

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

PS2DICOM: EXPLORANDO O PARADIGMA *PUBLISH/SUBSCRIBE* E A
ELASTICIDADE EM NÍVEIS APLICADOS AO PROCEDIMENTO DE TELEMEDICINA

SÃO LEOPOLDO
2017

Euclides Palma Paim

PS2DICOM: EXPLORANDO O PARADIGMA *PUBLISH/SUBSCRIBE* E A
ELASTICIDADE EM NÍVEIS APLICADOS AO PROCEDIMENTO DE TELEMEDICINA

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
2017

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Paim, Euclides Palma

PS2DICOM: Explorando o paradigma *Publish/Subscribe* e a elasticidade em níveis aplicados ao procedimento de Telemedicina / Euclides Palma Paim — 2017.

76 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, São Leopoldo, 2017.

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

1. Computação em Nuvem. 2. DICOM. 3. Publicar/Assinar. 4. Telemedicina. I. Título.

CDU 004.61

Bibliotecário responsável: Alessandro Dietrich — CRB 10/2338

(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.)

À minha família.

The human spirit must prevail over technology.
— ALBERT EINSTEIN

RESUMO

Imagens médicas são usadas diariamente para apoio ao diagnóstico em diferentes áreas da Radiologia no mundo todo. Essas imagens seguem uma padronização internacional definida pela ISO 12052, conhecida como padrão DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). Cada instituição que reivindica conformidade com esta norma, possui seus próprios serviços de armazenamento, sistemas de visualização e processamento específicos para esses dados. No entanto, há uma grande necessidade de que essas imagens sejam analisadas por diferentes especialistas, a fim de que cada caso possa ser discutido de forma ampla, na busca do melhor tratamento para cada patologia. A indisponibilidade de dados em tempo real para a avaliação médica especializada impacta direta e profundamente no sucesso terapêutico. O modelo de computação em nuvem tem as características necessárias para garantir que estas imagens se encontrem ao alcance dos profissionais mais recomendados para cada caso, aptos a oferecer o melhor atendimento. A grande quantidade de recursos disponíveis em nuvem, para lidar com esses dados de forma escalável, facilita a criação de uma infraestrutura para apoio ao diagnóstico à distância através de recursos de Telemedicina. Tomando como base o paradigma computacional Publicar/Assinar, podemos estabelecer comunicação em tempo real para solucionar situações no campo da saúde, como comunicação entre hospitais ou clínicas e entre médicos, enfermeiros e especialistas envolvidos no diagnóstico. Em ambientes clínicos que lidam com transmissão massiva de imagens em alta resolução no padrão DICOM, 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 coletar, comprimir, armazenar e recuperar dados utilizando o paradigma Publicar/Assinar e dois níveis de escalabilidade. O modelo PS2DICOM é estabelecido como um *middleware* que oferece recursos de infraestrutura na camada IaaS (*Infrastructure as a Service*), apoiando as tarefas de transmissão e armazenamento de arquivos dentro do padrão DICOM. O sistema oferece compactação dos dados com diferentes intensidades, conforme largura de banda disponível. O modelo PS2DICOM conta ainda com dois níveis de balanceamento de carga e com a elasticidade reativa oferecida pela infraestrutura. A pesquisa contribui ao apresentar uma arquitetura eficaz para otimizar tarefas de rede, capaz de ser adotada como solução ao desenvolver aplicações voltadas para nuvens computacionais aplicadas a saúde em futuras situações reais. A arquitetura foi testada utilizando um protótipo com módulos distintos, desenvolvidos para cada serviço específico oferecido e mostrou-se eficiente como solução para os problemas em questão. Seus detalhes são descritos nos capítulos seguintes, bem como sua implementação, que corrobora a viabilidade do modelo.

Palavras-chave: Computação em Nuvem. DICOM. Publicar/Assinar. Telemedicina.

ABSTRACT

Medical images are used daily to support diagnosis in different areas of Radiology throughout the world. These images follow an international standardization defined by ISO 12052, known as DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) standard. Each institution that claims compliance with this standard has its own storage services, visualization and processing systems specific to that data. However, there is a great need for these images to be analyzed by different specialists, so that each case can be discussed in a broad way, in the search for the best treatment for each pathology. The unavailability of real-time data for specialized medical evaluation has a direct and profound impact on therapeutic success. The cloud computing model has the necessary characteristics to ensure that these images are within the reach of the professionals most recommended for each case, able to offer the best service. The large amount of resources available in the cloud to handle this data in a scalable way facilitates the creation of an infrastructure to support remote diagnosis through Telemedicine resources. Based on the computational paradigm Publish/Subscribe, we can establish real-time communication to solve situations in the field of health, such as communication between hospitals or clinics and between doctors, nurses and experts involved in the diagnosis. In clinical environments that deal with massive transmission of high resolution images in the DICOM standard, as well as in environments with network performance problems, transmitting these images in a timely manner, storing and making them available securely is a problem without a spontaneous solution. In this way, this work proposes a computational cloud-based architecture to collect, compress, store and retrieve data using the Publish/Subscribe paradigm and two levels of scalability. The PS2DICOM model is established as a middleware that provides infrastructure resources in the IaaS (Infrastructure as a Service) layer, supporting the tasks of transmitting and storing files within the DICOM standard. The system offers data compression with different intensities, depending on available bandwidth. The PS2DICOM model also has two levels of load balancing and the reactive elasticity offered by the infrastructure. The research contributes to presenting an efficient architecture 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. The architecture was tested using a prototype with distinct modules, developed for each specific service offered and proved to be efficient as a solution to the problems in question. Its details are described in the following chapters, as well as its implementation, which corroborates the viability of the model.

Keywords: Cloud Computing. DICOM. Publish/Subscribe. Telemedicine.

LISTA DE FIGURAS

1	Visão geral do modelo atual.	20
2	Ilustração representando a lacuna do modelo atual	21
3	Visão geral do modelo sugerido.	23
4	Comparação entre comportamento elástico e estático em nuvem.	28
5	Componentes comuns em um balanceador de carga.	29
6	DICOM como um protocolo da camada de aplicação.	32
7	Fluxo de comunicação em PACS.	37
8	Diferentes aplicações de Telemedicina baseadas em nuvem computacional.	39
9	Visão geral da arquitetura sugerida pelo autor.	43
10	Dados referentes ao registro em questão.	44
11	Visão geral da arquitetura sugerida pelo autor.	45
12	Visão geral da arquitetura sugerida pelo autor.	46
13	Imagem padrão DICOM mostrando diferentes regiões de interesse.	47
14	Visão de alto nível apresentando as características fundamentais do modelo PS2DICOM.	52
15	Arquitetura do modelo PS2DICOM.	53
16	Diagrama representando o conceito <i>Pub/Sub</i> baseado em tópicos	56
17	Componentes do primeiro nível de escalonamento.	57
18	Componentes do segundo nível de escalonamento.	58
19	Número de mensagens/s em tamanho padrão produzidas e consumidas.	66
20	Número de mensagens/s com tamanho modificado produzidas e consumidas.	66
21	<i>Throughput</i> em um cenário com múltiplos produtores/consumidores.	67
22	Tempo obtido aplicando diferentes algoritmos de compressão as imagens DICOM.	68
23	Gráficos demonstrando o comportamento do balanceador de carga <i>Level 1</i>	69
24	Gráficos demonstrando o comportamento do balanceador de carga <i>Level 2</i>	70

LISTA DE TABELAS

1	Número de artigos identificados em cada fase da pesquisa.	42
2	Avaliação dos trabalhos relacionados vinculados a características do modelo	49
3	Tempo de <i>upload</i> utilizando diferentes graus de compressão.	65
4	Tempo de <i>upload</i> utilizando diferentes graus de compressão.	65
5	Contribuições do modelo PS2DICOM equiparado aos trabalhos relacionados com base nas características previamente definidas.	72

LISTA DE SIGLAS

AE	Application Entity
API	Application Programming Interface
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
TC	Tomografia Computadorizada
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
ECM	Enterprise Content Management
EMR	Electronic Medical Records
EHR	Electronic Health Records
HDFS	Hadoop Distributed File Systems
HIPAA	Health Insurance Portability and Accountability Act
IaaS	Infrastructure as a Service
IoT	Internet of Things
RM	Ressonância Magnética
NIST	National Institute of Standards and Technology
OMS	Organização Mundial da Saúde
OSI	Open System Interconnection
PaaS	Platform 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
URL	Uniform Resource Locator
VPN	Virtual Private Network
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Motivação	20
1.2 Questão de Pesquisa	21
1.3 Objetivos	22
1.4 Organização do Texto	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 Computação em Nuvem	25
2.1.1 Características Principais	25
2.1.2 Modelos de Serviços	26
2.1.3 Modelos de Implantação	27
2.1.4 Elasticidade	28
2.1.5 Balanceamento de Carga	29
2.2 DICOM - Digital Imaging and Communications in Medicine	29
2.2.1 Escopo Geral	30
2.2.2 Características Principais	31
2.2.3 Áreas de Aplicação	32
2.2.4 Padrões e Normas Relacionadas	33
2.2.5 Recomendações e Desafios	34
2.3 PACS - Picture Archiving and Communication Systems	34
2.3.1 Escopo Geral	35
2.3.2 Características Principais	35
2.3.3 Modalidades e Fluxo de Dados em PACS	36
2.3.4 Desafios e Oportunidades para PACS	37
2.4 Telemedicina	38
2.5 Sistemas de Notificação de Eventos Distribuídos	39
2.6 Compressão Adaptativa	40
3 TRABALHOS RELACIONADOS	41
3.1 Metodologia de Pesquisa	41
3.2 Técnicas de Comunicação Utilizando Pub/Sub	42
3.2.1 A Large-Scale Data Collection Scheme for Distributed Topic-Based Pub/Sub	42
3.2.2 Systems and Devices for Encrypting, Converting and Interacting with Medical Images Using a Mobile Device	43
3.2.3 Healthcare Systems Integration Using Real Time Publish Subscribe (RTPS) Middleware	44
3.3 Técnicas de Comunicação no Padrão DICOM	45
3.3.1 GIFT-Cloud: A Data Sharing and Collaboration Platform for Medical Imaging Research	45
3.3.2 Implementation of a Medical Image File Accessing System on cloud computing	46
3.4 Técnicas de Compressão de Imagens Médicas	47
3.4.1 ROI Based Medical Image Compression for Telemedicine Application	47
3.4.2 Clustering-based Compression Connected to Cloud Databases in Telemedicine and Long-term Care Applications	48
3.5 Análise	48

4	MODELO PS2DICOM	51
4.1	Decisões de Projeto	51
4.2	Arquitetura	52
4.3	Autenticação e Avaliação da Capacidade de Transmissão	54
4.4	Controlador de Notificações <i>Pub/Sub</i>	55
4.5	Elasticidade <i>Level 1 Brokers</i>	56
4.6	Elasticidade <i>Level 2 Bancos de Dados</i>	57
4.7	Considerações Parciais	58
5	METODOLOGIA	59
5.1	Questões de Desenvolvimento	59
5.1.1	Verificador de Rede	60
5.1.2	Controlador de Compressão	60
5.1.3	Controlador de Armazenamento	61
5.1.4	Controlador de Notificações <i>Pub/Sub</i>	61
5.2	Parâmetros e Cenários	62
5.3	Cargas de Trabalho e Infraestrutura	62
5.4	Métricas de Avaliação	62
6	RESULTADOS	65
6.1	Tempos de Execução	65
6.2	Mensagens por Segundo	66
6.3	Níveis de Compressão	67
6.4	Balanceamento de Carga <i>Level 1</i>	68
6.5	Balanceamento de Carga <i>Level 2</i>	69
6.6	Comportamento do Sistema	70
7	CONCLUSÃO	71
7.1	Contribuições	71
7.2	Trabalhos Futuros	72
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

A Telemedicina constitui uma importante ferramenta para prestação de serviços médicos, é definida pela WHO (*World Health Organization*), como uma forma de prestação de serviços de saúde, onde a distância é um fator crítico e onde há uso de TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação) por profissionais de saúde, para o intercâmbio de informações válidas para o diagnóstico, tratamento e prevenção de doenças, pesquisa, bem como para a educação continuada de prestadores de cuidados de saúde (WHO, 1998). 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 (MALDONADO; MARQUES; CRUZ, 2016; KAUR; WASSON, 2015). É comum a utilização de recursos de Telemedicina quando não há disponibilidade de um médico especialista, para realização de consultas remotas. Frequentemente existe a necessidade da transmissão 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.

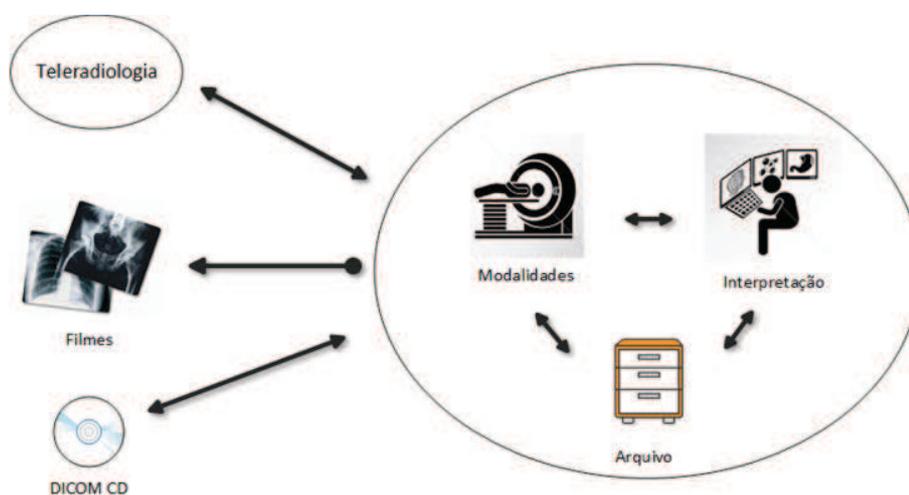
Neste contexto a transmissão e armazenamento de arquivos no padrão DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), que geram grandes quantidades de dados, torna-se um agravante no tempo de interpretação e diagnóstico de um exame. O acesso ubíquo aos dados de saúde é considerado essencial para a elaboração do tratamento adequados de certas enfermidades, bem como para o atendimento ágil e em tempo hábil, podendo impactar diretamente no sucesso do esforço terapêutico (DOUKAS; PLIAKAS; MAGLOGIANNIS, 2010). Nesse caso, a utilização de recursos computacionais hospedados em nuvem, fornece um modelo que permite acesso ágil e conveniente a saúde, automatiza tarefas, e escala o número de serviços ativos, aumentando a eficiência do diagnóstico médico.

Atualmente há uma grande demanda de recursos computacionais por hospitais, clínicas ou consultórios e podemos identificar a necessidade de prover escalabilidade de infraestrutura para esses ambientes, para tornar essas instituições mais eficientes e produtivas. 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 computação em nuvem e a utilização de técnicas de compressão de arquivos que minimizam o tempo de comunicação de dados (JIN; CHEN, 2015; MALDONADO; MARQUES; CRUZ, 2016; MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012). Nem todas consideram a utilização de sistemas de notificação de eventos distribuídos, ou a qualidade da rede no momento da transmissão de imagens dentro do padrão DICOM.

1.1 Motivação

Imagens médicas desempenham um papel crucial na Telemedicina e proporcionam a possibilidade de um diagnóstico mais preciso e com menores taxas de insucesso terapêutico. Estas imagens no entanto, consomem uma grande quantidade de recursos para serem armazenadas ou transmitidas. Verifica-se a necessidade de que tais imagens sejam analisadas por diferentes especialistas com o propósito de facilitar o diagnóstico (ANUJA; JEYAMALA, 2015). Porém, há poucas formas de compartilhamento desses arquivos atualmente descritas na norma DICOM (ISO:12052, 2016), como sugere a Figura 1. Além disso, essa troca deve acontecer em tempo real, a fim de que o melhor tratamento possa ser posto em prática dentro do menor tempo possível.

Figura 1: Visão geral do modelo atual.

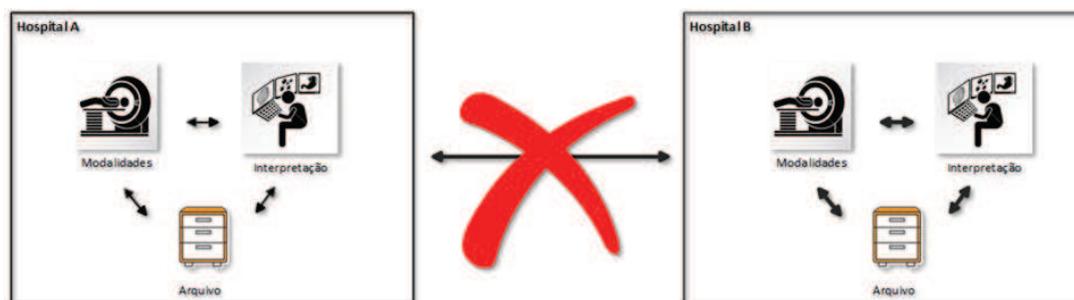


Fonte: elaborado pelo autor.

Há uma demanda variável por recursos computacionais utilizados para manter um sistema de armazenamento de imagens médicas instalado fisicamente. Esses servidores, chamados de PACS *Picture Archiving and Communication Systems*, carecem de recursos de comunicação entre redes distintas, como ilustra a Figura 2, onde hospitais distintos não possuem canais de comunicação entre seus serviços de imagens médicas (DOEL et al., 2017). Considerando o potencial escalar de geração de dados com que provedores de saúde têm que lidar e as características de elasticidade que o modelo de nuvem oferece para lidar com esses dados, uma solução natural seria adotar a nuvem para escalar a transmissão e o armazenamento, bem como os metadados relacionados (OJOG; ARIAS-ESTRADA, 2013; TENG et al., 2010).

Nesse contexto, os trabalhos encontrados consideram apenas parcialmente o problema e não necessariamente contemplam todo o procedimento de comunicação utilizando a nuvem para transmissão e armazenamento desses arquivos. Nem todos os modelos abordam a transmissão em tempo real de imagens em ambientes heterogêneos (SILVA, 2016), tampouco consideram a utilização de técnicas de compactação sem perdas no momento da transmissão. Há ainda

Figura 2: Ilustração representando a lacuna do modelo atual



Fonte: elaborado pelo autor.

modelos que fornecem disponibilidade através de soluções na nuvem, porém, não abordam compressão sem perdas para os arquivos em questão, ou ignoram a segurança e autenticidade dos arquivos armazenados como sugere Cordeiro et al. (2015).

1.2 Questão de Pesquisa

A questão de pesquisa que esse modelo busca responder é: *Como pode ser desenvolvido um modelo de compartilhamento de imagens DICOM, que ofereça otimização de desempenho na captura e transferência de dados entre hospitais/clínicas, médicos/especialistas e a nuvem de forma escalável?*

Esse trabalho descreve uma arquitetura para transmissão, compressão adaptativa e armazenamento de arquivos dentro do padrão de interoperabilidade para dispositivos de obtenção de imagens médicas (DICOM), utilizando recursos em nuvem e o paradigma *Publish/Subscribe*. 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 à distância, engajados em determinado estudo, através do compartilhamento de acesso a imagens médicas e metadados constantes em pacotes de dados individuais de pacientes através da nuvem. A plataforma proposta segue uma arquitetura com níveis de elasticidade, sendo um para recursos de transmissão e outro para armazenamento e desenvolve uma abordagem que permite separar os processos de apresentação, comunicação e arquivamento em módulos distintos. Dessa forma o sistema pode ser dimensionado e o desempenho melhorado. A ideia é que a arquitetura ofereça comunicação entre diferentes sistemas operando no padrão DICOM, através de troca de mensagens baseadas em notificação de eventos distribuídos, sem prejudicar o fluxo de trabalho do sistema atuais, permitindo um maior controle sobre a demanda de mensagens provenientes da rede.

1.3 Objetivos

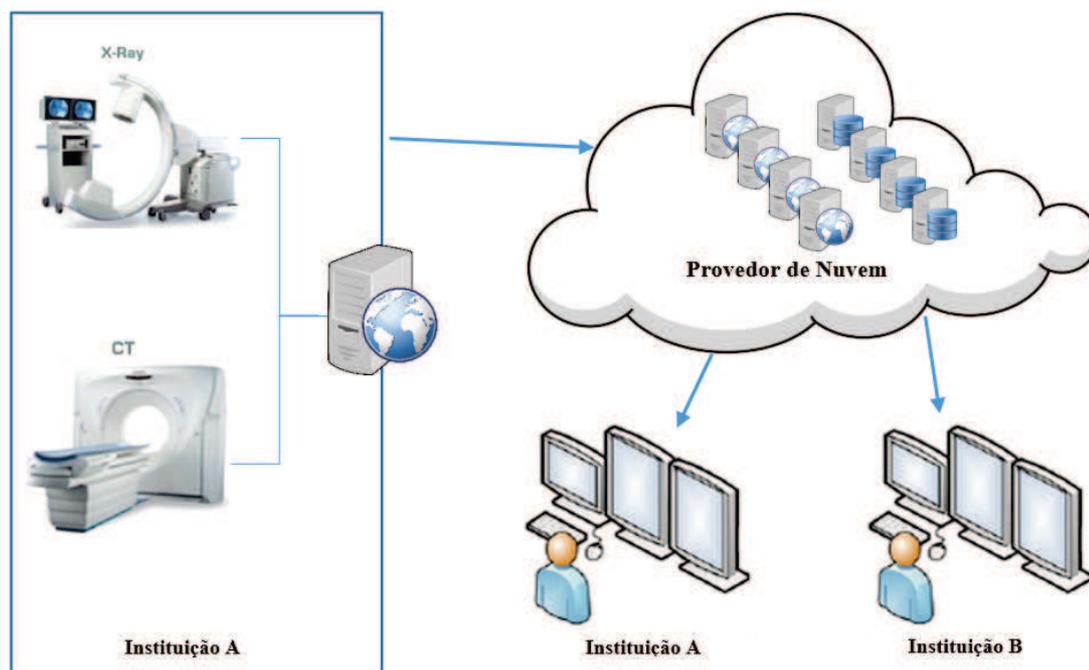
O objetivo geral desse trabalho é desenvolver um modelo multinível para Telemedicina apoiado na utilização de recursos computacionais disponibilizados em nuvem, com base no modelo de serviço (IaaS), utilizando o paradigma de comunicação Publicar/Assinar, para otimizar o tempo de transmissão de imagens no padrão DICOM. O modelo será dotado de um serviço para definição da qualidade da rede, a fim de aplicar diferentes níveis de compressão ao conjunto de dados em questão. O modelo de serviço (IaaS) fornece a infraestrutura necessária para o desenvolvimento de uma arquitetura capaz de prover soluções para tarefas em rede no padrão DICOM. Tais tarefas, provenientes de organizações de saúde heterogêneas, podem ser tratadas da melhor forma através da utilização de módulos baseados em nuvens computacionais como sugere (VIANA-FERREIRA; COSTA; IEETA, 2013). Segundo Patel (2012), essa é uma solução adequada e que fornece um ambiente dinâmico, facilitando o rápido desenvolvimento de soluções com pouca sobrecarga.

A arquitetura descreve a utilização dos recursos disponibilizados pela computação em nuvem para criar uma infraestrutura que explore o compartilhamento principalmente através de imagens, para médicos e especialistas. Uma vez interligados, este modelo oferece desacoplamento físico e temporal aos dados de pacientes localizados em diferentes hospitais, por múltiplos profissionais de forma assíncrona ou em tempo real. Esse *middleware* será capaz de integrar de forma transparente todos os interessados no estudo, separando cada caso médico em tópicos específicos utilizados para o diagnóstico através de imagens. Ao oferecer agilidade na comunicação entre a equipe de saúde, essa arquitetura pode tornar as esperas menores e os diagnósticos mais precisos. Não obstante, oferece recursos para melhorar o desempenho na comunicação, bem como dos dados armazenados remotamente, utilizando técnicas de compressão adaptativas. Dado o alto grau de confidencialidade e a privacidade das informações relacionadas a saúde, o modelo observa as recomendações do HIPAA (1996).

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 na medicina;
- (iii) Analisar as técnicas encontradas nos trabalhos relacionados para armazenamento de arquivos médicos na nuvem;
- (iv) Desenvolver uma arquitetura que utilize essas técnicas e promova colaboração entre entidades, clínicas e especialistas;
- (v) Desenvolver uma protótipo do modelo para realização de testes;

Figura 3: Visão geral do modelo sugerido.



Fonte: elaborado pelo autor.

- (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 dissertação possui sete capítulos e está organizada do seguinte modo: o Capítulo 2 contém a fundamentação teórica onde são descritas as 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 PS2DICOM e apresenta a arquitetura do projeto em estudo, enquanto o Capítulo 5 discute a metodologia aplicada, o Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos na pesquisa e o Capítulo 7 conclui esta dissertação salientando as contribuições e trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo elucidar os conceitos fundamentais para o desenvolvimento desta proposta. O capítulo está dividido em Seções 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

A computação em nuvem pode ser definida 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 (MELL; GRANCE, 2011; PUTHAL et al., 2015). 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 em tempo real quase sem necessidade de gerenciamento ou interação para configuração por parte do cliente como consta em (MELL; GRANCE, 2011; PUTHAL et al., 2015; VARIA; MATHEW, 2014).

2.1.1 Características Principais

O NIST (*National Institute of Standards and Technology*) 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). Há ainda quatro formas de implantação da computação em nuvem definidas pelo instituto conforme os níveis de privacidade (MELL; GRANCE, 2011; PUTHAL et al., 2015). 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:

O consumidor pode, por 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. Os recursos mencionados anteriormente estão disponíveis através da rede e são acessados por meio do *browser*, SDK do *middleware* de nuvem ou linha de comando, através de equipamento em diferentes plataformas, como por exemplo, esta-

ções de trabalho ou dispositivos móveis. Garantindo dessa forma, amplo acesso ao conjunto de recursos disponibilizados em cada solução adotada (MELL; GRANCE, 2011; PUTHAL et al., 2015).

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 conflito com os demais clientes e normalmente não tem controle sobre a localização exata dos recursos fornecidos. 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 provedor 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).

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 como consta em Mell e Grance (2011), cada modelo adota características de acordo com o grau de controle que cada usuário tem em relação a infraestrutura. O cliente de cada modelo pode controlar apenas alguns aplicativos ou tomar decisões quanto a melhor plataforma operacional adotar. O cliente pode até mesmo exercer controle sobre a infraestrutura decidindo qual a melhor configuração de recursos adotar.

- (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 sobre a infraestrutura de nuvem subjacente diretamente, ficando esse a cargo do provedor. Contudo, o cliente pode realizar configurações específicas do aplicativo oferecidas pelo desenvolvedor (MELL; GRANCE, 2011; PUTHAL et al., 2015).
- (ii) Plataforma como um Serviço (PaaS): Neste modelo os recursos oferecidos ao consumi-

dor 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 tem acesso apenas aos recursos da plataforma, não podendo controlar diretamente as configurações de hardware por exemplo, incluindo redes, 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; PUTHAL et al., 2015).

- (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 lidar com diversos softwares e ainda instalar sistemas operacionais e aplicativos. O consumidor não tem controle sobre o hardware do provedor de nuvem diretamente, mas tem a liberdade de controlar 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; PUTHAL et al., 2015).

2.1.3 Modelos de Implantação

Existem ainda formas de implantação, separando tipos de nuvens computacionais conforme suas características de privacidade em quatro grupos. Em nuvens privadas 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. 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; PUTHAL et al., 2015).

Ao adotarmos nuvem pública estamos compartilhando a infraestrutura de um provedor, 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. 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; PUTHAL et al., 2015).

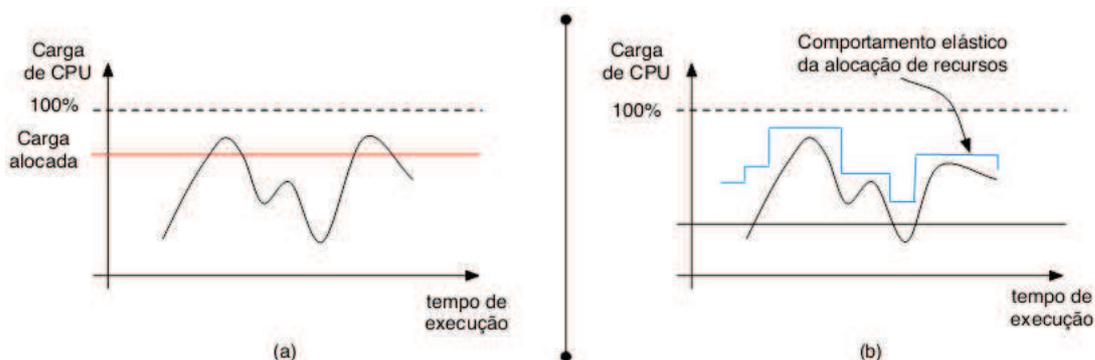
Organizações de pesquisa como o Instituto *Gartner Inc*, sugerem que os profissionais de saúde estão migrando para um modelo de software como serviço (SaaS), que é fornecido pela maioria dos provedores de serviços em nuvem. Para facilitar a realização de tarefas complexas, a computação em nuvem é uma arquitetura dominante, e pode eficientemente realizar cálculos de dados em larga escala (RALLAPALLI; GONDKAR; KETAVARAPU, 2016). A fim de proporcionar maior qualidade no atendimento, diversos profissionais devem trocar informações sobre os pacientes. Esses dados, frequentemente são sigilosos e devem ser transmitidos de forma privada e segura. Devido a grande quantidade e ainda os diversos formatos, o ambiente de nuvem apresenta-se como a forma mais eficiente de armazenar e transmitir essa informação.

Dada a grande disponibilidade de recursos computacionais oferecidos pela computação em nuvem e o potencial disruptivo dessa arquitetura, a sua utilização 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 no Capítulo 3. A adoção dessa infraestrutura para armazenamento, manipulação de dados e consulta em servidores PACS deve gerar economia de recursos e facilidades no gerenciamento de dados.

2.1.4 Elasticidade

A elasticidade da capacidade computacional à disposição de uma tarefa é característica fundamental oferecida pelo modelo de computação em nuvem (LEHRIG; EIKERLING; BECKER, 2015; RIGHI, 2013). Com base em planos de escalabilidade, podemos definir quando e como modificar a quantidade de recursos disponíveis; essa decisão pode ser tomada na ocorrência de uma condição específica de forma dinâmica ou ainda de maneira programada previamente. O principal objetivo do uso de técnicas de escalabilidade é utilizar somente os recursos necessários para cada tarefa, evitando o desperdício e o custo adicional do uso da nuvem.

Figura 4: Comparação entre comportamento elástico e estático em nuvem.

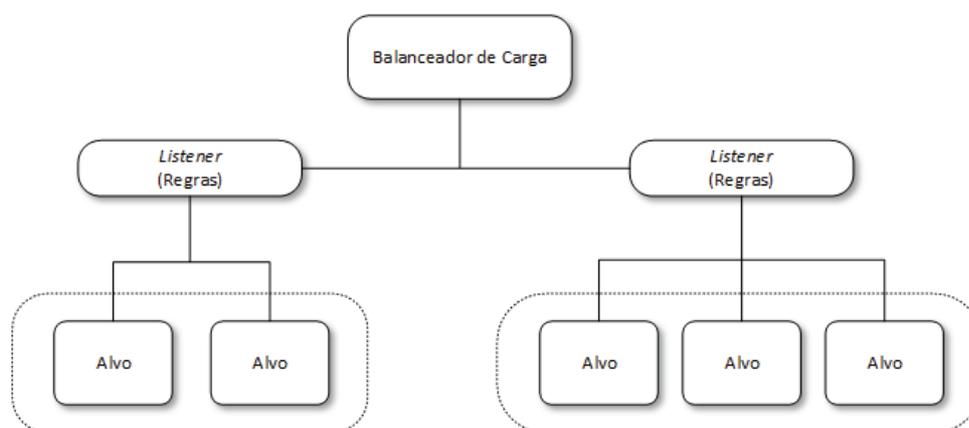


Fonte: retirado de (RIGHI, 2013).

2.1.5 Balanceamento de Carga

Em nuvens computacionais é comum a utilização de um balanceador de carga (XU; TIAN; BUYYA, 2017; MILANI; NAVIMIPOUR, 2016; SINGH; JUNEJA; MALHOTRA, 2015) como um ponto único de contato com os clientes. Cada balanceador de carga pode receber diferentes requisições de acesso utilizando protocolos e portas distintos, e encaminhar essas solicitações para diferentes recursos de acordo com as condições, alvos e prioridades configuradas de antemão. Estes sistemas distribuem os pedidos provenientes de diferentes fontes com base em métricas e algoritmos definidos, podendo balancear o uso de VMs, disco ou mesmo redes.

Figura 5: Componentes comuns em um balanceador de carga.



Fonte: adaptado de (AWS, 2017)

A Figura 5 mostra os componentes básicos em um balanceador de carga, cada *listener* é responsável por encaminhar as requisições recebidas, de acordo com suas regras, para um ou mais recursos do sistema. Os *listeners* também são responsáveis por verificar a saúde de cada alvo do balanceamento, podendo transferir a carga computacional para outro recurso caso necessário. A saúde do sistema pode ser avaliada com base em métricas ou gatilhos pré definidos, e o sistema pode agir de forma automática para evitar falhas e *bottlenecks*.

2.2 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 (ISO:12052, 2016). 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 (PIANYKH, 2008; 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. O padrão DICOM (ISO:12052, 2016) é adotado como referência também para a medicina veterinária e seus ambientes médicos. 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.

Este padrão tem como principal finalidade, facilitar o relacionamento e a interoperabilidade entre sistemas que reivindicam conformidade à norma em questão. Surgiu da necessidade de estabelecer comunicação entre diferentes fabricantes de dispositivos de captura de imagem atuando no mercado (PIANYKH, 2008). 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).

2.2.1 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 (Open System Interconnection) 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 (ISO:12052, 2016):

- (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 armazena-

mento 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 (metadados) 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 podem ainda estar incompletos ou ilegíveis, enquanto outros podem ser preenchidos com dados incorretos (MUSTRA; DELAC; GRGIC, 2008).

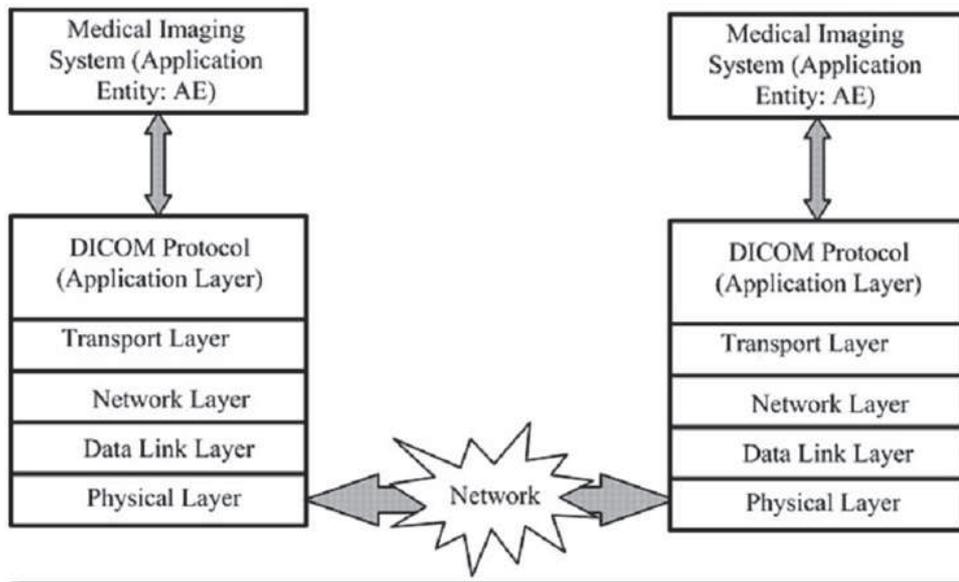
2.2.2 Características Principais

De uma forma geral, o padrão em estudo é separado atualmente em 20 partes distintas, as quais incluem desde as características gerais na introdução, até especificações de suporte para troca de mensagens, definições de estruturas de dados, perfis de segurança a serem adotados, etc. Entre outras explicações, a norma define os protocolos a serem utilizados, os serviços *Web* oferecidos, especifica as classes disponíveis em diferentes linguagens de programação, além de dicionários de dados, mídias para armazenamento e formato de arquivos padrão.

DICOM é fundamentado no modelo de referência OSI, o qual também possui diferentes camadas, cada camada com funções distintas estabelecidas *a priori* (PIANYKH, 2008). 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 6 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).

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 (PACS, RIS, etc.) descritos na seção 2.4. 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, ou estação de trabalho para conferência de qualidade e futura armazenagem.

Figura 6: DICOM como um protocolo da camada de aplicação.



Fonte: retirado de (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 especialistas, ou mesmo o médico, de posse desses dados, pode valer-se da contribuição de uma equipe multidisciplinar, composta por profissionais alocados em diferentes hospitais da rede.

2.2.3 Áreas de Aplicação

Diversas áreas da medicina adotam DICOM como referência para o estudo de imagens e este padrão é aplicável a muitos campos da saúde no qual a obtenção de imagens possa ter algum uso direto ou indireto (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012). Isso inclui áreas relacionadas a Radiologia, Cardiologia, Oncologia, Radioterapia, Neurologia, Ortopedia, Obstetrícia, Oftalmologia, Odontologia, Dermatologia, sendo utilizado ainda como padrão para ensaios clínicos, alcançando inclusive áreas da Medicina Veterinária.

Segundo a Parte 8 do padrão DICOM (ISO:12052, 2016), sua aplicação principal é capturar, armazenar e distribuir imagens médicas. A norma se preocupa em especificar serviços relacionados à imagem, como impressão em filmes físicos ou mídia digital. Relatar ainda 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 também serviços relacionados ao conjuntos de dados, que removem informações de identificação de paciente dos 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*) que serão melhor abordados na Seção 2.4, 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 media 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).

2.2.4 Padrões e Normas Relacionadas

Algumas iniciativas semelhantes se desenvolvem de forma conjunta à elaboração do padrão DICOM por 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. Partes distintas dos itens a seguir, foram incorporadas no padrão em estudo, por isso são mencionadas nesse trabalho.

Health Level 7 ou *Health level Seven* (HL7) é uma organização envolvida diretamente no desenvolvimento de normas de interoperabilidade internacionais no campo da informática na saúde. DICOM absorve diversas instruções do padrão HL7, resumindo-se em determinadas partes 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 iniciativa, 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 de sua norma (SHAHPORI; DOIG, 2010).

2.2.5 Recomendações e Desafios

De acordo com Mustra, Delac e Grgic (2008), o padrão DICOM tem problemas relacionados com a entrada de dados. Segundo os autores, uma grande desvantagem do padrão é a possibilidade da entrada de múltiplos campos opcionais sobre as imagens. Esta desvantagem fica principalmente evidente quando a capacidade de produzir novas informações (metadados) pode sobrepor a própria imagem. Outras inconsistências sugeridas estão relacionadas a possibilidade de deixar formulários em branco no momento da inserção dos dados de pacientes por alguns equipamentos. Alguns atributos das imagens podem estar muitas vezes incompletos ou ainda podem ter sido preenchidos com dados inconsistentes.

Outro problema diz respeito à falta de interoperabilidade entre DICOM local e nuvens computacionais. 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. Portanto, há limitações identificadas no acesso externo à rede interna, a partir de serviços em nuvem, quando utilizando o protocolo DICOM (VIANA-FERREIRA; COSTA; IEETA, 2013).

2.3 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 (MOGHADAM et al., 2015). Como forma de simplificar 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 alterações corporais visualizáveis através de imagens, serão mais adequadas do que as conclusões simplesmente amparadas nos sinais e 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 da utilização destes sistemas em clínicas e hospitais, são descritos em diversas revisões da literatura científica disponível.

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 (MOGHADAM et al., 2015). Esses sistemas começaram a ser 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.

2.3.1 Escopo Geral

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 armazenar imagens e metadados provenientes de múltiplos dispositivos (modalidades) (PIANYKH, 2008; DREYER et al., 2006). Estes sistemas compõem a rede de aquisição e obtenção de imagens dentro de hospitais e armazenam dados em um arquivo digital de onde eles podem ser acessados por especialistas, localizados em estações de visualização. Os usuários desses 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 7 ilustra os dispositivos mais importantes envolvidos em um PACS, podemos observar de forma ampla, as funcionalidades de cada um deles dentro do sistema de comunicação.

No modelo atual as imagens são armazenadas em um servidor local e podem ser consultadas e transmitidas apenas a partir da rede em que se encontram como esclarece Pianykh (2008). 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. Incluem-se no fluxo de trabalho, ainda, os dispositivos para gravação 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, compartilhamento dos dados e obsolescência dos equipamentos.

2.3.2 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. Um PACS é sobretudo, um sistema de armazenamento para imagens médicas, mas pode ser caracterizado por seus serviços de rede e sua infraestrutura. (ISO:12052, 2016). Este sistema pode ser caracterizado a partir de seus elementos principais listados a seguir:

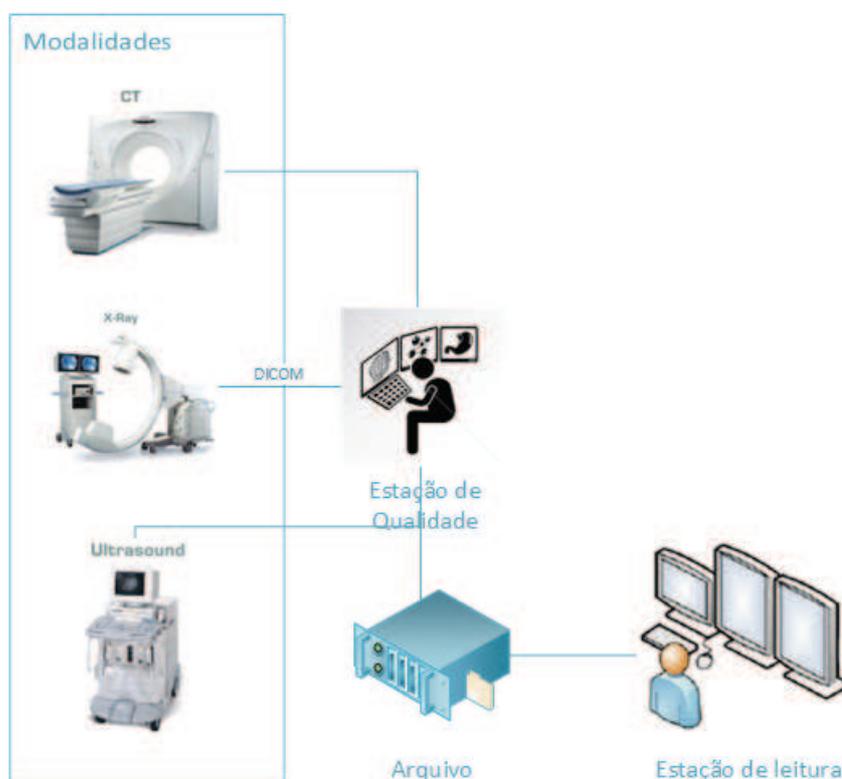
- As diferentes modalidades de origem das imagens, como raios-x, tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM);
- A própria rede segura por onde trafegam as informações de cada paciente;
- As estações de trabalho utilizadas para interpretação e revisão das imagens;
- Os arquivos para o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

2.3.3 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 posteriormente 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 7. 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).

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. 7), 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).

Figura 7: Fluxo de comunicação em PACS.



Fonte: elaborado pelo autor.

2.3.4 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 nessa área, eliminar a manipulação de cópias materiais facilitaria o armazenamento e compartilhamento destes dados no futuro. Já existem padrões em desenvolvimento para acesso web a objetos DICOM, porém há 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, estes sistemas acrescentam qualidade na hora do tratamento. Sem sair do foco da arquitetura, PACS torna-se uma solução com capacidade de difundir a distribuição de imagens e relatórios entre médicos e pacientes (DREYER et al., 2006).

2.4 Telemedicina

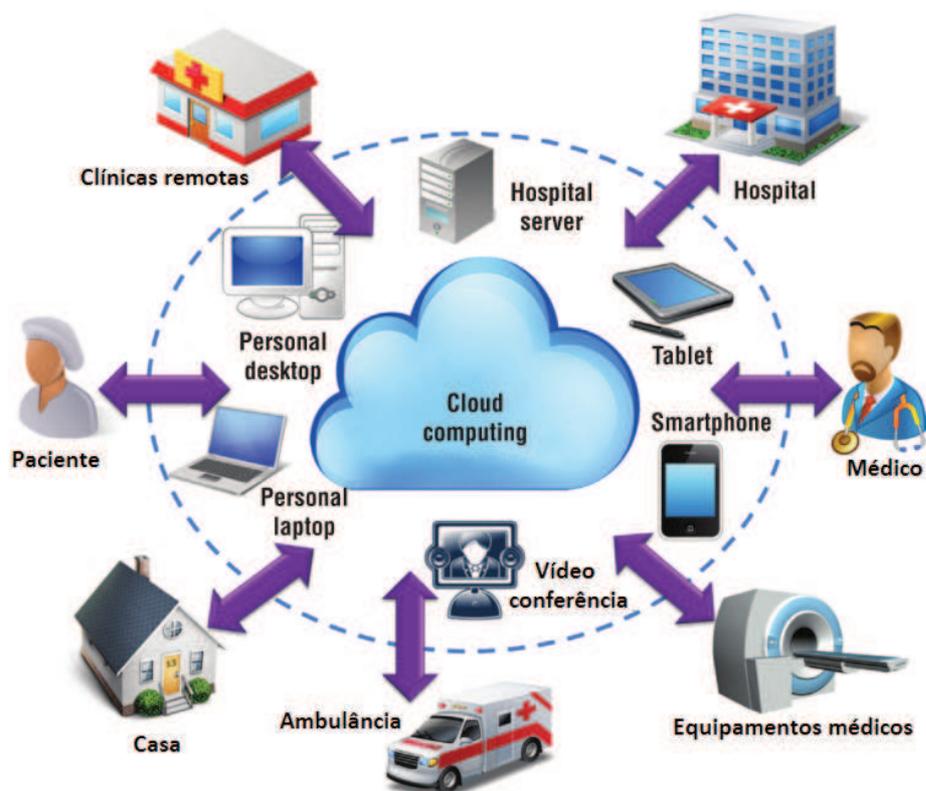
Ter acesso a saúde é garantia prevista em muitos países aos seus cidadãos, no entanto países no mundo todo enfrentam desafios para suprir esse acesso de forma digna e com qualidade a um custo aceitável. É conhecido o potencial disruptivo que as tecnologias da informação e comunicação (TICs) tem no modo como nos comunicamos uns com os outros. Essas mesmas tecnologias tem a capacidade de responder aos atuais desafios da atividade de saúde mundial (JIN; CHEN, 2015). A Telemedicina está profundamente baseada nas TICs e tem evoluído na medida que novas tecnologias vão surgindo e são incorporadas a esta atividade. Ela é capaz de aproximar médicos de pacientes e ainda oferecer recursos para especialistas desenvolverem suas habilidades médicas (VOLLENBROEK-HUTTEN et al., 2015).

A Telemedicina é a prestação de serviços médicos à distância de forma efetiva, através de tecnologias que promovem a troca de informações entre especialistas e pacientes utilizando a rede. A Telemedicina é um "ambiente" que pode oferecer constante qualificação para os profissionais da saúde. Entre os muitos legados garantidos pelas TICs ao procedimento de Telemedicina, Jin e 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, como sugere a Figura 8, podendo concentrar informações importantes e oferecer aplicações dinâmicas para diversos procedimentos.

Considerando os atuais avanços tecnológicos, a popularização de dispositivos móveis, de tecnologias sem fio e do acesso à 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 (JIN; CHEN, 2015). Ao integrar 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 (MALDONADO; MARQUES; CRUZ, 2016). A Figura 8 ilustra diferentes aplicações interconectadas acrescentando e consumindo recursos da 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 (EHR) *Electronic Health Records* (MURDOCH; DETSKY, 2013). Pode ainda promover a interação entre médicos e pacientes através do desacoplamento físico, uma vez que ambos não 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.

Figura 8: Diferentes aplicações de Telemedicina baseadas em nuvem computacional.



Fonte: adaptado de (JIN; CHEN, 2015)

2.5 Sistemas de Notificação de Eventos Distribuídos

Um serviço de notificação de eventos distribuídos é um *web service*, que coordena e gerencia a entrega e o envio de mensagens, para *end points* registrados ou clientes. Existem dois tipos de clientes para esse modelo, os que publicam e os que assinam, também chamados de *producers* e *consumers* (TERANISHI et al., 2017; COULOURIS; DOLLIMORE; KINDBERG, 2012). Clientes que publicam podem se comunicar rapidamente com assinantes através de mensagens enviadas a um tópico, que atua como canal lógico e assíncrono de comunicação. Essas mensagens podem ser trocadas utilizando protocolos conhecidos (HTTP/S, SMS, SMTP, etc.)

Estes sistemas são frequentemente adotados ao lidar com ambientes que possuem alta heterogeneidade, onde diferentes clientes comunicam-se a partir de plataformas distintas ou locais de rede. Podendo dessa forma conectar dispositivos que originalmente não foram projetados para trabalhar de forma conjunta (COULOURIS; DOLLIMORE; KINDBERG, 2012; ESPOSITO; COTRONEO; RUSSO, 2013). Podem ser usados para notificar mudanças em determinado objeto ou usuário em particular a partir de assinaturas, onde assinantes recebem notificações quando estas ocorrem. Este desacoplamento de tempo e espaço, entre objetos e clientes, promove diretamente a escalabilidade do sistema, uma vez que são eliminadas as dependências exigidas pelos clientes do modelo (EUGSTER et al., 2003).

Sistemas baseados no paradigma Publicar/Assinar possuem normalmente três entidades fundamentais: um publicador, um assinante e um *broker*, ou serviço de notificação, responsável por interligar publicadores e assinantes. Os *brokers* permitem a comunicação entre os clientes do sistema através de tópicos, conteúdo, canal ou tipo de dados (COULOURIS; DOLLIMORE; KINDBERG, 2012; TARKOMA, 2012). Também podem fornecer uma combinação dos mesmos ou como um recurso adicional baseado em filtragem, quando um evento precisa ser entregue especificamente a um assinante (TARKOMA, 2012).

O Modelo *Publish/Subscribe* é amplamente utilizado para lidar com eventos distribuídos em rede. Principalmente por suas características de comunicação assíncrona e pela facilidade de implementação e manutenção. Aplicado aos eventos relacionados ao fluxo de dados do padrão DICOM, esse modelo tem seu potencial amplamente explorado. Como sugere Westin et al. (2015), patente requerida para lidar com imagens médicas usando dispositivos móveis. Bem como as transformações exigidas ao manipular imagens dessa natureza descritas em (WESTIN et al., 2016).

2.6 Compressão Adaptativa

Diariamente são produzidos um total de 5Gb a 15Gb de dados relacionados a imagens médicas em hospitais ao redor do mundo, o que torna a tarefa de armazenamento e manipulação dessas imagens para uso futuro bastante onerosa, explicitando a necessidade de utilização de técnicas de compressão desses dados (BRINDHA; RAGHURAMAN, 2013). Existem diversas abordagens para lidar com a compressão de dados. Algumas abordam as imagens por regiões de interesse, o que leva a uma redução no tamanho total do arquivo (KAUR; WASSON, 2015). Outras transferem a carga computacional da tarefa para a GPU, explorando recursos extras quando disponíveis e reduzindo a utilização da CPU. O algoritmo utilizado neste modelo é uma variação do algoritmo de LZ77 (ZIV; LEMPEL, 1977).

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 nesta dissertação (FERNÁNDEZ-SÁEZ; GENERO; CHAUDRON, 2013). 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 dissertação foi realizada uma revisão sistemática da literatura em artigos publicados nos últimos 10 anos, utilizando os seguintes termos: *Publisher/Subscriber*, *DICOM*, *Compression*, *Healthcare*, *Medical Images*, *Cloud Computing*. Foram utilizados os mecanismos de busca científicos mais conhecidos como Google Acadêmico ¹, PubMed ², Science Direct ³, bem como o portal de periódicos CAPES/MEC ⁴. Buscou-se identificar os artigos relacionados com o tema que fossem publicados em periódicos revisados e conferências relacionadas, a seguir foram revistas as referências desses artigos para permitir uma compreensão mais abrangente do assunto e um melhor embasamento teórico.

Os artigos adquiridos em cada fase da pesquisa descritos na Tabela 1, 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 atuais e relevantes a serem apresentados no presente trabalho.

A busca por artigos pode ser separada em três fases principais como sugerem Fernández-Sáez, Genero e Chaudron (2013), na fase inicial foram revisadas as referências literárias mais relevantes ao tema utilizando as termos destacados. A partir dos resultados obtidos nos motores de busca, foram selecionados os trabalhos mais importantes de acordo com os critérios descritos acima. Na fase seguinte, todos os trabalhos selecionados foram lidos. Com base nas informa-

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/>

Tabela 1: Número de artigos identificados em cada fase da pesquisa.

Termo Descritor	Fase I - Identificação	Fase II - Análise	<i>Snowball</i>	Fase -III	<i>Snowball</i>	Total
Compression	10	10	2	1	1	14
Cloud Computing	10	10	3	1	1	15
Pub/Sub	8	8	1	1	1	11
Telemedicine	3	3	5	1	1	10
Healthcare	3	3	1	2	1	7
Total	34	34	12	6	5	57

Fonte: elaborado pelo autor.

ções obtidas, inicia-se a terceira fase onde uma nova busca é realizada e novas referências são inseridas. O processo então é reiniciado até que todo o tema, ou a sua parte mais importante possa ser completamente revisada. Os resultados obtidos, sobretudo depois de repetido o procedimento algumas vezes, foram então submetidos a uma triagem e os artigos selecionados compõem a presente proposta.

3.2 Técnicas de Comunicação Utilizando Pub/Sub

Nesta seção serão abordados os trabalhos relacionados ao modelo de comunicação *Publish/Subscriber*, e como esses trabalhos influenciam nas decisões de desenvolvimento do presente projeto. Diferentes técnicas serão apresentadas para abordar o tema comunicação de dados dentro da medicina utilizando o paradigma *Pub/Sub*. Estes trabalhos foram selecionados com base nos critérios estabelecidos no início da pesquisa e estão agrupados nesta seção para facilitar a compreensão dos módulos do modelo desenvolvido.

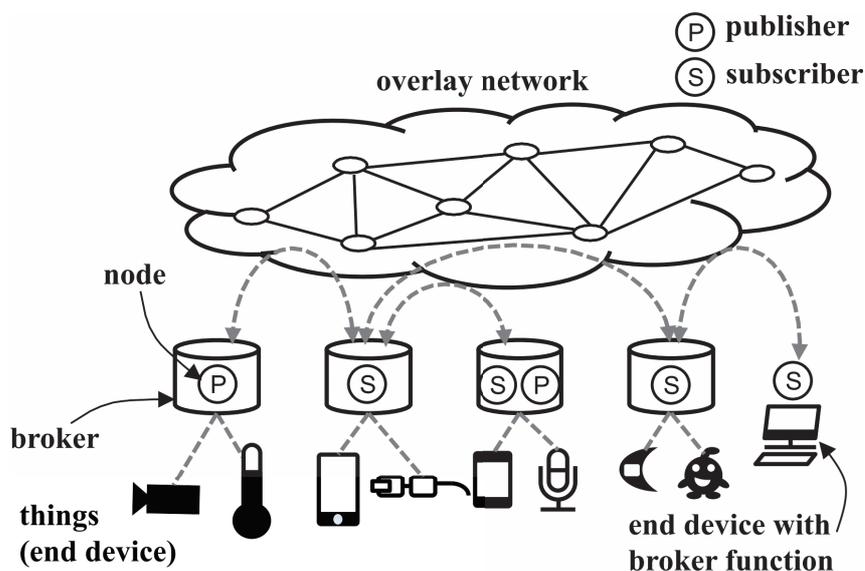
3.2.1 A Large-Scale Data Collection Scheme for Distributed Topic-Based Pub/Sub

Neste artigo os autores propõem um esquema de encaminhamento e armazenamento de mensagens em uma rede *overlay* para IoT. O trabalho assemelha-se ao modelo desenvolvido, pois aborda aspectos da comunicação no modelo *Pub/Sub* entre diferentes dispositivos, utilizando a nuvem como uma rede de sobreposição (TERANISHI et al., 2017).

Os autores argumentam que é possível reduzir o processamento das cargas computacionais mesmo com um grande número de mensagens trafegando pela rede, mantendo o tempo de entrega controlado durante a comunicação. Para isso foi usado um método adaptativo de coleta de mensagens, distribuindo a carga entre de rede entre *brokers*, evitando sobrecargas no sistema. Cada *broker* contém um publicador ou um assinante, quando um dispositivo tenta enviar ou receber mensagens para um tópico, o mesmo cria uma rede de sobreposição para a realização da tarefa de forma distribuída.

O método proposto agrupa mensagens de mesmo tamanho a fim de serem enviadas em pedaços agrupados, ao invés do envio de pequenos segmentos. Os resultados foram obtidos utilizando um protótipo baseado em máquinas virtuais em nuvem e um *framework* Java. Os

Figura 9: Visão geral da arquitetura sugerida pelo autor.



Fonte: retirado de (TERANISHI et al., 2017)

autores afirmam que o tempo de ocupação da rede foi reduzido em aproximadamente 90%. Contudo, o trabalho em questão não aborda soluções relativas ao armazenamento ou *backup* dessas mensagens, tampouco sugere níveis de balanceamento das cargas de trabalho atuantes no sistema.

3.2.2 Systems and Devices for Encrypting, Converting and Interacting with Medical Images Using a Mobile Device

Este trabalho refere-se ao pedido de registro de patente "US-20150278444-A1", e diz respeito a um método de encriptação, conversão e transferência de arquivos no formato de imagens médicas para dispositivos móveis (WESTIN et al., 2015). O presente registro descreve um sistema e equipamentos necessários para tratar da comunicação de imagens médicas e metadados, entre dispositivos que reivindicam conformidade com o padrão DICOM e aparelhos móveis conectados em redes sem fio.

Os autores registraram ainda um método para conversão das imagens para formatos compatíveis com as plataformas de destino. Tais arquivos podem, além de serem visualizados em diferentes plataformas móveis, receberem anotações de vários especialistas envolvidos no estudo e serem reenviadas para o servidor. O registro contudo não aborda a questões como compactação sem perdas dessas imagens, deixando de considerar o tamanho dos arquivos bem como o tempo de comunicação entre publicador e assinante.

Figura 10: Dados referentes ao registro em questão.

Número da publicação	US20150278444 A1
Tipo de publicação	Requerimento
Número do pedido	US 14/614,405
Data de publicação	1 out. 2015
Data de depósito	4 fev. 2015
Data da prioridade 	4 fev. 2014
Também publicado como	US20150100787 , US20170005994
Inventores	Martin Westin , Johanna Wollert Melin , Åsa Sjöblom Nordgren , John Axel Eriksson
Cessionário original	Trice Imaging, Inc.
Exportar citação	BiBTeX , EndNote , RefMan
	Citações de patente (2) , Classificações (7) , Eventos legais (1)
Links externos:	USPTO , Cessão do USPTO , Espacenet

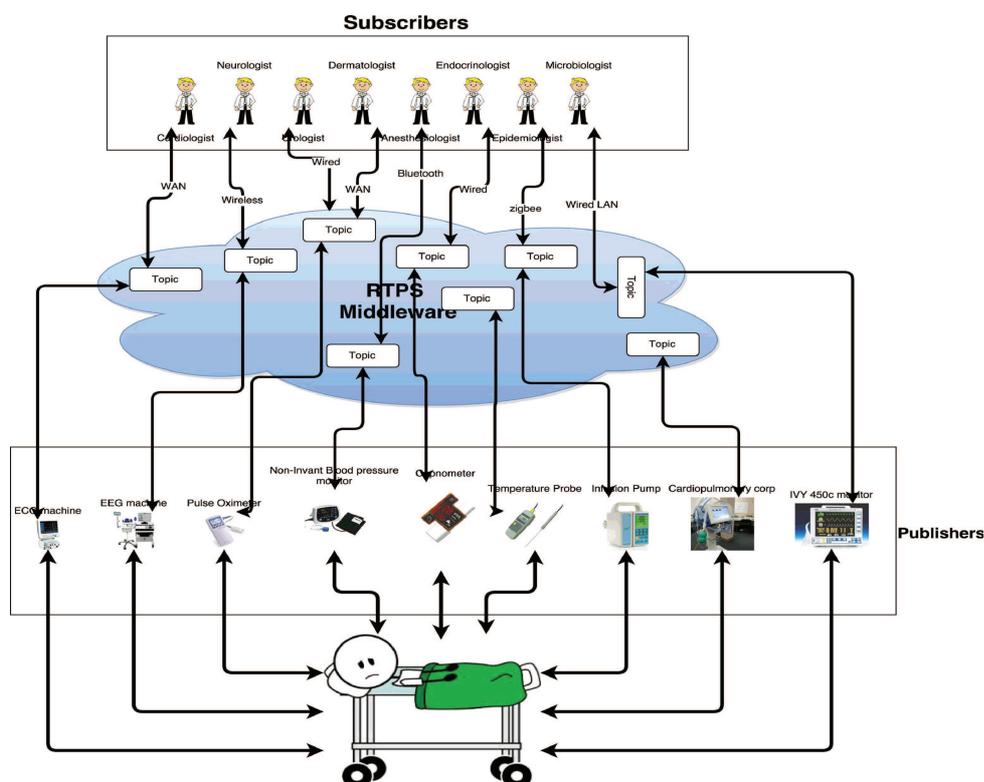
Fonte: retirado de (WESTIN et al., 2015)

3.2.3 Healthcare Systems Integration Using Real Time Publish Subscribe (RTPS) Middleware

Neste artigo os autores desenvolvem e testam um *middleware*, baseado no paradigma publicar/assinar, para lidar com sistemas da área da saúde. Segundo os autores, a questão mais desafiadora ao implementar tais sistemas é lidar em tempo real, com a heterogeneidade associada a diferentes dispositivos presentes na rede (ALMADANI; SAEED; ALROUBAIY, 2016). Essa miríade de equipamentos pode causar atrasos na comunicação das mensagens, o que seria diretamente impactante na condição de saúde dos pacientes. Para tanto, a abordagem utilizando um modelo que integre em tempo real diferentes sistemas de forma assíncrona, torna-se uma necessidade para essa área da Telemedicina.

Desta forma o *middleware* apresentado, conforme sugerem os autores, é capaz de desacoplar espacialmente diferentes nós de rede envolvidos no processo. Os dados relacionados podem ser entregues imediatamente após a sua publicação ou sofrerem atrasos conforme demanda. E o fluxo de informação na rede pode ser controlado de acordo com a largura de banda disponível, para isso o *middleware* fornece um conjunto de APIs capaz de lidar com diferentes perfis de uso da aplicação. Nessa solução, mais uma vez, os desenvolvedores não consideram o tamanho das mensagens trafegando no sistema, não apresentando nenhum tipo de compressão para lidar com o conjunto de dados durante a tarefa de comunicação.

Figura 11: Visão geral da arquitetura sugerida pelo autor.



Fonte: retirado de (ALMADANI; SAEED; ALROUBAIY, 2016)

3.3 Técnicas de Comunicação no Padrão DICOM

Nesta seção serão discutidos os trabalhos relacionados a utilização de diferentes soluções para comunicar dados dentro do padrão DICOM entre entidades da rede. Estes trabalhos foram selecionados com base nos critérios estabelecidos para pesquisa e estão agrupados para facilitar a compreensão do tema em análise.

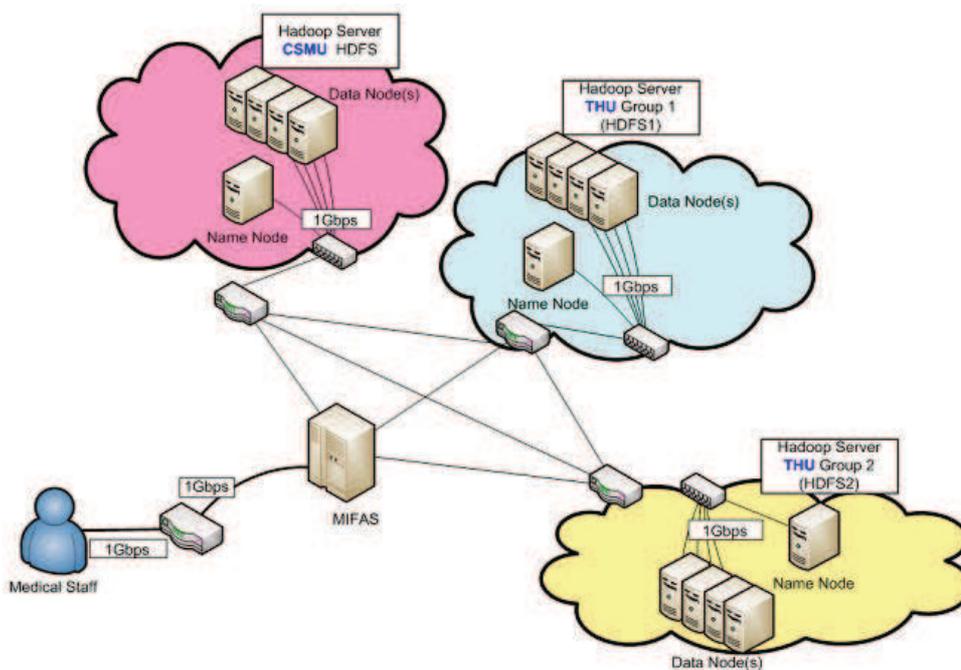
3.3.1 GIFT-Cloud: A Data Sharing and Collaboration Platform for Medical Imaging Research

O trabalho desenvolvido por (DOEL et al., 2017), baseia-se em tecnologias multiplataformas bem estabelecidas e oferece um serviço de armazenamento de dados anonimizado e seguro. Foi selecionado por possuir características semelhantes ao modelo desenvolvido nesta dissertação, age como integrador de dados DICOM provenientes de diferentes softwares externos, através de uma API baseada em REST. Segundo os autores, possui um mecanismo que fornece anonimização e encriptação dos dados de forma automatizada. Agindo como *gateway* para estudos e pesquisas na área da saúde.

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

O autor desse 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 12: Visão 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).

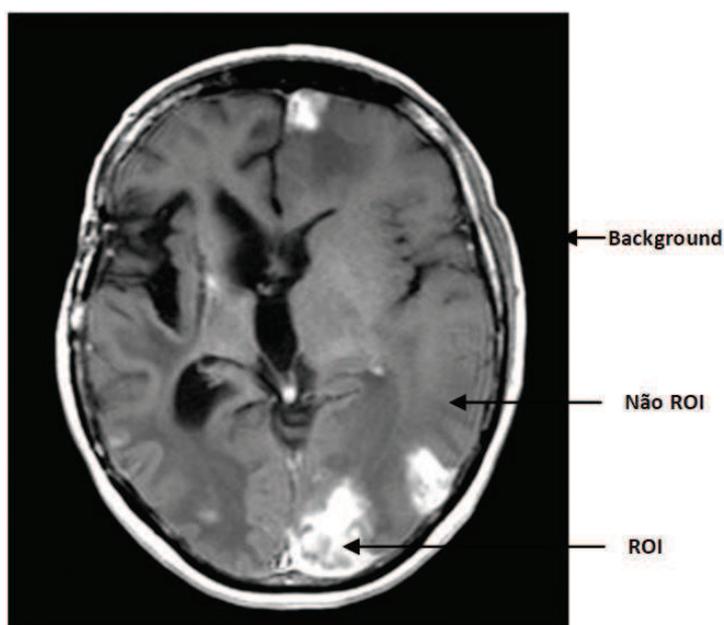
3.4 Técnicas de Compressão de Imagens Médicas

Nesta seção serão abordados os trabalhos relacionados a compressão de imagens médicas. Diferentes técnicas são apresentadas para abordar o problema da compressão de dados dentro da medicina. Estes trabalhos foram selecionados com base nos critérios estabelecidos no início da pesquisa e estão agrupados de forma a facilitar a compreensão do tema em discussão.

3.4.1 ROI Based Medical Image Compression for Telemedicine Application

Imagens médicas possuem três partes distintas, conhecidas como ROI *Region of Interest*, não ROI, e *background*, sendo a primeira a região mais crítica dentro de uma imagem, como demonstra a Figura 13. Algumas técnicas de compressão encaram as imagens por regiões de interesse, descartando áreas sem importância para o diagnóstico, diminuindo o tamanho final do arquivo (KAUR; WASSON, 2015). Neste trabalho os autores apresentam um técnica híbrida de compressão sem perdas, onde são aplicadas diferentes tipos de compactação em regiões distintas da imagem.

Figura 13: Imagem padrão DICOM mostrando diferentes regiões de interesse.



Fonte: elaborado pelo autor com base em (KAUR; WASSON, 2015)

A solução sugerida aqui, aplica compressão com pequenas perdas de qualidade *lossy data compression* a regiões de não interesse e *background*. Ao passo que, nas regiões de interesse da imagem é aplicada compressão sem perdas *lossless*, com base na leitura dos pixels do arquivo. Por fim, a imagem é então reagrupada, obtendo uma compressão híbrida, sem comprometer a qualidade dos dados em estudo. De acordo com os autores, a técnica apresentada gera resultados mais precisos e rápidos na aplicação da compressão, comparados aos estudos anteriores

relacionados neste caso.

3.4.2 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.

3.5 Análise

Os trabalhos citados mostram algumas abordagens relacionadas ao armazenamento e compartilhamento de imagens médicas em redes hospitalares. Contudo, nenhum deles considera explicitamente a utilização de todas as ferramentas apresentadas no modelo PS2DICOM para aumentar o desempenho de tarefas de transmissão de arquivos em uma arquitetura *Pub/Sub*. 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.

A Tabela 2 apresenta uma comparação das soluções analisadas até aqui e destaca algumas características de cada solução analisada na comunicação de imagens na medicina. Foram destacadas características desejáveis para o modelo sugerido e buscou-se encontrar estes quesitos nos trabalhos analisados. Essas características são:

- (i) **Desempenho** O trabalho considera questões relacionadas ao desempenho da solução proposta, como por exemplo, velocidade de transmissão da rede.

- (ii) **Elasticidade** O trabalho leva em conta a elasticidade, adaptando os recursos computacionais à carga de trabalho submetida.
- (iii) **Níveis** Verifica se o autor aborda técnicas de elasticidade em mais de um nível.
- (iv) **Armazenamento** O trabalho estudado sugere algum tipo de técnica para armazenamento das imagens em banco de dados.
- (v) **Compressão** O trabalho relacionado utiliza alguma técnica de compactação de dados.
- (vi) **DICOM** O modelos analisados reivindicam conformidade com a norma DICOM.
- (vii) **Plataforma** O trabalho estudado aplica-se a diferentes plataformas de *middleware* sem necessidade de maiores adaptações na arquitetura.

Tabela 2: Avaliação dos trabalhos relacionados vinculados a características do modelo

Trabalhos	Desempenho	Elasticidade	Níveis	Armazenamento	Compressão	DICOM	Plataforma
Teranishi et al. (2017)	✓						
Westin et al. (2015)		✓					
Almadani, Saeed e Alroubaiby (2016)		✓					
Yang et al. (2010)						✓	✓
Kaur e Wasson (2015)	✓		✓		✓		
Hsu (2017)					✓	✓	

Fonte: elaborado pelo autor.

Na análise dos trabalhos relacionados foram identificadas lacunas que não foram abordadas pelos autores nas respectivas áreas de interesse. Estes aspectos foram agrupados e são descritos a seguir:

- (i) O trabalho utiliza técnicas de comunicação dentro do paradigma *Publish/Subscribe* na solução proposta, mas não aborda questões relacionadas a elasticidade da infraestrutura empregada (TERANISHI et al., 2017; WESTIN et al., 2015; ALMADANI; SAEED; AL-ROUBAIY, 2016).
- (ii) O trabalho reivindica conformidade com a norma DICOM mas não aborda o armazenamento dos dados na nuvem (DOEL et al., 2017; YANG et al., 2010).
- (iii) Nenhuma análise da qualidade da rede no momento da transmissão (TERANISHI et al., 2017; WESTIN et al., 2015; YANG et al., 2010).
- (iv) Compressão de dados não se adapta a quantidade de dados a serem transmitidos em tempo real (KAUR; WASSON, 2015; HSU, 2017).
- (v) A solução apresentada não considera diferentes plataformas de implementação, restringindo-se ao esquema pré determinado pelo autor da arquitetura (WESTIN et al., 2015; DOEL et al., 2017; YANG et al., 2010).

4 MODELO PS2DICOM

Tendo em vista as lacunas identificadas em cada trabalho relacionado, e as distintas técnicas apresentadas a fim de solucionar a questão de pesquisa, este capítulo apresenta o modelo PS2DICOM. A Seção 4.1 destaca as decisões de projeto, a Seção 4.2 aborda a arquitetura elaborada, elucidando os componentes e recursos de cada nível. A Seção 4.3 descreve o mecanismo de autenticação e avaliação da capacidade de rede. Nas Seções 4.4 e 4.5 são apresentados os dois níveis de elasticidade oferecidos pelo modelo. Por fim a Seção 4.6 são feitas considerações sobre o modelo desenvolvido.

4.1 Decisões de Projeto

O modelo PS2DICOM trata imagens geradas por dispositivos médicos provenientes de diferentes instituições, dentro um padrão específico, e disponibiliza estes arquivos entre especialistas em interpretação e diagnósticos. A arquitetura proposta viabiliza o armazenamento seletivo e a transmissão dessas imagens com base em eventos do paradigma *Publish/Subscribe* (ESPOSITO; CIAMPI; DE PIETRO, 2014). Cada hospital membro de uma rede de clínicas atua como um nó, compartilhando dados de forma particular com os demais parceiros. Estes dados são armazenados na nuvem e são retransmitidos conforme solicitações ocorrem no sistema. Os *brokers* atuam de forma dinâmica, convertendo os dados em formatos mais populares quando necessário e propagando as informações em tópicos entre membros da rede.

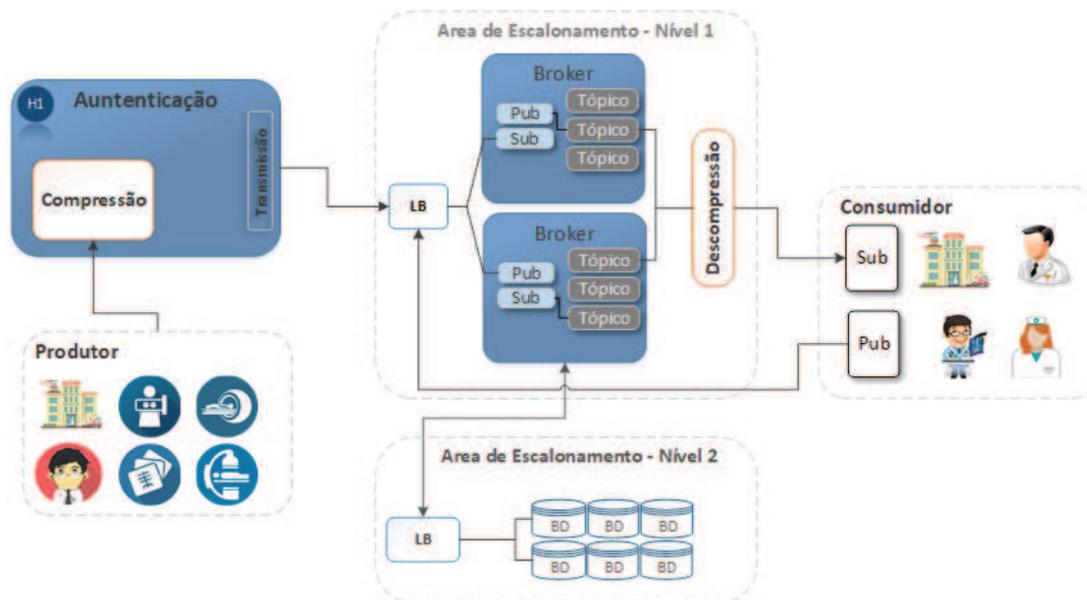
O modelo oferece elasticidade horizontal e reativa em dois níveis, com base em *thresholds*. A Figura 14 apresenta uma visão de alto nível do modelo PS2DICOM. Na parte esquerda inferior temos os produtores do sistema representados por médicos, enfermeiros e especialistas envolvidos no estudo, ou mesmo o próprio equipamento responsável por gerar as imagens médicas. Seguindo a seta direcional até a próxima caixa da Figura 14, temos os módulos responsáveis pela autenticação, compressão e transmissão dos dados para o modelo PS2DICOM. A próxima seta aponta para o primeiro nível de elasticidade, onde encontra-se o balanceador de carga e os *brokers* pub/sub. A partir deste ponto as imagens são copiadas para o segundo nível de elasticidade, onde encontramos outro balanceador de carga responsável pelo controle de leitura e escrita em disco, armazenamento e recuperação dos dados. Por fim do lado direito da Figura 14 temos os consumidores do sistema que, por sua vez, também podem produzir dados e reinseri-los no modelo.

Nos parágrafos a seguir são listadas as premissas básicas para o modelo PS2DICOM, independentes da sua forma de implementação. Algumas decisões são restritivas, visando um modelo que utilize recursos computacionais sem desperdício e atinja o objetivo determinado, outras são premissas para garantir o funcionamento adequado da arquitetura em questão.

- (i) A arquitetura em questão independe do *middleware* de nuvem adotado para sua implementação.

- (ii) O modelo prevê autenticação para os membros da rede conectados a ele.
- (iii) O modelo oferece compressão adaptativa para imagens médicas e metadados relacionados antes da transmissão.
- (iv) A arquitetura aborda elasticidade com base em variáveis de sistema e pode reservar ou dispensar recursos conforme demanda.
- (v) Existem recursos elásticos em dois níveis, um para *brokers* e outro para bancos de dados.
- (vi) Usuários podem informar limites que disparam ações de elasticidade sem maiores configurações.
- (vii) O modelo é capaz de coletar dados relativos a eficiência da comunicação entre dispositivos locais e a nuvem.
- (viii) O modelo deve ser capaz de balancear a carga de trabalho e replicar instâncias.

Figura 14: Visão de alto nível apresentando as características fundamentais do modelo PS2DICOM.



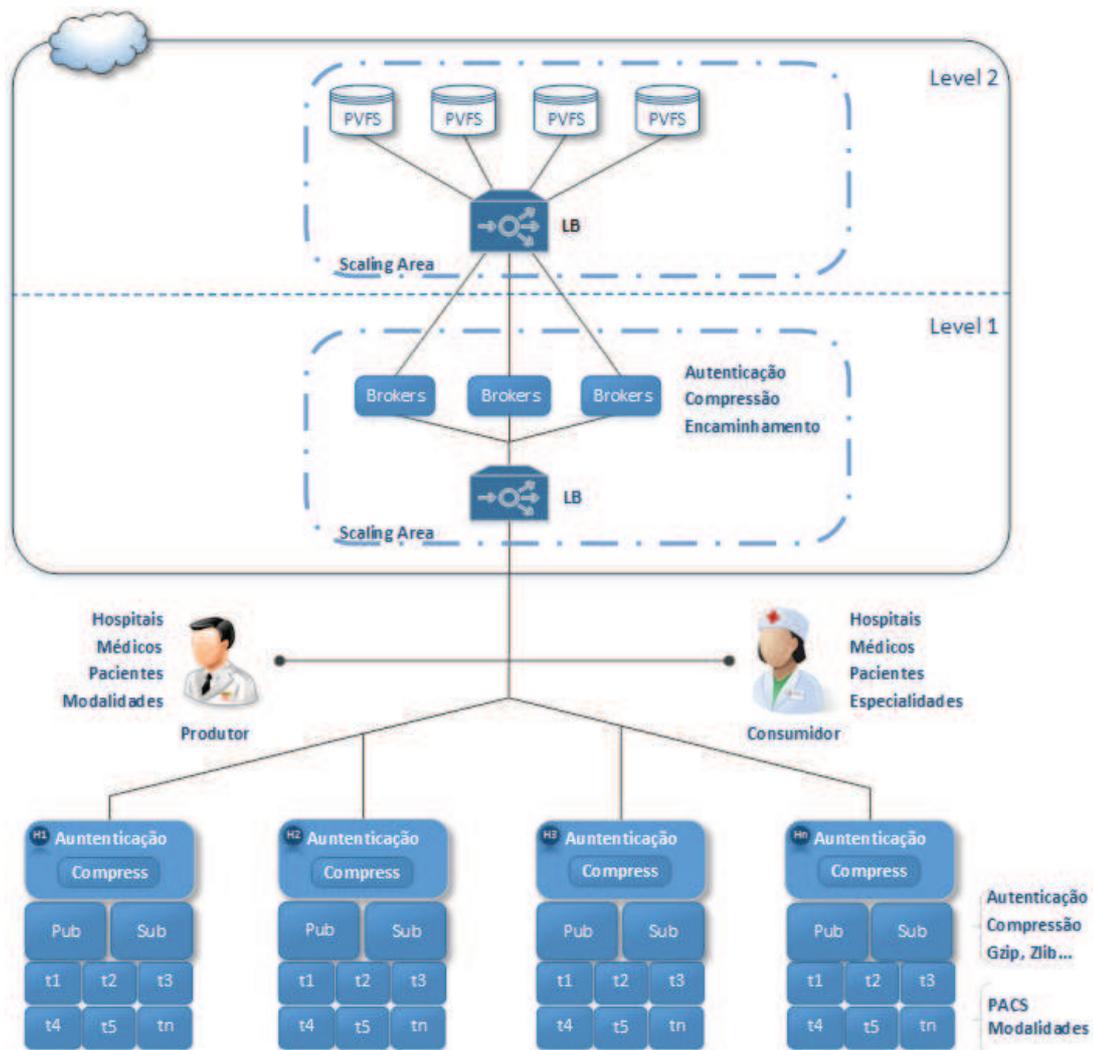
Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Arquitetura

O modelo PS2DICOM concentra-se na integração de dados originados em diversas fontes relacionadas a saúde, operando no nível IaaS. É uma arquitetura em nuvem capaz de disponibilizar o compartilhamento de arquivos de imagens e metadados (informações do paciente) no

padrão DICOM e obter vantagem da elasticidade em nuvem. Podemos inferir que esta arquitetura é capaz de facilitar a obtenção de informações importantes sobre o estado de saúde do paciente, uma vez que ela é capaz de integrar diversos especialistas em diagnose, através da troca de mensagens modeladas pelo paradigma *Pub/Sub*. Arquitetado para extrair as vantagens desta infraestrutura o modelo PS2DICOM viabiliza acesso e armazenamento de forma escalar e elástica. Através Figura 15 podemos ver as características presentes na arquitetura apresentada.

Figura 15: Arquitetura do modelo PS2DICOM.



Fonte: elaborado pelo autor.

O modelo possui um módulo de comunicação de dados, localizado nos hospitais ou clínicas da rede, capaz de comprimir os arquivos antes de sua transmissão, com base na qualidade da comunicação no momento do envio e tamanho do conjunto de dados, como sugerem (OOTSU; YOKOTA; OHKAWA, 2016). Estas funcionalidades estão ilustradas na Figura 15. Além de comprimir, este módulo tem a capacidade de autenticar requisições de diferentes clientes.

A nuvem possui balanceamento de carga em dois níveis, de forma a distribuir as requisições entre diferentes instâncias e reter apenas os recursos computacionais exigidos pelas cargas de

trabalho naquele momento, comportando-se de forma elástica. No primeiro estágio, descrito como *Level 1* na Figura 15, temos um *load balancer* que gerencia e distribui as solicitações entre diferentes *brokers*. Estas máquinas virtuais são responsáveis pela retransmissão dos dados requisitados entre os assinantes de cada tópico. Os inscritos devem manifestar interesse em determinado assunto como consta em (COULOURIS; DOLLIMORE; KINDBERG, 2012). Uma vez confirmada a assinatura, os *brokers* passam a direcionar as mensagens enviadas por publicadores para os inscritos desse tópico.

No segundo nível, descrito como *Level 2* na Figura 15, encontramos outro *load balancer* capaz de alocar de forma elástica as necessidades do modelo entre instâncias de bancos de dados. Neste nível são tratadas requisições provenientes de diferentes *brokers*, o que aumenta a disponibilidade dos recursos computacionais neste estágio. PS2DICOM pode garantir acesso aos dados armazenados, uma vez que diferentes operações de leitura e escrita podem ocorrer de forma simultânea, podendo ser escaladas conforme demanda, promovendo paralelismo na comunicação com as instâncias deste estágio.

O modelo foi desenvolvido em módulos que facilitam a implementação de suas interfaces, conforme sugerem (COULOURIS; DOLLIMORE; KINDBERG, 2012; BASTIAO SILVA; COSTA; OLIVEIRA, 2012). Para estabelecer comunicação em tempo real entre diferentes arquivos locais e a nuvem, o modelo PS2DICOM segue o paradigma da comunicação para sistemas distribuídos *Pub/Sub*. É ainda levada em consideração a qualidade da rede e a quantidade de dados no momento da transmissão a fim de se adotar a melhor técnica de compressão adaptativa, introduzida como importante recurso para melhorar a eficiência da tarefa de comunicação.

Esta arquitetura possui as características conhecidas do conceito de computação e otimiza funções de rede de forma automática. Oferece acesso amplo a rede de qualquer lugar e a qualquer momento. Agrupa recursos que otimizam a infraestrutura, tais como elasticidade horizontal reativa e medição de consumo do serviço como sugere Mell e Grance (2011); Puthal et al. (2015). O intuito principal do modelo PS2DICOM é garantir a comunicação de forma segura e eficiente, através de um *middleware* capaz de promover integração entre redes de diferentes instituições. A arquitetura sugerida oferece melhorias ao fluxo de trabalho existente, e promove um maior controle sobre o procedimento de diagnose por imagem.

4.3 Autenticação e Avaliação da Capacidade de Transmissão

A fim de tornar mais eficiente a comunicação entre diferentes redes hospitalares, o modelo PS2DICOM implementa este recurso. Esta componente atua como um serviço capaz de autenticar usuários do sistema e avaliar a qualidade da rede no momento da transmissão. Este serviço também é responsável por definir qual a melhor taxa de compactação a ser aplicada ao conjunto de dados. Localizado no lado do cliente este módulo visa diminuir o tempo de comunicação entre os hospitais e a nuvem. Este recurso utiliza o algoritmo (Gzip¹), e pode aplicar diferentes

¹<http://www.gzip.org/>

níveis de compressão de acordo com o tipo de dado a ser transmitido. Com base na qualidade da rede e no total de arquivos a serem enviados, este módulo será capaz de decidir a melhor estratégia de compressão a ser adotada.

Uma vez conectado ao sistema, o modelo realiza testes automáticos na rede e aguarda a seleção dos arquivos a serem transmitidos. De posse da velocidade de *upload* obtidas no teste inicial e considerando o volume de dados selecionados, o modelo PS2DICOM define se é necessário aplicar compressão e qual a taxa ideal a ser usada. Pode inclusive, enviar mensagens sem realizar compactação ou ainda aplicar o grau máximo de compressão caso a soma dos arquivos ultrapasse o limite pré definido pelo usuário. Compactando diferentes quantidades de dados de forma distinta e utilizando níveis de compressão adequados a cada caso, esse componente pode incrementar a eficiência na comunicação entre entidades.

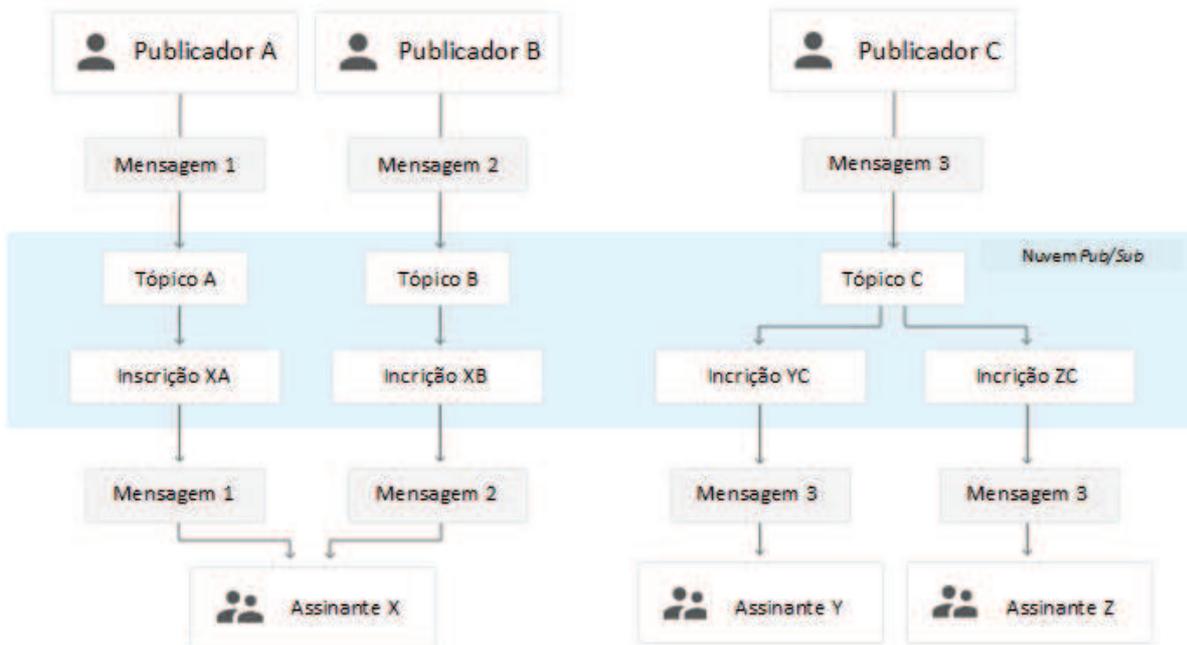
Os algoritmos utilizados para compressão derivam do LZ77, desenvolvido por Abraham Lempel e Jacob Ziv em 1977. São capazes de aplicar compressão sem perdas (*lossless*) ao conjunto de dados. Foram selecionados a partir de testes desenvolvidos para identificar os melhores algoritmos para compressão e descompressão das imagens padrão DICOM e metadados incluídos.

4.4 Controlador de Notificações *Pub/Sub*

Capaz de lidar com a demanda de imagens proveniente de servidores localizados em diferentes hospitais esse módulo é responsável por receber arquivos e encaminhar para seus destinatários. Localizado no lado do provedor, esta interface pode estabelecer comunicação de um para um ou um para muitos clientes. Com base em tópicos de interesse, este componente implementa o conceito publicar/assinar e estabelece um canal de comunicação em tempo real entre clientes do modelo PS2DICOM. Ao utilizar mensagens dentro do padrão *pub/sub* para trafegar as informações do modelo, esse módulo é capaz de melhorar a eficiência da tarefa de comunicação de dados dentro do padrão DICOM, consolidando a integração entre diferentes especialistas.

Esse serviço está apto a colher as mensagens provenientes de diferentes hospitais ou clínicas da rede, e encaminhar as requisições aos seus respectivos destinatários. Uma cópia então é criada e armazenada em instâncias seguras implantadas na nuvem, para *backup* e futuras consultas. Este módulo é responsável por gerenciar os fluxos de dados entre entidades da rede e fornecer balanceamento de carga para *brokers* quando for necessário. A Figura 16 ilustra a dinâmica do fluxo de mensagens no modelo em estudo, os números representam as etapas entre o envio e recebimento dos dados.

Figura 16: Diagrama representando o conceito *Pub/Sub* baseado em tópicos



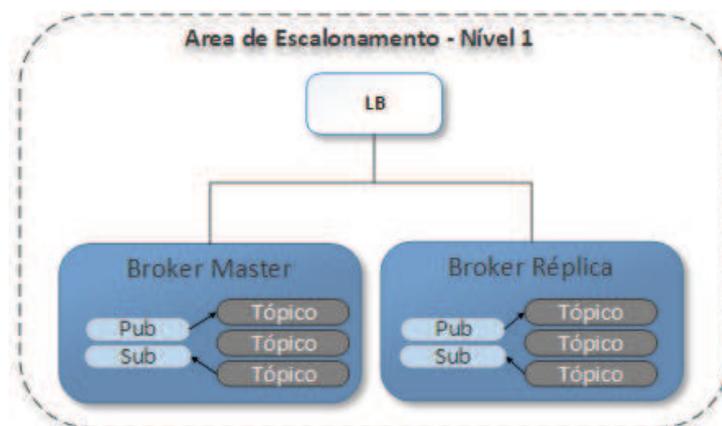
Fonte: adaptado pelo autor com base em <https://cloud.google.com/pubsub/docs/overview>.

4.5 Elasticidade *Level 1 Brokers*

Elasticidade é um recurso chave ao implantarmos computação em nuvem e está entre as características do modelo que devem ser oferecidas pelo *middleware* adotado. Quando utilizamos computação em nuvem podemos fazer uso de rotinas definidas ao lidar com as cargas de trabalho que ultrapassam os recursos alocados previamente, sem comprometer desempenho e funcionalidades do sistema. Analisar os recursos disponíveis e disponibilizá-los de acordo com a carga de serviço vai garantir uma economia no custo final da operação (RIGHI, 2013). A abordagem reativa automática é tradicional e está disponível na maioria dos *middlewares* de nuvem comerciais disponíveis atualmente. Parte fundamental do modelo PS2DICOM, a elasticidade oferecida no primeiro nível da arquitetura visa garantir variabilidade dos recursos disponíveis conforme demanda.

Neste módulo da arquitetura, as requisições provenientes de diferentes instituições conectadas ao sistema são recebidas em um ponto único, como mostra a Figura 17, o qual é responsável por aumentar ou diminuir a quantidade de *brokers* ativos. Com base em *thresholds* de utilização de CPU, esse *load balancer* é capaz de concentrar as demandas provenientes dos clientes, e replicar *brokers* caso a taxa de ocupação ultrapasse um desses limites. Este balanceador garante estabilidade ao modelo quando houver picos de utilização ou ainda desligando instâncias inativas, quando as mesmas deixarem de ser necessárias por um certo período de tempo. Esse balanceador de carga recebe a solicitação dos clientes do modelo, avalia as regras do ouvinte em ordem de prioridade para determinar qual regra aplicar e, em seguida, seleciona um alvo do

Figura 17: Componentes do primeiro nível de escalonamento.



Fonte: elaborado pelo autor.

grupo de destino para executar a ação da regra usando o algoritmo de roteamento *Round Robin*.

Quanto as decisões de elasticidade deste nível do modelo foi adotada a solução apresentada em (RIGHI et al., 2016). O modelo PS2DICOM é capaz de alocar recursos para este nível da arquitetura sem a necessidade de intervenção do usuário. Ao monitorar periodicamente a carga de utilização da CPU essa solução é capaz de alocar novas máquinas virtuais para executar processos escravos que realizam requisições ao *load balancer* em portas de rede diferentes (*listeners*). Essa ação é controlada pelo balanceador de carga e somente após sua inicialização completa a nova VM passa a responder requisições provenientes do sistema.

O modelo PS2DICOM pode finalizar de forma automática a utilização de uma VM a partir do monitoramento do uso de CPU. Uma vez que a taxa de ocupação deste recurso atinja o *threshold* mínimo definido durante determinado intervalo de tempo, o balanceador de carga encarrega-se de encaminhar as requisições dos processos escravos para a última VM inicializada e desativa a VM subutilizada, mantendo pelo menos um *broker* em funcionamento para responder as demandas dos sistema. Essa ação de elasticidade diminui o consumo por recursos computacionais do *middleware* de nuvem em uso.

4.6 Elasticidade *Level 2* Bancos de Dados

No estágio seguinte da arquitetura apresentada, temos outro balanceador de carga, este responsável por receber as requisições internas de diferentes *brokers* e distribuí-las entre instâncias de banco de dados, dedicadas ao armazenamento das imagens em estudo. A fim de garantir que os dados tratados pelo modelo estejam disponíveis para futuras consultas, essa técnica de armazenamento permite que imagens já arquivadas possam ser consultadas a partir da nuvem, sem a necessidade de um novo *upload*. Ao concentrar os arquivos DICOM em instâncias na nuvem, estamos melhorando a eficiência na comunicação entre publicadores e assinantes.

Neste estágio, o modelo novamente implementa ações de elasticidade sugeridas em (RIGHI

Figura 18: Componentes do segundo nível de escalonamento.



Fonte: elaborado pelo autor.

et al., 2016), dessa forma novas VMs dedicadas ao armazenamento de imagens podem ser alocadas ao serem atingidos *thresholds* pré definidos, sem necessidade de intervenção por parte dos usuários do sistema. O modelo aqui foi adaptado para disparar novas VMs de bancos de dados a partir da taxa de ocupação de disco. Ou seja, quando recursos de armazenamento ultrapassam os limites definidos de antemão, o *load balancer* instancia nova VM e redireciona as requisições de escrita provenientes do sistema através de uma porta de rede diferente (*listener*). Como forma de melhorar a eficiência para as requisições provenientes dos *brokers* Esse balanceador de carga, avalia as regras definidas para os *listeners* em ordem de prioridade para determinar qual regra aplicar e, em seguida, seleciona uma das instâncias de banco de dados disponíveis para executar a ação da regra usando o algoritmo de roteamento *Round Robin*.

4.7 Considerações Parciais

O modelo apresentado proporciona integração entre diferentes especialistas que utilizam imagens padrão DICOM no apoio ao diagnóstico. Pode ser aplicado a redes hospitalares, públicas ou privadas, a fim de melhorar o procedimento de Telemedicina, uma vez que se apropria de características fundamentais da computação em nuvem tais como a elasticidade. A arquitetura apresentada na Seção 4.2 descreveu os componentes e funções de cada módulo e como a utilização de técnicas de compactação podem impactar no tempo final de comunicação entre clientes PS2DICOM.

A Seção 4.4 abordou como as imagens médicas podem ser trocadas de forma eficiente, em tempo real utilizando o paradigma publicar/assinar e como essa técnica pode facilitar a comunicação entre os envolvidos no diagnóstico baseado em imagens. Finalmente, as Seções 4.5 e 4.6 elucidaram as decisões de elasticidade em cada nível da arquitetura, mostrando como a utilização de gatilhos e *thresholds* pode ser aplicada para reservar ou dispensar recursos conforme demanda.

5 METODOLOGIA

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

Cada módulo desenvolvido para essa arquitetura foi avaliado e testado a fim de identificar sua viabilidade de implantação e a capacidade de melhorar a eficiência para cada tarefa designada. Dessa forma foram desenvolvidos protótipos de cada serviço, aptos a coletar e analisar os dados gerados em produção e apontar a viabilidade de implantação desses recursos. Esta avaliação pode ser realizada a partir de medições no tempo de transmissão utilizando as diferentes técnicas sugeridas. As Seções seguintes exploram ainda as variáveis do sistema identificadas e contextualizam diferentes cenários passíveis de serem encontrados em um sistema posto em produção.

5.1 Questões de Desenvolvimento

O modelo proposto foi testado utilizando infraestrutura disponibilizada pela Amazon, e os serviços S3, Ec2 e RDS. Contudo, ele independe do provedor de nuvem adotado, uma vez que é uma arquitetura extensiva e abrangente. Esta solução é capaz de ser implementada nas diferentes nuvens disponíveis no mercado, bem como em nuvens privadas e *middlewares* locais desenvolvidos exclusivamente para este fim. A arquitetura elaborada neste trabalho integra o fluxo de imagens existente em hospitais e clínicas, a um *broker RabbitMQ*¹ escalável, através de um *middleware* configurável que oferece melhorias na tarefa de transmissão dos dados na rede.

O protótipo desenvolvido tem como objetivo principal testar a aplicabilidade do modelo PS2DICOM. Para tanto foram utilizados módulos escritos em diferentes linguagens e com diferentes objetivos. As subseções a seguir descrevem esse desenvolvimento e a infraestrutura utilizada para implantação, bem como os algoritmos e técnicas aplicadas para a resolução da questão de pesquisa e objetivos deste projeto. Cada seção aborda um componente desse protótipo e elucida seus principais atributos.

¹<https://www.rabbitmq.com/>

5.1.1 Verificador de Rede

Este componente do protótipo é responsável por testar o desempenho da rede antes do início da tarefa de comunicação. Com base nos resultados obtidos através da filtragem dos valores de *upload* contidos nas *string* fornecida pela função-teste, o algoritmo é capaz de obter a velocidade de transmissão da rede em dado momento. A partir deste valor e da quantidade de dados a serem transmitidos, o modelo pode optar pela taxa de compressão a ser aplicada no *dataset*. O Algoritmo 1 descreve de forma simplificada o procedimento de obtenção da velocidade de upload da rede no lado do cliente. Uma vez de posse dessa informação o sistema poderá calcular a taxa ideal de compactação a ser aplicada nos diferentes conjuntos de imagens DICOM a serem enviados para a nuvem.

Algoritmo 1: Pseudo-linguagem do processo Verificador de Rede.

Entrada: função teste de velocidade simples

Saída: velocidade de *upload* em megabytes

início

 inicializa *speed-test*;

 up = *string*(subprocess.getoutput('speedtest-cli -simples'));

 upload = (funcao_extrai_expressao_regular (up));

fim

5.1.2 Controlador de Compressão

A partir dos resultados obtidos pelo Verificador de Rede, este módulo irá controlar o nível de compressão a ser aplicado no conjunto de dados a serem transmitidos. Com base em uma análise de sensibilidade das variáveis do sistema, o Controlador de Compressão é ajustado as características da rede e pode decidir por aplicar ou não os algoritmos de compactação. O Algoritmo 2 é responsável por testar qual a melhor taxa de compressão a ser aplicada ao conjunto de dados antes de sua transmissão. Com base na velocidade de *upload* e na quantidade de dados a serem transmitidos esse módulo decide o nível de compressão ideal para o conjunto de arquivos a serem transmitidos.

Uma vez ajustado o melhor nível de compressão ao qual o *dataset* será exposto, o pacote de arquivos do cliente estará pronto para ser compactado. Neste momento os arquivos contendo as imagens DICOM são enviados para o Controlador de Armazenamento do modelo que gera a *URL* dos arquivos recolhidos pelo sistema e insere esta *String* no Controlador de Notificações *Pub/Sub*.

Algoritmo 2: Pseudo-linguagem do processo Controlador de Compressão.

Entrada: velocidade de *upload* em megabytes/s, quantidade de dados em megabytes

Saída: nível de compressão a ser aplicado

inicializa $i = dataset/upload$;

inicializa $dados = dataset$;

início

se $dados < x < y$ **então**

se $largura_de_banda < i$ **então**

caso $i < 10$ **faça**

 | set.zip.level, (9)

fim

caso $i > 10 < 50$ **faça**

 | set.zip.level, (5)

fim

caso $i > 50 < 100$ **faça**

 | set.zip.level, (1)

fim

senão

 | set.zip.level, (0)

fim

senão

 | set.zip.level, (0)

fim

fim

5.1.3 Controlador de Armazenamento

Neste módulo do modelo PS2DICOM encontra-se a aplicação responsável por coletar as *URLs* geradas no momento da transmissão dos arquivos e disponibilizá-las para o Controlador de Notificações *Pub/Sub*. Esta *URL* será então publicada nos tópicos em que o cliente publicador estiver cadastrado e transmitida para todos os seus assinantes. O Controlador de Armazenamento atua no endereçamento dos dados armazenados no nível 2 da arquitetura, e evita a sobrecarga na retransmissão de arquivos para todos os clientes assinantes em cada tópico.

5.1.4 Controlador de Notificações *Pub/Sub*

Este módulo do modelo PS2DICOM, abrange aplicações localizadas tanto do lado do cliente quanto do lado do servidor, e compõe parte fundamental deste protótipo. Responsável por encaminhar solicitações de diferentes clientes conectados ao sistema, essa aplicação fornecerá o desacoplamento necessário para integrar usuários heterogêneos localizados em diferentes hospitais de forma transparente e em tempo real. O módulo utilizado neste teste refere-se ao serviço de notificação de mensagens *RabbitMQ*. Este recurso automatiza as funções de um *Broker Publish/Subscribe* e facilita o trabalho de implantação dessa solução.

5.2 Parâmetros e Cenários

Como forma de avaliar o desempenho do modelo em questão, foram definidos quatro cenários principais para este trabalho. São eles:

- (i) Sem a utilização de recursos de elasticidade.
- (ii) Com a utilização de elasticidade aplicada ao *Level 1*.
- (iii) Com a utilização de elasticidade aplicada ao *Level 2*.
- (iv) Com a utilização de elasticidade aplicada ao *Level 1 e Level 2*.

Os parâmetros definidos para os diferentes cenários, referem-se ao tempo de comunicação das mensagens, aplicando ou não métodos de elasticidade a cada um dos níveis do modelo. Há ainda, a utilização de diferentes graus de compressão aplicados ao *dataset*. Esse parâmetro foi considerado a fim de avaliar a eficiência das técnicas de compressão/descompressão na comunicação de imagens DICOM.

5.3 Cargas de Trabalho e Infraestrutura

Foram utilizados diferentes cargas de trabalho durante a confecção do protótipo e realização dos testes. No que tange a compressão/descompressão dos dados foram utilizados conjuntos de arquivos contendo imagens DICOM, que variavam entre 10MB até 1GB. Na parte do *Publish/Subscribe* foram coletados dados utilizando *bursts* contendo entre 1 e 100000 mensagens simultâneas. As mensagens transmitidas pelo *broker* variam entre 1KB e 2500KB.

5.4 Métricas de Avaliação

Diferentes tipos de imagem oriundas de distintas modalidades, podem gerar variações na velocidade de transmissão (MAANI; CAMORLINGA; ARNASON, 2012). Tendo isso em vista, foram utilizadas imagens de TC (Tomografia Computadorizada) e de RM (Ressonância Magnética) para observar o desempenho da tarefa de compressão e transmissão desses arquivos. Foram 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 em forma de metadados.

Podemos caracterizar os dados utilizados para os testes em questão como dados de saúde de uso secundário, onde as informações relacionadas a saúde pessoal são usadas indiretamente para análises e pesquisas (SAFRAN et al., 2007). Devido a natureza privada das informações constantes em cada estudo, foram utilizados dados anônimos antes da transmissão, mesmo que para fins legítimos, conforme sugerem as regras previstas no (HIPAA, 1996).

Para a correta avaliação dos resultados obtidos em cada cenário foram definidas métricas para medir a eficiência na utilização dos recursos computacionais do modelo bem como o seu desempenho. Tais métricas são destacadas a seguir:

- Tempo de execução: Esta métrica corresponde ao tempo total, em segundos, de execução de determinada tarefa em relação a carga de dados aplicada.
- Largura de Banda: Corresponde a capacidade de comunicação de certa quantidade de dados por determinado período de tempo.

$$L(n) = \frac{D(n)}{T(s)} \quad (5.1)$$

- Mensagens por Segundo: Corresponde ao total de mensagens transmitidas em cada cenário dividido pelo tempo de execução adquirido. Equivalente a taxa de transferência (*throughput*) do modelo.

$$T(n) = \frac{M(n)}{T(s)} \quad (5.2)$$

- Nível de Compressão: Observa o nível de compactação relacionado ao tempo e a quantidade de dados compactados.

6 RESULTADOS

Este Capítulo descreve os resultados obtidos em todos os testes realizados nos diferentes ambientes e cenários definidos. Os resultados associados a métrica Tempo de Execução são apresentados na Seção 6.1, a análise da métrica Mensagens por Segundo é feita na Seção 6.2. Os resultados obtidos com diferentes Níveis de Compressão são abordados na Seção 6.3 enquanto a Seção 6.4 aborda as métricas definidas para o Balanceamento de Carga *Level 1*. A Seção 6.5 elucida os resultados obtidos pelo Balanceamento de Carga *Level 2* e a Seção 6.6 apresenta considerações acerca do Comportamento do Sistema e encerra este capítulo.

6.1 Tempos de Execução

As Tabelas 3 e 4 apresentam o tempo de *upload* e *download* de imagens DICOM utilizando diferentes níveis de compactação aplicados ao conjunto de dados, comparados ao tempo de envio e recebimento dos mesmos dados sem o uso de compressão. Podemos observar que após compactadas as mesmas puderam ser transmitidas em menor tempo, ainda que utilizando graus mais intensos de compactação.

Tabela 3: Tempo de *upload* utilizando diferentes graus de compressão.

Dados DICOM	ZIP Level 0 + Up	UnZip Level 0 + Down	ZIP Level 2 + Up	UnZip Level 2 + Down	ZIP Level 3 + Up	UnZip Level 3 + Down
10 MB	60,283s	6,751s	22,578s	5,347s	21,227s	5,572s
50 MB	91,239s	16,602s	37,714s	11,118s	37,27s	9,33s
100 MB	187,617s	42,346s	67,592s	19,602s	65,067s	15,587s
200 MB	341,633s	72,951s	131,652s	29,491s	134,053s	28,189s
400 MB	723,007s	132,251s	330,265s	74,396s	322,468s	79,015s

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 4: Tempo de *upload* utilizando diferentes graus de compressão.

Dados DICOM	ZIP Level 5 + Up	UnZip Level 5 + Down	ZIP Level 7 + Up	UnZip Level 7 + Down	ZIP Level 9 + Up	UnZip Level 9 + Down
10 MB	21,478s	5,590s	21,608s	6,067s	29,241s	5,741s
50 MB	38,627s	12,892s	41,643s	12,135s	61,774s	13,782s
100 MB	67,686s	17,067s	74,055s	19,760s	114,322s	17,002s
200 MB	138,142s	33,021s	148,053s	22,931s	226,310s	24,001s
400 MB	333,034s	48,693s	355,713s	79,840s	380,094s	67,141s

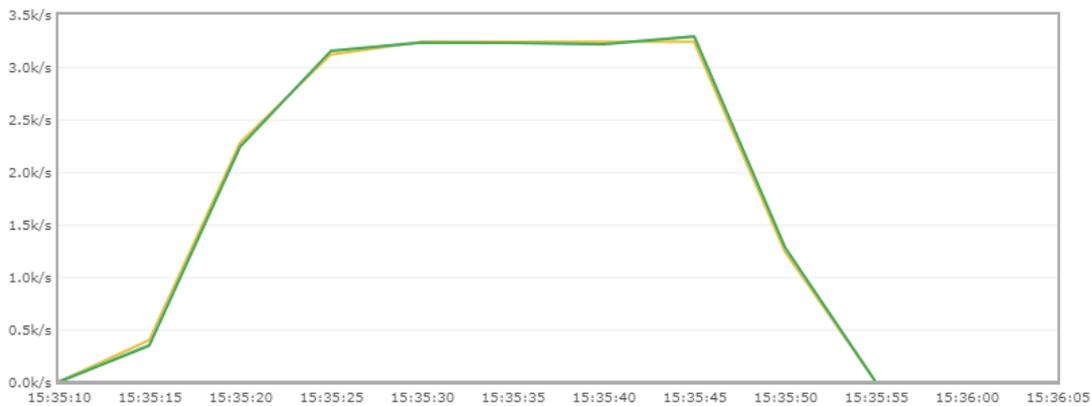
Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos neste teste sugerem que o emprego de compressão nos dados DICOM colaboraria com a melhoria da eficiência da tarefa de transmissão de arquivos em redes hospitalares. Posto que, uma vez compactadas essas imagens podem ser enviadas e recebidas em menor tempo, mesmo considerando o tempo despendido para comprimir e descomprimir os arquivos antes do envio e depois do recebimento respectivamente.

6.2 Mensagens por Segundo

A Figura 19 descreve o número de mensagens por segundo (*throughput*) publicadas e consumidas em um cenário de 1 produtor e 1 consumidor respectivamente, com uma carga de trabalho de 100000 mensagens de 1KB cada. Podemos observar que o *broker* transmite cerca de 3500 mensagens/s com esse *workload*.

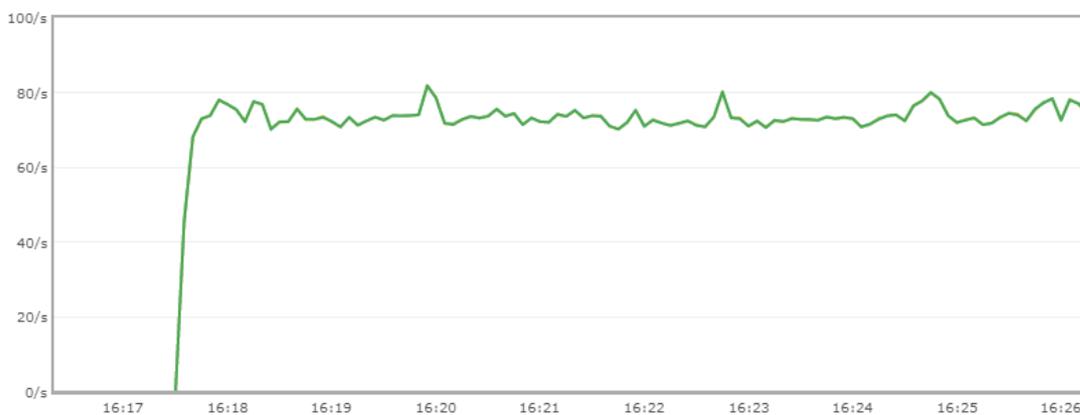
Figura 19: Número de mensagens/s em tamanho padrão produzidas e consumidas.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 20 refere-se as mensagens publicadas e consumidas em um cenário de 1 produtor e 1 consumidor como no exemplo anterior. Nesta etapa a carga de trabalho foi aumentada e contém mensagens com 10 imagens padrão DICOM por transmissão. Podemos observar que o *broker* transmite cerca de 75 mensagens/s com esse *workload*.

Figura 20: Número de mensagens/s com tamanho modificado produzidas e consumidas.

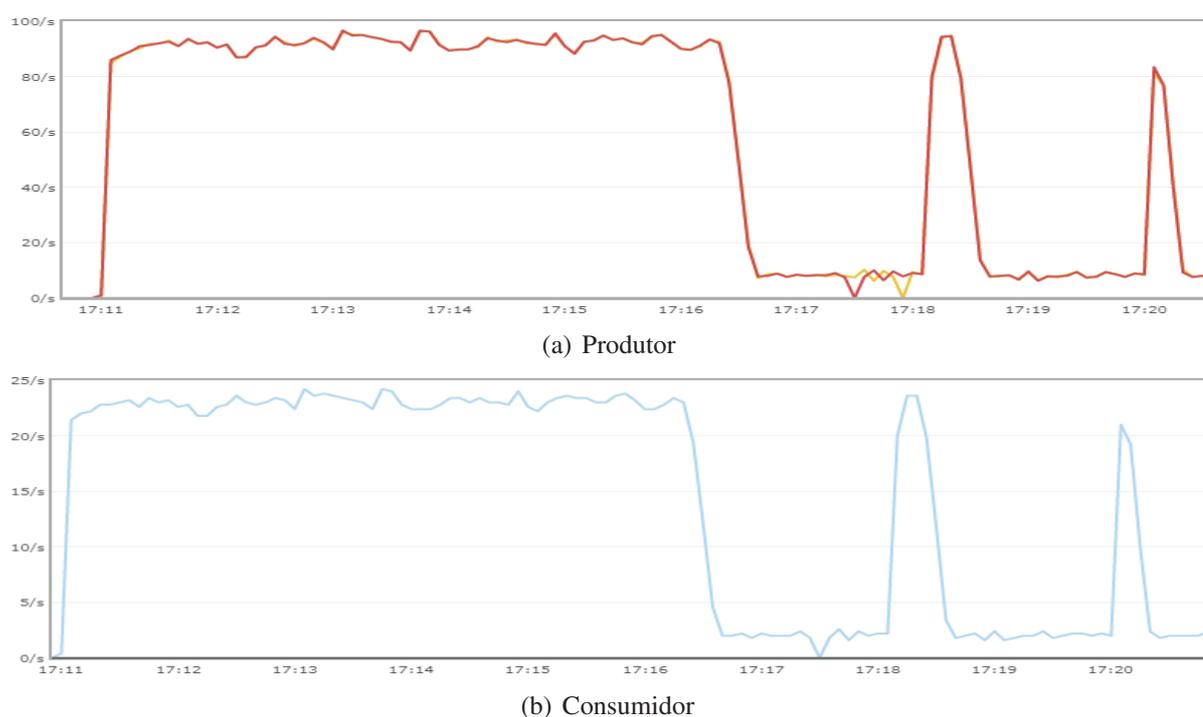


Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 23 descreve o comportamento do sistema com 2 produtores e 4 consumidores, a carga de trabalho é constante, contendo mensagens com 10 imagens no padrão DICOM cada. Podemos observar que os produtores descritos na Figura (a) transmitem cerca de 90 mensa-

gens/s durante determinado período de tempo antes de ter o desempenho reduzido. Já os consumidores ilustrados na Figura (b) recebem em torno de 20 mensagens/s durante esse mesmo período. Aqui há uma variação do desempenho provocada pela carga de trabalho aumentada, os *brokers* começam a transmissão entregando um número alto de mensagens, porém após terem seus recursos ocupados pelo número elevado de requisições, perdem desempenho o que ocasiona a diminuição do *throughput*. Esse comportamento se mantém até que a instância executando os *brokers* tenha seus recursos desocupados e estes fiquem disponíveis novamente para a execução da tarefa.

Figura 21: *Throughput* em um cenário com múltiplos produtores/consumidores.

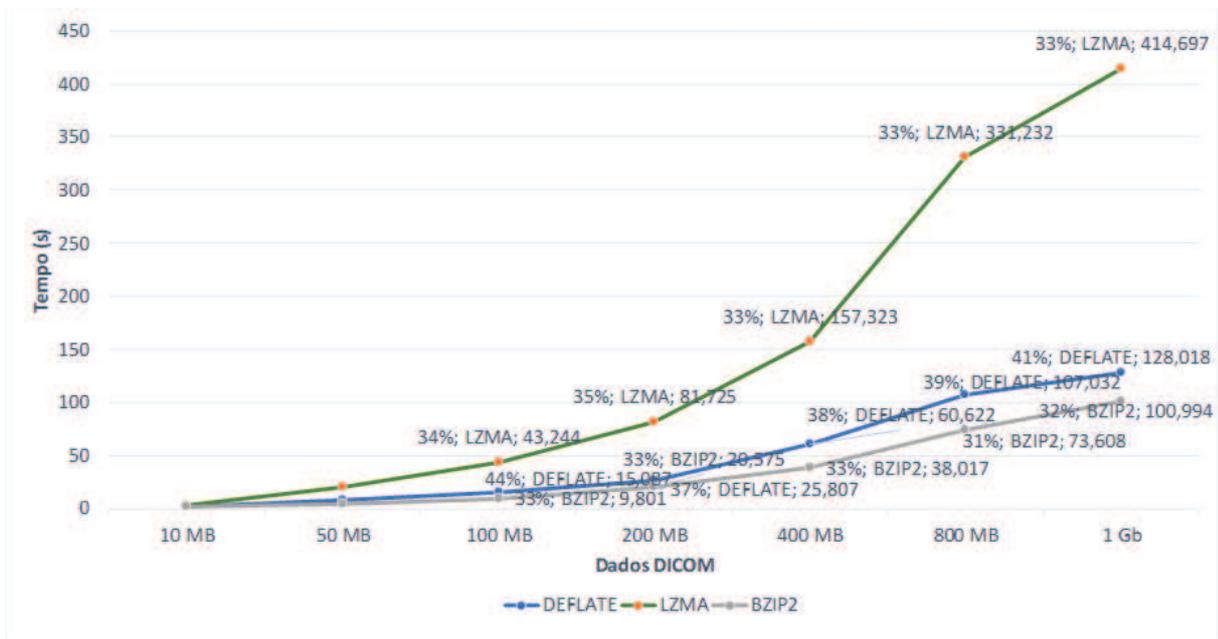


O gráfico que demonstra o número de mensagens por segundo recebidas pelos consumidores apresenta um aspecto semelhante ao gráfico dos produtores. Essa simetria é decorrente do fluxo de mensagens constante proveniente dos produtores, igualmente distribuídas e entregues entre os consumidores. Podemos observar que o número de mensagens/s produzidas é equivalente ao número de consumidores envolvidos na tarefa.

6.3 Níveis de Compressão

A Figura 22 apresenta o tempo empregado para a execução de cada carga de trabalho utilizando diferentes algoritmos de compressão aplicados às imagens DICOM. O eixo X corresponde a quantidade de dados medidos em *Megabytes* utilizados para cada teste. O eixo Y refere-se ao tempo medido em segundos e cada linha do gráfico representa o algoritmo empregado na compactação dos dados.

Figura 22: Tempo obtido aplicando diferentes algoritmos de compressão as imagens DICOM.



Fonte: elaborado pelo autor.

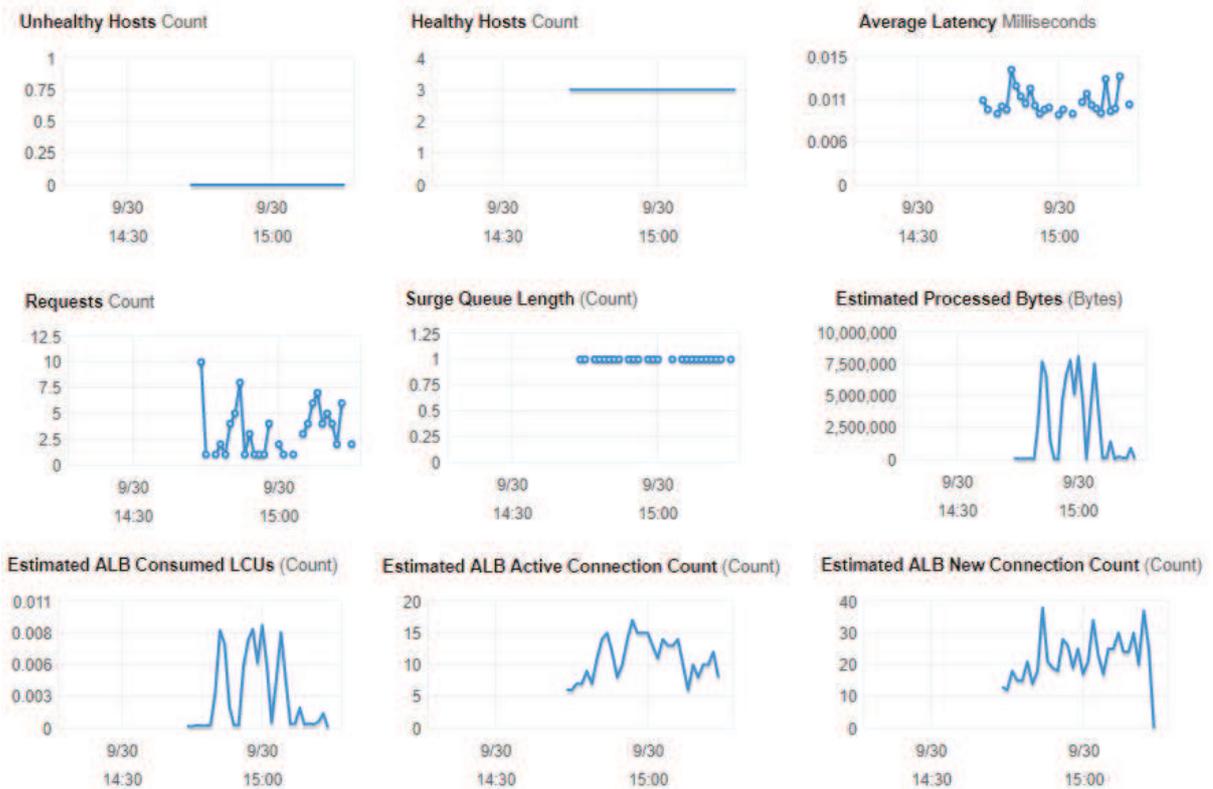
Podemos perceber que o algoritmo *DEFLATE* apresentou os melhores resultados, compactando conjuntos de imagens DICOM de diferentes tamanhos em menor tempo comparado aos demais. Os resultados obtidos utilizando o algoritmo LZMA (Lempel-Ziv Markov) demonstrou-se menos eficiente confrontado aos outros.

6.4 Balanceamento de Carga Level 1

Testando o balanceador de carga do nível 1 da arquitetura observou-se que o mesmo comportou-se de forma esperada, distribuindo as requisições entre três instâncias do *borker RabbitMQ*. Foram aplicados *bursts* contendo entre 1 e 100000 mensagens de tamanhos equivalentes a 10 imagens padrão DICOM, a Figura 23 apresenta o comportamento do *load balancer* frente as requisições provenientes do cliente.

O cliente utiliza o endereço IP do *endpoint* para enviar as solicitações. O balanceador de carga que recebe as requisições seleciona alvos cíclicos saudáveis utilizando o algoritmo *Round Robin* e envia a solicitação para o destino usando seu endereço IP privado. Podemos observar nos gráficos que as instâncias mantiveram-se saudáveis durante as execuções dos *workloads* e a latência média apresentou pequenas variações durante as transmissão dos dados. Entre outras informações os gráficos apresentam: número estimado de conexões ativas, número estimado de unidades de balanceamento e número de requisições recebidas e roteadas pelo *listener* do balanceador.

Figura 23: Gráficos demonstrando o comportamento do balanceador de carga *Level 1*.



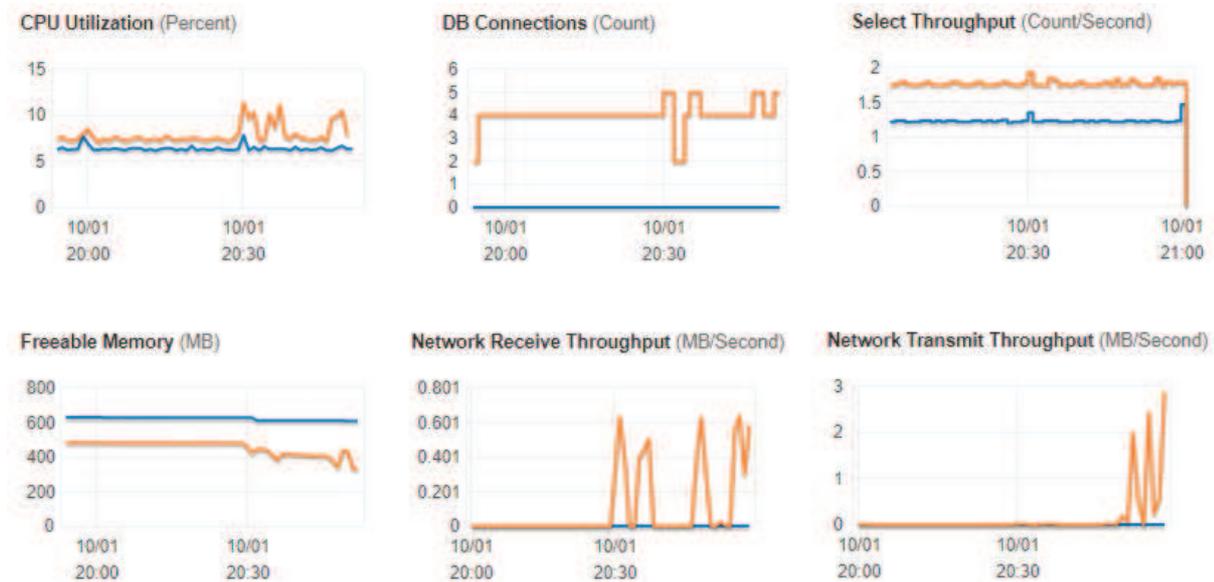
Fonte: elaborado pelo autor.

6.5 Balanceamento de Carga *Level 2*

Esta Seção apresenta os resultados obtidos na execução de operações de leitura e escrita no *endpoint* do balanceador de carga do segundo nível da arquitetura. Foram utilizadas cargas de trabalho contendo 100 imagens padrão DICOM e bancos de dados *MySQL* distribuídos em 3 instâncias. Podemos observar nos gráficos constantes na Figura 24 a utilização de CPU na instância principal representada pela cor azul e na sua réplica representada pela cor laranja. Os gráficos apresentam entre outras informações a taxa de *throughput* de recepção e transmissão e o número de conexões ativas nas duas instâncias selecionadas.

Através desta aplicação o nó do balanceador de carga que recebe a solicitação avalia as regras do *listener* em ordem de prioridade para determinar qual regra aplicar e, em seguida, seleciona um alvo do grupo de instâncias de destino para executar a regra usando o algoritmo de roteamento *Round Robin*. Neste estágio as instâncias possuem apenas o endereço de IP privado ficando a cargo do DNS do balanceador resolver os endereços privados de cada nó do nível 2.

Figura 24: Gráficos demonstrando o comportamento do balanceador de carga *Level 2*.



Fonte: elaborado pelo autor.

6.6 Comportamento do Sistema

Considerando os resultados obtidos nos testes realizados podemos salientar primeiramente a economia no tempo de transmissão quando aplicada compressão ao conjunto de dados. Mesmo somando o tempo de computação despendido nas tarefas de compressão e descompressão das imagens DICOM, observou-se um ganho de eficiência no envio e recepção das mesmas. Sobre-tudo quando aplicado níveis baixos de compactação aos arquivos (entre 2 e 5), dado que níveis mais altos de compactação aumentam o custo computacional da tarefa como um todo.

Levando em consideração os resultados coletados no quesito Mensagens por Segundo podemos observar o desempenho do modelo PS2DICOM na transmissão de dados com diferentes números de produtores e consumidores. Notou-se que com mensagens maiores o *throughput* diminui, chegando em determinados momentos a reduzir drasticamente o tempo da tarefa de transmissão. Os testes desenvolvidos para o modelo corroboram a eficiência da arquitetura e levam a conclusão de que o sistema pode ser posto em produção para melhorar o procedimento de transmissão de imagens padrão DICOM.

7 CONCLUSÃO

O grande número de imagens médicas geradas diariamente traz diversos desafios e oportunidades para a correta utilização desses 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 do modelo PS2DICOM. Conforme pesquisa no Tabnet¹ (ferramenta de tabulação de dados de procedimentos do Sistema Único de Saúde), no mês de Julho de 2017, somente no Estado do Rio Grande do Sul foram realizados 10.046 exames de tomografia computadorizada de crânio. O número expressivo, evidencia o altíssimo quantitativo de procedimentos de diagnóstico apoiados em imagens, e a imensa importância que esses exames trazem para o processo de prevenção e tratamento do paciente.

Ao disponibilizarmos esses dados em tempo real a uma gama maior de profissionais, possibilitamos que um estudo terapêutico conjunto minimize exposição a radiações desnecessárias. Os dados ainda podem fomentar discussões sobre linhas de cuidado, apontar indicadores de saúde que podem proporcionar o mapeamento de áreas onde hajam pacientes com patologias semelhantes ou afins, e principalmente: assistir rapidez no atendimento, desoneração de custos de armazenamento e satisfação do usuário. Foi apresentado um modelo que identifica 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 projeto, selecionadas a partir de uma análise de sensibilidade e das necessidades mínimas para um funcionamento correto da aplicação em questão.

7.1 Contribuições

A pesquisa contribui ao apresentar um modelo de comunicação utilizando o paradigma *Publish/Subscribe* e recursos de elasticidade para *brokers* e bancos de dados. O modelo PS2DICOM contribui ainda ao apresentar técnicas de compressão de dados com diferentes níveis de compactação, baseadas na qualidade da rede no momento da transmissão. O modelo mostrou-se aplicável na solução do problema proposto e apto a resolver demandas relacionadas ao fluxo de trabalho de um sistema em produção. O modelo PS2DICOM atua ainda como amplificador dos recursos de apoio ao diagnóstico nas atividades médicas onde são utilizadas imagens de radiologia e oferece melhorias na eficiência da comunicação e compartilhamento de informações no procedimento de Telemedicina.

As técnicas de compressão, comunicação e arquivamento de dados apresentadas aqui, contribuem para melhorar a eficiência no compartilhamento de informações em redes hospitalares públicas ou privadas. Um vez aplicadas para a comunicação de dados dentro do padrão DI-

¹www.tabnet.datasus.gov.br/

COM, essa arquitetura pode diminuir a espera pelo diagnóstico e salvar vidas. Não obstante, o modelo PS2DICOM pode ser aplicado a outras áreas do conhecimento onde tarefas em que a eficiência na comunicação de dados são importantes. PS2DICOM pode ainda oferecer técnicas de compressão de dados adaptativa que podem ser aplicadas para diminuir o tempo na transmissão de informações.

Considerando os trabalhos estudados para composição desta dissertação podemos salientiar que o modelo PS2DICOM reúne um conjunto de soluções diferenciadas em relação ao estado da arte do tema em questão. A combinação do arquétipo publicar/assinar com a infraestrutura de recursos oferecidos em nuvem promove as condições ideais para a comunicação de imagens médicas em redes hospitalares. Não obstante, as técnicas de compressão adaptativa somadas aos demais recursos mencionados, inovam e ampliam a eficiência do procedimento de telemedicina.

A Tabela 5 ressalta as contribuições do modelo PS2DICOM comparado com os demais trabalhos analisados. Pode ser observado que o modelo possui suporte ao balanceamento de carga em níveis, tanto para *brokers* quanto para banco de dados, sem exigir restrições sobre a plataforma a ser utilizada.

Tabela 5: Contribuições do modelo PS2DICOM equiparado aos trabalhos relacionados com base nas características previamente definidas.

Trabalhos	Desempenho	Balanceamento	Níveis	Armazenamento	Compressão	DICOM	Plataforma
Teranishi et al. (2017)	✓						
Westin et al. (2015)		✓					
Almadani, Saeed e Alroubaiby (2016)		✓					
Kaur e Wasson (2015)	✓		✓		✓		
Hsu (2017)					✓	✓	
PS2DICOM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: elaborado pelo autor.

7.2 Trabalhos Futuros

Os dados referentes a estudos médicos e as imagens que os acompanham possuem característica não estruturada, o que exige uma estratégia específica para coletar, classificar e arquivar este conteúdo em servidores não relacionais (e.g. *Hadoop/HBase*) (VORA, 2011; KINI; DAVIS; WAGENAAR, 2016). O modelo PS2DICOM pode oferecer outras melhorias ao procedimento de Telemedicina ao adotar as otimizações salientadas a seguir:

- (i) Utilizar tecnologias de integração tipo ECM (*Enterprise Content Management*).
- (ii) Utilizar primitivas de comunicação baseadas no padrão DICOM para transmitir imagens diretamente do equipamentos de radiologia para o sistema.
- (iii) Avaliar o modelo PS2DICOM em ambientes reais onde o fluxo de dados é maior que o simulado em ambientes de teste.

REFERÊNCIAS

- ALMADANI, B.; SAEED, B.; ALROUBAIY, A. Healthcare systems integration using Real Time Publish Subscribe (RTPS) middleware. **Computers & Electrical Engineering**, [S.l.], v. 50, p. 67–78, 2016.
- 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.
- AWS. Elastic Load Balancing Application Load Balancers., [S.l.], 2017. Data do último acesso: 16-Maio-2017.
- BASTIAO 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.
- BRINDHA, B.; RAGHURAMAN, G. Region based lossless compression for digital images in telemedicine application. **International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2013 - Proceedings**, [S.l.], p. 537–540, 2013.
- 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.
- DOEL, T.; SHAKIR, D. I.; PRATT, R.; AERTSEN, M.; MOGGRIDGE, J.; BELLON, E.; DAVID, A. L.; DEPREST, J.; VERCAUTEREN, T.; OURSELIN, S. GIFT-Cloud: a data sharing and collaboration platform for medical imaging research. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, [S.l.], v. 139, p. 181–190, 2017.
- 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.
- ESPOSITO, C.; CIAMPI, M.; DE PIETRO, G. An event-based notification approach for the delivery of patient medical information. **Information Systems**, [S.l.], v. 39, n. 1, p. 22–44, 2014.
- ESPOSITO, C.; COTRONEO, D.; RUSSO, S. On reliability in publish/subscribe services. **Computer Networks**, [S.l.], v. 57, n. 5, p. 1318–1343, 2013.
- EUGSTER, P. T.; FELBER, P. A.; GUERRAOUI, R.; KERMARREC, A.-M. The many faces of publish/subscribe. **ACM computing surveys (CSUR)**, [S.l.], v. 35, n. 2, p. 114–131, 2003.

- FERNÁNDEZ-SÁEZ, A. M.; GENERO, M.; CHAUDRON, M. R. V. Empirical studies concerning the maintenance of UML diagrams and their use in the maintenance of code: a systematic mapping study. **Information and Software Technology**, [S.l.], v. 55, n. 7, p. 1119–1142, 2013.
- 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-setembro-2017).
- 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.
- KAUR, M.; WASSON, V. ROI Based Medical Image Compression for Telemedicine Application. **Procedia Computer Science**, [S.l.], v. 70, p. 579–585, 2015.
- KINI, L. G.; DAVIS, K. A.; WAGENAAR, J. B. Data integration: combined imaging and electrophysiology data in the cloud. **NeuroImage**, [S.l.], v. 124, p. 1175–1181, 2016.
- LEHRIG, S.; EIKERLING, H.; BECKER, S. Scalability, elasticity, and efficiency in cloud computing: a systematic literature review of definitions and metrics. In: INTERNATIONAL ACM SIGSOFT CONFERENCE ON QUALITY OF SOFTWARE ARCHITECTURES, 11., 2015. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p. 83–92.
- 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.
- MALDONADO, J. M. S. d. V.; MARQUES, A. B.; CRUZ, A. Telemedicine: challenges to dissemination in brazil. **Cadernos de saude publica**, [S.l.], v. 32, 2016.
- MELL, P.; GRANCE, T. The NIST definition of cloud computing. **National Institute of Standards and Technology, Information Technology Laboratory**, [S.l.], 2011.
- MILANI, A. S.; NAVIMIPOUR, N. J. Load balancing mechanisms and techniques in the cloud environments: systematic literature review and future trends. **Journal of Network and Computer Applications**, [S.l.], v. 71, p. 86–98, 2016.
- 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.

OOTSU, K.; YOKOTA, T.; OHKAWA, T. A Consideration on Compression Level Control for Dynamic Compressed Data Transfer Method. In: COMPUTATIONAL SCIENCE AND COMPUTATIONAL INTELLIGENCE (CSCI), 2016 INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p. 637–640.

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.

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

PUTHAL, D.; SAHOO, B. P. S.; MISHRA, S.; SWAIN, S. Cloud computing features, issues, and challenges: a big picture. **Proceedings - 1st International Conference on Computational Intelligence and Networks, CINE 2015**, [S.l.], p. 116–123, 2015.

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.

SHAHPORE, 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.

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.

SINGH, A.; JUNEJA, D.; MALHOTRA, M. Autonomous agent based load balancing algorithm in Cloud Computing. **Procedia Computer Science**, [S.l.], v. 45, n. C, p. 832–841, 2015.

TARKOMA, S. **Publish/subscribe systems: design and principles**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012.

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.

TERANISHI, Y.; KAWAKAMI, T.; ISHI, Y.; YOSHIHISA, T. A large-scale data collection scheme for distributed Topic-Based Pub/Sub. In: COMPUTING, NETWORKING AND COMMUNICATIONS (ICNC), 2017 INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2017. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2017. p. 230–236.

VARIA, J.; MATHEW, S. Overview of amazon web services. **Amazon Web Services**, [S.l.], 2014.

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.

VOLLENBROEK-HUTTEN, M.; TABAK, M.; JANSEN-KOSTERINK, S.; DEKKER, M. From Telemedicine Technology to Telemedicine Services. In: WORKSHOP ON ICTS FOR IMPROVING PATIENTS REHABILITATION RESEARCH TECHNIQUES, 3., 2015, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2015. p. 113–117. (REHAB '15).

VORA, M. N. Hadoop-HBase for large-scale data. **Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology, ICCSNT 2011**, [S.l.], v. 1, p. 601–605, 2011.

WESTIN, M.; MELIN, J.; NORDGREN, Å.; ERIKSSON, J. **Systems and devices for encrypting, converting and interacting with medical images using a mobile device**. US Patent App. 14/614,405.

WESTIN, M.; MELIN, J.; NORDGREN, A.; ERIKSSON, J.; THURMAN, A. **Systems and devices for encrypting, converting and interacting with medical images**. US Patent App. 14/884,709.

WHO. **A Health Telematics Policy**. [S.l.]: Geneva : World Health Organization, 1998.

XU, M.; TIAN, W.; BUYYA, R. A survey on load balancing algorithms for virtual machines placement in cloud computing. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, [S.l.], 2017.

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.

ZIV, J.; LEMPEL, A. A universal algorithm for sequential data compression. **IEEE Transactions on information theory**, [S.l.], v. 23, n. 3, p. 337–343, 1977.