulmão, o modelo está preparado para integrar resultados CAD de qualquer modalidade de imagem devido a sua característica modular de trabalho.

Um aspecto importante do modelo de integração é seu fluxo de informação automatizado, com nenhuma intervenção humana e que pode trazer uma série de benefícios, tais como: melhora na eficiência de tarefas de pós-processamento, otimização do tempo disponível deixando o médico radiologista livre para outras atividades importantes e a garantia da consistência e integridade das informações do paciente durante a troca de dados entre os sistemas.

Enfim, o framework desenvolvido tem grande potencial de incluir resultados de processamento CAD de uma forma amigável no fluxo de trabalho da radiologia, proporcionando uma contribuição inovadora com um conjunto de soluções de código aberto que juntas fornecem ferramentas especializadas focadas na integração de sistemas CAD e PACS, visando sempre o auxílio ao diagnóstico médico.

5.3 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Propõem-se como trabalhos futuros:

- Expansão do *framework* proposto visando a utilização da extensão *DICOM Structured Reporting* (SR) para a integração de diversos tipos de documentos (imagens, planilhas, relatórios, etc) no exame do paciente armazenado no servidor PACS;
- Pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas para utilização automática de sistemas CAD proprietários, aplicando-se conhecimentos de inteligência artificial (redes neurais) e visão computacional para o aprendizado do robô;
- Estudo de viabilidade para utilização do serviço *DICOM Instance Availability Notification* (IAN) durante o processo de integração. Utilizando-se IANs o *Client-CAD* não necessitaria realizar consultas periódicas por exames, mas aguardar o servidor PACS notificá-lo da chegada de novos exames de imagem completos.

6 ARTIGOS RESULTANTES DA PESQUISA

Submissão, Abril 2010 em revisão:

Azevedo-Marques, PM, Salomão, SC, Caetano, GF, Traina, AJM, Ponciano-Silva, M, Macedo, AA, Pessotti, HC. Integrating Computer-aided Diagnosis (CAD) in a PACS environment using the dcm4che2 open source toolkit. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery.

Azevedo-Marques, PM, Salomão, SC, Traina, AJM, Ponciano-Silva, M, Macedo, AA, Pessotti, HC. CAD-PACS integration: a framework for pattern recognition of diffuse lung disease in HRCT. In: CARS 2009 - Computer Assisted Radiology and Surgery, 2009, Berlim - Germany.

Salomão, SC, Azevedo-Marques, PM. Integrando procedimentos de auxílio ao diagnóstico no sistema de gerenciamento de imagens médicas. In: 21 Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2008, Salvador - Bahia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, J.A. Computer-aided detection (CAD) in screening mammography: sensitivity of comercial system in detecting architecture distortion. **AJR**, vol. 48, p. 181-183, 2003.

BJERDE, K.W. IPI, MEDICOM and DICOM: relations and possible future. **International Journal of Cardiac Imaging**, v.11 (suppl.3), p. 165-170, 1995.

BURHENNE, L.W. Potencial contribution for computer-aided detection to the sensitivity of screening mammography. **Radiology**, vol. 62, p. 215-554, 2000.

BYERS, T., BARRERA, E., FONTHAM, E.T. et al. A midpoint assessment of the American Cancer Society challenge goal to halve the U.S. Cancer mortality rates between the years 1990 and 2015. **Cancer**, vol. 107, p. 396-405, 2006.

CAO, X., HUANG, H.K. Current status and future advances of digital radiography and PACS. **Engineering in Medicine and Biology Magazine**, vol. 9, no. 5, p. 80-88, sep. 2000.

CHANNIN, D.S. Integrating the healthcare enterprise: a primer - part 2. Seven brides for seven brothers: the IHE integration profile. **Radiographics**, vol. 21, p. 1343-1350, 2001.

CHANNIN, D.S., SIEGEL, E.L., CARR, C. Integrating the healthcare enterprise: a primer - part 5: the future of IHE. **Radiographics**, vol. 21, p. 1605-1608, 2002.

CHARRUA, DICOM Toolkit. Disponível em: <<http://www.charruasoft.com>>. Acesso em: 3 mar. 2010.

CONQUEST, Conquest DICOM Software. Disponível em: <<http://www.xs4all.nl/~ingenium/dicom.html>>. Acesso em: 11 mar. 2010.

DCMTK, DcmTk Toolkit. Disponível em: <<http://dicom.offis.de/dcmTk.php.en>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

DCM4CHE, Dcm4che Toolkit. Disponível em: <<http://www.dcm4che.org>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

DOI, K. Computer-aided diagnosis in medical imaging: historical review, current status and future potencial. **Computerized Medical Imaging and Graphics**, Elsevier, p. 198-211, 2007.

DUO, T. Evoluções em PET-CT e tomografia na mira da GE. Saúde Business Web. Disponível em: <<http://www.saudebusinessweb.com.br/noticias/index.asp?cod=57038>>. Acesso em: 11 mai. 2009.

EZDICOM, ezDICOM DICOM Viewer. Disponível em: <<http://www.cabiatl.com/mricro/ezdicom/index.html>>. Acesso em: 11 mar. 2010.

FURUIE, S.S., REBELO, M.S., MORENO, R.A., SANTOS, M., BERTOZZO, N., MOTTA, G.H.M.B., PIRES, F.A., GUTIERREZ, M.A. Managing medical images and clinical information. In Corapos: Experience. **Information Technology in Biomedicine**, IEEE Transactions, vol. 11, issue 1, p. 17-24, jan. 2007.

GONZALES, R.C., WINTZ, E.P. **Digital image processing**. Adison-Wesley Publishing Company, ed. 2, 1987.

HORII, S.C. A nontechnical introduction to DICOM. Disponível em: <<http://www.rsna.org/Technology/DICOM/intro/index.cfm>>. Acesso em: 12 jul. 2009.

HUANG, H.K. **PACS and imaging informatics**: basic principles and applications. Wiley-Liss, 2004.

IHE, IHE Technical Framework. Disponível em: <http://www.ihe.net/technical_framework>. Acesso em: 15 mar. 2010.

K-PACS, KPacs DICOM Viewer. Disponível em: <<http://www.k-pacs.net/>>. Acesso em: 11 mar. 2010.

MARQUES, P.M.D.A., SANTOS, A.C., JÚNIOR, J.E. et al. Implantação de um sistema de informação em radiologia em hospital universitário. **Radiologia Brasileira**, vol. 33, p. 155-160, 2000.

PONCIANO da Silva, M. **Processamento de consultas por similaridade em imagens médicas visando à recuperação perceptual guiada pelo usuário**. 2009. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

TANENBAUM, A.S. **Redes de computadores**. Campus, ed. 4, p. 955, 2003.

WILEY, G. The prophet motive: how PACS was developed and sold. Imaging economics. Disponível em: <http://www.imagingeconomics.com/issues/articles/2005-05_01.asp>. Acesso em: 14 mai. 2005.

YOSHIDA, H., NAPPI, J., MACENEANEY, P., RUBIN, D., DACHMAN, A.H. Computer-aided diagnosis scheme for the detection of polyps at CT colonography. **Radiographics**, vol. 22, p. 963-979, 2002.

ZHOU, Z.L., BRENT, J.L., ANH, H. CAD-PACS integration toolkit based on DICOM secondary capture, structured report and IHE workflow profiles. **Computerized Medical Imaging and Graphics**, vol. 31, p. 346-352, 2007.