

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS — UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA
NÍVEL MESTRADO

EUCLIDES PALMA PAIM

EXPLORANDO COMPUTAÇÃO EM NUVEM E OTIMIZAÇÕES NA REDE PARA
MELHORAR A EFICIÊNCIA DO PROCEDIMENTO DE TELEMEDICINA

SÃO LEOPOLDO
2016

Euclides Palma Paim

EXPLORANDO COMPUTAÇÃO EM NUVEM E OTIMIZAÇÕES NA REDE PARA
MELHORAR A EFICIÊNCIA DO PROCEDIMENTO DE TELEMEDICINA

Proposta de dissertação apresentada como
requisito parcial para a obtenção do título de
Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em
Computação Aplicada da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos — UNISINOS

Orientador:
Prof. Dr. Rodrigo da R. Righi

São Leopoldo
2016

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Paim, Euclides Palma

Explorando computação em nuvem e otimizações na rede para melhorar a eficiência do procedimento de telemedicina / Euclides Palma Paim — 2016.

67 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, São Leopoldo, 2016.

“Orientador: Prof. Dr. Rodrigo da R. Righi, Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação”.

1. Computação em Nuvem. 2. DICOM. 3. PACS. 4. Telemedicina. I. Título.

CDU 004.732

Bibliotecária responsável: Fulana da Silva — CRB 12/3456

(Esta folha serve somente para guardar o lugar da verdadeira folha de aprovação, que é obtida após a defesa do trabalho. Este item é obrigatório, exceto no caso de TCCs.)

A minha família.

*To myself I am only a child playing on the beach,
while vast oceans of truth lie undiscovered before me.*
— SIR ISAAC NEWTON

RESUMO

Diariamente uma grande quantidade de imagens médicas são geradas em hospitais e clínicas, essas imagens, obtidas de diferentes modalidades, consomem grandes fatias de recursos para serem armazenadas, transmitidas e mantidas para consulta futura. Há um alto grau de importância no uso de imagens na área médica e estas representam fator fundamental para diagnóstico e tratamento nas mais diversas áreas da medicina. Valer-se do modelo de nuvem pode garantir que estas imagens encontrem-se ao alcance dos profissionais mais recomendados para cada caso, aptos a oferecer melhor tratamento de saúde. A grande quantidade de recursos disponíveis em nuvem, para lidar com essas imagens facilita a criação de uma infraestrutura para apoio ao diagnóstico à distância através de recursos de telemedicina. Devido as mudanças de paradigmas computacionais relacionados a computação em nuvem e gerenciamento de grande quantidade de dados torna-se necessária a formalização de uma arquitetura que explore o potencial dos recursos computacionais disponíveis atualmente nos diferentes modelos de nuvens, para solucionar situações no campo da saúde, comunicação entre hospitais e comunicação entre médicos, pacientes, enfermeiros e especialistas. Em ambientes clínicos que lidam com transmissão massiva de imagens em alta resolução no padrão DICOM *Digital Imaging and Communications in Medicine*, bem como em ambientes com problemas de desempenho de rede, transmitir essas imagens em tempo hábil, armazenar e disponibilizar de forma segura é um problema sem solução espontânea. Dessa forma esse trabalho propõe uma arquitetura baseada em nuvem computacional, para monitorar, armazenar, consultar e recuperar, mascarar redes heterogêneas e agir como um sistema de arquivos em nuvem para imagens médicas. Essa arquitetura é estabelecida como um modelo de serviço em nuvem *Platform as a Service* (PaaS) agindo como um middleware para oferecer recursos às tarefas de transmissão e armazenamento de arquivos padrão DICOM. O sistema deverá ainda oferecer garantias de integridade na transmissão e comunicação entre entidades dentro da rede hospitalar, sugerindo ou não a compactação dos dados de forma escalável e transparente para o usuário ou utilizando recursos de transmissão paralela para incrementar o desempenho da tarefa. A arquitetura sugerida e seus detalhes de implementação serão descritas nas seções seguintes, bem como testes e uma implementação preliminar como forma de avaliar a viabilidade do modelo proposto. Espera-se que a pesquisa contribua ao apresentar um modelo eficaz para otimizar tarefas de rede, capaz de ser adotado como solução ao desenvolver aplicações voltadas para nuvens computacionais aplicadas a saúde em futuras situações reais.

Palavras-chave: Computação em Nuvem. DICOM. PACS. Telemedicina.

ABSTRACT

Every day a large number of medical images are generated in hospitals and clinics, these images, obtained from different modalities, consume large slices of resources to be stored, transmitted and maintained for future reference. There is a high degree of importance in the use of images in the medical area and these represent a fundamental factor for diagnosis and treatment in the most diverse areas of medicine. Taking advantage of the cloud model can ensure that these images are within the reach of the most recommended professionals for each case able to offer better health care. The large amount of resources available in the cloud to handle these images facilitates the creation of an infrastructure to support remote diagnosis through telemedicine resources. Due to changes in computational paradigms related to cloud computing and management of large amounts of data, it is necessary to formalize an architecture that exploits the potential of the computational resources currently available in the different cloud models to solve situations in the field of health, communication between hospitals and communication between doctors, patients, nurses and specialists. In medical environments that deal with massive transmission of high-resolution images in the Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) standard, as well as in environments with network performance problems, transmitting these images in a timely manner, storing and make available, is problem without a spontaneous solution. In this way, this work proposes a computational cloud-based architecture to monitor, store, query and retrieve, mask heterogeneous networks and act as a cloud file system for medical images. This architecture is established as a *Platform as a Service* (PaaS) cloud service model, acting as a middleware to provide resources for standard DICOM file transmission and storage tasks. The system should also provide assurances of integrity in the transmission and communication between entities within the hospital network, suggesting or not to compress the data in a scalable and transparent way to the user or using parallel transmission features to increase the performance of the task. The suggested architecture and its implementation details will be described in the following sections, as well as tests and a preliminary implementation as a way of evaluating the feasibility of the proposed model. It is hoped that the research contributes to presenting an efficient model to optimize network tasks, capable of being adopted as a solution when developing applications focused on computational clouds applied to health in future real situations.

Keywords: Cloud Computing. DICOM. PACS. Telemedicine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Visão geral dos sistemas atuais.	20
Figura 2:	Ilustração representando a lacuna do modelo atual	21
Figura 3:	Visão geral do modelo sugerido.	22
Figura 4:	Diferentes aplicações de telemedicina baseadas em nuvem computacional. .	29
Figura 5:	DICOM como um protocolo da camada de aplicação.	32
Figura 6:	Fluxo de comunicação em PACS.	37
Figura 7:	Arquitetura de um sistema PACS na nuvem.	42
Figura 8:	Ilustração geral da arquitetura sugerida pelo autor.	43
Figura 9:	Integração de uma estação de trabalho utilizando o protocolo DICOM-e-mail	45
Figura 10:	Ilustração da transmissão utilizando um conjunto de interfaces	46
Figura 11:	Representação dos componentes e fluxo de dados em PACS.	51
Figura 12:	Pilha de recursos oferecidos pelo modelo	52
Figura 13:	Ilustração representando elementos principais do modelo proposto	53
Figura 14:	Ilustração representando a arquitetura do modelo proposto	54
Figura 15:	Ilustração representando os módulos principais do DICOM Gateway	54
Figura 16:	Ilustração representando um cliente Web para DICOM em nuvem	55
Figura 17:	Arquitetura básica para um modelo de gerência de dados replicados.	57
Figura 18:	Comparação entre comportamento elástico e estático em nuvem.	58
Figura 19:	Exemplo de imagem padrão DICOM.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Avaliação dos trabalhos relacionados vinculados a características do modelo	48
Tabela 2:	Coronograma de atividades	64

LISTA DE SIGLAS

AE	Application Entity
API	Application Programming Interface
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CT	Tomografia Computadorizada
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
EMR	Eletronic Medical Records
HDFS	Hadoop Distributed Fyle System
HIPAA	Health Insurance Portability and Accountability Act
IaaS	Infrastructure as a Service
IoT	Internet of Things
MRI	Ressonância Magnética
NIST	National Intitute of Standards and Techninology
OMS	Organização Mundial da Saúde
OSI	Open System Interconnection
PaaS	Plataform as a Service
PACS	Picture Archiving and Communication System
PHI	Personal Health Information
RFID	Radio Frequency Identification
SaaS	Software as a Service
SDK	Software Development Kit
SLA	Service Level Agreement
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
VPN	Virtual Private Network

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Motivação	20
1.2 Questão de Pesquisa	21
1.3 Objetivos	21
1.4 Organização do Texto	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 Computação em Nuvem	25
2.1.1 Características Essenciais	25
2.1.2 Modelos de Serviços	26
2.1.3 Modelos de Implantação	27
2.2 Telemedicina	28
2.3 DICOM - Digital Imaging and Communications in Medicine	30
2.3.1 Escopo Geral	31
2.3.2 Características Principais	32
2.3.3 Áreas de Aplicação	33
2.3.4 Padrões e Normas Relacionadas	34
2.3.5 Recomendações e Desafios	34
2.4 PACS - Picture Archiving and Communication Systems	35
2.4.1 Escopo Geral	36
2.4.2 Características Principais	36
2.4.3 Modalidades e Fluxo de Dados em PACS	37
2.4.4 Desafios e Oportunidades para PACS	38
3 TRABALHOS RELACIONADOS	39
3.1 Metodologia de Pesquisa	39
3.2 Iniciativas Utilizando Nuvens Computacionais e DICOM	40
3.2.1 A Cloud Scalable Platform for DICOM Image Analysis as a Tool for Remote Medical Support	40
3.2.2 A PACS Gateway to the Cloud	40
3.2.3 A Medical Image Archive Solution in the Cloud	41
3.2.4 A PACS archive architecture supported on cloud services	42
3.2.5 Implementation of a Medical Image File Accessing System on cloud computing	43
3.3 Iniciativas Baseadas em Tecnologias de Transmissão	44
3.3.1 Teleradiology applications with DICOM-e-mail	44
3.3.2 A Parallel Method to Improve Medical Image Transmission	45
3.3.3 Clustering-based Compression Connected to Cloud Databases in Telemedicine and Long-term Care Applications	46
3.3.4 Open Source Clinical Image and Object Management	47
3.4 Análise	47
4 MODELO	49
4.1 Decisões de Projeto	49
4.2 Arquitetura	50
4.2.1 DICOM Gateway	53
4.2.2 Serviço de Visualização de Imagens DICOM	55

4.2.3	Tolerância a Falhas e Redundância de Instâncias	56
4.2.4	Estruturas de Elasticidade	57
4.2.5	Padrões de Armazenamento	58
4.3	Questões de Desenvolvimento	58
4.4	Metodologia de Avaliação	59
4.4.1	Tipos de Imagem	59
4.4.2	Tipos de Rede	60
4.4.3	Compressão de Dados	60
4.4.4	Número de Nós Computacionais	61
4.4.5	Transmissão Concorrente de Imagens	61
4.4.6	Monitoramento de Consumo de Infraestrutura	62
4.5	Desenvolvimento Preliminar	62
4.6	Testes Preliminares	62
5	CONCLUSÃO	63
5.1	Contribuições Esperadas	63
5.2	Trabalhos Futuros	63
5.3	Cronograma	64
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A telemedicina é uma importante forma de prestação de serviços médicos e com grande potencial de melhorar o sistema de saúde de um país como o Brasil, com dimensões continentais. Seu desenvolvimento, entretanto, é moroso devido a problemas relacionados à disponibilidade de recursos computacionais adequados e da capacidade de transmissão de dados sobre a infraestrutura de rede disponível hoje em dia.

Quando não há disponibilidade de um médico especialista em determinada localidade, é comum a utilização de recursos de telemedicina para realização de consultas remotas e possivelmente a necessidade de envio, armazenamento e manipulação de imagens pela internet como forma de auxiliar o diagnóstico. Além da ausência de especialistas em algumas localidades, é importante salientar que em algumas regiões do país a infraestrutura de rede de computadores é insuficiente para transmissão de grande quantidade de dados.

Neste contexto o envio e armazenamento de arquivos no padrão DICOM com centenas de mega bytes, gerados em hospitais e consultórios localizados em áreas remotas, torna-se um agravante no tempo de interpretação e diagnóstico de um exame.

O acesso pervasivo e ubíquo aos dados de saúde é considerado essencial para o diagnóstico e tratamento adequados de certas enfermidades, bem como o atendimento ágil e em tempo hábil, podendo impactar diretamente no sucesso do esforço terapêutico. A computação em nuvem pode, através de seus recursos, fornecer um modelo elaborado de forma a permitir um acesso ágil e conveniente a saúde. Compartilhando recursos computacionais ajustáveis, em forma de configurações de redes, número de servidores e capacidades de armazenamento. Recursos estes que podem ser dinamicamente expansíveis, podendo ser rapidamente fornecidos e liberados, de acordo com a necessidade (DOUKAS; PLIAKAS; MAGLOGIANNIS, 2010; MELL; GRANCE, 2011).

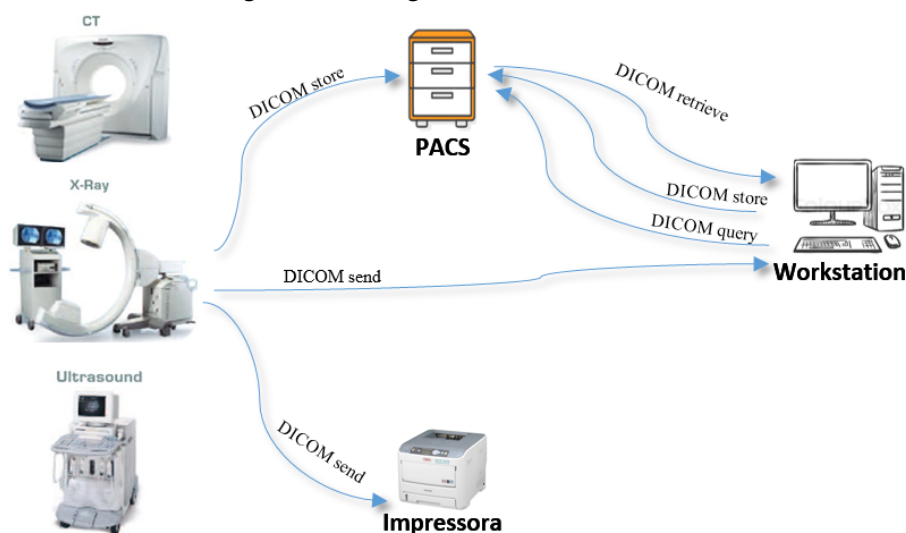
Alcançado o atual patamar de utilização de recursos computacionais por hospitais, clínicas ou consultórios, identifica-se a necessidade de prover escalabilidade de infraestrutura criando ambientes altamente conectados e produtivos. Essas entidades têm que lidar com a manutenção de hardware periódica, tolerância a falhas, backups das imagens médicas obtidas e a obsolescência dos sistemas como um todo.

Visando atenuar estes problemas, há pesquisas que sugerem o uso de recursos de telemedicina e a utilização de técnicas que minimizem o tempo de transmissão desses arquivos. Nem todas consideram a utilização da nuvem para armazenamento, acesso e transmissão dessas imagens entre entidades médicas autorizadas. Para prover dessa forma, segurança na comunicação e mudanças na técnica de transmissão de acordo com a qualidade da rede no momento do envio de imagens padrão DICOM.

1.1 Motivação

Imagens médicas desempenham um importante papel na telemedicina. Atualmente grandes quantidades de imagens médicas são geradas diariamente; tais imagens requerem armazenamento e troca entre especialistas com o propósito de facilitar o diagnóstico (ANUJA; JEYAMALA, 2015). Porém essa troca deve acontecer sob determinadas condições de segurança e oferecer garantias de confidencialidade, integridade e autenticidade, como sugere o *Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996* HIPAA (1996), tais garantias só podem ser oferecidas *a priori*.

Figura 1: Visão geral dos sistemas atuais.

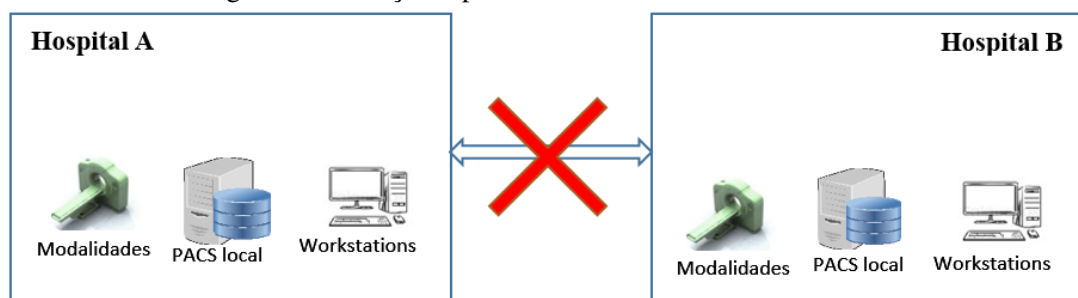


Fonte: elaborado pelo autor.

Grandes quantidades de recursos computacionais são utilizados para manter um sistema de armazenamento de imagens médicas instalado fisicamente. Considerando-se o potencial escalar de geração de dados com que provedores de saúde tem que lidar e a capacidade de lidar com esses dados que o modelo de nuvem oferece, uma solução natural seria adotar a nuvem para escalar o armazenamento e os aplicativos relacionados (TENG et al., 2010), (OJOG; ARIAS-ESTRADA, 2013).

Nesse contexto os modelos encontrados consideram apenas características individuais e não necessariamente contemplam o processo todo envolvido na utilização da nuvem para armazenamento. Há estudos que não exploram recursos de transmissão paralela de imagens sugeridos em Maani, Camorlinga e Arnason (2012), tão pouco consideram a utilização de técnicas de compactação ao transmitir. Há ainda modelos que fornecem disponibilidade através de soluções na nuvem, porém, não considerando garantias de integridade para os arquivos em transmissão, ou ignorando a segurança e autenticidade dos arquivos armazenados como sugere Cordeiro et al. (2015).

Figura 2: Ilustração representando a lacuna do modelo atual



Fonte: elaborado pelo autor.

1.2 Questão de Pesquisa

A questão de pesquisa que esse modelo busca responder é: *Como descrever um modelo de compartilhamento de imagens DICOM, baseado em nuvem, que ofereça garantias e melhorias na eficiência da estratégia de telemedicina?*

Essa proposta descreve um modelo para transmissão e armazenamento de arquivos dentro do padrão de interoperabilidade para dispositivos de obtenção de imagens médicas (DICOM). Imagens desse tipo são produzidas em grande quantidade por hospitais e clínicas no mundo inteiro e eventualmente precisam ser compartilhadas entre diferentes profissionais para a obtenção do melhor diagnóstico. Ao transmitirmos estas imagens pela rede, certas garantias são exigidas. Garantias de operabilidade, identidade dos dados fornecidos, integridade da informação e disponibilidade para a comunicação de dados dessa natureza em rede. O modelo pretende explorar a capacidade de contribuição e colaboração de especialistas alocados a distância, engajados em determinado estudo, através do compartilhamento de acesso a imagens médicas e metadados constantes em pacotes de dados individuais de pacientes. A plataforma proposta segue uma arquitetura de vários níveis e desenvolve uma abordagem que permite separar os processos de apresentação, comunicação e arquivamento em módulos. Ao separar os dados em níveis o sistema pode ser dimensionado e o desempenho melhorado. A ideia é que o sistema ofereça comunicação entre diferentes sistemas operando no padrão DICOM, através de módulos de componentes flexíveis, sem prejudicar o fluxo de trabalho do sistema atuais. Permitindo um controle mais adequado sobre as aplicações e funcionalidades.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver uma arquitetura para telemedicina apoiado em computação em nuvem baseado no modelo de serviço (PaaS), capaz de aproximar virtualmente médicos e especialistas separados por grandes distâncias, e otimizar o tempo de transmissão de imagens no padrão DICOM. O modelo será dotado de recursos computacionais para definição da qualidade da rede e das condições necessárias para transmissão de dados até seu destino final,

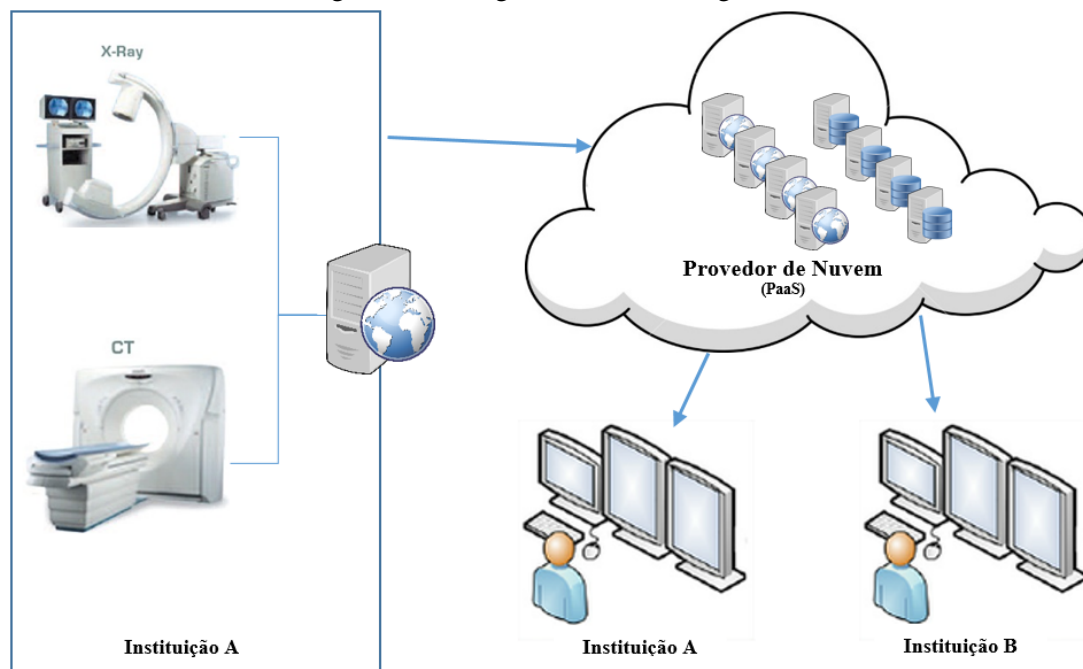
e ainda deve garantir a confiabilidade do uso desses dados para apoiar diagnóstico médico.

O modelo de serviço (PaaS) fornece uma plataforma de desenvolvimento padrão para a construção de soluções DICOM, tanto para necessidades de organização de saúde interna ou para soluções de radiologia. É uma solução poderosa que fornece uma infra-estrutura padrão de serviços DICOM que permitem o rápido desenvolvimento de soluções com pouca sobrecarga. Isso requer uma ferramenta de desenvolvimento *on-demand* que fica no topo da nuvem e fornece uma plataforma padrão de desenvolvimento como um serviço (PATEL, 2012).

Utilizando os recursos disponibilizados pela computação em nuvem o objetivo desse modelo é criar um sistema que apoie o diagnóstico, principalmente através de imagens, para médicos e especialistas. Oferecendo desacoplamento físico e temporal no acesso a informações de pacientes localizados em diferentes hospitais por múltiplos profissionais em sincronia. Interconectando de forma transparente todos os interessados no estudo de cada caso médico específico que utilize diagnóstico por imagens.

Oferecer agilidade na comunicação entre a equipe multiprofissional, nas diferentes plataformas de serviço em saúde, tornando o diagnóstico e a espera por atendimento menores e mais precisos. Não obstante, oferecer garantias de segurança nessa comunicação, bem como dos dados armazenados remotamente, dado o alto grau de confidencialidade e a privacidade das informações relacionadas a saúde (HIPAA, 1996).

Figura 3: Visão geral do modelo sugerido.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- (i) Realizar uma revisão literária dos conceitos necessários para compreensão de infraestruturas de armazenamento e transmissão de dados na medicina;

- (ii) Pesquisar o estado da arte relacionado a modelos de nuvens computacionais e serviços de arquivamento e comunicação de imagens na medicina;
- (iii) Analisar as técnicas encontradas nos trabalhos relacionados para armazenamento de arquivos médicos na nuvem;
- (iv) Propor um modelo que utilize essas técnicas e promova colaboração entre entidades, clínicas e especialistas;
- (v) Desenvolver uma protótipo do modelo para realização de testes;
- (vi) Avaliar o protótipo em uma infraestrutura para computação em nuvem;
- (vii) Realizar testes de sensibilidade no modelo considerando os parâmetros apresentados;
- (viii) Analisar os resultados obtidos com diferentes técnicas de análise.

1.4 Organização do Texto

Essa proposta de dissertação possui cinco capítulos e está organizada do seguinte modo: o Capítulo 2 contém a fundamentação teórica onde são descritas características principais sobre Computação em nuvem, Telemedicina, *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM) e *Picture Archiving and Communication Systems* (PACS). O capítulo 3 discute trabalhos relacionados e a metodologia empregada na pesquisa. O Capítulo 4 detalha o modelo proposto e apresenta a arquitetura do projeto em estudo bem como uma implementação preliminar e os resultados esperados ao término da pesquisa, enquanto o Capítulo 5 conclui essa proposta de dissertação salientando as conclusões alcançadas até o momento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo elucidar os conceitos fundamentais para o desenvolvimento desta proposta. O capítulo está dividido em subseções para facilitar a compreensão do conteúdo abordado. Primeiramente são apresentados conceitos relacionados a computação em nuvem e telemedicina. A seção seguinte apresenta o padrão DICOM para imagens médicas, suas principais características e áreas de aplicação. A última seção aborda os sistemas de comunicação e armazenamento de arquivos PACS descrição de funcionalidades e a sua utilização para armazenamento de imagens em ambiente hospitalar.

2.1 Computação em Nuvem

O *National Institute of Standards and Technology* (NIST) define a computação em nuvem como um modelo que oferece acesso a determinados recursos alocados remotamente, sob demanda do cliente através da rede. Onde o provedor do serviço disponibiliza grupos de recursos computacionais que podem ser configurados a gosto pelo usuário. Esses recursos podem ser caracterizados como o número de nós computacionais executando determinada tarefa, as configurações de redes e acesso remoto, número de processadores disponíveis em determinado nó, o espaço de armazenamento oferecido e bancos de dados, etc. Caracterizam esse modelo também, os aplicativos e serviços que podem ser alocados e liberados automaticamente ou com o mínimo esforço de gerenciamento ou interação para configuração por parte do cliente como consta em (MELL; GRANCE, 2011).

2.1.1 Características Essenciais

O NIST define de forma bem clara as características principais relacionadas à concepção de computação em nuvem. Existem também, três modelos de serviço básico descritos na literatura (IaaS, SaaS, PaaS). A ainda quatro formas de implantação da computação em nuvem definidas pelo instituto conforme os níveis de privacidade. As características a seguir devem estar presentes em implantações de computação em nuvem. Elas definem da melhor maneira os recursos oferecidos nesse modelo, são conceitos fundamentais para a compreensão do tema em estudo, estão listadas em Mell e Grance (2011), e são descritas a seguir:

- (i) O consumidor pode ele mesmo, requerer cargas de computação, como mais processadores ou espaço de armazenamento, conforme sua necessidade. Através do navegador ou da SDK do provedor e sem requerer interação humana para alocar ou desalocar recursos por parte do provedor de serviços em nenhum momento (MELL; GRANCE, 2011).
- (ii) Os recursos mencionados anteriormente estão disponíveis através da rede e são acessados por meio do navegador de internet, SDK do *middleware* de nuvem ou linha de comando,

através de equipamento em diferentes plataformas como por exemplo, estações de trabalho ou dispositivos móveis. Garantindo dessa forma, amplo acesso ao conjunto de recursos disponibilizados em cada solução adotada (MELL; GRANCE, 2011).

- (iii) Os recursos de computação são agrupados para atender múltiplos consumidores ao mesmo tempo, compartilhando recursos de forma independente e individual. O consumidor utiliza os recursos de hardware e software de forma isolada sem "enxergar" os demais clientes e normalmente não tem controle sobre a localização exata dos recursos fornecidos (MELL; GRANCE, 2011).
- (iv) Todos os recursos fornecidos pelo provedor podem ser alocados ou liberados de maneira dinâmica, em alguns casos até mesmo de forma automática, mediante uma configuração prévia. O fornecedor pode oferecer recursos computacionais proporcionais em determinado pico de consumo ou desalojar nós ociosos para liberar recursos, também de forma automática ou dinâmica. Deste modo o consumidor pode ter a sensação de que os recursos disponíveis para ele, são ilimitados podendo serem consumidos a qualquer quantidade e a qualquer momento (MELL; GRANCE, 2011).
- (v) Os sistemas em nuvem utilizam medidores de consumo de recursos, oferecendo métricas de medição para cada serviço utilizado, (por exemplo, número de processadores, número de unidades de armazenamento ou bancos de dados, utilização de banda e perfis de usuário). O uso de recursos além de ser monitorado, controlado e relatado, proporciona ao cliente transparência ao permitir um controle sobre o que está sendo utilizado. Essa medição é geralmente realizada através de um software de controle e pode ter características diferentes conforme o *middleware* de nuvem adotado (MELL; GRANCE, 2011).

2.1.2 Modelos de Serviços

Existem três padrões de serviços ou modelos de implantação mais conhecidos para computação em nuvem, cada modelo adota características de acordo com o grau de controle que cada usuário tem em relação a infraestrutura, podendo controlar apenas aplicativos, plataformas operacionais e sob a infraestrutura como um todo.

- (i) Software como um Serviço (SaaS): Neste modelo de serviço é fornecido ao consumidor apenas recursos em forma de aplicativos do provedor com soluções em forma de softwares baseadas na nuvem. Essas aplicações podem ser acessadas de diferentes dispositivos. O serviço oferecido pode ser um aplicativo baseado na web por exemplo, onde o consumidor não tem controle sob a infraestrutura de nuvem subjacente diretamente, ficando esse a cargo do provedor, mas pode realizar configurações específicas do aplicativo oferecidas pelo desenvolvedor (MELL; GRANCE, 2011).

- (ii) **Plataforma como um Serviço (PaaS):** Neste modelo os recursos oferecidos ao consumidor são a infraestrutura necessária para criar aplicações em diferentes plataformas, usando linguagem de programação, bibliotecas, serviços e ferramentas suportados pelo provedor. Esta estrutura tem por fim, abstrair o desenvolvedor das preocupações com sistema, uma vez que a infraestrutura disponibilizada encontra-se um nível acima. O consumidor não gerencia nem controla a infraestrutura de nuvem subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operacionais ou armazenamento, mas pode escolher e controlar as aplicações a serem implantadas e possivelmente as configurações para esses aplicativos hospedados (MELL; GRANCE, 2011).
- (iii) **Infraestrutura como Serviço (IaaS):** Nesta modalidade de serviço o consumidor tem o maior controle da configuração dos recursos computacionais a serem utilizados, como por exemplo número de processadores, capacidade de armazenamento, redes e demais recursos de computação importantes. Neste padrão de serviço o consumidor é capaz de implantar e executar softwares diversos, ou ainda instalar sistemas operacionais e aplicativos. O consumidor não gerencia ou controla a infraestrutura de nuvem diretamente, mas tem controle sobre o número de nós computacionais ativos e quais sistemas ou bancos de dados podem ser implantados. O cliente possui ainda algum controle limitado de componentes de rede distintos, podendo abrir portas TCP ou redirecionar tráfego através de *Firewalls* (MELL; GRANCE, 2011).

2.1.3 Modelos de Implantação

O NIST define ainda os modelos de implantação, separando tipos de nuvens computacionais conforme suas características de privacidade em quatro grupos, esses grupos são identificados e caracterizados em (MELL; GRANCE, 2011):

- (i) **Nuvem privada:** Neste padrão de implantação a infraestrutura da nuvem é qualificada para uso exclusivo por uma única instituição ou unidade de negócios, ficando sua utilização restrita a membros dessa organização, através de acesso identificado. A infraestrutura disponibilizada pode pertencer a organização que a gerencia, ou pode ser operada por um terceiro, podendo existir dentro ou fora das instalações da empresa (MELL; GRANCE, 2011).
- (ii) **Nuvem comunitária:** Neste formato de instalação a nuvem é criada para uso específico por uma comunidade de consumidores com objetivos em comum. Ela pode ser propriedade de organizações dessa comunidade, ou ser contratada de um terceiro, podendo ainda possuir estrutura instalada fisicamente no local (MELL; GRANCE, 2011).
- (iii) **Nuvem pública:** Ao adotar esse tipo de infraestrutura a nuvem é fornecida para uso comum pelo público em geral. Podendo ser propriedade de uma empresa, universidade

ou organização específica. A infraestrutura encontra-se nas instalações do provedor de nuvem e está disponível para o uso coletivo (MELL; GRANCE, 2011).

- (iv) Nuvem híbrida: Neste modelo de implantação a nuvem adota uma forma combinada de duas ou mais infraestruturas de nuvem distintas (privadas, comunitárias ou públicas) que apesar de se manterem isoladas permanecem vinculadas por determinada tecnologia que permite a comunicação entre essas estruturas e o balanceamento de cargas de trabalho entre elas (MELL; GRANCE, 2011).

No mundo todo os profissionais de saúde estão migrando para um modelo de software como serviço (SaaS) que é fornecido pela maioria dos provedores de serviços em nuvem. A fim de realizar cálculos complexos a computação em nuvem é uma arquitetura dominante que pode eficientemente realizar cálculos de dados em larga escala. Para proporcionar maior qualidade no atendimento, diversos profissionais devem trocar informações sobre os pacientes. Dado que essas informações são sigilosas essa troca deve ocorrer de forma privada e segura. Como os dados de saúde estão disponíveis em grandes quantidades e em vários formatos, o ambiente de nuvem é a maneira mais eficiente de armazenar e processar essa informação (RALLAPALLI; GONDKAR; KETAVARAPU, 2016).

Segundo (SILVA, 2016) computação em nuvem é o único modelo de armazenamento capaz de fornecer a flexibilidade e escalabilidade necessários para o processamento de dados relacionados ao mapeamento da sequência de DNA. No entanto, embora as soluções baseadas na nuvem venham sendo amplamente utilizadas para processar os grandes volumes de dados gerados na área da saúde, muitos desafios permanecem abertos, particularmente em matéria de segurança e privacidade pessoal, médica e científica.

Devido a disponibilidade de recursos computacionais para processamento de imagens de grande tamanho na área da saúde e o potencial disruptivo dessa arquitetura, a utilização de computação em nuvem é mais que uma tendência e torna-se uma necessidade para hospitais e clínicas atualmente. O impacto transformador do modelo de nuvem em ambiente hospitalar pode ser compreendido a partir dos estudos apresentados nos Trabalhos Relacionados. A adoção dessa infraestrutura para armazenamento, manipulação de dados e consulta em servidores PACS deve gerar economia de recursos e facilidades no gerenciamento de imagens padrão DICOM em clínicas e hospitais.

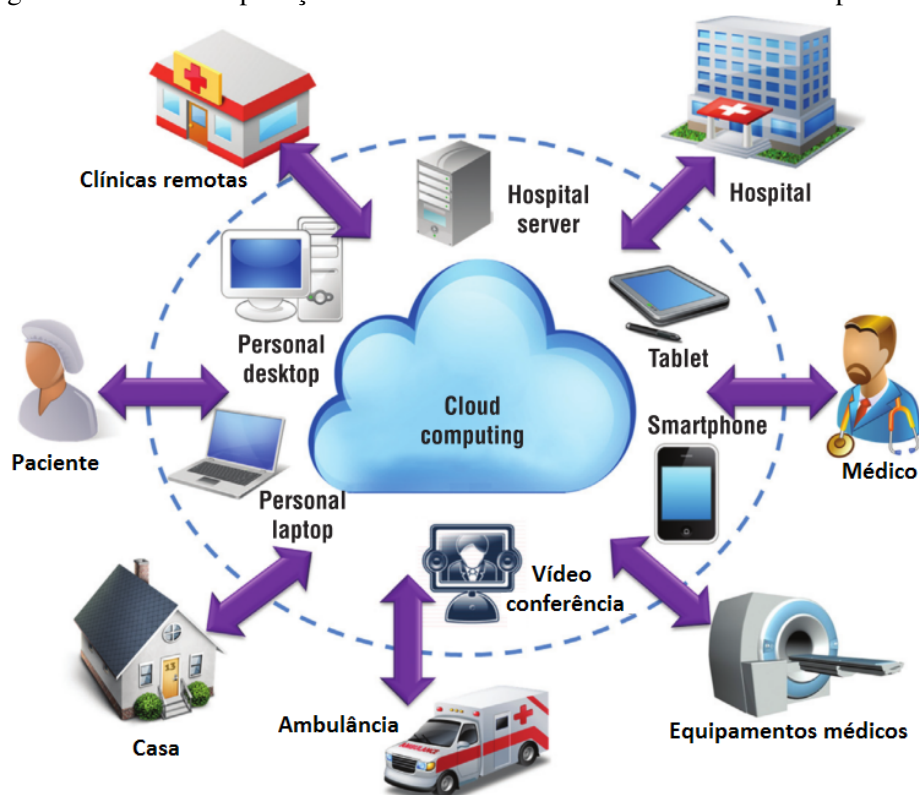
2.2 Telemedicina

Ter acesso a saúde é garantia prevista em muitos países aos seus cidadãos, no entanto países no mundo todo enfrentam desafios para suprir esse acesso de forma digna e com qualidade a um custo aceitável. É conhecido o potencial disruptivo que as tecnologias da informação e comunicação (TICs) tem no modo como nos comunicamos uns com os outros. Essas mesmas tecnologias tem grande capacidade de responder aos enormes desafios da atividade de saúde

mundial. A telemedicina está profundamente baseada nas TICs e tem evoluído na medida que novas tecnologias vão surgindo e são incorporadas a esta atividade (JIN; CHEN, 2015).

A telemedicina é a prestação de serviços médicos a distância de forma efetiva, através de tecnologias que possibilitem a troca de informações entre especialistas e pacientes sobre a rede ou permitam a constante qualificação dos profissionais da saúde. Entre os muitos legados garantidos pelas TICs ao procedimento de telemedicina, (JIN; CHEN, 2015) citam as consultas através de videoconferência, a transmissão e armazenamento de imagens médicas, os serviços de saúde eletrônicos (tais como sites e softwares), monitoramento de sinais vitais a distância, treinamento de profissionais da saúde através de ambientes educacionais virtuais desenvolvidos especificamente para este tipo de profissional, aplicações sem fios e *call centers* de enfermagem. Amparada pela nuvem, a telemedicina tem seu potencial ampliado podendo concentrar informações importantes e oferecer aplicações dinâmicas para diversos procedimentos.

Figura 4: Diferentes aplicações de telemedicina baseadas em nuvem computacional.



Fonte: adaptado de (JIN; CHEN, 2015)

Considerando os atuais avanços tecnológicos, a popularização de dispositivos móveis, de tecnologias sem fio e do acesso a internet de alta velocidade, é possível perceber que nos últimos anos houve um tremendo impulso para ampliar os benefícios e os cuidados de saúde através dos recursos da telemedicina. Ao aproximar médicos, enfermeiros e pacientes ela promove principalmente, agilidade no diagnóstico para enfermos alocados em áreas remotas. Também oferece certa proteção clínica ao eliminar o risco potencial de transmissão de doenças contaminantes e

agravos a saúde provocados pelo convívio em ambiente hospitalar. A Figura 4 ilustra diferentes aplicações interconectadas acrescentando e consumindo recursos a infraestrutura de nuvem de formas variadas.

A telemedicina pode ainda fornecer os mecanismos para inferir conhecimento necessário para tomada de decisão através de bases médicas automatizadas dotadas dos registros eletrônicos de pacientes. Pode ainda promover a colaboração entre médicos através do desacoplamento físico, uma vez que estes, e nem mesmo os pacientes, precisam estar presentes para a evolução do tratamento. Concomitantemente, a telemedicina promove conforto e alívio para pessoas com comorbidades incapacitantes, na medida que o atendimento vai ao encontro do paciente e suas necessidades e não o contrário (MURDOCH; DETSKY, 2013).

2.3 DICOM - Digital Imaging and Communications in Medicine

Na área pertencente ao campo de tecnologias da informática voltadas para a medicina há normatizações internacionais para desenvolvimento de soluções e fabricação de aparelhos. Equipamentos para captura de imagens médicas e seus sistemas acessórios são amparados por uma dessas normatizações conhecida como DICOM. Para que dispositivos desenvolvidos para obtenção de imagens médicas possam funcionar com outros dispositivos de diferentes fabricantes foi estabelecido esse padrão internacional. Todo fabricante que reivindicar conformidade com a norma deve adotar as recomendações definidas neste compêndio (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012).

Esta normatização dá ênfase às imagens médicas de diagnóstico, estabelecendo um arcabouço para disciplinas médicas que atuam com a obtenção de imagens. Esse recurso de apoio ao diagnóstico é utilizado na radiologia, cardiologia, odontologia, oftalmologia e disciplinas afins, bem como nas terapias baseadas em imagem como radiologia intervencionista, radioterapia e cirurgia. Este padrão pode ser aplicado a um largo espectro de procedimentos de diagnose, bem como para os dados que acompanham esses estudos e para os exames relacionados. O padrão DICOM (ISO:12052, 2016) é adotado como referência para a medicina veterinária e outros ambientes médicos.

Este padrão tem como principal finalidade, facilitar o relacionamento e a interoperabilidade entre sistemas que reivindicam conformidade à norma em questão. Em um mercado com múltiplos fabricantes de dispositivos, é fundamental a padronização de serviços oferecidos e dos dados produzidos por esses equipamentos. DICOM não é por si só uma garantia de interoperabilidade, cabendo a cada implantação adotar as medidas necessárias para o seu correto funcionamento. DICOM serve como referência internacional para serviços relacionados a imagens médicas e seus metadados, é parte do esforço conjunto entre a ACR (American College of Radiology) e da NEMA (National Electrical Manufacturers Association) o padrão faz parte da ISO 12052:2006. O (MILDENBERGER; EICHELBERG; MARTIN, 2002).

2.3.1 Escopo Geral

O desenvolvimento do padrão DICOM ocorreu através da iniciativa e cooperação entre a ACR e a NEMA, citadas anteriormente, que fundaram um comitê para estudar formas de comunicar dados entre fabricantes distintos. No ano de 1985 essas duas entidades publicaram o que pode ser chamado hoje de versão 1.0 da norma. Nos anos seguintes foram feitas revisões, e novas versões foram lançadas, até o ano de 1993, onde foi apresentada a versão 3.0 chamada de "*Digital Communications in Medicine*." A principal característica dessa versão foi a inclusão de um protocolo de rede baseado no modelo de referência OSI e o uso de TCP/IP como forma de garantir interoperabilidade entre diferentes desenvolvedores (MILDENBERGER; EICHELBERG; MARTIN, 2002).

O padrão DICOM facilita a interoperabilidade dos equipamentos de imagens para apoio do diagnóstico médico, e manutenção dos dados relacionados a cada estudo através de especificações distintas definidas para diferentes áreas da computação:

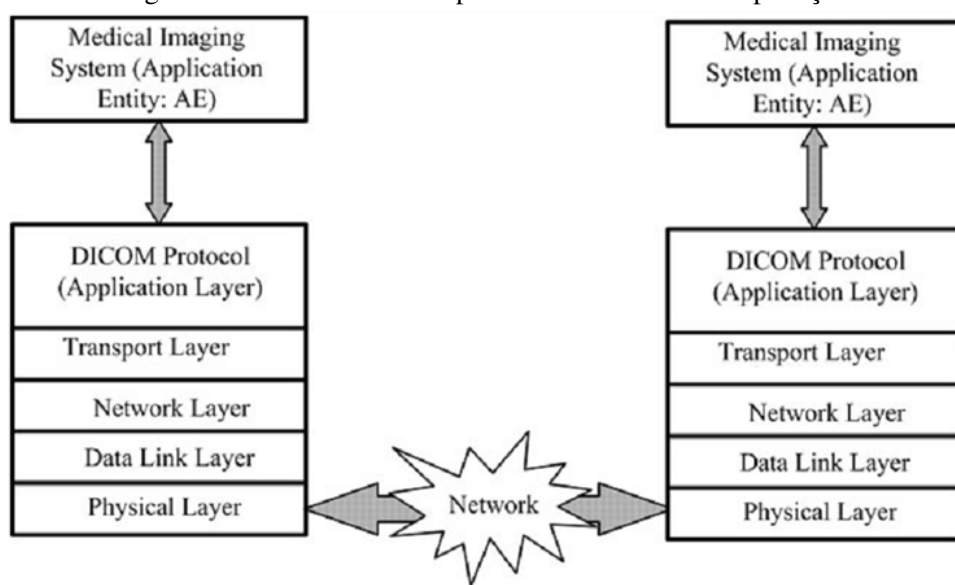
- (i) Para todas as comunicações de rede norteadas pelo padrão, são definidos um conjunto de protocolos e métodos a serem seguidos por dispositivos para garantir conformidade com a norma.
- (ii) A sintaxe e a semântica dos comandos e das informações associadas que podem ser trocadas entre entidades distintas dentro de uma rede DICOM, usando estes protocolos.
- (iii) Para os meios de comunicação, a norma define um conjunto de serviços de armazenamento de mídia a ser seguido, bem como um formato de arquivo a ser adotado, e uma estrutura de diretórios para facilitar o acesso a imagens e informações armazenadas em outras mídias.
- (iv) São definidas ainda as informações que devem ser fornecidas junto com cada implementação para que a conformidade com a norma seja garantida.

De acordo com alguns autores, o padrão DICOM tem problemas relacionados com a entrada de dados. Uma das desvantagens encontradas na pesquisa diz respeito a possibilidade de entrada de múltiplos campos opcionais após a obtenção das imagens. Esta desvantagem é mais evidente em inconsistências como a possibilidade de deixar campos contendo informações importantes em branco em determinados estudos, ou inserir dados em excesso sobre as imagens impossibilitando a interpretação das mesmas. Alguns atributos da imagem são muitas vezes incompletos ou ilegíveis porque alguns campos são deixados em branco enquanto outros podem ser preenchidos com dados incorretos (MUSTRA; DELAC; GRGIC, 2008).

2.3.2 Características Principais

DICOM é fundamentado pelo modelo de referência OSI, o qual também possui diferentes camadas, cada camada com funções distintas estabelecidas a priori. As camadas do modelo OSI são frequentemente separadas em : física, dados, rede, transporte e aplicação. DICOM é um protocolo que atua na camada de aplicação, a Figura 5 ilustra a posição deste protocolo dentro da pilha de camadas de rede do modelo OSI. O padrão garante a comunicação pela internet, uma vez que é compatível com o conjunto de protocolos TCP/IP. É importante identificar os termos adotados na norma para referir-se a aplicações utilizando o protocolo DICOM chamadas de Entidades de Aplicação (AE) na sigla original (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012).

Figura 5: DICOM como um protocolo da camada de aplicação.



Fonte: retirado de (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012)

DICOM possui uma coleção de serviços que consistem em ferramentas voltadas a facilitar a interação com os objetos dessa arquitetura, na maioria das vezes envolvendo transmissão de dados sobre a rede ou armazenamento dos mesmos em servidores específicos para esse fim. O serviço de armazenamento é descrito na parte 10 do padrão (ISO:12052, 2016), é um dos serviços mais importantes na norma e é utilizado para enviar imagens e outros objetos persistentes, relatórios e metadados diretamente a um servidor de armazenamento (PACS, RIS, etc), ou a uma estação de trabalho para conferência de qualidade para futura armazenagem.

O serviço DICOM de compromisso de armazenamento também é um importante recurso descrito na parte 10 do padrão e é usado para confirmar que uma imagem foi permanentemente armazenada por um dispositivo (seja em discos redundantes ou na mídia de backup, por exemplo, gravados em um CD). Outra nomenclatura importante na terminologia diz respeito ao Usuário de Classe de Serviço (SCU) na sigla original, que age de forma semelhante a um cliente solicitando informações de um servidor. O Provedor de Serviço de Classe (SCP) vai agir

de modo semelhante a um servidor, confirmando entre outras coisas, por exemplo, se é seguro apagar as imagens localmente armazenadas (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012).

O padrão DICOM (ISO:12052, 2016) especifica ainda um modelo geral para o armazenamento de imagens e informações médicas em mídia removível. O objetivo desta parte é o de proporcionar um quadro que permita o intercâmbio de vários tipos de imagens médicas e informações relacionadas em uma ampla variedade de mídias de armazenamento físico. Ao ter seus estudos gravados nessas mídias, o próprio paciente pode encaminhar seus exames para outros especialista, ou mesmo o médico, de posse desses dados, pode valer-se da opinião de outros colegas.

2.3.3 Áreas de Aplicação

Muitos campos da medicina têm adotado DICOM como padrão para imagens e este padrão é aplicável a muitos campos da medicina no qual a obtenção de imagens possa ter algum uso direto ou indireto, isso inclui áreas relacionadas a Radiologia, Cardiologia, Oncologia, Radioterapia, Neurologia, Ortopedia, Obstetrícia, Oftalmologia, Ortodontia, Dermatologia, sendo utilizado ainda como padrão para ensaios clínicos, alcançando áreas da medicina veterinária também.

Segundo a Parte 8 do padrão DICOM (ISO:12052, 2016), sua aplicação principal é capturar, armazenar e distribuir imagens médicas. A norma também preocupa-se em fornecer serviços relacionados à imagem como imprimir imagens em filmes ou mídia digital, relatar o status de procedimentos e operações relacionadas a aquisição de dados como a conclusão na obtenção de uma imagem, ou a confirmação de um arquivamento bem sucedido em um servidor de armazenamento. Existem serviços de criptografia de conjuntos de dados, que removem informações de identificação de paciente dos conjuntos de dados selecionados, a fim de garantir confidencialidade quando necessário. Há ainda serviços de organização de layouts de imagens para avaliação, que economizam manipulações e anotações, calibrando e codificando a imagem que é exibida.

DICOM também é implementado por meio de dispositivos associados com imagens ou fluxo de trabalho de imagem, incluindo servidores de armazenamento e comunicação tipo PACS (*Picture Archiving and Communication Systems*), visualizadores de imagens e estações de consulta para interpretação por especialistas, CAD (*Computer Aided Detection/Diagnosis Systems*), sistemas de visualização 3D, aplicações em análises clínicas, impressoras, scanners, gravadores de mídia que exportam arquivos para CD, DVD, RIS (*Radiology Information Systems*), VNA (*Vendor Neutral Archives*), EMR (*Electronic Medical Record Systems*), e *Radiology Reporting Systems* (ISO:12052, 2016).

2.3.4 Padrões e Normas Relacionadas

Para aumentar a aceitação no maior número de países possíveis e desenvolver um padrão de comunicação na medicina praticada ao redor do mundo, iniciativas conjuntas foram adotadas pelo comitê responsável pela elaboração do padrão DICOM e outras entidades do setor. Essas iniciativas visam sobretudo facilitar a execução dos complexos processos de comunicação atuais entre diferentes soluções proprietárias em produção na área médica, e garantir a evolução coordenada de diferentes iniciativas semelhantes, algumas delas citadas abaixo (MILDENBERGER; EICHELBERG; MARTIN, 2002).

Health Level 7 ou *Health level Seven* (HL7) é uma organização sem fins lucrativos envolvida no desenvolvimento de normas de interoperabilidade internacionais de informática na saúde. DICOM absorve diversas instruções do padrão HL7, resumindo-se em determinadas seções a referenciar capítulos inteiros dessa norma. O HL7 e DICOM gerenciam um grupo de trabalho conjunto para harmonizar áreas onde os dois padrões se sobrepõem e abordam ainda iniciativas como a integração de imagens no prontuário eletrônico (QUINN, 1998).

Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) não é um padrão, mas uma iniciativa para melhorar a utilização de equipamentos e sistemas relacionados a saúde. Formada pela indústria e pelos profissionais da área, ela promove a utilização correta e sistemática de padrões em desenvolvimento, tais como DICOM e HL7 aplicados a suprir as necessidades reais do procedimento médico. Sistemas criados em conformidade com essas iniciativas, são capazes de trocar informações entre si de forma melhorada, sendo normalmente mais simples de implementar permitindo a utilização dos dados de forma mais segura e eficiente (HENDERSON et al., 2001).

Systematized Nomenclature of Medicine (SNOMED) é uma coleção sistemática de termos médicos processáveis por computador, reconhecida por organizações de saúde por ser capaz de lidar com os termos utilizados em EHRs cobrindo não só expressões relacionados aos cuidados de saúde, como os termos utilizados em cuidados críticos, servindo como biblioteca para a medicina humana e veterinária. Esse repositório pode fornecer códigos de doenças, termos sinônimos e definições que vão desde a anatomia humana, a comorbidades catalogadas, procedimentos conhecidos, microrganismos existentes, substâncias em uso, etc. DICOM faz uso de SNOMED para codificar conceitos chave daquele padrão (SHAHPORI; DOIG, 2010).

2.3.5 Recomendações e Desafios

De acordo com um documento apresentado no 50º Simpósio Internacional ELMAR (MUSTA; DELAC; GRGIC, 2008), o padrão DICOM tem problemas relacionados com a entrada de dados. Segundo eles uma grande desvantagem do padrão DICOM é a possibilidade de entrada de muitos campos opcionais. Esta desvantagem fica principalmente evidente quando a capacidade de produzir novas informações pode sobrepor a própria imagem. Outras inconsistências sugeridas estão relacionadas a possibilidade de deixar formulários em branco no momento da

validação dos dados. Alguns atributos das imagens podem estar muitas vezes incompletos ou ainda podem ter sido preenchidos com dados incorretos.

Outro problema diz respeito à falta de interoperabilidade entre DICOM local e *Cloud Computing*. Em particular, como os repositórios PACS tradicionais se comunicam com a nuvem. Como já mencionado na fundamentação teórica, o PACS é suportado pelo padrão DICOM para comunicação, possibilitando a aquisição de imagens através de processos conhecidos. No entanto, esses serviços são acessíveis somente dentro da instituição e apenas um pequeno subconjunto do padrão DICOM é compatível com a Web 2.0. Na verdade, a maioria dos serviços de rede DICOM só são acessíveis por algumas portas TCP/UDP específicas que não são suportadas por nuvens de serviços baseados em HTTP e HTTPS. Como tal, não é possível utilizar os serviços DICOM de fora para dentro de uma instituição, nem acessar ao arquivos hospedados no serviço em nuvem através do protocolo DICOM (VIANA-FERREIRA; COSTA; IEETA, 2013).

2.4 PACS - Picture Archiving and Communication Systems

Um sistema PACS integra-se a norma DICOM agindo como servidor de armazenamento de estudos médicos, facilitando a comunicação e visualização de imagens radiológicas e metadados, dentro de redes de medicina. Como forma de simplificar a operação de estudos de diagnóstico e tratamentos baseados em imagem, foram desenvolvidas ferramentas para visualizar, anexar interpretações e arquivar esses dados utilizando PACS. Ao passo que, dotado deste cabedal de recursos, a decisão por parte do especialista, sobre o tratamento adequado para diferentes tipos de enfermidades, torna-se mais eficaz e precisa. Percebe-se que decisões quanto ao procedimento médico acertado, principalmente para aquelas doenças que produzem mudanças no corpo visualizáveis através de imagens, serão mais adequadas do que as conclusões simplesmente amparadas nos sintomas descritos pelo próprio paciente durante a consulta. Tendo o foco de suas aplicações sobre a diagnose de doenças dos ossos e tumores diversos, PACS é elemento estruturante de suma importância dentro da medicina. Os benefícios em potencial de usar este sistemas em clínicas e hospitais, são descritos em diversas revisões da literatura científica disponível (MOGHADAM et al., 2015).

Do ponto de vista econômico, PACS também funciona como um amortizador de custos no armazenamento e manutenção de imagens. Apesar de ter seu foco em ampliar a capacidade e a eficiência do procedimento de diagnóstico, PACS pode reduzir gastos ao eliminar a necessidade de manutenção de filmes, tratada como dificuldade real encontrada por mantenedores em hospitais ao redor do mundo. Esses sistemas começaram a serem concebidos no início dos anos 80, mas só foram adaptados para uso comercial durante os anos 90. Atualmente, apesar do conceito ser conhecido e relativamente difundido, ele ainda não é amplamente adotado por todos os locais que atuam na aquisição de imagens (MOGHADAM et al., 2015).

2.4.1 Escopo Geral

O diagnóstico preciso, realizado por profissionais, de comorbidades detectáveis por imagem, está diretamente associado a qualidade e a eficiência dos equipamentos de apoio ao diagnóstico. Cada vez mais médicos confiam em imagens geradas por aparelhos de raios X, tomografia computadorizada, mamografia, ultrassom ou ressonância magnética para receitar o tratamento adequado a cada situação. Estes sistemas, frequentemente geram grande quantidades de dados, aumentando os custos operacionais para manter servidores de armazenamento e a infraestrutura necessárias para o seu melhor funcionamento. Estima-se que mais de um bilhão de exames baseados em imagem sejam realizados por ano só nos EUA, o que produz entorno de 100 petabytes de dados anualmente a serem manipulados, desafiando as instituições a criar soluções eficientes para lidar com essa quantidade massiva de informação (JIN; CHEN, 2015).

Sistemas de armazenamento e comunicação de imagens (PACS) são seguidamente usados em hospitais e clínicas para lidar de forma economicamente viável, melhorando a capacidade de manipulação e consulta aos dados gerados a partir de diferentes modalidades (tipo de equipamento). Quando utilizamos PACS para armazenar e consultar dados, estes estão sob o padrão de comunicação na medicina (DICOM). Este serviço é frequentemente implantado dentro da rede interna existente dos hospitais. No entanto, alguns fatores encarecem e comprometem a utilização plena de suas funções, como a falta de escalabilidade e de uma solução eficiente para recuperação de desastres e falhas, podendo apresentar riscos a operação e gastos significativos para manutenção do serviço local (JIN; CHEN, 2015).

2.4.2 Características Principais

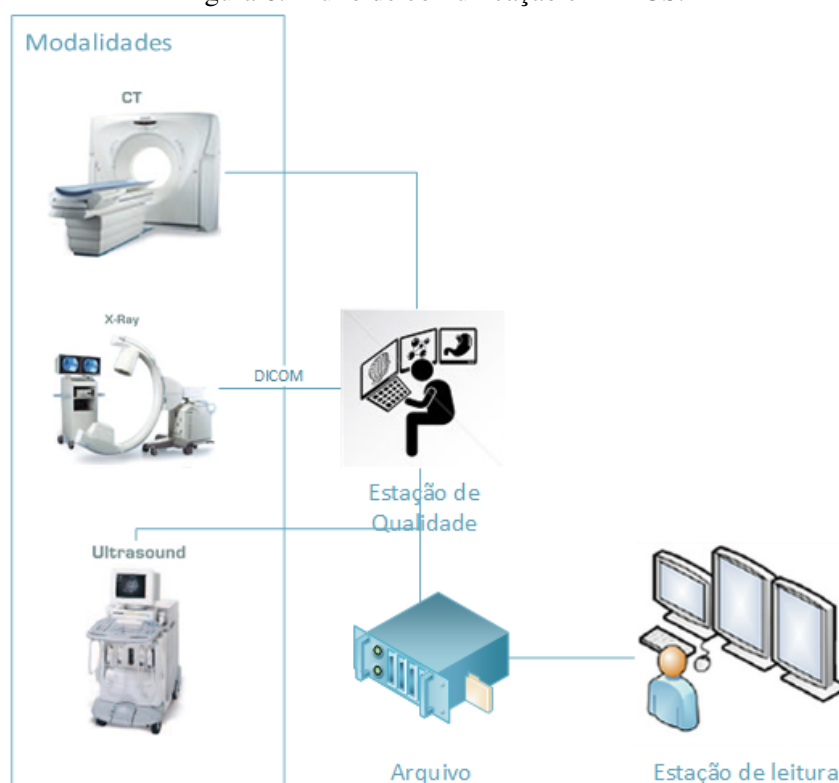
Dentro do contexto de aquisição e gerenciamento de imagens médicas, sistemas PACS são capazes de armazenar imagens pertencentes ao padrão DICOM. Ao oferecerem serviços e recursos computacionais, estes sistemas permitem gravação, transmissão, consulta, e recuperação de arquivos de grande porte usados na radiologia informatizada, gerado em modalidades distintas. Há ainda um protocolo definido através da norma DICOM, para transmissão dessas imagens, estabelecendo entre outras coisas, as portas usadas para comunicação e consulta, e oferecendo garantias quanto a privacidade e confiabilidade dos dados (ISO:12052, 2016). Um PACS pode ser caracterizado a partir de seus componentes principais listados a seguir:

- As diferentes modalidades de origem das imagens, como raios-x, tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM);
- A própria rede segura por onde trafegam as informações de cada paciente;
- As estações de trabalho utilizadas para interpretação e revisão das imagens;
- Os arquivos para o armazenamento e a tarefa de recuperação de imagens e relatórios.

2.4.3 Modalidades e Fluxo de Dados em PACS

Múltiplos dispositivos atuam em um sistema PACS para compor esse serviço, cada qual baseado em uma modalidade distinta, baseada na forma de obtenção dessas imagens. Há uma gama muito grande de modalidades que geram dados para PACS, podendo ser utilizado como recurso para informações geradas por tomografia computadorizada (TC), ultrassom, ressonância magnética (RM), etc. Esses dispositivos podem transmitir dados diretamente para o servidor PACS, ou ter esses dados redirecionados para um estágio intermediário em uma estação/servidor de controle de qualidade, para só depois serem armazenadas. Este estágio consiste em um ponto de verificação que visa garantir que as imagens estejam legíveis, bem como os dados referentes ao paciente e outros atributos importantes ao estudo. Nesse estágio também pode ser inserido dados provenientes de mídias móveis, que possam ser arquivados nesse servidor. Esse fluxo está ilustrado na Figura 6. Uma vez realizada a verificação das informações do estudo e a qualidade das imagens obtidas, estas podem ser encaminhadas para o servidor de armazenamento de arquivos (DREYER et al., 2006).

Figura 6: Fluxo de comunicação em PACS.



Fonte: elaborado pelo autor.

O dispositivo de armazenamento central chamado de arquivo, pode conter além das imagens, dados complementares ao estudo ou metadados que residem com as imagens geradas. No fluxo descrito pode-se observar a etapa final no fluxo de trabalho (Fig. 6), onde encontram-se as estações de leitura. Nesse estágio os dados já arquivados, podem ser consultados e analisados

antes de terem seus prognósticos emitidos. A estação de leitura é onde também normalmente, o radiologista interpretador dos resultados, revisa o estudo do paciente e formula o seu diagnóstico. Estas estações de leitura podem conter um modelo ou software de relatórios que vai auxiliar o especialista a evoluir as informações de cada caso de forma completa. Esse *software* de relatórios não é um componente obrigatório do sistema, nem mesmo a estação de qualidade, e há muitos casos em que médicos mais experientes, escolhem descrever seus próprios relatos sem apoio de programas (DREYER et al., 2006).

2.4.4 Desafios e Oportunidades para PACS

Conforme aumenta a necessidade por imagens e relatórios médicos para apoio ao diagnóstico, há uma lacuna por sistemas PACS que suportem o compartilhamento dessas imagens. A digitalização de filmes físicos também é apontada como uma oportunidade de desenvolvimento desse sistemas, eliminar a manipulação de cópias materiais facilitaria o armazenamento e compartilhamento desses dados no futuro. Já existem padrões em desenvolvimento para acesso web a objetos DICOM, porém a uma demanda crescente por soluções que estabeleçam métodos ao manipularmos imagens e metadados através da rede. PACS tem capacidade de revolucionar a maneira como nos relacionamos com a prática médica, diminuindo a exposição desnecessária a fontes de radiação presentes no momento do exame em muitas modalidades. Ao oferecer a oportunidade de diagnósticos emitidos por especialistas à distância, esses sistema acrescentam qualidade na hora do tratamento. Sem sair do foco da arquitetura, PACS torna-se uma solução com capacidade multi-plataforma que pode difundir a distribuição de imagens e relatórios entre médicos e pacientes (DREYER et al., 2006).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo foi organizado em seções para facilitar a compreensão do escopo da proposta. A primeira seção apresenta a metodologia de pesquisa e escolha dos trabalhos relacionados. A segunda seção deste capítulo apresenta trabalhos relacionados à utilização de arquiteturas em nuvem pautados pela norma DICOM. A terceira seção elenca algoritmos computacionais e tecnologias para melhorar o desempenho na transmissão de imagens e metadados na medicina.

3.1 Metodologia de Pesquisa

Como forma de encontrar os melhores resultados ao propor o modelo em questão, foram revisadas as soluções com características semelhantes ao sistema sugerido. Assim foi posta em ação uma estratégia para encontrar trabalhos relacionados à pesquisa, para que os mesmos pudessem ser estudados e inseridos nessa proposta de dissertação. Nos artigos analisados, procurou-se identificar lacunas que o presente modelo possa preencher, bem como as técnicas que representem o estado da arte da disciplina, a fim de acrescentá-las a arquitetura final.

Para esta proposta de pesquisa foi realizado uma revisão literária sistemática de artigos mais recentes utilizando os seguintes termos: **DICOM, PACS, telemedicina, healthcare, computação em nuvem, cloud computing**. Foram utilizados os mecanismos de busca científicos mais conhecidos como Google Acadêmico ¹, PubMed ², Science Direct ³, bem como as bases de conhecimentos da CAPES ⁴. Buscou-se identificar os artigos relacionados com o tema que fossem publicados em periódicos revisados, a seguir foram revistas as referências desses artigos para permitir uma compreensão mais abrangente do assunto e um melhor embasamento teórico.

Os artigos adquiridos foram anexados a biblioteca do aplicativo Google Acadêmico a fim de facilitar a manipulação e leitura dos mesmos. Foi adotado um critério de exclusão dos artigos publicados em mais de uma base de pesquisa, artigos cujo os termos de pesquisa tenham apenas sido mencionados no resumo do trabalho também foram excluídos. Adicionalmente, foi aplicado um critério de discernimento em relação aos trabalhos mais relevantes a serem apresentados na presente proposta.

A pesquisa desenvolve-se em torno da questão de pesquisa, na fase inicial foram revisadas as referências literárias mais relevantes ao tema, a partir dos resultados obtidos dos motores de busca. Na fase seguinte, foram inseridos novas referências, resultantes sobretudo das informações adquiridas na fase inicial. A fase seguinte refaz a pesquisa em motores de busca por novos resultados relevantes ao modelo e encerra-se com a coleta das principais referências dos últimos trabalhos analisados.

¹<https://scholar.google.com.br>

²<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>

³<http://www.sciencedirect.com/>

⁴<http://www.periodicos.capes.gov.br/>

3.2 Iniciativas Utilizando Nuvens Computacionais e DICOM

Nesta seção serão abordados os trabalhos relacionados a DICOM e utilizando nuvens computacionais, estes trabalhos foram selecionados com base nos critérios estabelecidos para pesquisa e estão agrupados para facilitar a compreensão do tema proposto.

3.2.1 A Cloud Scalable Platform for DICOM Image Analysis as a Tool for Remote Medical Support

Nesse trabalho o autor propõem uma plataforma alicerçada em uma arquitetura cliente servidor, onde o servidor está na nuvem (Amazon S3 e EC2). Arquiteturas tradicionais permitem que os médicos radiologistas possam visualizar, analisar e interagir com informações de pacientes armazenadas em um repositório DICOM. Esta abordagem tem o inconveniente de exigir grandes transferências de dados entre o usuário e a nuvem, e limita a quantidade de processamento nos dados DICOM no computador local. Nesse caso, uma vez que os dados relevantes são armazenados na nuvem, podem ser processados e analisados, usando um grande número de nós (atingindo um desempenho HPC), e enviando para o usuário final, apenas as informações relevantes, quer sejam de dados, imagens ou modelos 3D (OJOG; ARIAS-ESTRADA, 2013).

O autor explora ainda os benefícios oferecidos pela nuvem além do armazenamento remoto, mas principalmente a computação de alta desempenho acoplada a este armazenamento. Neste contexto o autor tira proveito de uma infraestrutura sob demanda de processadores com múltiplos núcleos e plataformas de processamento paralelo CUDA, com capacidade de processamento até 100 vezes maiores que em uma unidade tradicional de CPU. Esta disponibilidade de recursos deixa evidente os benefícios oferecidos por uma arquitetura estabelecida em nuvem para processamento e armazenamento de arquivos do tipo DICOM. Os autores citam exemplos de trabalhos relacionados ao processamento de imagens radiológicas obtidas em mamografias. Estas imagens são processadas na nuvem, a fim de identificar-se áreas de interesse para análise detalhada, eliminando o maior número de falsos positivos antes de retornar ao médico para receber o diagnóstico. Porém não são analisados em detalhes as condições para transmissão desses dados até a nuvem, nem mesmo o custo dessa operação (OJOG; ARIAS-ESTRADA, 2013).

3.2.2 A PACS Gateway to the Cloud

Neste trabalho os autores argumentam que uma solução (PACS/RIS) para armazenamento de arquivos e dados em uma rede médica, deve garantir acesso ao serviço de arquivos a qualquer momento e de qualquer lugar, e deve possuir dois componentes principais, sendo eles um repositório de objetos DICOM e um sistema de banco de dados. Os autores afirmam que o repositório de objetos para alocar esses arquivos, deve possuir uma infraestrutura com grande

capacidade de armazenamento, dado o tamanho dos objetos DICOM, que podem chegar a centenas de megabytes. Já o banco de dados deve ser capaz de manipular DICOM *Information Model* (DIM) contendo metadados relacionados a pacientes, estudos e imagens. Nessa abordagem os autores definem a terceirização destes dois componentes para a nuvem tornando esses dados disponíveis para consulta através de *web service* (SILVA et al., 2011).

O trabalho apresenta uma arquitetura chamada de PACS *cloud gateway* onde a ideia fundamental é aproveitar as vantagens oferecidas pelo modelo de nuvem como elasticidade e escalabilidade. A solução apresentada utiliza *Apache Hadoop* e pode ser instalada em nuvens locais ou públicas. Uma vez terceirizado para nuvem, o modelo de PACS *as a Service* evita a redução gradativa da vida útil de componentes de hardware, além de garantir recursos em um importante gargalo identificado na medicina, que é o armazenamento de imagens e dados. Esse modelo proporciona acesso universal a qualquer momento e de qualquer lugar, aumentando a disponibilidade de dados e garantindo a interconexão entre dispositivos DICOM. Apesar dessa arquitetura solucionar uma série de problemas relacionados à manutenção de um armazenamento local, ela também traz novas preocupações referentes à segurança dos estudos armazenados, privacidade dos dados e a conformidade com que estabelece a HIPAA (SILVA et al., 2011).

3.2.3 A Medical Image Archive Solution in the Cloud

Em seu artigo Teng et al. (2010) apresentam um protótipo para estudos utilizando a plataforma da *Microsoft Windows Azure*, onde são implementados um servidor DICOM para realizar operações padrão de armazenar, consultar e recuperar. O autor define três componentes fundamentais em sua solução, sendo um servidor DICOM, um indexador de imagens que analisa os metadados e armazena em um SQL, e ainda uma interface para o usuário, capaz de pesquisar e visualizar imagens e atributos arquivados relacionadas aos pacientes.

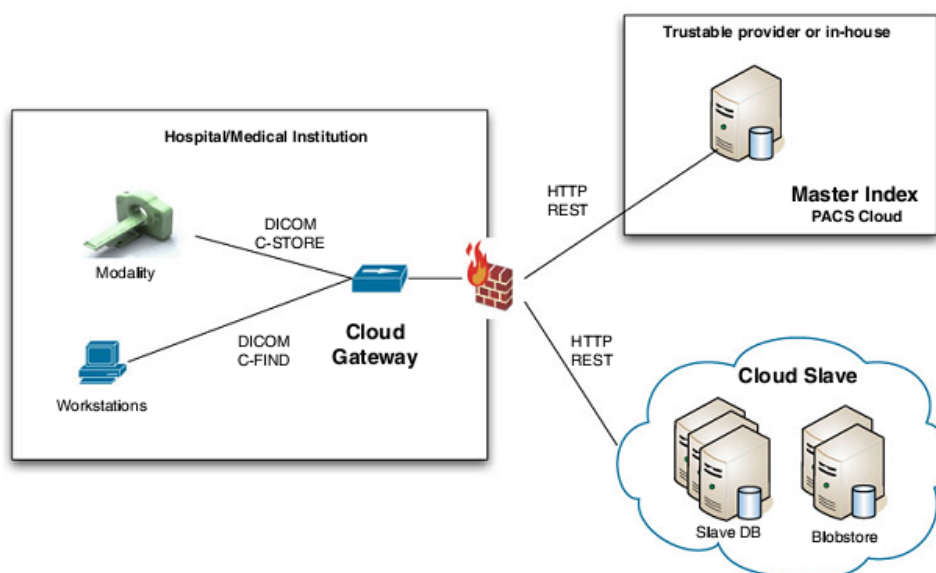
Esses componentes contam com recursos computacionais na nuvem, que podem ser escalados para cima ou para baixo de forma independente cada um, conforme demanda, aumentando ou diminuindo o número de instâncias disponíveis para executar certa tarefa. O autor sugere que as instâncias iniciais podem ser configuradas diretamente no ambiente de desenvolvimento do *Visual Studio* ou através do portal de gerenciamento online oferecido pelo *Azure on-line*. O sistema possui ainda uma interface de programação de aplicativos API que pode transportar o modelo completo para outras soluções de nuvem de outros provedores ou até mesmo para *middlewares* independentes (TENG et al., 2010).

Contudo o autor não apresenta soluções a questões relacionadas a privacidade e confidencialidade dos dados manipulados, deixando essa lacuna para possíveis trabalhos futuros. O autor também não aborda o custo da transmissão inicial dessas imagens para nuvem, nem apresenta possíveis mecanismos para melhoria do desempenho dessa transmissão.

3.2.4 A PACS archive architecture supported on cloud services

A arquitetura proposta nesse estudo coloca o serviço PACS na nuvem e almeja eliminar ou reduzir fraquezas inerentes a esse ambiente como a latência na comunicação de dados, a falta de interoperabilidade com outros provedores e a privacidade dos dados armazenados. Neste artigo o autor enfatiza especialmente a separação dos dados clínicos dos demais dados relacionados a demanda computacional. A solução apresentada neste trabalho baseia-se em três elementos principais: Gateway, Master Index e Cloud Slave (BASTIÃO SILVA; COSTA; OLIVEIRA, 2012).

Figura 7: Arquitetura de um sistema PACS na nuvem.



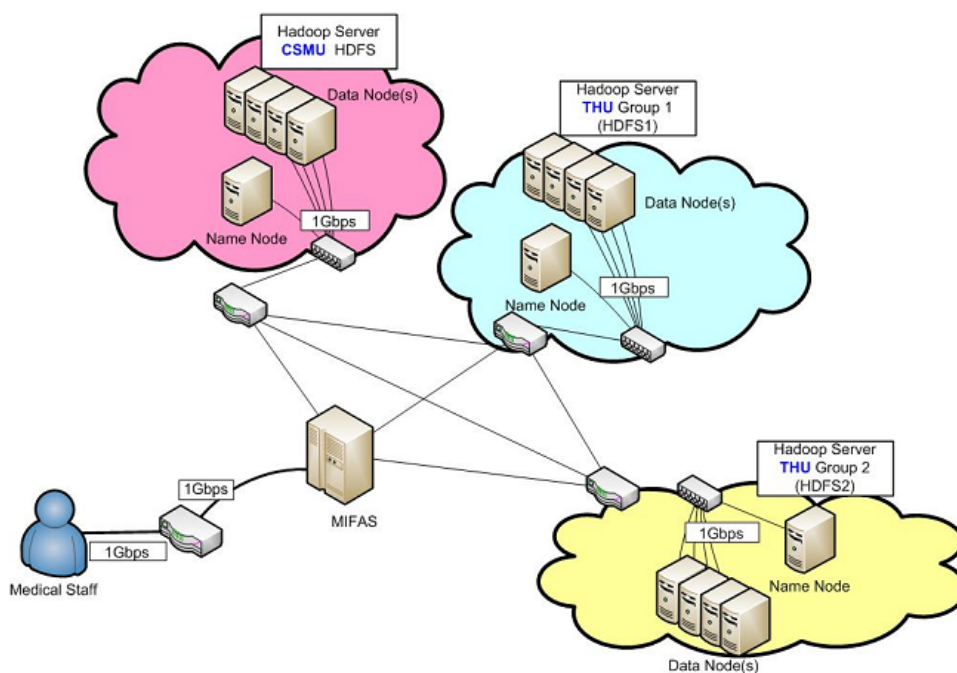
Fonte: retirado de (BASTIÃO SILVA; COSTA; OLIVEIRA, 2012)

Provedores tipicamente suportam apenas *web services*, o que é um problema para a instalação de um serviço de armazenamento, em uma infraestrutura baseada na computação em nuvem. A fim de resolver este problema, o autor sugere a utilização de um *gateway* entre as modalidades DICOM e o *web service* alocado na nuvem. Destinado sobretudo a traduzir os comandos DICOM em serviços *web service* oferecendo interoperabilidade entre dispositivos DICOM e a infraestrutura em nuvem. O *gateway* sugerido provê ainda dois serviços, um de armazenamento e outro de consulta e recuperação como mostra a Figura 7. Este elemento da arquitetura existe em cada instituição e precisa estar registrado no indexador para acessar a o serviço de nuvem. Quando o *gateway* está em funcionamento ele vai autenticar-se com o serviço de nuvem e aguardar por requisições provenientes de PACS da rede interna de cada instituição (BASTIÃO SILVA; COSTA; OLIVEIRA, 2012).

3.2.5 Implementation of a Medical Image File Accessing System on cloud computing

O autor deste trabalho apresenta um sistema chamado *Medical Image File Accessing System* (MINFAS) para abordar questões referentes a troca e compartilhamento de imagens entre diferentes hospitais. Através desse sistema o autor afirma ser possível aumentar o ganho de eficiência ao compartilhar informações referentes a pacientes com seus médicos. Ainda segundo o autor, o sistema é capaz de tomar decisões relacionadas a melhor conduta a ser adotada nos cuidados ao paciente com base em seus registros médicos eletrônicos (EMR) (YANG et al., 2010).

Figura 8: Ilustração geral da arquitetura sugerida pelo autor.



Fonte: retirado de (YANG et al., 2010)

O modelo sugerido pelo autor está dividido em três grupos reais, localizados em duas instituições distintas. Todos os grupos operam a uma largura de banda em torno de 100 Mbps no ambiente da rede. Nesta implementação o número de grupos pode variar de alguns poucos até um grande número. Ao passo que quanto maior for o número de grupos que o sistema possui, maior a fonte de duplicação e redundância de dados. Desenvolvido utilizando Apache Hadoop, esse sistema possui mecanismos para download de dados em paralelo a fim de aumentar a eficiência na transmissão, status das condições de cada nó, um *middleware*, e um serviço de replicação de imagens (YANG et al., 2010).

3.3 Iniciativas Baseadas em Tecnologias de Transmissão

Nesta seção serão abordados os trabalhos relacionados a DICOM utilizando algoritmos de desempenho e soluções baseadas em tecnologias de transmissão semelhantes, que apesar de não utilizarem nuvens computacionais diretamente, empregam técnicas que complementam o modelo sugerido. Estes trabalhos foram selecionados com base nos critérios estabelecidos no início da pesquisa e estão agrupados de forma a facilitar a compreensão do tema proposto.

3.3.1 Teleradiology applications with DICOM-e-mail

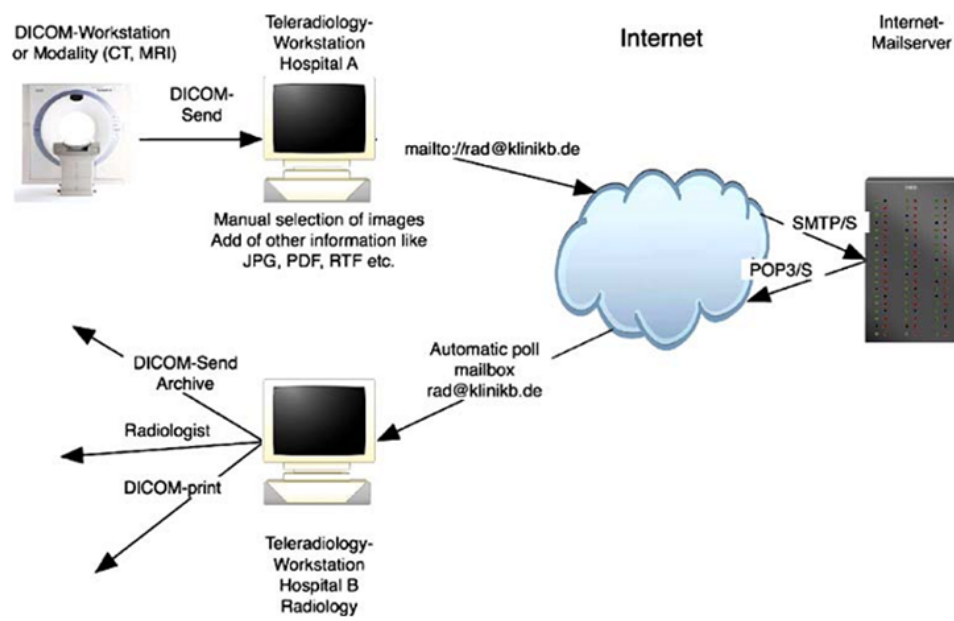
Neste trabalho os autores apresentam o resultado da integração de hospitais e clínicas para aplicações chamadas de tele radiologia. O protocolo DICOM-e-mail de tele radiologia foi utilizado para prover serviços baseados em rede, relacionados a consultas de emergência, exames remotos, distribuição de imagens, laudos médicos e cooperação científica entre parceiros. O objetivo do projeto foi integrar diferentes aplicações no fluxo de trabalho dos colaboradores do projeto. O autor aponta as vantagens e desvantagens do protocolo DICOM-e-mail dentro de hospitais (WEISSER et al., 2007).

Como forma de interconectar diferentes parceiros ao estudo, a partir de uma solução com base em tele radiologia utilizando o protocolo DICOM-e-mail, foram empregados conceitos referentes a redes, permitindo a integração de diferentes aplicações médicas. Segundo os autores, as necessidades organizacionais e técnicas para tal integração foram analisadas em mais de 60 instituições, incluindo 23 hospitais localizados na Alemanha. Estes foram interligados para realização de testes para essa pesquisa. Para conectar os locais de serviços de tele radiologia e configurar o fluxo organizacional, foi apresentado um modelo utilizando uma estação de trabalho autônoma e um gateway baseado em servidor conforme ilustra a Figura 9 (WEISSER et al., 2007).

São definidos o tipo de conexão necessária para diferentes grupos de aplicações e usuários. O conceito de segurança e estratégias de recuperação de falhas são colocadas em pauta, potenciais problemas de segurança e fontes de erros também são abordados. A especialidade de aplicação tele radiologia de emergência é apresentada. O protocolo DICOM-e-mail é um protocolo flexível que segundo Weisser et al. (2007) pode ser usado para uma variedade de ações em aplicações de tele radiologia. Ainda segundo os autores esse modelo pode suprir as condições para utilização em aplicações de emergência, mas possui limitações para utilização em aplicações síncronas como teleconferências por exemplo quando necessárias.

A transmissão de imagens digitais na medicina sobre a rede de e-mail é uma abordagem utilizada em outros artigos. Contudo essa solução envolve comunicação através de protocolos (IMAP, SMTP), os quais podem não estar acessíveis em determinadas instituições ou bloqueados devido a políticas de segurança de rede adotadas individualmente. Essas limitações, associadas a baixa capacidade das caixas de entrada e a latência ainda presente devido as restrições

Figura 9: Integração de uma estação de trabalho utilizando o protocolo DICOM-e-mail



Fonte: retirado de (WEISSER et al., 2007).

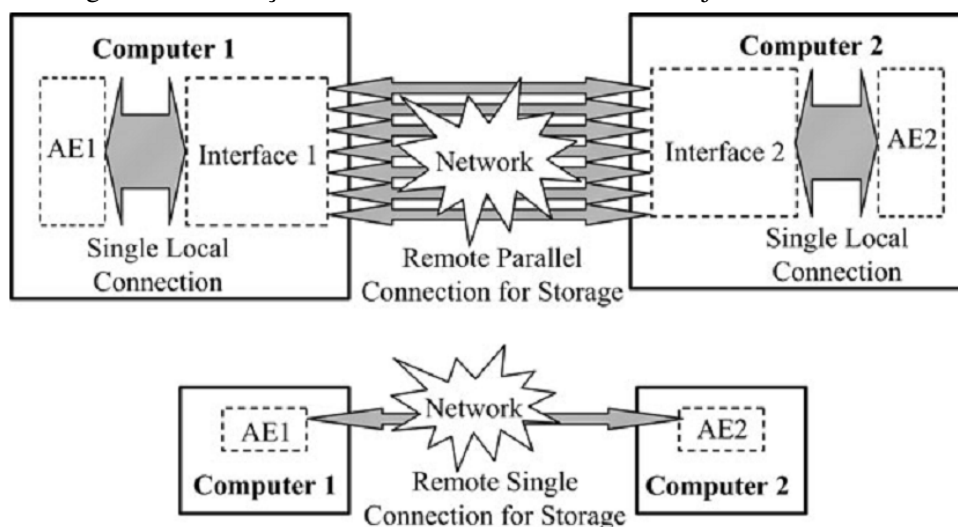
do protocolo de e-mail, podem inviabilizar o uso dessas soluções.

3.3.2 A Parallel Method to Improve Medical Image Transmission

Neste artigo os autores abordam a questão da transmissão de imagens médicas e apresentam o paradigma de múltiplas conexões em paralelo em contraposição a uma conexão individual para transmissão de dados em rede. Para fornecer paralelismo, o autor utilizou uma técnica de *multi-threading* nas interfaces. A implementação das interfaces foi feita em Java e é construída em cima da ferramenta (dcm4che2). O método proposto utiliza conexões paralelas do protocolo de controle de transmissão (TCP) para realizar a comunicação dos dados entre duas entidades de aplicação (AEs). Essas conexões paralelas são implementadas no protocolo DICOM *Storage Services*. O autor usou ainda um par de interfaces para executar as tarefas paralelas concomitantemente, sem nenhuma mudança nos sistemas existentes (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012).

A comunicação ocorre quando duas entidades precisam estabelecer uma conexão. Elas vão negociar informações importantes para criar o canal de comunicação entre duas AEs através de duas classes de serviços conhecidos do padrão DICOM, o *Service Class User SCU* e o *Service Class Provider SCP*. Esse protocolo é de suma importância para a comunicação de dados nesse modelo, e recebe a maior parte da carga de trabalho em questão. Sendo dessa forma responsável diretamente pelo desempenho da tarefa. Os autores destacam que abordagens tradicionais levam em conta apenas a compactação dos dados, o que pode degradar o tempo de transmissão devido o overhead da tarefa de compactação. Dessa forma sugere técnicas de

Figura 10: Ilustração da transmissão utilizando um conjunto de interfaces



Fonte: retirado de (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012).

paralelismo combinadas com técnicas de compressão de dados para aumentar a eficiência na transmissão entre entidades (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012).

3.3.3 Clustering-based Compression Connected to Cloud Databases in Telemedicine and Long-term Care Applications

Neste trabalho os autores abordam a compactação baseada em *cluster* conectada a bancos de dados em nuvem, apontando essa como uma tecnologia e um conceito inovadores para transferir de forma ágil informações críticas, agrupando e compactando os dados antes da transmissão. Além disso, o autor afirma que essa é uma abordagem altamente viável e que a compressão baseada em *cluster* pode auxiliar as equipes médicas em telemedicina e cuidados a longo prazo. Essa técnica de compressão de dados em nuvens hospitalares vem crescendo no últimos dez anos. O autor sugere que as abordagens tradicionais de compressão de dados, possam ser utilizadas em nuvem, melhoradas pelos novos algoritmos e técnicas desenvolvidas atualmente, incluindo pré-processamento ou uma seleção de parâmetros conhecidos. Porém é de amplo conhecimento que dados e informações possuem uma natureza dinâmica e comportamento desorganizado, nesse caso o autor sugere sistemas adaptativos para as aplicações de telemedicina baseadas em nuvem (HSU, 2017).

Neste trabalho o autor apesar de sugerir compressão dos dados para melhorar o desempenho da comunicação, não considera a qualidade da rede no momento da transmissão. Além disso, não é levada em conta a possibilidade da aplicação de técnicas de compactação escaláveis, baseadas em atributos de qualidade da rede ou quantidade de dados a serem transmitidos.

3.3.4 Open Source Clinical Image and Object Management

O *Dcm4che*¹ é uma iniciativa que disponibiliza uma coleção de aplicativos de código aberto e utilitários para as empresas de saúde. No cerne do projeto dcm4che é sobretudo, uma implementação robusta do padrão DICOM. Seu desenvolvimento deu-se a partir do ano 2000, quando Gunter Zeilinger escreveu o popular utilitário JDicom suíte, inspirado no comercial Java DICOM Toolkit (JDT). Após essa experiência com o (JDT), ele decidiu que deveria escrever seu próprio kit de ferramentas DICOM. Assim foi que o **dcm4che** (pronuncia-se d-c-m-para-chay) surgiu. Gunter, inspirado pela natureza revolucionária do código aberto, decidiu nomear o conjunto de ferramentas em referência a um famoso revolucionário. Acontece que o nome acabou por soar parecido com algo como "d-c-m-para-jay", que é uma maneira muito comum de nomear um projeto no mundo Java. O dcm4chee-proxy é um dos aplicativos dessa coleção, funciona como um proxy no padrão DICOM, que fornece um veículo para a distribuição, baseada sobretudo em regras de transmissão de dados através de uma rede. Exemplo de casos de uso são: encaminhamento de objetos DICOM para múltiplos AEs; encaminhamento de objetos DICOM com base em horários de recebimento; encaminhamento para AEs de destino com base no cronograma de envio; encaminhamento baseado em avaliação de atributos. O aplicativo pode ser ainda executado no JBoss AS7 ou como uma ferramenta de linha de comando autônoma (DCM4CHE, 2016).

3.4 Análise

Os trabalhos citados mostram algumas abordagens relacionadas ao armazenamento e compartilhamento de imagens médicas sobre a rede. Contudo, nenhum deles considera explicitamente a utilização de ferramentas para aumentar o desempenho de tarefas de transmissão de arquivos em uma arquitetura para PACS alocado na nuvem. De forma a melhor manipular essas imagens no momento de disponibilizá-las através da rede o uso de algoritmos de compactação também é uma abordagem a ser observada, uma vez que a imagem compactada pode ser transmitida de forma mais eficiente para o provedor de infraestrutura em nuvem. Ao utilizarmos algoritmos para aumentar o desempenho nas tarefas de transmissão e armazenamento desses dados, todo o custo do processo é influenciado, gerando economia na utilização de recursos de infraestrutura.

Os trabalhos analisados também não levam em consideração a utilização de compactação para transmissão destas imagens para a nuvem. O que pode oferecer melhoria no desempenho da operação de armazenamento ou backup. Ao aplicarmos níveis diferentes de compressão com base na qualidade da rede podemos alcançar uma melhoria ainda maior no desempenho do sistema de armazenamento de imagens médicas. A Tabela 1 apresenta uma comparação das soluções analisadas até aqui e destaca a lacuna na utilização da nuvem para compartilhamento

¹ <http://www.dcm4che.org>

de imagens e informações relevantes através de uma infraestrutura de recursos computacionais. Bem como lacunas na utilização de técnicas de paralelização de tarefas ou do uso de algoritmos de compactação de arquivos antes do envio. Foram destacadas características desejáveis para o modelo sugerido e buscou-se encontrar essas qualidades nos trabalhos analisados. Essas características são:

- (i) **Desempenho** O trabalho considera questões relacionadas ao desempenho da solução proposta, como por exemplo, velocidade de transmissão para armazenamento e visualização dos estudos.
- (ii) **Elasticidade** O trabalho leva em conta a elasticidade, adaptando os recursos computacionais à carga de trabalho submetida.
- (iii) **Compactação** O trabalho relacionado utiliza alguma técnica de compactação de dados para melhorar o desempenho da comunicação.
- (iv) **Qualidade** O modelo analisado verifica a qualidade da rede no momento da transmissão.
- (v) **Integridade** O trabalho estudado sugere algum tipo de análise de integridade do arquivo após transmissão.
- (vi) **Transmissão** Os autores sugerem alguma técnica de transmissão, sobretudo paralela, de imagens na rede.

Tabela 1: Avaliação dos trabalhos relacionados vinculados a características do modelo

Trabalhos	Desempenho	Elasticidade	Compactação	Qualidade	Integridade	Transmissão
Ojog et al. (2013)	✓					
Silva et al. (2011)		✓				
Teng et al. (2010)		✓				
Silva et al. (2012)					✓	
Yang et al. (2010)	✓					
Weisser et al. (2007)					✓	
Maani et al. (2012)					✓	✓
Hsu (2017)	✓		✓			
dcm4che (2016)				✓	✓	✓

Fonte: elaborado pelo autor.

4 MODELO

Tendo em vista as lacunas identificadas nos trabalhos que implementam serviços de armazenamento e manipulação de arquivos DICOM na nuvem, e as distintas técnicas apresentadas a fim de solucionar a questão de pesquisa, esta seção propõe um modelo que preencha este hiato. Após listar algumas premissas do projeto, serão apresentados o modelo atual para telemedicina em nuvem e o modelo proposto. Esse modelo será abordado conceitualmente e em seguida serão elucidados os detalhes de sua implementação. Por fim serão apresentadas metodologias sugeridas para avaliação.

4.1 Decisões de Projeto

O modelo em questão pretende disponibilizar imagens geradas por dispositivos médicos de um padrão específico entre especialistas em interpretação de imagem e diagnóstico, através do armazenamento desses arquivos em nuvens de recursos computacionais. A arquitetura proposta viabilizaria o compartilhamento e o acesso concorrente a essas imagens de qualquer lugar e a qualquer momento. Para armazenamento das imagens serão utilizados bancos de dados relacionais, conforme (SHARMA et al., 2009; BENJAMIN; ARADI; SHREIBER, 2010). Este recurso conta com garantias de elasticidade reativa, uma vez utilizados os recursos disponíveis, o fluxo de dados pode ser transmitido para uma nova instância utilizando o endereço IP ou a URL desse armazenamento. Será avaliado o desempenho na operação de transmissão comparando-se técnicas de compressão e comunicação paralela de dados.

O sistema será dotado de um módulo de transmissão de dados localizado nos hospitais ou clínicas e um módulo de recepção instalado na nuvem. Cada qual, com recursos de compressão de dados e capacidade de comunicação simultânea através de múltiplos *sockets*. A nuvem conta ainda com um módulo de armazenamento de dados e acesso remoto autenticado, bem como os recursos escaláveis do *cluster* e um serviço de visualização e consulta, a fim de garantir acesso externo.

Nesta seção são listadas as premissas básicas para o modelo proposto, independentes da sua forma de implementação. Algumas decisões são restritivas, visando um modelo de escopo mínimo para atingir o objetivo; outras são premissas para garantir o funcionamento adequado à realidade de uma arquitetura baseada em nuvem já consolidada e para a aceitação do modelo proposto.

- (i) O sistema deve ser capaz de suprir as necessidades do usuário do modelo atual na íntegra. A implementação da arquitetura proposta neste trabalho não pode prejudicar o funcionamento ou usabilidade do sistema atual.
- (ii) Imagens são produzidas diariamente em diferentes áreas da medicina e precisam ser armazenadas para consulta futura.

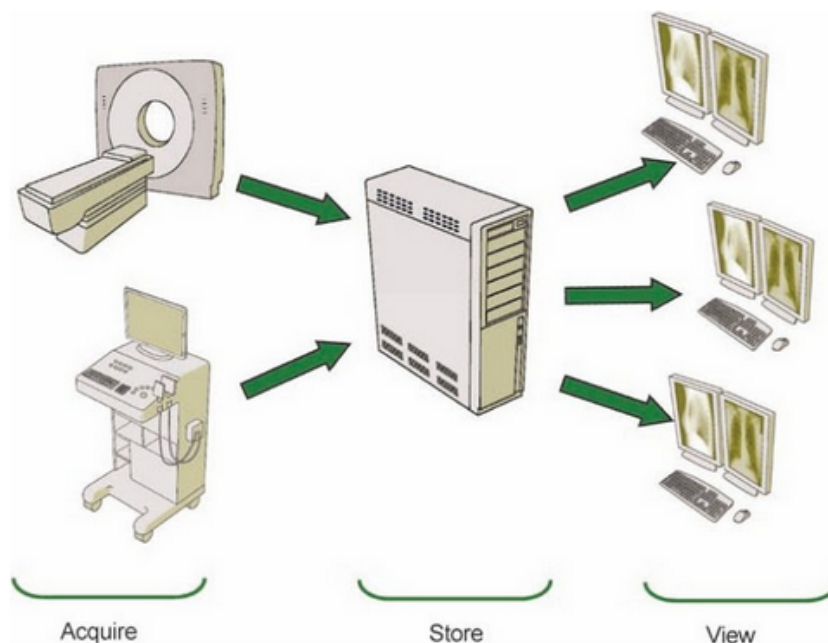
- (iii) Especialistas em diagnose nem sempre encontram-se no mesmo local para realizar a interpretação dos dados.
- (iv) O sistema deve oferecer protocolo de compressão escalável para transferência de imagens médicas e meta dados relacionados entre centros de medicina e a nuvem, conforme a qualidade da rede.
- (v) O sistema deve oferecer um ambiente de armazenamento, manipulação e consulta de imagens DICOM e dados relacionados, voltado ao diagnóstico, com alta disponibilidade.
- (vi) A computação em nuvem provê e é uma infraestrutura altamente disponível e tolerante a falhas.
- (vii) O sistema deve ser capaz de paralelizar tarefas de transmissão de imagens, conforme qualidade da rede.
- (viii) O sistema deve ser capaz de coletar dados para comparação de desempenho no tempo de comunicação entre dispositivos locais e a nuvem.
- (ix) O modelo deve ser tolerante a falhas e possuir alta disponibilidade através da redundância de instâncias.
- (x) A segurança e a privacidade de pacientes na comunicação de dados sensíveis através da rede devem ser observadas.

4.2 Arquitetura

Em ambiente hospitalar e clínico é frequente, apesar de não ser amplamente difundida, a utilização de servidores PACS (Sistemas de Arquivamento e Distribuição de Imagens) para gerenciar imagens e metadados provenientes de múltiplos dispositivos (modalidades). Estes sistemas, integram a rede de aquisição e obtenção de imagens e armazenam dados em um arquivo digital de onde eles podem ser acessados por especialistas, localizados em estações de visualização. Os usuários destes sistemas são capazes de enviar e receber imagens e diagnósticos em pacotes de dados no padrão DICOM através de uma rede local, utilizando-as como apoio para diagnose nas mais diferentes especialidades da medicina. A figura 11 apresenta os dispositivos mais importantes envolvidos em um PACS, podemos observar de forma ampla, as funcionalidades de cada um deles dentro do sistema de comunicação (PIANYKH, 2008).

Nesse modelo as imagens são armazenadas em um servidor local e podem ser consultadas e transmitidas apenas a partir da rede em que se encontram. Fazem parte do fluxo de trabalho dessa arquitetura equipamentos como impressoras para realizar cópias físicas em filme das imagens em estudo, estações de trabalho para consulta local e controle de qualidade, o arquivo propriamente dito onde são inseridas as imagens, e os próprios dados relacionados a cada estudo de interpretação. Fazem parte do fluxo de trabalho ainda, os dispositivos para gravação

Figura 11: Representação dos componentes e fluxo de dados em PACS.



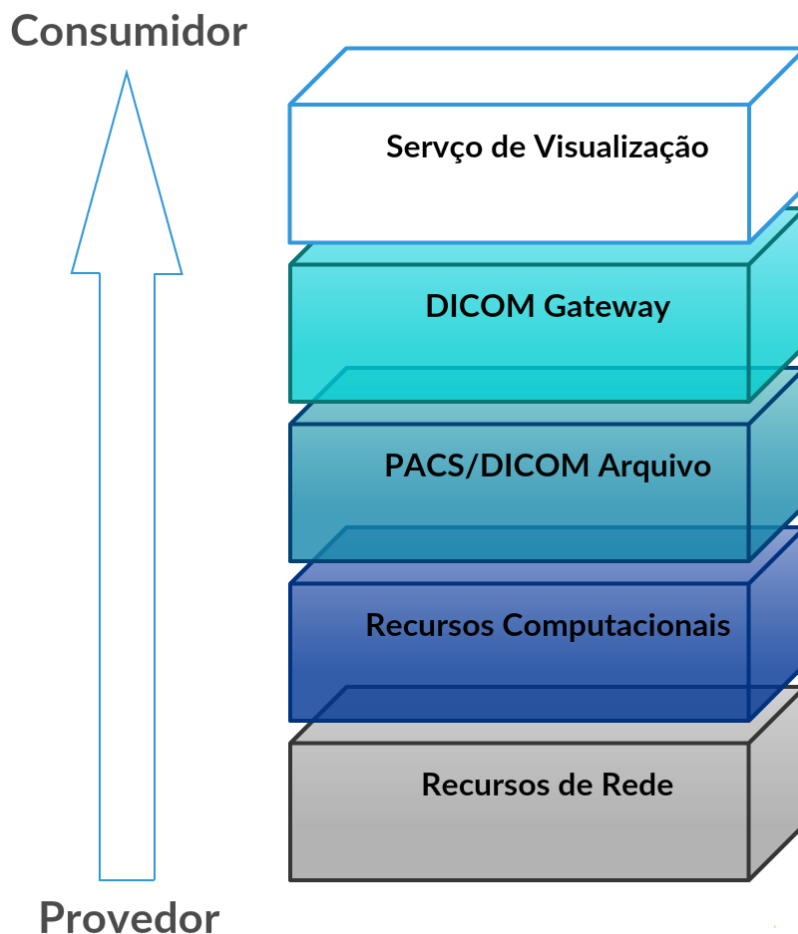
Fonte: retirado de (PIANYKH, 2008).

de cópias em mídias removíveis que serão disponibilizadas para médicos, pacientes ou especialistas envolvidos no estudo. A arquitetura padrão atualmente estabelecida, não lida de maneira adequada com questões relativas a escalabilidade e a obsolescência dos equipamentos e rotinas (PIANYKH, 2008).

Ao disponibilizarmos um arquivo desenvolvido para o armazenamento de estudos médicos na nuvem estamos utilizando PACS como um serviço *PACS-as-a-Service*. Adotando este modelo podemos extrair os benefícios inerentes a essa arquitetura como escalabilidade e acesso ubíquo (BASTIÃO SILVA; COSTA; OLIVEIRA, 2012). Esse novo paradigma de telemedicina oferece infraestrutura não só para o armazenamento e consulta no padrão de comunicação adotado da medicina, mas também observa a necessidade de ferramentas que aumentem o desempenho da tarefa de comunicação desses dados entre as modalidades locais e a nuvem. Este cabedal de recursos de rede vai agir como um *middleware* para permitir a comunicação transparente entre diferentes dispositivos e a infraestrutura remota.

O modelo proposto concentra-se na integração de dados originados de diversas fontes relacionadas a saúde, em uma arquitetura em nuvem capaz de disponibilizar a visualização e compartilhamento de arquivos de imagens e metadados no padrão de comunicação na medicina. Podemos inferir através do modelo que esta arquitetura é capaz de facilitar a obtenção de informações importantes sobre o estado de saúde de um paciente através de um ambiente capaz de integrar diversos especialistas em diagnoses, oferecendo acesso transparente a servidores PACS hospedados em nuvens. Arquitetado de forma a apoderar-se dos recursos dessa infraestrutura, o modelo proposto viabilizaria acesso web via interface de usuário, para médicos e especialistas envolvidos no estudo, no momento necessário através de diferentes plataformas

Figura 12: Pilha de recursos oferecidos pelo modelo .



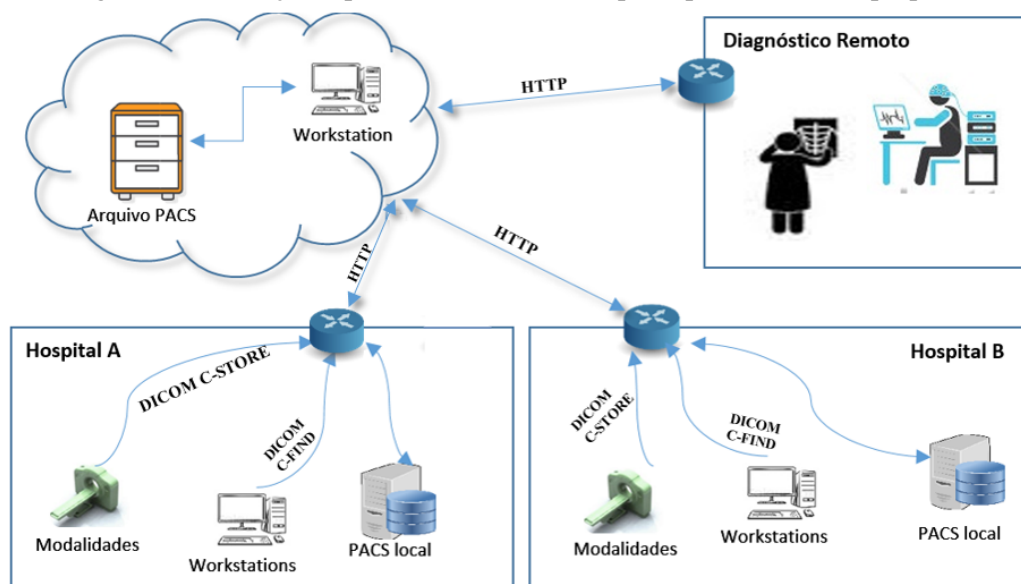
Fonte: elaborado pelo autor.

localizadas em diferentes locais. Oferecendo ainda garantias quanto identidade e privacidade dos dados acessados, mantendo conformidade com o que sugere a HIPAA.

Serão utilizados serviços *web service* para implementar a comunicação entre diferentes modalidades de aquisição de imagens em um sistema PACS e a nuvem como sugerem Bastião Silva, Costa e Oliveira (2012). Através da interpretação de comandos padrão DICOM, imagens podem ser obtidas diretamente dos diferentes dispositivos (modalidades) atuando no sistema e transmitidas via HTTP ou HTTPS para a nuvem. O modelo de comunicação sugerido apoia-se no modelo de referência OSI estabelecido, enquanto que o modelo de serviço caracteriza-se por um (PaaS) dedicado para PACS (DREYER et al., 2006).

Este modelo possui cinco características essenciais, compatíveis com a definição conhecida de computação em nuvem: auto-atendimento sob demanda, ao otimizar funções de rede de forma automática; acesso amplo a rede de qualquer lugar e a qualquer momento através do serviço de visualização; agrupamento de recursos de otimização da infraestrutura; elasticidade vertical e horizontal reativa e serviço medido (MELL; GRANCE, 2011). O padrão NEMA possibilita que o equipamento se comunique remotamente através de uma rede interna e a com-

Figura 13: Ilustração representando elementos principais do modelo proposto



Fonte: elaborado pelo autor.

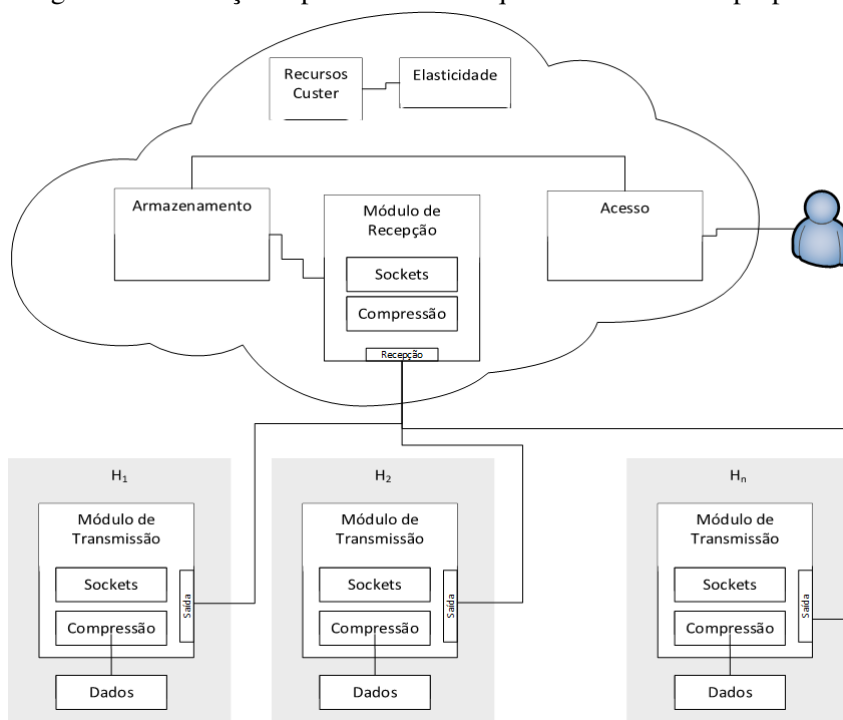
putação baseada na internet através de serviços *Web Service* (ISO:12052, 2016). O serviço principal do modelo proposto permitiria que a camada superior do processo de comunicação interpretasse, através de um *middleware*, instruções provenientes de servidores PACS localizados em redes internas de diferentes instituições. Sem alterar o fluxo de trabalho existente entregando para o cliente apenas uma interface de visualização de imagens de forma transparente.

A arquitetura proposta possui um módulo de transmissão com recursos para compressão dos dados e comunicação paralela disponível em cada instituição. Este módulo vai agilizar a transferência de grande quantidades de dados provenientes da rede interna, para o *middleware* de nuvem. Do lado do provedor existirá um módulo de recepção, responsável por estabelecer a comunicação com a diferentes instituições e descomprimir os dados recebidos para arquivamento. O sistema conta ainda com uma estação de visualização de onde consultas e evoluções podem ser realizadas em cada estudo como ilustra a Figura 14.

4.2.1 DICOM Gateway

A comunicação entre dispositivos de modalidades DICOM com o provedor será feita através de um módulo da arquitetura proposta, que atuaria como um *gateway*, agindo do lado do servidor para acessar dados via *Web Service* (Fig. 15). Este componente é parte importante da arquitetura sugerida e visa interconectar os serviços de armazenamento local, com arquivos hospedados na internet. Ao fornecer os requisitos de comunicação entre camadas neste padrão, este módulo ofereceria os recursos necessários para o armazenamento de dados provenientes de uma rede interna diretamente na nuvem. Esta interface de *gateway* suportaria ainda serviços DICOM que poderiam ser usados para consultar imagens médicas de arquivos hospedados em

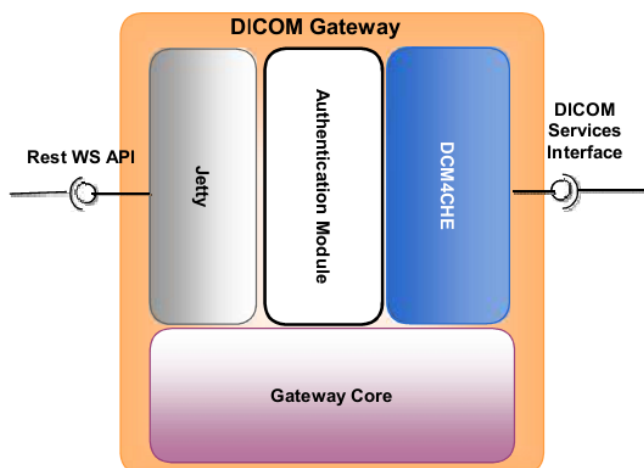
Figura 14: Ilustração representando a arquitetura do modelo proposto



Fonte: elaborado pelo autor.

PACS instalados na infraestrutura de nuvem (MELICIO MONTEIRO; COSTA; OLIVEIRA, 2013; SILVA et al., 2011).

Figura 15: Ilustração representando os módulos principais do DICOM Gateway



Fonte: retirado de (MELICIO MONTEIRO; COSTA; OLIVEIRA, 2013).

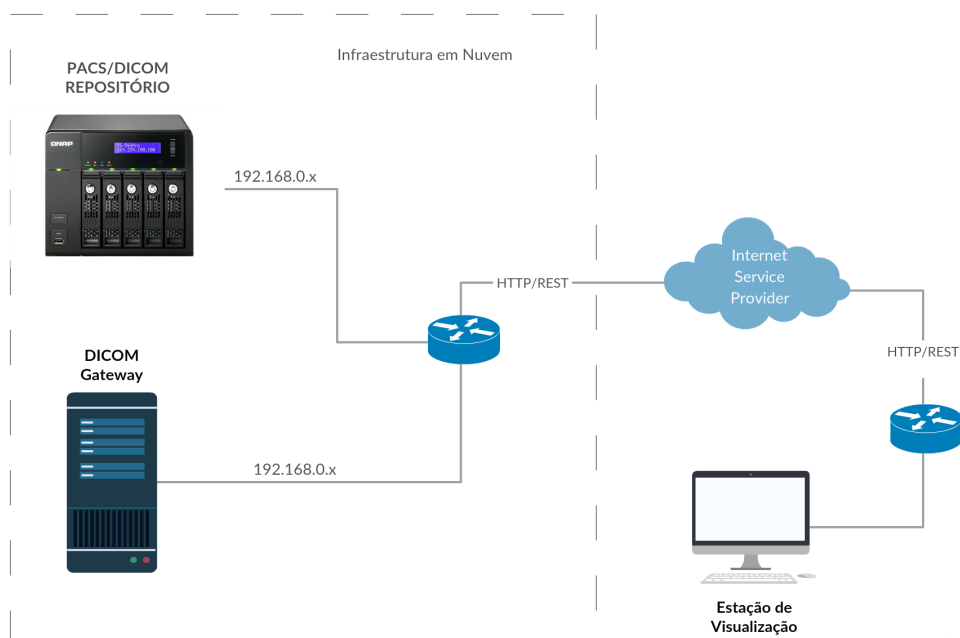
Este *gateway* teria como função principal fornecer uma interface entre a miríade de modalidades DICOM e alguns protocolos de internet. Estas funcionalidades poderiam ser desenvolvidas utilizando *Restfull Web Services*, conforme sugerem alguns autores. Ele funcionaria como uma ponte entre o arquivo PACS e o visualizador de cliente da Web implementando o proto-

colo DICOM de um lado e protocolo Web HTTP/XML no outro lado (Fig.15). Junto com esse módulo, um conjunto de serviços usados com mais frequência, poderiam ser implementados e estariam disponíveis através da interface sugerida. Este módulo apoia-se no trabalho proposto por alguns autores e alinha-se a arquitetura sugerida no modelo, na medida que oferece uma solução viável e já em desenvolvimento para tarefas reconhecidamente estratégicas a fim de estabelecer comunicação entre modalidades e a nuvem (MELICIO MONTEIRO; COSTA; OLIVEIRA, 2013).

4.2.2 Serviço de Visualização de Imagens DICOM

Parte da arquitetura proposta, uma estação de visualização de imagens DICOM, ilustrada pela Figura 16 é um módulo que oferece recursos de acesso e consulta aos dados armazenados na nuvem e ao repositório local de diferentes armazenamentos. O objetivo dessa estação de trabalho é fornecer sobretudo, acesso aos estudos em forma de imagens e diagnósticos evoluídos em registros individuais de cada paciente. Uma vez disponíveis para especialistas e médicos envolvidos no tratamento, esses estudos podem ser analisados e ainda o diagnóstico pode ser escrito com apoio ou não de uma ferramenta específica para conduzir a elaboração adequada do registro, garantindo que dados fundamentais ao estudo não sejam omitidos.

Figura 16: Ilustração representando um cliente Web para DICOM em nuvem



Fonte: elaborado pelo autor embasado em (MELICIO MONTEIRO; COSTA; OLIVEIRA, 2013).

Neste módulo da arquitetura sugerida os dados já armazenados no servidor hospedado na nuvem podem ser acessados e visualizados através de consultas a instâncias de banco de dados pela rede interna do *cluster* em uso. Estes dados ficam disponíveis para acesso externo através

de um serviço de controle de acesso, o qual fará a autenticação e controle de acesso aos dados. Ao abordar a funcionalidade de visualização de imagens Figura 16 dessa forma, o modelo será capaz de lidar com diferentes situações em que a consulta e visualização de imagens forem necessárias, principalmente quando o repositório não encontrar-se na rede local. A partir dessas estações de trabalho profissionais de diferentes instituições podem acessar os estudos disponíveis Melicio Monteiro, Costa e Oliveira (2013).

4.2.3 Tolerância a Falhas e Redundância de Instâncias

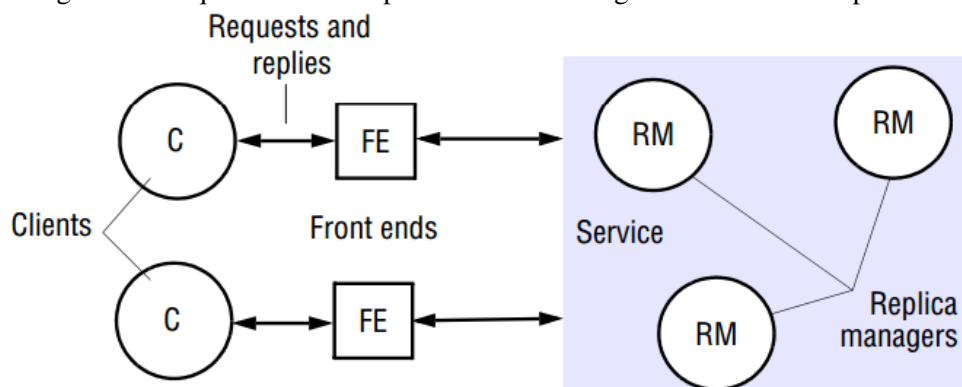
Considerando que todos os sistemas computacionais falham e que sistemas distribuídos falham de diversas maneiras, adotar uma estratégia para garantir a disponibilidade dos dados armazenados na nuvem é crucial. Tolerância a falha é a capacidade do sistema manter-se operacional mesmo depois da falha de alguns dos seus componentes. De maneira geral, pode obter-se tolerância a falhas com a redundância de hardware ou software. A plataforma em nuvem proporciona um ambiente para gerência de instâncias de alto nível, conferindo agilidade e rapidez no processo de reinicialização de uma instância, ou facilitando a recuperação de um estado anterior através de um *snapshot* do sistema (COULOURIS; DOLLIMORE; KINDBERG, 2012).

A fim de garantir alta disponibilidade dos dados armazenados, o sistema é capaz de tolerar falhas através da replicação redundante de instâncias em regiões de rede distintas do globo. A partir da infraestrutura adotada o sistema é capaz de gerar cópias de segurança dos dados adquiridos e automaticamente armazená-las em zonas diferenciadas de rede previamente definidas. Garantindo que os dados armazenados possam ser recuperados em caso de falhas ou quando requisitados. A segurança das comunicações está assegurada pelo SSL sobre HTTP, enquanto que o acesso aos recursos do sistema é estabelecido através de políticas de privilégios definidas e o acesso a recursos web é feito via autenticação.

No modelo geral de tolerância a falha os dados contidos em um *front-end* ou servidor são espelhados em uma réplica periodicamente, de forma que quando necessário esse sistema possam ser posto em produção. Em caso de falhas um gerenciador de réplicas redirecionaria o fluxo de dados para o endereço de rede da réplica, que assumiria as funções da máquina replicada, no menor intervalo de tempo possível, minimizando dessa maneira os prejuízos causados pela falha (Figura 17). Esse modelo geral pode ter sua eficiência melhorada ao ser aplicado em um ambiente de nuvem, caso em que um gerenciador de réplicas pode manusear instâncias em zonas de rede diferentes tornando o sistema mais seguro e confiável (COULOURIS; DOLLIMORE; KINDBERG, 2012).

A solução em questão deve ser testada e será adotada em diferentes bancos de dados, relacionais ou não, permitindo o armazenamento de informações em mais de um provedor. Esta possibilidade tem importância especial para estratégias de backup, para reduzir os tempos de download e aumentar a disponibilidade de dados. Mesmo se um servidor estiver comprometido, o modelo pode usar réplicas para restabelecer serviços ou restaurar informações.

Figura 17: Arquitetura básica para um modelo de gerência de dados replicados.



Fonte: retirado de (COULOURIS; DOLLIMORE; KINDBERG, 2012).

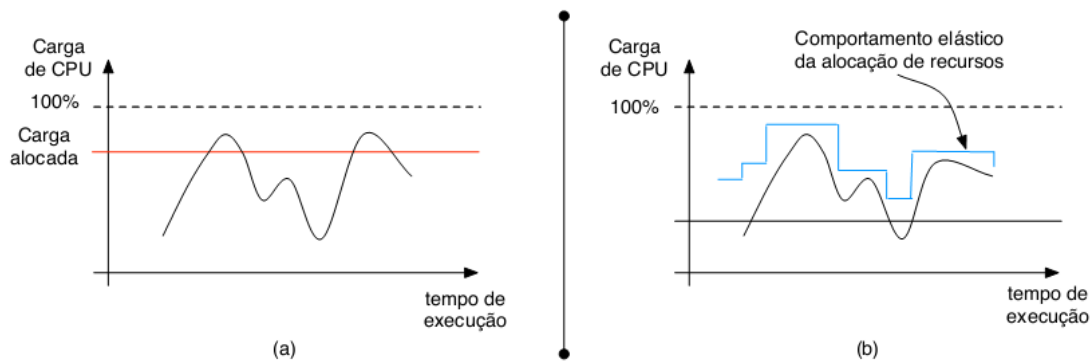
Provedores de nuvem frequentemente argumentam a favor de seus serviços, dizendo que os mesmos mantêm taxas de disponibilidade em torno de 99,9%. Tal argumento vem ao encontro das premissas do modelo que visam garantir alta disponibilidade e capacidade de acesso aos seus usuários. Em tais casos a disponibilidade de dados pertence aos provedores de nuvem, que alugam sua infraestrutura e oferecem tais garantias. Implantada de forma correta esta arquitetura nos permitiria ter um repositório PACS com instâncias replicadas em vários provedores de nuvem, concedendo redundância de dados (BASTIÃO SILVA; COSTA; OLIVEIRA, 2012).

4.2.4 Estruturas de Elasticidade

Elasticidade é uma das características mais importantes da computação em nuvem, faz parte dos recursos oferecidos pelo provedor e pode garantir o pleno funcionamento de determinados serviços durante picos de utilização. Através de agentes de monitoramento do provedor, ou com base nos dados coletados individualmente em cada instância, podemos decidir que ações de elasticidade podem ser tomadas, como aumentar o número de instâncias executando certa tarefa ou a possibilidade de desativar uma instância ociosa a determinado período de tempo. Cada ação está baseada em limites previamente definidos de ocupação de determinado recurso, e o fluxo de dados pode ser redirecionado para uma próxima instância caso um limite seja alcançado. Ou ainda se a taxa média de utilização de CPU mantiver um patamar durante determinado período de tempo uma instância pode ser desativada. No entanto, existe a possibilidade do sistema agir de forma estática com base em padrões de escalabilidade a serem adotados previamente pelo gerente do sistema (RIGHI et al., 2016; TOST; JESUS, 2013).

Ao adotar o modelo de computação em nuvem podemos estipular rotinas a fim de lidar com as carga de serviço que ultrapassem os recursos alocados previamente, sem comprometer desempenho e funcionalidades do sistema. Compreender os recursos disponíveis e disponibilizá-los de acordo com a carga de serviço (Fig 18) vai garantir uma economia nos custo final da operação. A abordagem reativa automática é tradicional em *middlewares* de nuvem comerci-

Figura 18: Comparação entre comportamento elástico e estático em nuvem.



Fonte: retirado de (RIGHI, 2013).

ais disponíveis na web. Existem ainda abordagens proativas usando técnicas de predição para antecipar o comportamento de carga do sistema em certo momento, e assim, agir a ações de elasticidade (RIGHI, 2013).

4.2.5 Padrões de Armazenamento

Ao final do desenvolvimento desse módulo o sistema projetado deverá ser capaz de gerenciar cargas de trabalho constantes e agir de forma ativa para armazenar os estudos em bancos de dados, relacionais ou não e replicar dados para backup automático em diferentes zonas de rede. O cliente terá acesso a essa informação através do serviço de visualização já mencionado. Não obstante, arquitetos do sistema podem realocar os recursos do modelo manualmente, através da manipulação direta das instâncias de armazenamento. Podendo criar réplicas adicionais de um banco dados através do serviço específico para gerenciamento, oferecido pelo provedor, ou ainda restaurar um estado anterior do sistema através de um *snapshot* global.

4.3 Questões de Desenvolvimento

O modelo proposto será testado utilizando infraestrutura disponibilizada pela Amazon S3, Ec2 e RDS, mas independe do provedor de nuvem adotado, uma vez que é uma arquitetura extensiva e abrangente capaz de ser implementada nas diferentes nuvens disponíveis no mercado, bem como em nuvens privadas desenvolvidas exclusivamente para este fim. A arquitetura elaborada nesta proposta almeja integrar o fluxo de trabalho existente em hospitais e clínicas, a um ambiente altamente escalável e pleno de recursos computacionais através de um *middleware* configurável para oferecer garantias de comunicação e serviços de rede. Compilado com uma aplicação para o usuário e uma interface de visualização.

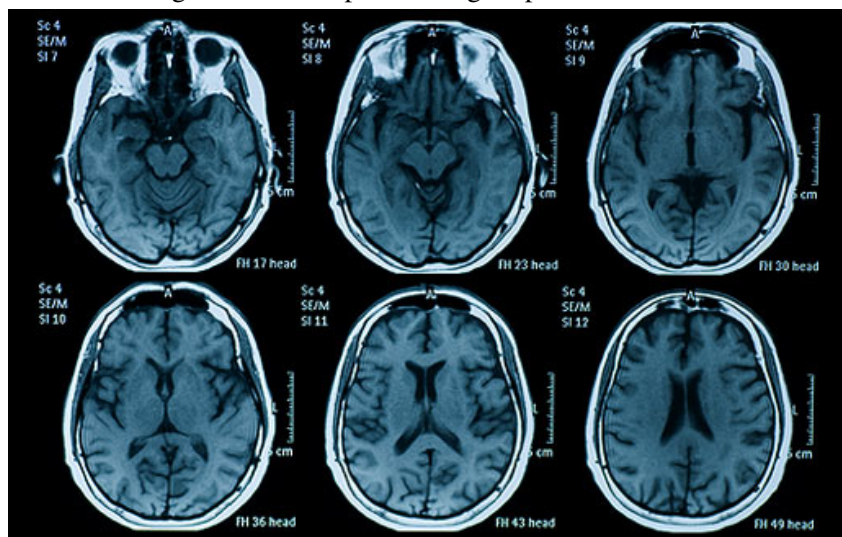
4.4 Metodologia de Avaliação

Para avaliar os resultados obtidos, serão feitas comparações entre diversas combinações das variáveis identificadas envolvidas no problema, descritas nas subseções seguintes. Criando dessa forma diferentes cenários onde poderão ser testadas as hipóteses elaboradas para o projeto. Os testes serão conduzidos utilizando-se de ferramentas como o JMeterTM, permitindo assim que um plano de testes possa ser elaborado embasado em elementos como contadores, controladores, temporizadores, etc. O conjunto de métricas desenvolvidas para avaliação desta proposta compõem um *Benchmark* para análise e estimativa de resultados.

4.4.1 Tipos de Imagem

Diferentes tipos de imagem podem gerar variações na velocidade de transmissão (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012). Tendo isso em vista, serão utilizadas imagens de CT (Tomografia Computadorizada) e de MRI (Ressonância Magnética) para observar o desempenho da tarefa de transmissão desses arquivos para a nuvem com base em diferentes técnicas de comunicação paralela e compactação escalável. Serão usados pacotes de dados referentes a estudos de casos, individualizados em registros de pacientes anônimos, contendo além das imagens de diferentes modalidades, as interpretações e evoluções inseridas pelos clínicos responsáveis.

Figura 19: Exemplo de imagem padrão DICOM.



Fonte: retirado de (PCIR, 2016).

Podemos caracterizar os dados utilizados para testes do modelo proposto como dados de saúde de uso secundário, onde as informações relacionadas a saúde pessoal são usadas indiretamente para análises, pesquisas, medidas de qualidade, entre outras, incluindo atividades estritamente comerciais. Ainda que crucial para melhorias nas estratégias em saúde de sistemas ao redor do mundo, o uso secundário desses dados apresenta preocupações relativas a natureza

privada das informações constantes em cada estudo. Devem ser tomadas medidas a fim de tornar esses dados anônimos antes de transmiti-los ampla e irrestritamente, mesmo que para fins legítimos Safran et al. (2007).

Embora o HIPAA se aplique às informações de saúde criadas ou mantidas por provedores de saúde, existem autores que identificam a existência de uma potencial falta de proteção dos dados pessoais de saúde, *Personal Health Information* (PHI), quando manipulados por entidades que não estão identificadas explicitamente pelas regras da HIPAA ou regulamentos específicos para cada caso de utilização. Indivíduos e organizações devem observar o que diz esta normatização internacional, para assegurar a proteção de todo o uso secundário de PHIs (SAFRAN et al., 2007).

4.4.2 Tipos de Rede

Testes em redes locais serão feitos como forma de isolar variáveis de interesse. Também serão feitos testes de transmissão pela internet para simular um sistema em produção. Devem ser utilizados protocolos de rede seguros como SSL sobre HTTP como sugere a HIPAA. Dessa forma será possível oferecer garantias de segurança, implementadas pelo modelo proposto para transmissão de informações sensíveis correlacionadas a pacientes e estudos interpretativos de diagnose.

Com base na qualidade da rede no momento da transmissão serão adotadas operações diferentes para melhorar o procedimento de comunicação, aumentando a eficiência da tarefa. Sabendo-se dos problemas de infraestrutura de internet recorrentes em diversas regiões em que a rede alcança, ao identificarmos as condições de funcionamento adequado do modelo em diferentes redes, poderemos agir de forma ativa no momento da transmissão de grandes quantidades de dados.

4.4.3 Compressão de Dados

Será avaliada a variação na velocidade de transmissão com e sem compressão dos dados. Desta forma será possível determinar a importância da compactação, considerando o *overhead* da função para compactar o arquivo na origem e descompactá-lo no destino. Como métrica de desempenho desta tarefa o *middleware* vai observar os resultados obtidos com a transmissão concorrente de dados bem como a transmissão em um único canal.

Existe a possibilidade de compactação escalável dos dados dessa forma serão testados o desempenho da rede de comunicação e baseado na latência da rede serão oferecidos níveis diferentes de compactação dentro do padrão DICOM. Deste modo podemos considerar a importância da compactação para a transmissão de imagens dentro de ambientes que reivindicam conformidade com a norma em estudo.

4.4.4 Número de Nós Computacionais

Será avaliada a capacidade de processamento e armazenamento de imagens DICOM na nuvem com diferente número de recursos computacionais. Valendo-se de diferentes instâncias de banco de dados para arquivamento dos estudos individuais e máquinas virtuais para processamento e consulta dessas imagens por clientes remotos, enquanto manipuladas dentro do provedor de infraestrutura computacional.

Serão implementadas soluções com diferentes nós computacionais a fim de avaliar o desempenho da nuvem de recursos para manipulação, armazenamento e consulta a estes estudos. Estes recursos estão disponíveis de forma escalável e podem ser acionados dinamicamente ou a partir de variáveis determinadas. Será possível descobrir quais os recursos mínimos necessários para garantir o funcionamento correto do modelo em questão. Bem como identificar os gargalos computacionais que irão exigir mais recursos do sistema.

4.4.5 Transmissão Concorrente de Imagens

DICOM é um protocolo de camada de aplicação. Isto é, ele é compatível com o conjunto de protocolos TCP/IP e, portanto, pode ser usado através da Internet. Na terminologia DICOM, a aplicação que utiliza o protocolo DICOM é chamada de *Application Entity* (AE). O método proposto utiliza um sistema paralelo de controle (TCP) para realizar a transferência da imagem entre duas AE. Essas conexões paralelas são implementadas no DICOM Protocol Storage Services ?. Para fornecer paralelismo, uma técnica *multi-threading* será utilizada nas interfaces. A implementação de Interfaces será desenvolvida em Java como sugerem Maani, Camorlinga e Arnason (2012).

Um importante serviço de armazenamento utilizado pelo protocolo DICOM é o *SOP service-object pair*, que é responsável pela transmissão de imagens entre dois AEs. Como o serviço SOP de armazenamento é responsável pelas principais cargas de dados, as melhorias nesse serviço influenciariam o tempo total de comunicação entre dois AEs. Uma abordagem comum é o uso de técnicas de compressão nos SOPs de armazenamento para reduzir o volume de dados e consequentemente acelerar o tempo de transmissão. No entanto, em muitos casos, especialmente em redes de alta velocidade, a sobrecarga de compressão degrada o tempo de transmissão (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012).

Nesse caso será observado o *speedup* e a eficiência implementada pelo algoritmo de transmissão em comparação aos resultados obtidos com o algoritmo de compactação identificados *a priori*.

4.4.6 Monitoramento de Consumo de Infraestrutura

Com o propósito de observar o consumo de recursos de infraestrutura expressos em máquinas virtuais, bancos de dados e configurações de rede, deve ser implementada uma métrica a fim de avaliar o aproveitamento no emprego da aplicação. Esses dados estão disponíveis nos principais provedores de nuvem em forma de relatórios de utilização de instâncias ao longo de determinado período de tempo, onde podem ser identificadas as tendências no uso de redes, processamento e armazenamento na infraestrutura. Essa etapa está diretamente associada ao custo da implementação e manutenção da arquitetura sugerida e é de grande importância para o projeto, pois esse possui escopo mínimo para sua implantação. Logo os custos devem ser pautados por essa decisão de projeto e o sistema deve ser capaz de prover os recursos oferecidos a um custo computacional dentro do escopo.

4.5 Desenvolvimento Preliminar

Atualmente apenas alguns elementos da arquitetura estão em desenvolvimento. Já existem as instâncias responsáveis pelo armazenamento das imagens e um conjunto de aproximadamente 9300 arquivos separados em 100 estudos individuais de imagens e dados de uso secundário. Esses estudos contêm arquivos de tomografia computadorizada (CT) sobre cabeça e pescoço, no formato DICOM (com extensões .dcm), e metadados com apontamentos referentes a cada caso. Também já encontram-se em desenvolvimento os serviços relacionados a transmissão paralela de dados e a escalabilidade dos recursos.

4.6 Testes Preliminares

Alguns testes já foram realizados, de forma preliminar, a fim de obter algumas das métricas definidas para futura avaliação do modelo. Esta avaliação será realizada medindo o consumo de recursos computacionais em nuvem, bem como o tempo gasto com a transmissão dos arquivos entre instituições e o provedor. Testes referentes a técnicas de compactação dos dados também já estão em andamento, porém sem resultados sólidos a serem acrescentados.

5 CONCLUSÃO

O grande número de imagens médicas geradas diariamente traz diversos desafios e oportunidades para a correta utilização destes dados em benefício do paciente. Usufruir dos recursos de infraestrutura oferecidos pela computação em nuvem para alavancar um modelo de compartilhamento e colaboração no diagnóstico baseado em imagens é o objetivo principal dessa proposta. Desta forma foram elaborados módulos que agregam-se a uma arquitetura organizada em nuvem, para solucionar lacunas identificadas nos modelos conhecidos de armazenamento e comunicação do padrão DICOM.

Foi proposto um modelo que identifique a melhor forma de transmitir, armazenar, consultar e recuperar imagens DICOM em servidores PACS instalados em nuvens computacionais desenvolvidas com essa finalidade. A metodologia utilizada para implementação desse ambiente de testes foi definida com base em um conjunto de métricas intrínsecas ao modelo, selecionadas a partir de uma análise de sensibilidade e das necessidades mínimas para um funcionamento correto da aplicação em questão.

5.1 Contribuições Esperadas

Recentes pesquisas exploram a capacidade da computação em nuvem para armazenamento e processamento de imagens e estudos no padrão DICOM em servidores PACS hospedados em nuvens computacionais conhecidas. Espera-se que a pesquisa contribua ao apresentar um modelo eficaz, capaz de ser adotado como solução ao implementar nuvens computacionais aplicadas a saúde em futuras situações reais. Até o momento em que esta proposta é elaborada, o modelo mostra-se conciso ao problema proposto e apto a resolver demandas relacionadas ao fluxo de trabalho de um sistema em produção. Esperamos ainda que o modelo a ser construído atue como amplificador nos recursos de apoio a diagnose nas atividades médicas em que estiver envolvido. Contribuindo no ganho de desempenho na aquisição de informações e dados referentes a estudos individuais.

5.2 Trabalhos Futuros

Tendo em vista o modelo apresentado, bem como seus detalhes de implementação, a Tabela 2 distribui no período de sete meses as atividades necessárias para o desdobramento do projeto e conclusão das contribuições esperadas. Durante o período estabelecido deverão ser desenvolvidas atividades individuais em módulos, a fim de contemplar a execução de todas as tarefas propostas no projeto.

5.3 Cronograma

Tabela 2: Coronograma de atividades

Etapa-Mês	Jan/17	Fev/17	Mar/17	Abr/17	Mai/17	Jun/17	Jul/17
Desenvolvimento do <i>Gateway</i>	✓	✓					
Definição do "Serviço de Visualização"	✓	✓					
Elaboração dos recursos de tolerância a falhas	✓	✓					
Desenvolvimento dos recursos de elasticidade	✓	✓					
Implementação do modelo e análise			✓				
Realização dos testes			✓				
Compilação e análise dos resultados				✓	✓		
Escrita de artigo sobre os resultados obtidos					✓	✓	
Escrita da dissertação de Mestrado					✓	✓	✓
Entrega da dissertação de Mestrado							✓
Defesa da dissertação de Mestrado							✓

Fonte: elaborado pelo autor.

REFERÊNCIAS

- ANUJA, M.; JEYAMALA, C. A Survey On Security Issues And Solutions For Storage And Exchange Of Medical Images In Cloud. **International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics**, [S.l.], v. 11, p. 27–32, 2015.
- BASTIÃO SILVA, L. A.; COSTA, C.; OLIVEIRA, J. L. A PACS archive architecture supported on cloud services. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 349–358, 2012.
- BENJAMIN, M.; ARADI, Y.; SHREIBER, R. From shared data to sharing workflow: merging pacs and teleradiology. **European Journal of Radiology**, [S.l.], v. 73, n. 1, p. 3–9, 2010.
- CORDEIRO, S. D. S.; SANTANA, F. S.; SUZUKI, K. M. F.; AZEVEDO-MARQUES, P. M. A risk analysis model for PACS environments in the cloud. **Proceedings - IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems**, [S.l.], v. 2015-July, p. 356–357, 2015.
- COULOURIS, G.; DOLLIMORE, J.; KINDBERG, T. **Distributed Systems: concepts and design**. [S.l.: s.n.], 2012. 772 p. v. 4.
- DCM4CHE. **Open Source Clinical Image and Object Management**. [Data do último acesso: 17-Novembro-2016].
- DOUKAS, C.; PLIAKAS, T.; MAGLOGIANNIS, I. Mobile healthcare information management utilizing Cloud Computing and Android OS. **2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC'10**, [S.l.], p. 1037–1040, 2010.
- DREYER, K. J.; HIRSCHORN, D. S.; THRALL, J. H.; MEHTA, A. **PACS: a guide to the digital revolution**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2006.
- HENDERSON, M.; BEHLEN, F. M.; PARISOT, C.; SIEGEL, E. L.; CHANNIN, D. S. Integrating the Healthcare Enterprise: a primer: part 4. the role of existing standards in the 1. **Radiographics**, [S.l.], v. 21, n. 6, p. 1597–1603, 2001.
- HIPAA, P. Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996. Public Law 104-191. **United States statutes at large**, [S.l.], v. 110, p. 1936–2103, 1996.
- HSU, W. Y. Clustering-based compression connected to cloud databases in telemedicine and long-term care applications. **Telematics and Informatics**, [S.l.], v. 34, n. 1, p. 299–310, 2017.
- ISO:12052, N. P. . **Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Standard**. (Data do último acesso: 07-Outubro-2016).
- JIN, Z.; CHEN, Y. Telemedicine in the cloud era Prospects and challenges. **IEEE Pervasive Computing**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 54–61, 2015.
- MAANI, R.; CAMORLINGA, S.; ARNASON, N. A parallel method to improve medical image transmission. **Journal of Digital Imaging**, [S.l.], v. 25, n. 1, p. 101–109, 2012.

MELICIO MONTEIRO, E. J.; COSTA, C.; OLIVEIRA, J. L. A DICOM viewer based on web technology. **2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services, Healthcom 2013**, [S.l.], n. Healthcom, p. 167–171, 2013.

MELL, P.; GRANCE, T. The NIST definition of cloud computing. **National Institute of Standards and Technology, Information Technology Laboratory**, [S.l.], 2011.

MILDENBERGER, P.; EICHELBERG, M.; MARTIN, E. Introduction to the DICOM standard. **European Radiology**, [S.l.], v. 12, n. 4, p. 920–927, 2002.

MOGHADAM, A.; KHORSHA, H.; ABASI, H. N.; HOSSEIN, S.; MOHAMMADIAN, M.; MALEKMARZBAN, A. Evaluation of PACS system with economic interests approach in 5th Azar Educational Hospital in Gorgan., [S.l.], v. 9, n. 5, p. 661–665, 2015.

MURDOCH, T. B.; DETSKY, A. S. The inevitable application of big data to health care. **Jama**, [S.l.], v. 309, n. 13, p. 1351–1352, 2013.

MUSTRA, M.; DELAC, K.; GRGIC, M. Overview of the DICOM standard. In: ELMAR, 2008. 50TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2008. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2008. v. 1, p. 39–44.

OJOG, I.; ARIAS-ESTRADA, M. A Cloud Scalable Platform for DICOM Image Analysis as a Tool for Remote Medical Support. **eTELEMED 2013, The ...**, [S.l.], n. c, p. 246–249, 2013.

PATEL, G. DICOM Medical Image Management the challenges and solutions: cloud as a service (caas). **2012 Third International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT'12)**, [S.l.], n. July, p. 1–5, 2012.

PCIR. **Patient Contributed Image Repository**. [Data do último acesso: 9-Novembro-2016].

PIANYKH, O. S. **Digital imaging and communications in medicine (DICOM): a practical introduction and survival guide**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2008.

QUINN, J. An HL7 (Health Level Seven) overview. **Journal of AHIMA/American Health Information Management Association**, [S.l.], v. 70, n. 7, p. 32–4, 1998.

RALLAPALLI, S.; GONDKAR, R.; KETAVARAPU, U. P. K. Impact of Processing and Analyzing Healthcare Big Data on Cloud Computing Environment by Implementing Hadoop Cluster. **Procedia Computer Science**, [S.l.], v. 85, p. 16–22, 2016.

RIGHI, R. D. R. Elasticidade em cloud computing: conceito, estado da arte e novos desafios. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 2–17, 2013.

RIGHI, R.; RODRIGUES, V. F.; Da Costa, C. A.; GALANTE, G.; De Bona, L. C. E.; FERRETO, T. Autoelastic: automatic resource elasticity for high performance applications in the cloud. **IEEE Transactions on Cloud Computing**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 6–19, 2016.

SAFRAN, C.; BLOOMROSEN, M.; HAMMOND, W.; LABKOFF, S.; MARKEL-FOX, S.; TANG, P. C.; DETMER, D. E. Toward a national framework for the secondary use of health data: an american medical informatics association white paper. **Journal of the American Medical Informatics Association**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 1–9, 2007.

SHAHPORI, R.; DOIG, C. Systematized Nomenclature of Medicine—Clinical Terms direction and its implications on critical care. **Journal of critical care**, [S.l.], v. 25, n. 2, p. 364–e1, 2010.

SHARMA, A.; PAN, T.; CAMBAZOGLU, B. B.; GURCAN, M.; KURC, T.; SALTZ, J. VirtualPACS - A federating gateway to access remote image data resources over the grid. **Journal of Digital Imaging**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 1–10, 2009.

SILVA, F. A. B. da. Big Data e Nuvens Computacionais Aplicacoes em Saude Publica e Genomica. **Journal of Health Informatics**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 73–79, 2016.

SILVA, L.; COSTA, C.; SILVA, A.; OLIVEIRA, J. L. A PACS Gateway to the Cloud. **6th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2011)**, [S.l.], p. 1–6, 2011.

TENG, C. C.; MITCHELL, J.; WALKER, C.; SWAN, A.; DAVILA, C.; HOWARD, D.; NEEDHAM, T. A medical image archive solution in the cloud. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING AND SERVICE SCIENCES, ICSESS 2010, 2010., 2010. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2010. p. 431–434.

TOST, A.; JESUS, J. d. **Escalabilidade e elasticidade para padrões de aplicativo virtual no IBM PureApplication System**. [Data do último acesso: 23-Novembro-2016].

VIANA-FERREIRA, C.; COSTA, C.; IEETA, D. A cloud based architecture for medical imaging services. **e-Health Networking**, [S.l.], n. Healthcom, p. 707–709, 2013.

WEISSER, G.; ENGELMANN, U.; RUGGIERO, S.; RUNA, A.; SCHRÖTER, A.; BAUR, S.; WALZ, M. Teleradiology applications with DICOM-e-mail. **European radiology**, [S.l.], v. 17, n. 5, p. 1331–1340, 2007.

YANG, C. T.; CHEN, L. T.; CHOU, W. L.; WANG, K. C. Implementation of a Medical Image File Accessing System on cloud computing. **Proceedings - 2010 13th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering, CSE 2010**, [S.l.], p. 321–326, 2010.