

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

DICOMSTUDIO: PLATAFORMA MULTIDOMÍNIO PARA A TELERRADIOLOGIA

JURACY REGIS DE LUCENA NETO

João Pessoa, PB
Julho, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

DICOMSTUDIO: PLATAFORMA MULTIDOMÍNIO PARA A TELERRADIOLOGIA

JURACY REGIS DE LUCENA NETO

João Pessoa, PB
Julho, 2018

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Informática
Programa de Pós-Graduação em Informática

DICOMStudio: Plataforma Multidomínio para a
Telerradiologia

Juracy Regis de Lucena Neto

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Informática.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Computação Distribuída

Gustavo Henrique Matos Bezerra Motta
(Orientador)

Severino Aires de Araújo Neto
(Co-Orientador)

João Pessoa, Paraíba, Brasil

©Juracy Regis de Lucena Neto, 30 de Julho de 2018

N469d Lucena-Neto, Juracy Regis de.

DICOMStudio: Plataforma Multidominio para a
Telerradiologia / Juracy Regis de Lucena-Neto. - João
Pessoa, 2019.

100 f.

Orientação: Gustavo Henrique Matos Bezerra Motta,
Severino Aires de Araújo-Neto.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CI.

1. telerradiologia. 2. plataforma. 3. PACS. 4. DICOM.
5. Infraestrutura de Informação. 6. Laudo. 7. Imagens
médicas. 8. Informática médica. I. Motta, Gustavo
Henrique Matos Bezerra. II. Araújo-Neto, Severino Aires
de. III. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA



Ata da Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado de Juracy Regis de Lucena Neto, candidato ao título de Mestre em Informática na Área de Sistemas de Computação, realizada em 27 de agosto de 2018.

1 Aos vinte e sete dias do mês de agosto, do ano de dois mil e dezoito, às quatorze horas e
2 trinta minutos, no Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba, em
3 Mangabeira, reuniram-se os membros da Banca Examinadora constituída para julgar o
4 Trabalho Final do Sr. Juracy Regis de Lucena Neto, vinculado a esta Universidade sob a
5 matrícula nº 20161005670, candidato ao grau de Mestre em Informática, na área de
6 "Sistemas de Computação", na linha de pesquisa "Computação Distribuída", do Programa de
7 Pós-Graduação em Informática, da Universidade Federal da Paraíba. A comissão
8 examinadora foi composta pelos professores: Gustavo Henrique Matos Bezerra Motta (PPGI-
9 UFPB), Orientador e Presidente da Banca, Ed Porto Bezerra (PPGI-UFPB), Examinador
10 Interno, Severino Aires de Araujo Neto (UFPB), Co-orientador e Examinador Externo ao
11 Programa, Paulo Mazzoncini de Azevedo Marques (USP), Examinador Externo à Instituição.
12 Dando início aos trabalhos, o Presidente da Banca, cumprimentou os presentes, comunicou
13 aos mesmos a finalidade da reunião e passou a palavra ao candidato para que fizesse a
14 exposição oral do trabalho de dissertação intitulado "DICOMStudio: Plataforma Multidomínio
15 para a Telerradiologia". Concluída a exposição, o candidato foi arguido pela Banca
16 Examinadora que emitiu o seguinte parecer: "**aprovado**". Do ocorrido, eu, Clauirton de
17 Albuquerque Siebra, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Informática, lavrei a
18 presente ata que vai assinada por mim e pelos membros da banca examinadora. João
19 Pessoa, 27 de agosto de 2018.

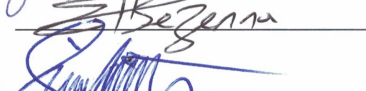
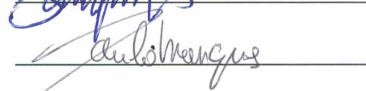

Prof. Dr. Clauirton de Albuquerque Siebra

Prof. Dr. Gustavo Henrique Matos Bezerra Motta
Orientador (PPGI-UFPB)

Prof. Dr. Ed Porto Bezerra
Examinador Interno (PPGI-UFPB)

Prof. Dr. Severino Aires de Araujo Neto
Co-orientador - Examinador Externo ao Programa (UFPB)

Prof. Dr. Paulo Mazzoncini de Azevedo Marques
Examinador Externo à Instituição (USP)


Resumo

A telerradiologia permite a recuperação de exames de imagens médicas em uma localidade e transmissão à distância para fins de diagnóstico. Entretanto, as formas de integração do workflow da telerradiologia possuem limitações tecnológicas e sociais, dificultando a formação de uma plataforma de comunicação comum entre entidades e médicos. O objetivo deste trabalho é propor o DICOMStudio, uma plataforma multidomínio, aberta, assíncrona e flexível para a telerradiologia. Para isso, projetou-se um modelo arquitetural com base no DICOMFlow (uma infraestrutura assíncrona, assimétrica e descentralizada para a prática da telerradiologia) e construiu-se um aplicativo para transmissão de laudos pelos médicos e controle das informações pela clínica. Desta forma, foram realizados testes, em caráter preliminar, para avaliar a viabilidade técnica e operacional da plataforma. Os testes ocorreram com o auxílio de um médico radiologista e uma clínica real. A plataforma DICOMStudio proporciona a integração do *workflow* radiológico, integrando médicos radiologistas e clínicas, contornando uma série de limitações técnicas e sociais.

Palavras-chave: Telerradiologia, Plataforma, PACS, DICOM, Infraestrutura de Informação, Laudo, Imagens médicas, Informática Médica.

Abstract

For diagnostic purposes, teleradiology allows medical imaging exams be retrieved and transmitted remotely. However, the teleradiology workflow integration has technological and social issues which makes a creation of a common communication platform between entities and physicians difficult. **Objective:** To propose a multidomain, opened, asynchronous and flexible platform for a teleradiology, called DICOMStudio. **Method:** An architectural model based on DICOMFlow was designed and an application was developed for transmission of reports by physicians and information control by the clinic. **Results:** Preliminary tests are being carried out to evaluate the technical and operational feasibility of the platform. The tests take place with the help of a radiologist and a real clinic. **Conclusion:** DICOMStudio provides the teleradiology workflow integration which includes radiologists and medical clinics, solving a bunch of technical and social limitations.

Keywords: Teleradiology, Platform, PACS, DICOM, Information Infrastructure, Report, Medical Imaging, Medical Informatics.

Agradecimentos

A Deus, por permitir que eu concretizasse este trabalho. À minha família, por suportar o tempo de ausência e por me dar força na caminhada. Aos amigos Danilo Alexandre e Ricardo Barbosa, sem os quais não seria possível realizar este trabalho. Ao professor Gustavo Motta pelas sabias orientações. Ao professor Severino Aires, pelas valiosas contribuições e à UFPB, por me dar o suporte necessário na realização deste trabalho.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	3
1.2	Objetivos	6
1.2.1	Objetivo Geral	6
1.2.2	Objetivos Especificos	6
1.3	Contribuições	7
1.4	Metodologia	9
1.5	Estrutura da Dissertação	10
2	Fundamentação Teórica	12
2.1	PACS	12
2.2	DICOM	14
2.3	Telerradiologia	16
2.4	Infraestruturas de Informação	19
2.5	DICOMFlow	20
2.6	Considerações Finais	25
3	Trabalhos Relacionados	26
3.1	Critérios para investigação	26
3.2	Análise crítica dos Artigos	27
3.2.1	SocialRad	27
3.2.2	Soluções baseadas em Cloud Computing	28
3.2.3	Soluções baseadas em Perfis de Integração	30
3.2.4	Soluções baseadas em e-mail	31

3.2.5	Soluções Comerciais	31
3.2.6	Resumo Comparativo	32
3.3	Considerações Finais	32
4	O DICOMStudio	34
4.1	O <i>workflow</i> da telerradiologia em uma clínica de radiologia	34
4.1.1	Fluxo 1: Envio do exame para a central de laudos	36
4.1.2	Fluxo 2: Envio do exame o médico do quadro da clínica	37
4.2	A arquitetura do DICOMStudio em alto nível	38
4.2.1	<i>Workflow</i> em alto nível, utilizando a plataforma DICOMStudio . . .	43
4.2.2	O componente DICOMMove	46
4.2.3	O componente DICOMWS	47
4.2.4	O componente DICOMPolicy	53
4.2.5	O aplicativo DICOMStudio	56
4.3	Aspectos de Segurança	63
4.3.1	A associação médico-clínica	63
4.3.2	Acesso ao PACS e disponibilização dos metadados no DICOMWS .	65
4.3.3	A autenticação do usuário no DICOMClient e transmissão do exame	65
4.4	Considerações Finais	66
5	Avaliação Experimental	67
5.1	Testes de Viabilidade Técnica	67
5.2	Testes de viabilidade técnica em ambiente interno	68
5.2.1	Configuração do ambiente interno	69
5.2.2	Resultados dos testes em ambiente interno	71
5.3	Testes de viabilidade técnica em ambiente real	71
5.3.1	Configuração do ambiente para os testes em ambiente real	72
5.3.2	Resultados dos testes em ambiente real	75
5.4	Considerações Finais	76
6	Discussão e Conclusão	77
6.1	Discussão e Conclusão	77

6.1.1	Resumo Comparativo	79
6.2	Limitações	80
6.3	Publicações	82
	Referências Bibliográficas	89

Lista de Símbolos

CT : *Computer Tomography*

MR : *Magnetic Resonance*

PACS : *Picture Archiving and Communication System*

DICOM : *Digital Imaging and Communications in Medicine*

XML : *Extensible Markup Language*

Lista de Figuras

1.1	Ausência de solução integradora entre os diversos cenários da telerradiologia	4
2.1	Modelo de arquitetura PACS	13
2.2	<i>Workflow</i> radiológico	15
2.3	Modelos de conexão para a Telerradiologia	18
2.4	Modelo arquitetural do DICOMFlow	22
2.5	Fluxo de distribuição de exames no DICOMFlow	23
3.1	Esquema de interoperabilidade proporcionado pela solução de Teleradiology-as-a-Service	29
3.2	Comparativo entre os trabalhos relacionados, considerando os critérios elencados na seção 3.1	33
4.1	Esquema de comunicação para a telerradiologia, ilustrando as múltiplas entidades de saúde executando o <i>workflow</i> radiológico de acordo com suas políticas, utilizando a plataforma DICOMStudio	39
4.2	A Arquitetura da plataforma e as tecnologias empregadas. As camadas Adaptador e DICOMStudio atuam sobre o DICOMMove, promovendo, respectivamente, direcionamento e apresentação de informações	41
4.3	<i>Workflow</i> da telerradiologia em alto nível. A interface do DICOMStudio promove um meio de comunicação comum entre o médico e entidades de saúde distintas	44
4.4	Exemplo de consulta GraphQL sendo executada, solicitando informações acerca de um registro de uma pessoa específica armazenada nos registros e a respectiva resposta	48

4.5	Modelo do Banco de Dados para Persistência dos Metadados no DICOMWS	51
4.6	Modelo físico do banco de dados do DICOMPolicy, mostrando as estruturas de dados relacionadas às políticas de distribuição dos exames	54
4.7	Armazenamento estruturado das informações dos usuários no DICOMPolicy	56
4.8	Aplicativo DICOMStudio exibindo metadados dos exames para um médico radiologista	58
4.9	Aplicativo DICOMStudio exibindo a área que mostra os exames que estão com laudo em andamento	59
4.10	Modelo Simplificado de Componentes do aplicativo DICOMStudio	60
4.11	Exemplo do resultado da consulta realizada pelo aplicativo DICOMStudio ao componente DICOMWS para obtenção dos exames disponíveis para laudar	61
4.12	Exemplo de persistência dos metadados em um modelo não relacional para o Aplicativo DICOMStudio	62
4.13	Diagrama ilustrando o processo de associação entre médico e clínica utilizando o DICOMStudio	64
5.1	Aplicativo DCMFlow utilizado para simular a geração de imagens em uma modalidade e o envio para o servidor PACS	69
5.2	Mapa ilustrando a localização da Clínica radiológica de Patos e do médico radiologista utilizado no experimento	72
5.3	Monitoramento do componente DICOMWS, exibindo o conjunto de exames transmitidos no experimento em ambiente real	74
5.4	Monitoramento do DICOMPolicy, mostrando um laudo em andamento oriundo da Clínica Radiológica de Patos	75
6.1	Comparativo entre os trabalhos relacionados (incluindo o DICOMStudio), considerando os critérios elencados na seção 3.1	80

Lista de Tabelas

5.1	Especificações dos computadores utilizados nos testes em ambiente interno	70
5.2	Especificações dos computadores utilizados nos testes em ambiente interno	73

Capítulo 1

Introdução

A telerradiologia consiste em prover serviços remotos de radiologia através de redes de computadores. Com uma infraestrutura de rede apropriada e uma configuração de software PACS [Huang 2010] (Picture Archiving and Communications Systems) adequada, arquivos de imagens médicas no formato DICOM [Digital Imaging and Communications in Medicine] podem ser facilmente compartilhados a qualquer distância [Pianykh 2012]. A indústria da telerradiologia data do final da década de 1990 [Bradley 2008] e, inicialmente, surgiu como um modelo comercial inteligente e potencialmente útil que ofereceria uma série de vantagens para as práticas da radiologia [Levin e Rao 2011].

A telerradiologia é uma das mais importantes áreas cooperativas da medicina. Subconjunto da telemedicina (sendo considerada um dos mais importantes) [Thrall 2007], é empregada principalmente quando não se dispõe de especialistas em todas as áreas necessárias e usa-se serviços de *outsourcing*, inclusive para a criação de laudos para os exames [Silva, Costa e Oliveira 2013]. O compartilhamento de estudos (exames) de imagens médicas (de forma fácil e efetiva) entre profissionais de saúde, em particular radiologistas, tem sido uma meta de longo prazo da telerradiologia [Barneveld Binkhuysen e Ranschaert 2011].

Diversos cenários de uso para a telerradiologia podem ser idealizados. [Motta 2014] categoriza seu uso da seguinte maneira:

- *Night-hawking / On-call / Off-hour reading*: Neste modelo, radiologistas, terceirizados ou não, ficam de plantão ou estão noutra localidade e se beneficiam de fuso horário oposto ao de funcionamento de uma organização, a fim de fazer interpretação dos estudos de imagens. Este modelo é útil principalmente quando há insuficiência de

especialistas;

- PACS regional: Este modelo talvez seja o mais frequente entre organizações. Nele um PACS local está conectado, via WAN, a outras organizações ou especialistas, de forma rígida e bem definida, permitindo assim conexões remotas;
- *Outsourcing* radiológico: Esse modelo é evidenciado, principalmente, em locais onde não há especialistas, assim, companhias são contratadas para prover serviços de interpretação de imagens, além de fornecer a infraestrutura necessária à telerradiologia.

A telerradiologia é empregada principalmente por organizações de saúde (e.g. pequenos centros, áreas rurais e hospitais públicos) que não dispõem localmente de especialistas em determinadas áreas da radiologia, onde é possível realizar variados tipos de exames (radiologia computadorizada e ressonância magnética, por exemplo), mas não há radiologistas suficientes para suprir a demanda de laudos para todos esses exames. Se faz necessário, então compartilhar os exames de imagem entre os médicos radiologistas para emissão de laudos à distância ou emissão de segunda opinião acerca de laudos existentes [Silva, Costa e Oliveira 2013].

O uso da telerradiologia proporciona algumas vantagens para os médicos, pois permite que eles realizem seu trabalho em diferentes localidades e horários diferentes dos habituais, como finais de semana e períodos noturnos. Para os pacientes, além do atendimento em áreas remotas citado anteriormente, é proporcionado um tempo menor de resposta e melhoria na qualidade dos laudos emitidos, uma vez que os médicos adequados para cada subespecialidade podem ser localizados mais facilmente.

No entanto, [Levin e Rao 2011] chamam a atenção para um fenômeno relativamente comum quando se fala em telerradiologia: as operações são, na maioria das vezes, delegadas a empresas especializadas em realizar tais serviços. A este processo, o autor dá o nome de “commoditização” da radiologia. O autor cita ainda, alguns problemas gerados por esta prática. São eles:

- Menor remuneração para os médicos.
- Possibilidade de encerramento de vínculos entre especialistas em radiologias e os hospitais/clínicas.

- Radiologistas poderão ser substituídos, mesmo que inadequadamente, por outros especialistas que detêm equipamentos avançados de imagem.
- Invasão da radiologia por outras especialidades.
- Obtenção de imagens de baixa qualidade, por várias razões.

Ainda sobre a questão do outsourcing radiológico, de acordo com [Figueiredo 2013], o modelo de Central de Laudos (i.e., laudo como serviço) é criticado pela própria classe de radiologistas e demais profissionais e instituições que têm como fim a qualidade e a precisão no processo de cuidados ao paciente, bem como a não banalização desta especialidade médica ([Levin e Rao 2011], [Rodríguez e Oquillas 2011]). Neste negócio, o laudo se torna um produto comercial, o qual, não raramente, é produzido por radiologistas inexperientes, que prestam esse tipo de serviço em início de carreira ou em horários extra expediente ([Brant-Zawadzki 2007]; [Kaye et al. 2008]; [Borgstede 2008]; [Hillman 2009]; [Levin e Rao 2011]).

Mesmo sob o risco das críticas, [Levin e Rao 2011] desencorajam a adesão dos médicos radiologistas às empresas de telerradiologia. Cita que sem o apoio da classe médica, tais empresas deixarão de existir. A ideia é que os médicos se relacionem diretamente com os hospitais, sem a necessidade de atravessadores interferirem no processo. As empresas de telerradiologia constituem uma limitação para que médicos mantenham livremente associações a diversas entidades de saúde ao mesmo tempo.

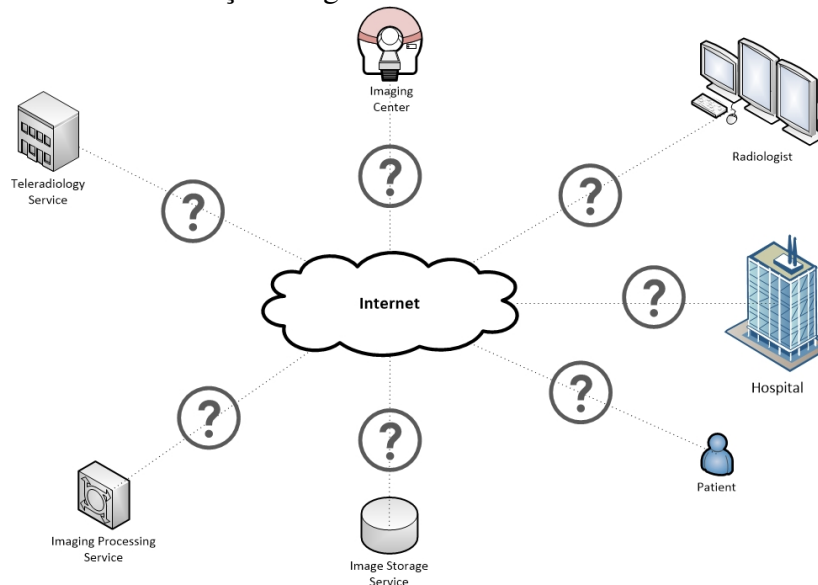
1.1 Motivação

Mesmo com diversos benefícios, como os relatados na seção anterior, as atuais infraestruturas para telerradiologia não conseguem atender à crescente demanda [Levin e Rao 2011] para compartilhamento de exames de imagens médicas entre profissionais e organizações de saúde de forma ampla, efetiva e segura. Embora não haja grandes barreiras para distribuir tais exames no âmbito local dos departamentos de radiologia, tendo por base os sistemas PACS e o padrão DICOM, há graves entraves para distribuí-los em escala global [Pianikh 2012]

De acordo com [Lucena Neto et al. 2016], a ausência de uma infraestrutura comum para a prática da telerradiologia leva as entidades ao estabelecimento de acordos bilaterais entre

as partes, caracterizados (do ponto de vista tecnológico) pela adoção de soluções *ad hoc* de integração, em geral baseadas em redes privadas virtuais e computação na nuvem. A figura 1.1 ilustra esse cenário.

Figura 1.1: Ausência de solução integradora entre os diversos cenários da telerradiologia



Fonte:Próprio autor

Conforme pode ser observado na figura 1.1, também é possível encontrar situações em que contrata-se outra entidade não afiliada, seja nacional ou estrangeira, para prestar algum tipo de serviço para a telerradiologia (e.g. centrais de laudo [Altman e Gunderman 2008] , processamento de imagens, armazenamento das imagens, radiologistas externos). Entretanto, essas formas de distribuição possuem limitações tecnológicas e sociais que dificultam a formação de uma infraestrutura de informação comum para a prática radiológica[Lucena Neto et al. 2016].

Do ponto de vista tecnológico, soluções ad-hoc são centralizadoras(para coordenação, controle ou operação), dependem de um único provedor, apresentam problemas de escalabilidade e trazem riscos associados a segurança de dados, privacidade e disponibilidade[Lucena Neto et al. 2016]. Da mesma forma, serviços de telerradiologia empregados por entidades não filiadas também apresentam características semelhantes às anteriores pois, operacionalmente, é preferível minimizar a especificidade individual da organização de saúde contratante, porque se os serviços devem ser dedicados a um cliente, as prestadoras perdem

a flexibilidade na alocação de tarefas e enfrentam menor utilização de mão de obra e, portanto, acabam desenvolvendo suas próprias soluções de software[Clark, Huckman e Staats 2013], que, por vezes, são constituídas por repositórios centralizados e meios próprios de transferência de exames e comunicação entre os médicos e a entidade de saúde.

Existe ainda a questão dos exames ou os laudos precisarem ser enviados para fora do domínio da infraestrutura estabelecida entre a organização de saúde e a prestadora de serviço e, uma vez que é de pouco interesse para empresas concorrentes de telerradiologia compartilharem recursos de colaboração entre si[Motta 2014], tal infraestrutura, que envolve modelos de negócios específicos, não possui protocolos suficientemente flexíveis ou amplamente adotados, para possibilitar o crescimento através de uma associação facilitada entre infraestruturas distintas. Assim, soluções de integração tornam-se complexas de implementar, necessitando ser ajustadas ao passo que novas organizações de saúde se integram a infraestrutura já existe.

Do ponto de vista social, a distribuição de imagens torna-se complicada e demorada quando os médicos radiologistas atendem a várias organizações de saúde e prestadoras de serviço, ao passo que essas entidades não empregam uma solução comum de distribuição de exames e não compartilham uma mesma infraestrutura [Benjamin, Aradi e Shreiber 2010]. Devido à natureza interdependente dos serviços, o médico e as entidades devem interagir para coproduzirem um bom resultado, assim é necessário que o médico radiologista aprenda sobre cada um dos contextos de trabalho ao qual é submetido[Clark, Huckman e Staats 2013]. Por exemplo, entidades distintas podem solicitar que o radiologista remoto leia um exame e forneça um laudo de formas diferentes; os procedimentos distintos exigidos pelas entidades afetam a capacidade de o radiologista concluir seu trabalho. Por outro lado, os médicos radiologistas podem possuir restrições na disponibilidade de horários de trabalho, requerendo, por parte da entidade, intervenção humana para adequar as soluções de distribuição ao contexto de trabalho do médico, como também para manter diversos tipos de processo para a mesma atividade.

Outra questão social está relacionada a contratação de prestadoras de serviço, quando esse conceito foi desenvolvido pela primeira vez, parecia um novo modelo de negócios inteligente e potencialmente útil que oferecia inúmeras vantagens às práticas de radiologia e atendimento ao paciente, mas mostrou que a principal motivação era a própria conveniência da prestadora, trazendo consigo alguns problemas para o médico radiologista e as organiza-

ções de saúde, por exemplo, a contratação pode levar a baixos ganhos para o radiologista ou pode resultar em baixa qualidade de imagens e laudos[Levin e Rao 2011].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Levando em consideração as razões expostas anteriormente, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma solução multidomínio, aberta, assíncrona e flexível para a prática da teleradiologia, aplicada a situações cotidianas dos médicos radiologistas, capaz de proporcionar o compartilhamento de estudos de imagens médicas de forma fácil e efetiva e a confecção de laudos de exames de imagem à distância.

A proposta deverá atuar nas questões não tratadas no estágio atual da telerradiologia, proporcionando a emissão de laudos à distância e fomentando a construção de uma infraestrutura assíncrona, assimétrica e descentralizada para a prática da telerradiologia.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, algumas metas específicas foram traçadas. A saber:

- Elaboração de um modelo arquitetural de software, baseado na implementação inicial do DICOMFlow, para viabilização *workflow* da telerradiologia.
- Implementação de componentes de software, tendo como base o modelo arquitetural elaborado, em conformidade com as diretrizes especificadas na proposta de protocolo de comunicação denominada DICOMFlow.
- Especificar e desenvolver uma solução de software para o usuário final (médicos radiologistas) em formato de aplicativo, capaz de prover a distribuição de exames de imagens médicas de forma simples e intuitiva e a confecção de laudos à distância. O software deve ser compatível com as principais plataformas Desktop (Windows/Linux/MAC OS).
- Desenvolver a solução, atendendo os requisitos de segurança necessários para garantir

a confidencialidade das informações dos usuários (pacientes, organizações de saúde e médicos radiologistas).

- Desenvolver uma forma de distribuir, instalar e configurar os aplicativos produzidos, de forma fácil e intuitiva. A solução não deve exigir do usuário avançadas habilidades técnicas para pô-la em operação.
- Executar experimentos para demonstrar a viabilidade técnica da arquitetura e do aplicativo produzido

1.3 Contribuições

Visando contribuir para solução dos problemas na seção 1.1, este trabalho propõe o DICOMStudio, uma plataforma multidomínio, aberta, assíncrona e flexível para a prática da telerradiologia. Por multidomínio entende-se uma infraestrutura composta de entidades heterogêneas (e.g. clínicas, hospitais e médicos radiologistas), capazes de trocar informações radiológicas por um meio comum de comunicação. Aberta no sentido de incluir um número crescente de entidades, participando como usuários de um espaço social onde podem espontaneamente formar associações para desenvolver as atividades do *workflow* radiológico típico [Zapf, Bermann e Sunderbrink 2011]. Entende-se por flexível a capacidade de manter as informações médicas (imagens e laudos) sob o controle das próprias entidades que as originaram, como também atender políticas de direcionamento diversas em conformidade com a realidade específica de cada entidade, requerendo alterações mínimas das infraestruturas já existentes.

As características apresentadas são viáveis mediante a implantação de um adaptador nas entidades envolvidas, para comunicação e compartilhamento de informações de saúde, como também a construção de um software, que implementa as políticas de acesso e controle do *workflow* radiológico, para a apresentação e manipulação das informações compartilhadas. O modelo arquitetural idealizado segue o conceito de infraestrutura de informação, ou seja, construir sobre uma infraestrutura preexistente (base instalada), formando um novo espaço social comum para as práticas radiológicas [Bowker et al. 2010] [Hanseth e Lyytinen 2010]. Assim, durante o processo de desenvolvimento da plataforma, foi utilizada a base instalada

DICOMFlow, uma infraestrutura assíncrona, assimétrica e descentralizada para distribuição de imagens médicas, que implementa um protocolo de comunicação capaz de facilitar a associação entre médicos e organizações de saúde distintos [Lucena Neto et al. 2016].

Beneficiando-se do padrão de comunicação e distribuição promovido pela proposta de protocolo DICOMFlow, o DICOMStudio fornece uma interface única de acesso a imagens e laudos para os radiologistas que atendem várias organizações de saúde, não comprometendo a capacidade de trabalho do médico, favorecendo um atendimento eficiente do serviço radiológico. Ainda, para as organizações de saúde, a plataforma possui uma ferramenta de definição de políticas de acesso e direcionamento de imagens médicas capaz de automatizar os fluxos e atender as restrições de disponibilidade impostas pelos médicos no processo de trabalho da organização. Dela, aproveita-se a implementação de protocolo de comunicação para distribuição de imagens médicas interdomínios, que facilita a associação entre médicos e organizações de saúde distintos [Lucena Neto et al. 2016].

Entretanto, apesar de implementar diretrizes de transferência e de segurança de acesso às imagens, o protocolo DICOMFlow não dispõe de diretrizes de notificação ou de distribuição para controle do *workflow*. A ideia, portanto, é apoiar-se na plataforma [Firebase] e na tecnologia [GraphQL] para, respectivamente, controlar as políticas de direcionamento das informações de saúde e emitir mensagens em forma de notificações. Assim, usufrui-se da natureza assíncrona e flexível da plataforma Firebase, que possui elevada conectividade, como também da natureza escalável do GraphQL, capazes, na prática, de direcionar informações em forma de notificações a uma ampla variedade de entidades de forma segura (com confidencialidade, integridade e autenticidade).

De outra parte, a base sobre a qual se apoia a interface com o usuário do DICOMStudio é composta pelas tecnologias [Javascript], [ReactJS] e [ElectronJS], fornecendo um canal direto de comunicação entre o radiologista e as entidades com as quais interage. Para o radiologista, consiste em uma interface única de acesso às informações independentemente das entidades que as originaram, um meio de controle das configurações de direcionamento das requisições de laudo. Então, usufrui-se da natureza multiplataforma das tecnologias empregadas, capazes de funcionar nas diferentes infraestruturas existentes nas entidades ou nos diferentes dispositivos utilizados pelo radiologista na execução de seu trabalho.

Por fim, o DICOMStudio fornece um canal direto de comunicação entre o médico radio-

logista e as organizações de saúde para a execução dos serviços radiológicos, possibilitando prescindir a contratação de entidade não afiliada para prestação desses serviços, contornando os problemas inerentes a esse modelo de negócio. A plataforma DICOMStudio fornece, ainda, uma modalidade escalável para que os médicos possam trabalhar em parceria com diversas entidades de saúde.

1.4 Metodologia

Visando atender os objetivos propostos anteriormente, a implementação do DICOMStudio foi realizado seguindo o modelo evolucionário de software [Pressman 2009] (essencialmente iterativo) através da prototipação. Além disso, foram feitas (de forma contínua) investigações das propostas de maior relevância na literatura, dando ênfase às soluções consagradas na área de elaboração de laudos à distância através da telerradiologia. Uma implementação de referência foi construída, para que experimentos em ambientes reais de utilização fossem posteriormente realizados.

Conforme visto anteriormente, a telerradiologia é particularmente útil em pequenos centros urbanos e áreas rurais. Necessitou-se de uma forma de captar os requisitos para a elaboração da plataforma. Um ambiente real, que pudesse ser representativo em termos das características necessárias para o uso da telerradiologia. Sendo assim, dentre as várias possibilidades disponíveis, a Clínica Radiológica de Patos (localizada no sertão paraibano) foi escolhida pois se mostrou viável para experimentação, uma vez que possui infraestrutura PACS montada em seus domínios, não dispõe de médicos radiologistas suficientes no local para atender a demanda de laudos (seja em subespecialidades da radiologia ou até mesmo em disponibilidade de horários) e fica localizada fora do espectro de um grande centro urbano.

A clínica já faz uso da telerradiologia, utilizando um conjunto heterogêneo de tecnologias de forma *ad hoc*. Acredita-se que os requisitos coletados na Clínica Radiológica de Patos podem ser estendidos para outras instâncias, pois a clínica concentra as características que fazem o uso da telerradiologia ser imprescindível para seu correto funcionamento. O auxílio da clínica, através do feedback e validação, de corpo médico e técnico foram imprescindíveis para elaboração deste trabalho.

Em suma, as atividades executadas neste trabalho foram:

1. Investigação das propostas descritas na literatura, observando os aspectos relevantes para a construção deste trabalho (Capítulo 3).
2. Identificar a prática da telerradiologia em organizações de saúde (em particular, na Clínica Radiológica de Patos), através de visitas e observações, visando mapear seus fluxos de trabalho e ferramentas utilizadas (Seção 4.1).
3. Entrevistas com profissionais da área (médicos e especialistas em radiologia da clínica radiológica de Patos), com o objetivo de obter uma melhor coleta de requisitos de software e percepção de detalhes acerca do *workflow* radiológico dos departamentos de radiologia (Seção 4.1).
4. Identificar e avaliar as soluções existentes para criação de laudos para exames de imagens médicas e suas lacunas, incluindo as soluções empregadas para a realização destas operações à distância (Capítulo 3).
5. Definição arquitetura e das tecnologias utilizadas e especificação das soluções a serem desenvolvidas (Seção 4.2).
6. Desenvolvimento de um aplicativo para computadores pessoais, fornecendo a interface para emissão de laudos (Seção 4.2.5).
7. Realização de experimentos para avaliar a viabilidade técnica da arquitetura e análise dos resultados (Capítulo 5).
8. Produção de artigo científico descrevendo a solução desenvolvida e os resultados obtidos (Seção 6.3).
9. Produção da tese: Redação final e defesa.

1.5 Estrutura da Dissertação

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma:

Capítulo 2: Mostra a fundamentação teórica, abordando os trabalhos que serviram de base para a construção deste. Apresenta o conteito da arquitetura PACS, padrão DICOM,

telerradiologia e discorre sobre o DICOMFlow (a infraestrutura que serviu de base para este trabalho).

Capítulo 3: Versa sobre trabalhos correlatos. Faz a comparação, quando necessário, das características entre eles.

Capítulo 4: Mostra o DICOMStudio em detalhes, desde a arquitetura adotada, abordando os conceitos utilizados, passando pelas tecnologias empregadas e mostrando aspectos da implementação de referência e do modelo de interação com os usuários.

Capítulo 5: Descreve experimentos para avaliação da viabilidade técnica da arquitetura e operacional (dos aplicativo desenvolvidos) em ambiente simulado e real, assim como a apresentação dos resultados;

Capítulo 6: Conclui apresentando a discussão, conclusão do trabalho e as limitações detectadas.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos relacionados à telerradiologia, infraestrutura PACS/DICOM e infraestruturas de informação. Estes conceitos são a base de conhecimento sobre a qual este trabalho está sendo construído. Logo após, é feito um detalhamento sobre os conceitos da proposta de protocolo de serviços DICOMFlow, trabalho sobre o qual tentou-se dar continuidade e aprimorar com a contribuição deste.

Em seguida, são mostrados alguns trabalhos relacionados na área específica de telerradiologia, com foco na criação de laudos de exames de imagem. Por fim, são realizadas as considerações finais do capítulo.

2.1 PACS

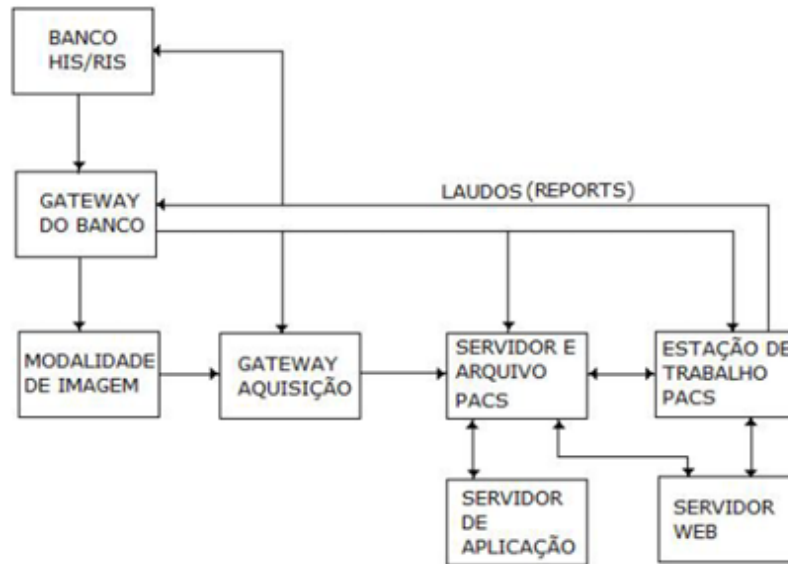
Os sistemas PACS (do inglês, Picture Archiving and Communication System) são definidos como conjuntos de subsistemas de aquisição, armazenamento e exibição de imagens médicas integradas por redes digitais e aplicativos.

De acordo com [Huang 2010], os sistemas PACS fornecem a infraestrutura necessária para a integração de dispositivos heterogêneos de aquisição de imagem que funcionam de forma distribuída. Possibilita o gerenciamento inteligente do banco de dados das informações relacionadas ao paciente. Além disso, oferece um meio eficiente para visualizar, analisar e documentar os resultados de um estudo. A figura 2.1 mostra o modelo de arquitetura dos sistemas PACS, que podem ainda ser conectados com Sistemas de Informação Hospitalar (Hospital Information System - HIS) e/ou Sistemas de Informação Radiológicos

(Radiology Information System – RIS) por gateways de banco de dados e de comunicação [Araújo 2017].

Figura 2.1: Modelo de arquitetura PACS

Fonte: baseado em [Araújo et al. 2016]



De acordo com a figura 2.1, os componentes são [Araújo 2017]:

- Os equipamentos de aquisição de imagem (Modalidades), por exemplo: Ressonância magnética e Tomografica Computadorizada
- Um gateway de aquisição, que possibilitará o acesso às imagens a partir de outros dispositivos
- Um servidor de arquivamento que gerencia esses dados (Servidor PACS)
- As estações de trabalho (Workstation - WS) para manipulação de informações e visualização de imagens.

De acordo com [Araújo et al. 2016], os sistemas PACS possibilitaram a integração de componentes relativos à geração de imagens médicas para a prática radiológica, permitindo a formação de infraestruturas que englobam tecnologias de hardware e software para aquisição, armazenamento e análise de imagens médicas em departamentos de radiologia. Essa formação baseou-se no padrão de comunicação e arquivamento de imagens digitais em medicina (DICOM), que permite atualmente a troca estruturada de imagens médicas e infor-

mações clínicas complementares entre equipamentos de fabricantes distintos, sendo adotado como padrão global.

2.2 DICOM

Já o DICOM (do inglês, Digital Imaging and Communications in Medicine), de acordo com [Mazzoncini de Azevedo Marques e Covas Salomão 2009], é o padrão global para transferência de imagens radiológicas e outras informações médicas entre computadores. Sua versão atual (3.0), publicada em 1993, evoluiu das versões anteriores de um padrão desenvolvido pelo Colégio Americano de Radiologia (American College of Radiology, ACR) em conjunto com a NEMA (ACR-NEMA 1.0, de 1985, e ACR-NEMA 2.0, de 1988).

Ainda segundo [Mazzoncini de Azevedo Marques e Covas Salomão 2009], a conectividade prevista pelo padrão é muito importante no que diz respeito à razão custo-benefício para áreas da saúde que usam imagens médicas. Usuários DICOM podem prover serviços de radiologia entre instalações localizadas em diferentes regiões geográficas, aproveitar recursos de tecnologia da informação já existentes e manter os custos baixos através da compatibilidade e interoperabilidade de novos equipamentos e sistemas. O DICOM é mantido e atualizado por um comitê multidisciplinar internacional.

Ainda segundo [Araújo et al. 2016], o padrão DICOM fornece definições e diretrizes de implementação para que os equipamentos possam interagir em uma mesma organização (domínio) e possibilita diversas formas de implementação de um sistema PACS. Ainda assim, é possível identificar um fluxo de trabalho (*workflow*) radiológico comum e bem definido, como mostrado na figura 2.2, apesar da diferença de estrutura organizacional presente nessas implementações.

Figura 2.2: *Workflow* radiológico

Fonte: Adaptado de [Huang 2010]



As etapas do workflow mostradas na figura 2.2 são [Zapf, Bermann e Sunderbrink 2011]:

- **Requisição:** Quando o médico requisitante solicita um procedimento radiológico para um paciente.
- **Agendamento:** Onde é feita a preparação para o exame
- **Exame:** Realizado junto ao paciente
- **Processamento:** As imagens recebem algum tipo de tratamento e são enviadas para o servidor PACS
- **Diagnóstico:** O radiologista utiliza a estação de trabalho para visualização das imagens geradas a fim de produzir relatórios de diagnóstico;
- **Demonstração clínica:** A exibição das conclusões do médico acerca do exame
- **Disseminação da imagem:** Distribuição das imagens e do laudo confeccionado para o paciente, outros médicos e para o médico requisitante.

De acordo com [Mazzoncini de Azevedo Marques e Covas Salomão 2009], do ponto de vista do paciente, os ganhos possíveis com a implantação da combinação de um sistema PACS e do protocolo DICOM estão fundamentalmente relacionados à agilidade do atendimento, com uma melhora no fluxo de trabalho, maior segurança nos procedimentos e a

possibilidade de humanização do atendimento, com redução de filas e tempo de espera. Os ganhos relacionados ao diagnóstico refletem, principalmente, as melhorias possíveis em relação à atividade dos profissionais envolvidos na cadeia de atenção à saúde e podem ser resumidos como facilidade de acesso a informações diversas e, conseqüentemente, maior suporte à tomada de decisão, e possibilidade de acesso à segunda opinião clínica e formativa.

2.3 Telerradiologia

A telerradiologia pode ser definida como um subconjunto da telemedicina [Silva, Costa e Oliveira 2013] que trata da transmissão, exibição e diagnóstico através de imagens e outras informações do paciente [Huang 2010]. Geralmente, nesta modalidade, estão envolvidas entidades de saúde geograficamente dispersas.

Com a crescente demanda por exames de imagens, a telerradiologia tem se tornado o principal meio para resolução de ocorrências relacionadas à interpretação e diagnóstico à distância, principalmente naquelas regiões que sofrem com falta de especialistas [Oliveira e Motta 2016].

O uso da telerradiologia em entidades de saúde traz diversos benefícios para os radiologistas, clínicos, administradores, pesquisadores e pacientes. [Chatterjee et al. 2017] mostra vários deles, em especial para a prática clínica, pesquisa em radiologia e no contexto educacional:

Na radiologia clínica:

- Reduz a frequência de geração de imagens desnecessárias.
- Diagnóstico mais preciso, com a possibilidade de comparações e acesso à segunda opinião / consulta a um subespecialista.
- Monitoramento mais preciso da progressão da doença ou da resposta ao tratamento.
- Redução de riscos (radiação ionizante, riscos relacionados ao contraste)
- Redução de custos
- Continuidade do atendimento ao paciente em várias instituições

- Empoderamento e melhor satisfação do paciente
- Capacidade de fornecer cuidados de saúde à área remota / clinicamente desatendida

Na pesquisa em radiologia:

- Facilita ensaios clínicos “multicenter”
- Facilita o arquivamento de dados de imagem
- Reduz o custo para estudos subsequentes, através da redução da repetição de imagens
- Facilita a análise de “big data”

Na educação

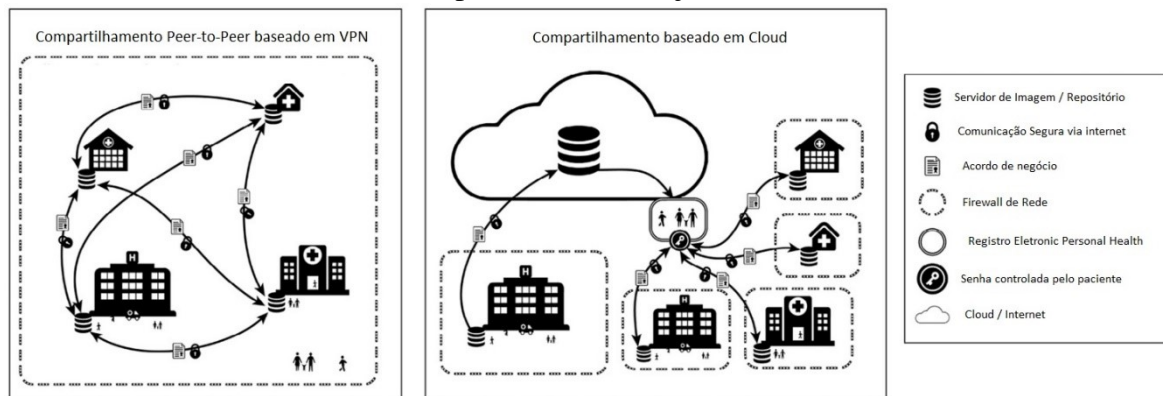
- Distribuição mais rápida do material educacional para os médicos residentes
- Melhoria nos padrões de qualidade entre os profissionais
- Facilita o aprendizado colaborativo
- Facilita o compartilhamento de material para conferências regionais, nacionais e internacionais

Além das vantagens da telerradiologia expostas anteriormente, é possível destacar a criação de relatórios médicos especializados à distância, para pacientes em áreas de difícil acesso e que, em circunstâncias normais, não dispõem de tal serviço em sua localidade. Casos de emergência também podem ser mais facilmente tratados, pois o diagnóstico em tempo real também é possível nesse contexto.

A figura 2.3 mostra que, do ponto de vista da conectividade (utilizando a Internet), o uso da telerradiologia está apoiado basicamente em dois modelos: Ponto a ponto e *cloud computing*.

Figura 2.3: Modelos de conexão para a Telerradiologia

Fonte: Adaptado de [Chatterjee et al. 2017]



O primeiro modelo é baseado em conexões ponto a ponto (figura 2.3 - lado esquerdo), no qual cada entidade conecta-se diretamente à outra, geralmente como auxílio de uma conexão VPN (Virtual Private Network). Este cenário é considerado adequado para situações críticas, onde não é possível obter a autorização para o compartilhamento das imagens do paciente. Para que uma entidade de saúde troque informações com diferentes outras parceiras neste cenário, é necessário que várias configurações de rede distintas sejam feitas.

O segundo modelo é baseado na utilização de repositórios localizados na nuvem (figura 2.3 - lado direito), onde um banco de dados central é acessado (com as devidas permissões concedidas pelos pacientes) pelas instituições. Este cenário é considerado mais escalável que o primeiro [Chatterjee et al. 2017]. Neste cenário, caso um médico radiologista deseje trocar informações com determinada entidade de saúde, deverá participar da nuvem específica desta entidade.

Para solucionar o problema da comunicação entre sistemas heterogêneos, geralmente encontra-se o estabelecimento de padrões de interoperabilidade. Um exemplo desse tipo de padrão para a Telerradiologia é o XDS-I [Cross-enterprise Document Sharing for Imaging], estabelecido em 2007 pela Integrating the Healthcare Enterprise (IHE), pode ser definido como um conjunto de boas práticas para o compartilhamento de imagens através da internet. Através do XDS-I, é possível realizar o compartilhamento de registros eletrônicos de saúde (Electronic Health Record - EHR) e de imagens médicas.

Do ponto de vista das plataformas de suporte à telerradiologia para a clínica médica, [Chatterjee et al. 2017] cita que elas podem ser agrupadas em: plataformas desenvolvidas

pelos tradicionais fornecedores de sistemas PACS, plataformas com sistemas de arquivos independentes do fornecedor (vendor- neutral archive - VNA) e soluções de compartilhamento de imagens autônomas.

De acordo com [Chatterjee et al. 2017] ainda explica que a plataforma VNA mais utilizada é a Image Sharing Network (ISN), fornecida pela Radiological Society of North America's (RSNA). A RSNA-ISN é construída tendo como base os perfis de integração IHE em conjunto com as tecnologias de Cloud Computing.

O trabalho de [Oliveira e Motta 2016] cita que apesar da crescente demanda por compartilhamento de imagens nos departamentos, apenas empregar o modelo PACS-DICOM (e por conseguinte, a telerradiologia) em um departamento de radiologia não atende a crescente demanda para compartilhamento de exames de imagem entre profissionais e organizações de saúde de forma ampla, fácil, efetiva e segura. A liberdade que as organizações têm para personalizar o modelo às suas necessidades dificulta a elaboração de soluções que promovam conectividade de forma escalável. O processo de integração para troca de exames entre duas entidades e posterior emissão de um laudo mostra-se demasiadamente complicado. Também são verificados diversos desafios sociais e técnicos (e.g. políticas de privacidade de dados dos pacientes) que produzem forte inércia que dificulta a expansão do modelo PACS-DICOM de um contexto local para global.

2.4 Infraestruturas de Informação

O termo "infraestrutura" refere-se a conjuntos de equipamentos necessários às atividades humanas, inclusive mais abstratas, como protocolos (humanos e computadores) e padrões. Já o termo "informação" envolve recursos e serviços digitais projetados para suportar alguma atividade humana vinculada à Internet [Bowker et al. 2010].

Infraestruturas de informação não seguem princípios tradicionais de projeto de software, que empregam métodos altamente centralizados ou rigidamente hierarquizados. Elas emergem para as pessoas na prática, ligadas a atividades e estruturas [Araújo et al. 2016].

De acordo com [Hanseth e Lyytinen 2010], uma infraestrutura de informação é recursivamente composta por outras infraestruturas, plataformas e capacidades de TI e apresentam as seguintes características:

- São abertas, no sentido de permitirem que novas entidades possam aderir à infraestrutura.
- Compartilhadas, pois não pertencem a uma única organização
- Heterogêneas
- Evolutivas,
- Apresentam controle distribuído

De acordo com [Araújo et al. 2016], as soluções que envolvem a associação espontânea de pessoas, organizações e componentes tecnológicos situados em contextos geográficos distintos para desenvolvimento de alguma atividade podem configurar uma Infraestrutura de informação (II). Neste contexto, as infraestruturas de informação estão diretamente relacionadas ao problema da distribuição de imagens médicas.

Porém, no caso especial da telerradiologia, percebe-se que a atual base instalada não se constitui em uma infraestrutura de informação, sendo incapaz de atender à crescente demanda para compartilhamento de exames de imagens médicas entre profissionais e organizações através da Internet. Embora o compartilhamento seja realizado no âmbito local, com a ajuda dos sistemas PACS e do padrão DICOM, grandes problemas são detectados quando há a necessidade de fazê-lo em escala global [Araújo et al. 2016].

A ausência de uma infraestrutura de informação para telerradiologia é mais bem percebida quando se contemplam e se comprovam a atenção e investimentos dados às práticas locais em prejuízo às globais e vice-versa. Assim, observa-se uma polarização que dificulta o surgimento de um espaço social como uma infraestrutura de informação para práticas radiológicas devido à tensão entre o local e o global [Motta 2014].

2.5 DICOMFlow

Mesmo com a maciça adoção da combinação PACS/DICOM nos departamentos de radiologia, a formação de uma infraestrutura comum para troca de imagens médicas entre instituições e também com profissionais de saúde não foi verificada até os dias atuais. A ausência de tal infraestrutura comum leva ao estabelecimento de acordos bilaterais entre as

partes, caracterizados pela adoção de soluções ad hoc de integração, em geral baseadas em redes privadas virtuais e computação na nuvem [Lucena Neto et al. 2016]. Mais detalhes sobre estas soluções ad hoc serão abordados na seção de trabalhos relacionados.

Para solucionar tais problemas, [Araújo et al. 2016] propôs o DICOMFlow: um modelo de arquitetura descentralizada que visa fomentar a formação de uma infraestrutura de informação para telerradiologia, tomando como base instalada a infraestrutura PACS-DICOM dos departamentos de radiologia e a infraestrutura de e-mail presente na Internet.

O DICOMFlow é definido como uma infraestrutura assíncrona, assimétrica e descentralizada para distribuição de estudos de imagens médicas. Seu modelo arquitetural baseou-se no conceito de infraestrutura de informação, que se caracteriza como uma infraestrutura compartilhada, aberta e construída sobre uma base instalada, formando um espaço social onde pessoas, organizações e componentes tecnológicos podem espontaneamente formar associações para desenvolver alguma atividade [Lucena Neto et al. 2016].

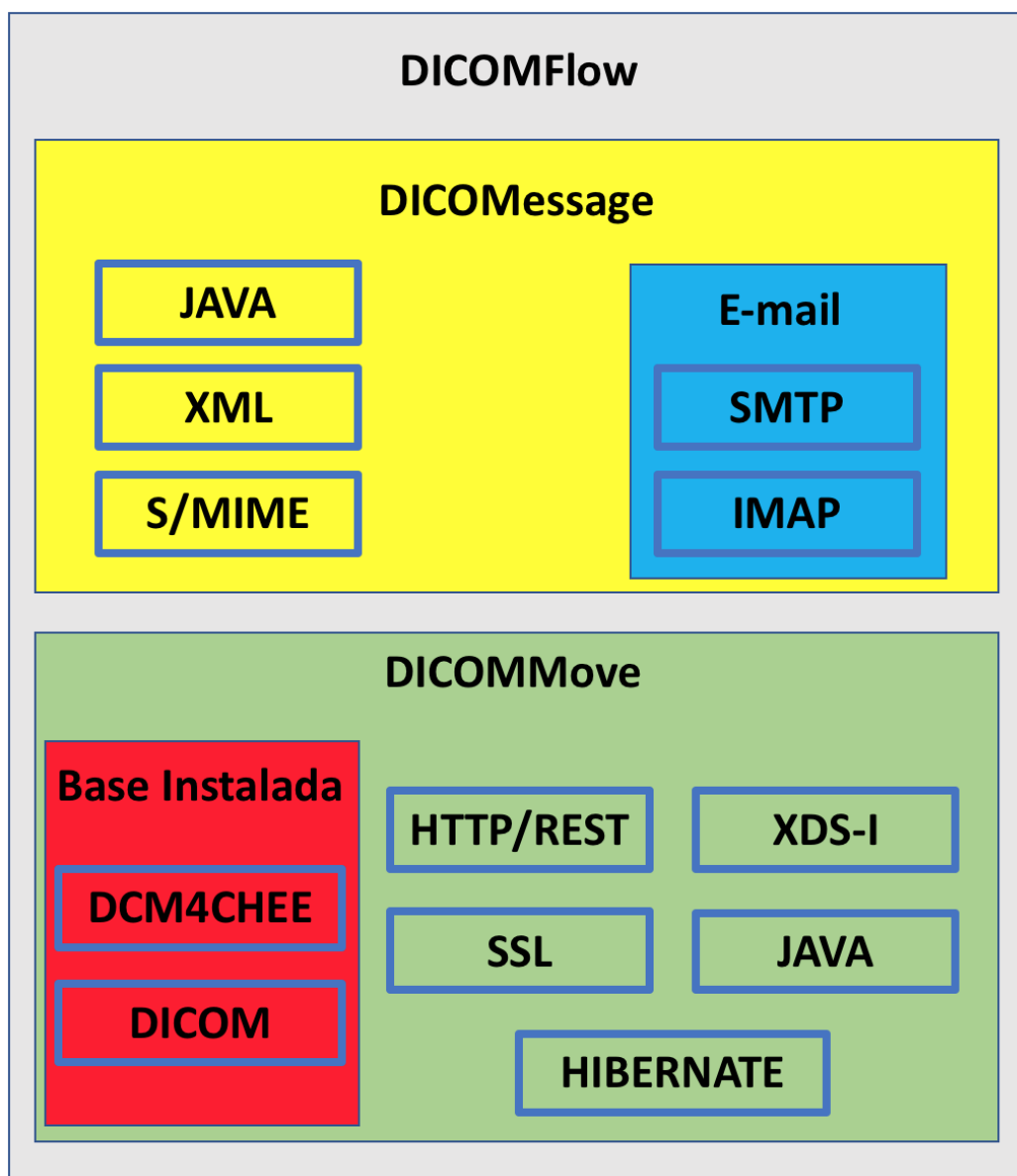
A construção do DICOMFlow segue os princípios de projeto das infraestruturas de informação, que em vez de adotar o enfoque tradicional de “projetar do zero”, seguem a abordagem de “cultivar” uma base instalada a fim de fomentar seu crescimento mediante um processo de alavancagem e adaptação [Hanseth e Lyytinen 2010]. A solução configura-se como uma infraestrutura de informação compartilhada, pois apresenta-se como um bem comum, não pertencendo a uma única empresa ou organização. É considerada aberta, pois pode incluir um número crescente de entidades (pessoas, organizações, componentes tecnológicos), participando como usuários ou desenvolvedores da infraestrutura [Lucena Neto et al. 2016].

Do DICOM, o DICOMFlow aproveita o seu amplo uso como padrão de comunicação e armazenamento. Entretanto, é preciso contornar a limitação do binômio PACS/DICOM ter sido projetado em um contexto de redes locais, entre meados dos anos 80 e 90, fato que torna inexecutável a transmissão de exames de imagem via Internet (por questões de segurança, firewalls e overhead) [Lucena Neto et al. 2016]. A ideia, portanto, foi construir um protocolo de suporte a serviços de gerência de exames de imagens DICOM, trafegados através de mensagens de e-mail, aproveitando-se da natureza essencialmente assíncrona e descentralizada desta infraestrutura, que possui elevada conectividade e é capaz, na prática, de trocar mensagens entre uma ampla variedade de entidades de forma segura [Lucena Neto

et al. 2016]. A figura 2.4 ilustra o modelo arquitetural do DICOMFlow. De acordo com [Lucena Neto et al. 2016], o modelo foi projetado em duas camadas (DICOMMessage e DICOMMove).

Figura 2.4: Modelo arquitetural do DICOMFlow

Fonte: Adaptado de [Araújo 2017]



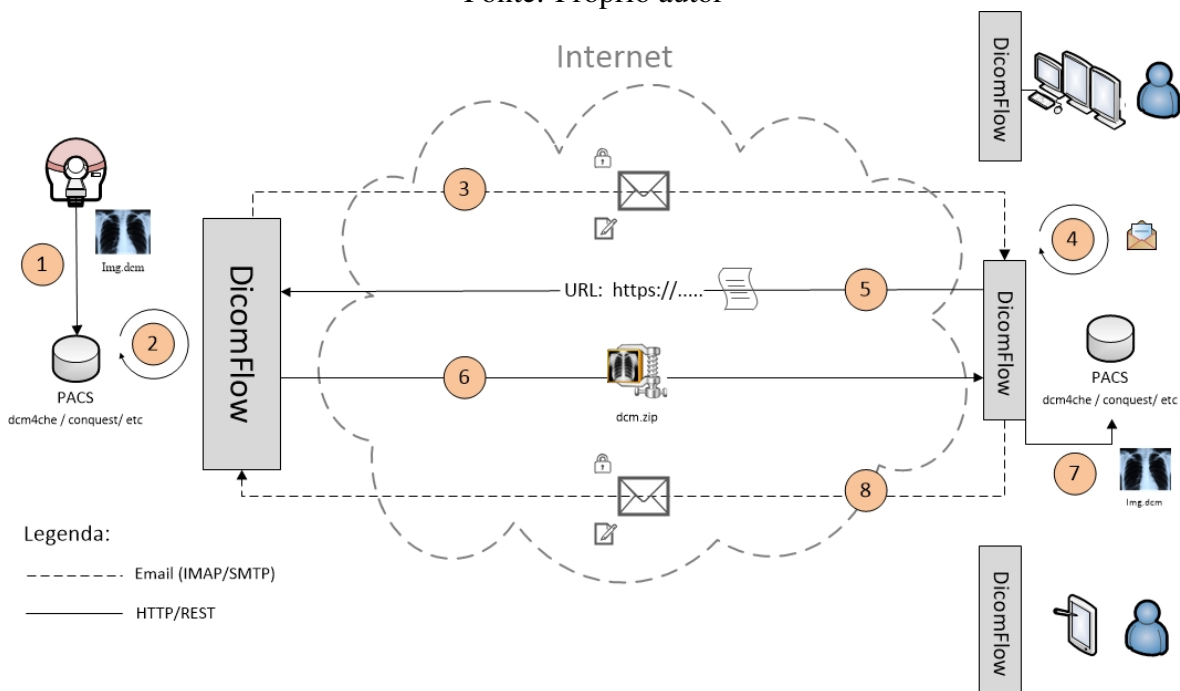
A camada DICOMMessage (em amarelo na figura 2.4) é responsável pela troca entre as partes de mensagens do protocolo de serviços. A camada DICOMMove (em verde na figura 2.4) é encarregada da efetiva transferência dos exames de imagem através da Internet. O DICOMFlow utiliza os protocolos de troca de e-mails SMTP (Service Mail Transfer Protocol)

e IMAP (Internet Message Access Protocol) para trocar suas mensagens entre as entidades de saúde. As requisições/respostas de serviços são enviadas através de mensagens em formato XML (eXtensible Markup Language - www.w3.org/standards/xml) codificadas de acordo com o padrão de segurança S/MIME [Secure/Multipurpose Internet Mail Extensions] para fins de confidencialidade, integridade e autenticidade [Lucena Neto et al. 2016]. Em vermelho, observamos a base instalada presente nos departamentos de radiologia (Sistemas PACS e protocolo DICOM).

Os estudos, propriamente ditos, são transmitidos usando a tecnologia HTTP/REST, com a segurança da comunicação provida pelo protocolo TLS (Transport Layer Security), para garantir confidencialidade, integridade e autenticidade na transmissão do estudo da origem até o destino [Lucena Neto et al. 2016]. O DICOMFlow é considerado assimétrico pois realiza a troca de mensagens e a transmissão dos exames por vias distintas. A Figura 2.5 ilustra um cenário de uso da infraestrutura, passo a passo.

Figura 2.5: Fluxo de distribuição de exames no DICOMFlow

Fonte: Próprio autor



Os passos mostrados na figura 2.5 são detalhados a seguir:

1. Em um departamento de radiologia de alguma organização de saúde, um paciente realiza um exame de imagem (e.g., uma tomografia computadorizada), cujos dados

- são enviados via protocolo DICOM para o servidor PACS local para armazenamento.
2. O serviço do DICOMFlow monitora regularmente o servidor PACS para detectar a chegada de novos exames a fim de determinar a ação a ser realizada com base em uma política de distribuição de exames/requisição de serviços. Tal política é definida em uma linguagem capaz de especificar situações como: a) encaminhar exames de ressonância magnética do abdome para o radiologista Dr. X (e-mail é especificado) para emitir laudo; ou b) encaminhar todos os exames que chegam ao PACS para o provedor de armazenamento Y (e-mail é especificado) para fins de arquivamento permanente.
 3. Seguindo a política, o serviço do DICOMFlow elabora e envia o e-mail correspondente para o destinatário com uma mensagem em XML contendo o serviço requisitado, informações básicas do paciente, dados de recuperação do exame e credenciais de acesso. A mensagem é assinada digitalmente pelo originador do exame e criptografada com a chave pública do destinatário com o padrão S-MIME utilizando certificados digitais.
 4. No destinatário, o serviço do DICOMFlow monitora a respectiva caixa de e-mail em busca de mensagens com requisição de serviços. Ele lê a mensagem, descriptografa e valida a assinatura do remetente.
 5. O destinatário envia uma solicitação de download, utilizando as credenciais de acesso.
 6. O originador envia o arquivo via HTTPS/REST após a autenticação (baseada em certificado digital) e autorização de acesso (baseada nas credenciais).
 7. Após o download, no caso do provedor de armazenamento, o exame é arquivado no PACS local do destinatário e um e-mail de confirmação.
 8. É enviado para o remetente concluindo a transação de execução do serviço. No caso do destinatário ser um radiologista, ele analisa as imagens baixadas do exame e informações clínicas complementares utilizando o visualizador de imagens usual, elabora o laudo (ou uma segunda opinião) com o editor de laudos usual e o anexa a um e-mail que é enviado em resposta ao remetente, concluindo a transação de execução do serviço.

Em todos os casos, o e-mail de retorno deve ser assinado digitalmente pelo remetente e criptografado. As funcionalidades (e.g., monitorar caixa de e-mail, validações de segurança, baixar exames) a serem executadas nos dispositivos dos radiologistas (computadores *desktop* e dispositivos móveis) ainda não estão implementadas na implementação original do DICOMFlow, utilizada aqui como referência.

O DICOMFlow soluciona o problema de comunicação entre entidades de saúde, proporcionando transmissão de exames entre domínios distintos. No entanto, apesar de prover um serviço específico para solicitação de laudos dos exames, não há referência (dentro da implementação do DICOMFlow) para soluções de software que proporcionem, aos médicos radiologistas, a criação e gerenciamento dos laudos dos exames de imagens trafegados pela plataforma. Além disso, a solução de software desenvolvida para o usuário final se apresenta em estágio inicial de implementação, necessitando ser refinada para uma melhor experiência do usuário.

2.6 Considerações Finais

Este capítulo abordou os conceitos base para a construção da plataforma DICOMStudio: Telerradiologia, infraestrutura PACS, padrão DICOM, infraestruturas de informação e, principalmente, o DICOMFlow. Acredita-se que, para que uma solução integradora dos ambientes da telerradiologia tenha sucesso, é necessário conhecer as nuances das tecnologias e conceitos discutidos neste capítulo.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Neste capítulo, são abordados trabalhos na literatura considerados relevantes no tema da telerradiologia e, em particular, fornecem uma solução para distribuição dos exames e emissão de laudos à distância, proporcionando a execução do *workflow* da radiologia. O objetivo é identificar as características que levaram ao sucesso das abordagens identificadas, bem como suas limitações que necessitam ser transpostas.

Desta forma, na seção 3.1, são definidos os critérios utilizados na investigação dos trabalhos relacionados. Já na seção 3.2, são mostradas as principais características dos trabalhos encontrados e suas respectivas limitações. Por fim, na seção 3.3 são realizadas as considerações finais do capítulo.

3.1 Critérios para investigação

Os trabalhos relacionados aqui neste capítulo estão organizados de modo a comparar algumas características presentes no DICOMStudio, avaliando-os criticamente. As características levadas em consideração para análise dos artigos são expostas, em detalhes, a seguir:

- Multidomínio: Capaz de unir entidades heterogêneas, tanto sob o ponto de vista social, quando do ponto de vista tecnológico.
- Aberta: Capaz de incluir um número crescente e não limitado de entidades, sejam elas componentes tecnológicos (e.g., software, dispositivos, padrões), comunidades

(e.g., usuários, desenvolvedores), organizações (e.g., empresas), bem como órgãos de governança e padronização (e.g., IETF, W3C, IEEE, ISO) [Hanseth e Lyytinen 2010].

- Descentralizada: Não pressupõe autoridade ou elementos centrais: O controle e a coordenação das operações são feitos de forma distribuída.
- Flexível: Capaz de distribuir os exames de imagem para os médicos e outras entidades de saúde conforme uma política definida, mantendo as informações dos pacientes sob responsabilidade somente do médico radiologista e da clínica que originou as imagens.
- Escalável: Capacidade de crescer de forma arbitrária pela inclusão de novos usuários e organizações de saúde ao ambiente, formando uma rede livre de escala que tenda a se expandir e aumentar a velocidade do crescimento [Hanseth e Lyytinen 2010].
- Assíncrona: A não exigência de se manter uma conexão ativa durante a troca de informação. Diferenciando o momento do tráfego de metadados e de download dos exames [Araújo 2017].
- Assimétrica: Permite que a comunicação e a transmissão efetiva de exames de imagem ocorram em fluxos distintos. Ou seja, por uma via ocorre a transmissão de informações e metadados do estudo e por outra via ocorre a transferência efetiva das imagens [Araújo 2017].

3.2 Análise crítica dos Artigos

3.2.1 SocialRad

O trabalho de [Figueiredo e Motta 2013] descreve o SocialRad, um modelo utilizado experimentalmente em clínicas da região nordeste do Brasil. Nele, é descrita uma arquitetura assíncrona, colaborativa e distribuída, em conjunto com uma aplicação para o usuário final, com o objetivo de prover um serviço robusto para a prática da telerradiologia de forma cooperativa. Proporciona a comunicação direta entre os profissionais das organizações de saúde sem o intermédio de terceiros.

A solução é baseada em dois conceitos principais: A tecnologia P2P (“Peer-to-Peer”) e a filosofia de Cloud Computing. O SocialRad usa uma arquitetura em camadas, conectando

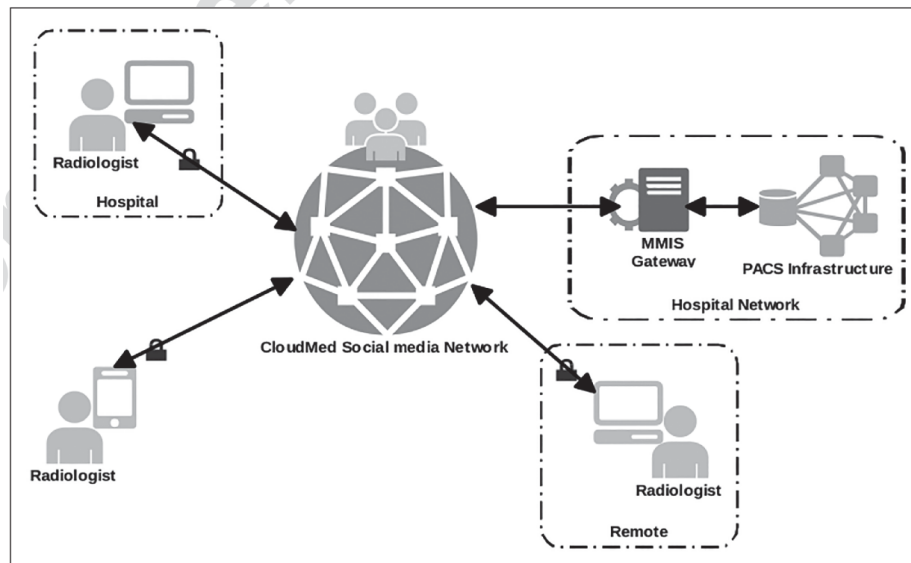
os usuários (clínicas e médicos radiologistas) através de um servidor central, utilizando a tecnologia RESTful. Para solucionar a questão da conectividade, o SocialRad utiliza uma técnica denominada “Proxy-Tunnel” sobre uma rede do tipo NAT. Para análise das imagens, o SocialRad não impõe nenhum visualizador de imagens médicas em particular, permitindo que o médico utilize a solução de sua preferência.

Além de permitir o fluxo completo de transmissão dos exames entre entidades de saúde de forma multidomínio e aberta, o SocialRad fornece uma solução para a confecção de laudos à distância (motivação principal para a construção do trabalho). No entanto, apresenta um elemento centralizador, na forma de um servidor que faz a ligação entre as clínicas e os médicos radiologistas. Tal esquema de arquitetura não é capaz de realizar a comunicação entre as entidades de saúde de forma livre e escalável, pois os “endereços” dos envolvidos precisam ser conhecidos a priori e cadastrados em cada nó para que a comunicação entre eles seja possível. Tais limitações destacadas não apresentam uma barreira para o processo de emissão de laudos propriamente ditos, porém aparentam ser um fator limitante no que se refere à sua adoção em larga escala.

3.2.2 Soluções baseadas em Cloud Computing

Uma outra abordagem para a questão da distribuição de imagens relacionados à Teleradiologia é a utilização da abordagem de Cloud Computing. [Monteiro, Costa e Oliveira 2016] tenta criar um novo conceito, denominado Teleradiology-as-a-Service, propondo uma arquitetura baseada em Cloud Computing, com o objetivo de criar espaços privados onde os médicos possam armazenar estudos, criar grupos de colaboração e compartilhar dados. A figura 3.1 mostra como é feito o relacionamento entre as entidades do *workflow* da telerradiologia, convergindo para uma rede social privada.

Figura 3.1: Esquema de interoperabilidade proporcionado pela solução de Teleradiology-as-a-Service



Fonte: Extraído de [Monteiro, Costa e Oliveira 2016]

De acordo com a figura 3.1, a solução apresenta três componentes principais: Uma plataforma colaborativa, um sistema de gerenciamento (chamado MMIS) e a aplicação Web Cliente. A plataforma colaborativa, neste caso, é o coração do sistema e funciona como um servidor hospedado na nuvem. O sistema usa uma abstração denominada Arquivo Remoto Pessoal (Personal Remote Archive - PRA) para armazenar estudos particulares, que estarão acessíveis a qualquer hora e de qualquer lugar.

A proposta apresenta um serviço de tele-relatório, com uma abordagem tecnológica, diferente das conhecidas até então (segundo o autor). Nesse caso, a informação não é encaminhada para um repositório central, mas permanece no sistema PACS da instituição remota. O técnico faz o exame na modalidade e o armazena no arquivo PACS da instituição, conectado à plataforma de revisão através de um gateway MMIS. O médico usa a plataforma para consultar, recuperar e visualizar os exames produzidos nas instituições. Os exames são temporariamente armazenados em cache no PRA, mas os dados são excluídos após o usuário sair [Monteiro, Costa e Oliveira 2016].

Desta forma, apesar de usufruir das vantagens da computação em nuvem (como disponibilidade e escalabilidade), a solução apresenta, como nas abordagens anteriores, um

elemento centralizador. Além disso, o problema de endereçamento (flexibilidade) também não está completamente solucionado, uma vez que os integrantes da rede precisam “conhecer” uns aos outros previamente e estar registrados na nuvem para efetuar conexões. No tocante à questão da criação dos laudos, é necessário que os médicos acessem um sistema e um repositório específicos para obter sucesso, forçando a dependência de um provedor de serviços.

Ainda sob a ótica das soluções que utilizam o Cloud Computing, podemos citar uma vasta gama. Por exemplo: [Yuan et al. 2015], [Viana-Ferreira et al. 2017] e [Godinho et al. 2016]. No entanto, tais soluções apresentam foco em solucionar o problema da distribuição das imagens propriamente dito, sem abordar, com profundidade, a questão da emissão dos laudos e associação entre médicos radiologistas e entidades de saúde.

3.2.3 Soluções baseadas em Perfis de Integração

O trabalho de [Ribeiro et al. 2014] apresenta uma solução baseada nos perfis de integração IHE XDS-I e XCA-I, possibilitando o *workflow* da telerradiologia, preservando a interoperabilidade, confidencialidade e a indexação das informações clínicas. Através de uma rede pública, as garantias de segurança são fornecidas para permitir o fenômeno do *outsourcing* da telerradiologia. Focando somente no aspecto da distribuição e do armazenamento das informações, o trabalho não apresenta uma solução para a emissão de laudos a distância.

Na mesma linha, [Zhang et al. 2016] apresenta uma solução avaliada através do uso em 100 hospitais da cidade de Xangai. O trabalho utiliza uma arquitetura baseada no padrão electronic healthcare records (iEHR), mas também não contempla a emissão de laudos a distância.

Ambas as soluções abordadas nesta subseção apresentam a necessidade de elementos centrais de coordenação, prejudicando a característica da escalabilidade e abertura, incorrendo nos problemas já discutidos anteriormente para o fluxo completo da Telerradiologia.

3.2.4 Soluções baseadas em e-mail

Um exemplo de solução que prescinde de autoridade ou elementos centrais a ser considerada é o DICOM e-mail [Weisser et al. 2006], uma infraestrutura apoiada pela Sociedade Alemã de Radiologia que especifica um protocolo padronizado para troca de informações e distribui estudos de imagens utilizando a base instalada de e-mail. Utilizando os benefícios de um consolidado serviço da internet, obtém-se uma plataforma independente, de fácil uso e com excelente interoperabilidade.

Embora bem-sucedido, integrando o *workflow* radiológico de mais de 240 instituições no país, trafegando no ano de 2013 cerca de 2.500.000 imagens apenas no Hospital da Universidade de Mannheim, o DICOM e-mail tem como desvantagem a transmissão de grandes volumes de dados através de anexos de e-mail, impondo a seus usuários, grandes transferências de dados de forma compulsória [Lucena Neto et al. 2016]. Tal limitação configura-se como um entrave para a utilização por parte dos médicos radiologistas (síncrona e simétrica), pois a prática de trabalho é radicalmente afetada pela dificuldade de transmissão dos exames.

3.2.5 Soluções Comerciais

É recorrente o uso de soluções comerciais para solucionar o problema da Telerradiologia e, em especial, a questão da emissão de laudos a distância. A partir do uso de empresas especializadas, deu-se um fenômeno denominado de *Outsourcing* radiológico [Rodríguez e Oquillas 2011].

Verifica-se que estas soluções funcionam com a adoção de um sistema baseado na Web, onde as clínicas que realizam os procedimentos de captura fazem o upload dos exames e recebem os resultados dos laudos após um tempo definido em um acordo de nível de serviço. Desta forma, é necessário que os exames dos pacientes sejam armazenados em alguma estrutura externa à clínica, que inicialmente não estaria prevista pelo paciente. Desta forma, além dos questionamentos abordados anteriormente relativos ao modo com que laudos são feitos ([Brant-Zawadzki 2007]; [Kaye et al. 2008]; [Borgstede 2008]; [Hillman 2009]; [Levin e Rao 2011]), o requisito da flexibilidade fica seriamente afetado, pois é necessário o compartilhamento das informações do paciente com uma entidade externa.

Por se tratarem de soluções fechadas em sua maioria, em geral não se conhece como são

tratados os aspectos de segurança dos dados dos pacientes que serão trafegados pela internet para um servidor de armazenamento. São listadas abaixo algumas soluções encontradas no Brasil e que apresentam uma maior quantidade de usuários na plataforma ou relevância para o mercado:

- telelaudo.com.br: Aproximadamente 2 milhões de laudos emitidos/mês. Mais de 400 clínicas e hospitais conveniados e uma base com mais de 100 radiologistas.
- laudoadistancia.com.br: Solução de software apresentada sem a necessidade instalação de instalação. Esquema de segurança compatível com certificados digitais e assinatura digital padrão ICP-Brasil.
- maislaudo.com.br: Contém cerca de 500 empresas associadas
- medilaudo.net: Promete a rápida emissão do laudo (em até 2 horas). Cerca de 1.018.547 laudos emitidos até o presente momento
- brlaudos.com.br: Emite cerca de 10.000 laudos por mês

3.2.6 Resumo Comparativo

Levando-se em consideração os critérios adotados na seção 3.1, esta seção faz a confrontação entre as soluções encontradas na literatura e descritas neste capítulo. A figura 3.2 faz um resumo, classificando os trabalhos relacionados.

Na figura 3.2, as linhas correspondem aos critérios descritos na seção 3.1. Já as colunas representam os trabalhos relacionados encontrados na literatura e detalhados neste capítulo.

Para cada critério, o *tick* em verde indica que o trabalho relacionado da respectiva coluna atende ao critério contido da linha em questão. Já a cruz em laranja indica que o trabalho atende parcialmente ao critério da contido na linha. Por sua vez, o X em vermelho indica que o trabalho relacionado não atende ao critério.

3.3 Considerações Finais

Este capítulo teve como objetivo explorar os problemas pelos quais a telerradiologia não se constitui, ainda, como uma plataforma global para distribuição de exames e diagnósticos à

Figura 3.2: Comparativo entre os trabalhos relacionados, considerando os critérios elencados na seção 3.1

	P2P	Cloud Computing				Perfis de Integração		E-mail	Soluções Comerciais
	Figueiredo e Motta (2013)	Monteiro et al. (2016)	Yuan et al. (2015)	Viana-Ferreira et al. (2017)	Godinho et al. (2016)	Ribeiro et al. (2014)	Zhang et al. (2016)	Weisser et al. (2006)	
Multidomínio	✗	✗	✗	✗	✗	+	+	✓	✗
Aberta	+	✗	✗	✗	✗	+	+	✓	✗
Descentralizada	✗	✗	✗	✗	✗	+	+	✓	✗
Flexível	+	✗	✗	✗	✗	+	+	+	✗
Escalável	✓	+	+	+	+	✓	✓	✓	+
Assíncrona	✓	+	✓	✓	✗	✓	+	✓	✓
Assimétrica	+	✗	✗	✗	✗	+	✗	✗	✗

✓	Atende à característica
+	Atende parcialmente
✗	Não atende

Fonte: Próprio autor

distância, em especial sobre o problema da emissão de laudos a distância por meio de alguma tecnologia.

Através de investigação crítica, deficiências foram detectadas nos trabalhos encontrados na literatura. Por causa dessas lacunas, o desenvolvimento desta proposta deste poderá contribuir significativamente na melhoria da telerradiologia.

Capítulo 4

O DICOMStudio

Este capítulo traz, em detalhes, a proposta da plataforma DICOMStudio: Plataforma Multidomínio para a Telerradiologia. Nele são descritos, as minúcias de implementação dos componentes de software utilizados para viabilizar a execução do *workflow* da telerradiologia de forma a atingir os objetivos expostos anteriormente.

Inicialmente é mostrado o fluxo da telerradiologia, com base na observação feita na Clínica Radiológica de Patos, que serviu como laboratório (seção 4.1). Posteriormente (seção 4.2), é detalhada a arquitetura em alto nível da solução de software elaborada, passando pelo fluxo da telerradiologia com o uso do DICOMStudio (4.2.1). Também, são mostrados os módulos da arquitetura, nas subseções correspondentes. Por fim, são feitas as considerações finais do capítulo.

4.1 O *workflow* da telerradiologia em uma clínica de radiologia

De acordo com o que foi descrito na metodologia deste trabalho, buscou-se mapear o *workflow* da telerradiologia em entidades de saúde. Em particular, utilizou-se a Clínica Radiológica de Patos como ponto de partida. O objetivo foi desenvolver uma solução de integração da telerradiologia que funcionasse influenciada pela clínica em questão e que funcionasse no contexto dela. A expectativa é que a solução desenvolvida seja genérica o suficiente para adequar-se ao contexto de outras clínicas de radiologia.

Com base na observação presencial na Clínica Radiológica de Patos, foi possível mapear a execução do fluxo da telerradiologia em suas dependências. Desde a chegada do paciente até a entrega do resultado, o processo se dá em cinco ambientes. São eles:

- A recepção da clínica / hospital
- A sala de realização dos exames
- A sala de transcrição dos laudos / preparação dos resultados
- O ambiente de análise / criação do laudo pelo médico
- A sala de entrega dos exames

A sala de realização dos exames é coordenada por um profissional específico: o técnico em radiologia. Nela, são encontradas as modalidades, ou seja, as máquinas que realizam os procedimentos propriamente ditos (eg.: ressonância magnética e tomografia computadorizada), os computadores que fazem o controle das modalidades, além das máquinas que armazenarão os exames (Sistemas PACS). Em detalhes, os computadores existentes são:

Máquinas disponíveis:

1. Computador para controle da Ressonância Magnética: Consiste em um computador pessoal comum, com o sistema responsável pelo controle da modalidade instalado.
2. Controle da Tomografia Computadorizada: Consiste em um computador integrado à modalidade.
3. Computador do PACS: Consiste em um computador do tipo servidor, instalado com o sistema operacional Ubuntu Linux e o sistema PACS.
4. Computador para laudos: Equipado com o visualizador de imagens DICOM, para que o médico radiologista emita os laudos localmente na clínica.
5. Computador da central de laudos: Utilizado para acessar o sistema de envio dos exames para a central de laudos.

As máquinas 1 e 2 depositam os exames realizados no PACS (Máquina 3). De forma manual, a profissional técnica em radiologia coleta os exames depositados na máquina 3 (repositório de imagens do PACS) para envio para a central de laudos, consumindo tempo e recursos computacionais da clínica. Já a máquina 4 é utilizada para obter detalhes dos exames a partir da máquina 3 e realizar os laudos (quando o médico está na clínica).

Existem, basicamente, dois fluxos principais da telerradiologia no ambiente observado: Os exames que são enviados para uma Central de Laudos (seção 4.1.1) e os exames que são enviados para o médico pertencente ao quadro da empresa (seção 4.1.2). A decisão sobre qual fluxo seguir se dá de acordo com a agenda do médico e com a subespecialidade do exame. Existe uma agenda pré-definida, contendo as especialidades da radiologia, os dias da semana em que o médico do quadro está disponível para laudar e relação das modalidades habilitadas para este médico. Caso o exame se encaixe nos critérios desta agenda, o exame é encaminhado para o médico do quadro. Caso contrário, a central de laudos será a responsável por realizar o serviço de confecção do laudo.

4.1.1 Fluxo 1: Envio do exame para a central de laudos

Com base na agenda pré-definida, os passos realizados no fluxo de envio dos exames para a central de laudos são:

1. Na sala de realização dos exames, a técnica em radiologia recebe uma ordem (um documento em papel) para realização dos exames. Este documento contém um identificador do paciente, chamado de número de prontuário.
2. A técnica insere o identificador de prontuário na modalidade (máquina 1) e insere todos os dados de identificação do paciente, uma vez que não há integração com os sistemas utilizados na recepção da clínica (Sistema HIS).
3. O protocolo de realização do exame é definido, para que a modalidade realize a captura das imagens de acordo com a necessidade do exame e o procedimento do exame é iniciado.
4. Após a realização do exame, a técnica abre as imagens na máquina 1 e seleciona as que serão enviadas para o PACS (Máquina 3).

5. Na máquina 5, a técnica abre um aplicativo e dá um comando para baixar os exames a partir do PACS, filtrando-os por data, endereço do servidor e modalidade(CT ou MR).
6. Ainda na máquina 5, a técnica abre um outro aplicativo (baseado em linha de comando) e realiza o upload dos exames para a central de laudos. Tal aplicativo utiliza protocolos de compactação (ZIP) e de transferência de arquivos (FTP) para realizar a tarefa.
7. Feito o upload, é aberto o sistema na plataforma WEB da central de laudos. Nele, será feito o cadastro dos dados do exame, tais como a história clínica do paciente, upload de exames anteriores, informações oriundas do médico requisitante e outras informações colhidas na recepção da clínica. É possível, ainda, realizar a priorização do exame, indicando para a central de laudos a ordem em que devem ser trabalhados.
8. Após o prazo correspondente, os exames estão disponíveis para download no sistema WEB da central de laudos. Ele é impresso na sala de preparação dos resultados e enviado para a sala de entrega, onde será envelopado e entregue ao paciente, finalizando o fluxo.

4.1.2 Fluxo 2: Envio do exame o médico do quadro da clínica

1. A captura das imagens é realizada como no fluxo 4.1.1, até o passo 3.
2. A técnica utiliza o aplicativo visualizador de exames (o mesmo utilizado para realizar a avaliação pelo médico), para acessar as imagens a partir do PACS. Filtra-os por data e modalidade e faz o download para a máquina 4. Os exames são organizados localmente por modalidade e nome do paciente.
3. A técnica utiliza um aplicativo de transferência de arquivos (FTP) para realizar o upload dos exames para um servidor externo à clínica. Os endereços do servidor e configurações de acesso já estão, neste momento, pré-configurados no aplicativo.
4. Os exames são transferidos para o servidor externo e organizados pela data de envio/entrega.
5. É feito o upload de dados adicionais do paciente, como a história clínica. Esta etapa é feita pela funcionária da sala de transcrição dos laudos e preparação dos resultados.

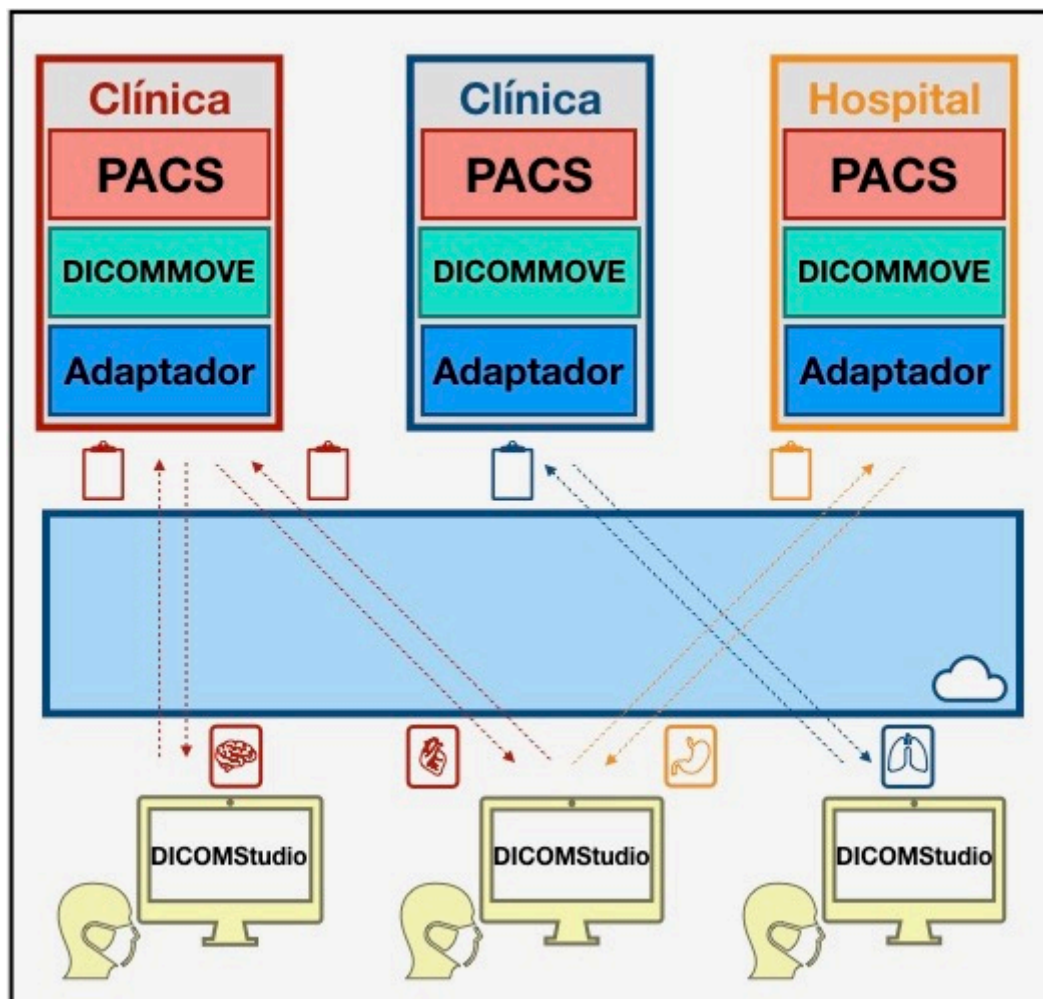
6. O médico radiologista, então, inicia o seu fluxo de trabalho acessando o servidor externo através de um aplicativo de cliente FTP, localiza o diretório criado e faz o download para o seu computador pessoal.
7. O médico faz a análise e interpretação das imagens e grava os laudos em formato de audio, no servidor externo.
8. Na sala de transcrição, uma funcionária faz o download dos áudios e transcreve-os para o formato de texto.
9. O Laudo é enviado para o médico radiologista para revisão e assinatura e, posteriormente é impresso na sala de preparação dos resultados e enviado para a sala de entrega, onde será envelopado e entregue ao paciente, finalizando o fluxo.

4.2 A arquitetura do DICOMStudio em alto nível

Como plataforma para emissão de laudos à distância, o DICOMStudio utiliza como base a infraestrutura que implementa a proposta de protocolo DICOMFlow para comunicação e distribuição de imagens[Lucena Neto et al. 2016]. O DICOMFlow, que se apoia na infraestrutura PACS/DICOM dos departamentos de radiologia, padroniza o processo de solicitação de serviços e define o processo de transferência de imagens através da Internet. Assim, é possível integrar ambientes heterogêneos, com uma mesma infraestrutura de software. O DICOMStudio beneficia-se apenas das diretrizes do protocolo de serviços e do módulo DICOMMove, utilizado para padronização das mensagens (notificações) e transferência dos exames.

Na figura 4.1 podemos observar o esquema de comunicação para a telerradiologia através do uso da plataforma DICOMStudio. Na parte superior, podemos observar a infraestrutura que está presente nas clínicas ou hospitais para captura e transmissão das imagens médicas. Esta infraestrutura será detalhada nos próximos parágrafos. Na parte inferior da figura podemos observar os médicos em suas estações de trabalho, recebendo os exames de imagem e prontos para efetuar seus laudos. Entre as duas camadas, temos a internet.

Figura 4.1: Esquema de comunicação para a telerradiologia, ilustrando as múltiplas entidades de saúde executando o *workflow* radiológico de acordo com suas políticas, utilizando a plataforma DICOMStudio



Fonte:Próprio autor

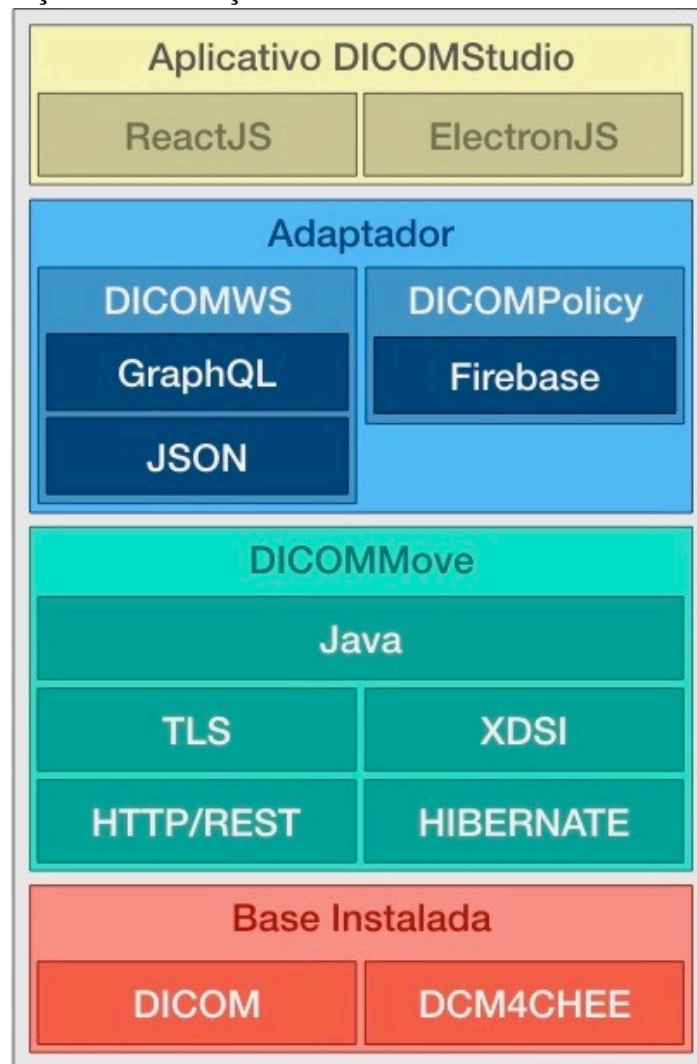
Na parte superior da figura 4.1, vemos as entidades de saúde (clínicas e hospitais) e os componentes da plataforma em cada uma delas: De forma simplificada, O PACS consiste na infraestrutura já presente nos departamentos de radiologia; O DICOMMove consiste no componente responsável por monitorar a estrutura PACS da clínica e coordenar o fluxo de dados e o adaptador fica encarregado de fazer a comunicação com o ambiente externo e gerenciar as políticas de distribuição. A especificação mais detalhada de cada componente será dada a seguir. A figura ilustra também o lado dos médicos, com uma aplicação instalada em seu computadores pessoais, que permite que ele se comunique e receba notificações (com

uma única interface) com várias entidades de saúde.

A troca de informações é feita (utilizando o protocolo de comunicação) através de mensagens no formato JSON (linhas tracejadas através da internet). O adaptador foi projetado para atuar em uma camada acima do DICOMFlow, sendo subdividido em dois componentes principais. A saber: DICOMWS e DICOMPolicy. Há ainda o aplicativo DICOMStudio (mostrado em amarelo) para realizar a interface com os usuários (médicos e clínicas).

A figura 4.2 mostra os principais componentes da arquitetura e as principais tecnologias utilizadas na construção de cada componente. Uma descrição resumida sobre os componentes mostrados na figura é feita a seguir. Posteriormente, os detalhes de implementação serão dados nas subseções correspondentes.

Figura 4.2: A Arquitetura da plataforma e as tecnologias empregadas. As camadas Adaptador e DICOMStudio atuam sobre o DICOMMove, promovendo, respectivamente, direcionamento e apresentação de informações



Fonte:Próprio autor

- O componente DICOMMove (em verde na figura 4.2) permanece praticamente inalterado desde a arquitetura original do DICOMFlow. Consiste em um módulo que funciona acoplado à clínica, monitorando os novos exames que estão sendo gerados e arquivados no PACS (indexando-os e localizando-os de acordo com a necessidade), e efetuando sua efetiva transferência através da Internet. Além disso, envia e recebe as mensagens de controle e coordena o fluxo de envio/recebimento de mensagens e configuração dos serviços e padroniza o formato das mensagens que serão trafegadas.

Utiliza: Java como linguagem de programação para sua construção; TLS para trafegar informações via e-mail quando necessário (troca de certificados digitais); XDS-I para organização das informações e Hibernate para comunicação com o banco de dados.

- O componente DICOMWS é uma das partes do Adaptador (em azul na figura 4.2) e fica responsável por implementar o protocolo DICOMFlow para a plataforma (forneendo uma infraestrutura para troca de mensagens no formato de Web Service com a tecnologia GraphQL), armazenar os metadados necessários para o fluxo de informações (inclusive das demandas de exames oriundas das clínicas) e realizar as notificações entre os envolvidos no processo. As notificações são projetadas para garantir o aspecto assíncrono na comunicação. Viabilizado segundo um mecanismo de subscriptions, o esquema de notificações possibilita o ingresso e o desligamento de elementos externos sob demanda. Por utilizarem o padrão de mensagens JSON, as notificações são as do tipo lightweight, reduzindo a demanda de rede em comparação com a implementação original do DICOMFlow. A infraestrutura de notificações e a de comunicação são independentes tanto em funcionamento quanto em localização, ou seja, podem estar localizadas dentro do domínio da clínica, fora dele ou em um cenário combinado.
- O componente DICOMPpolicy é a outra parte do adaptador (em azul na figura 4.2), é responsável por implementar as políticas de direcionamento dos exames na plataforma. Composto por um banco de dados local, com replicação na nuvem (Tecnologia Firebase), o DICOMPpolicy componente armazena e dá sentido aos dados dos usuários. Neste componente, é estabelecido o relacionamento entre os radiologistas cadastrados e as especialidades da radiologia que eles estão aptos a atender. Além disso, o banco de dados armazena as informações de agenda do médico, para que os exames sejam direcionados em horários de disponibilidade do profissional.
- Já o aplicativo DICOMStudio (em amarelo na figura 4.2) é responsável por realizar a interface com o médico radiologista para a emissão dos laudos. Consiste em uma camada de software localizada no computador do radiologista, integrando o fluxo da plataforma. A interface funciona como uma caixa de entrada de notificações e organiza os metadados dos exames de imagem, além de oferecer as funcionalidades de resgate dos exames a partir da clínica e *upload* dos laudos. Um único componente

DICOMStudio é capaz de proporcionar o relacionamento de um médico com várias clínicas/hospitais, reduzindo a necessidade de configurações extras. O DICOMStudio foi construído utilizando os *frameworks* ReactJS e ElectronJS sobre a linguagem JavaScript.

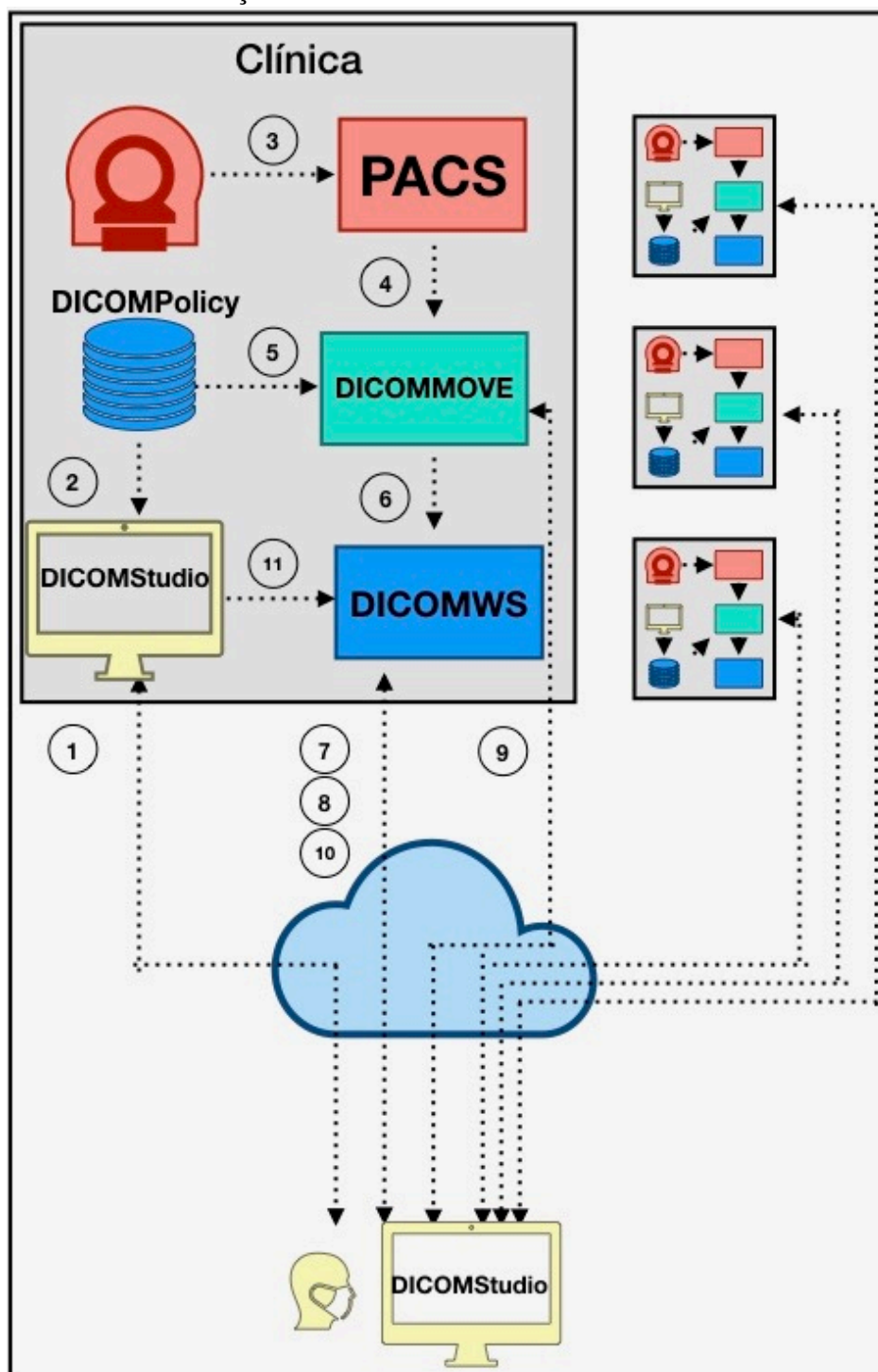
- A base instalada representa as infraestruturas presentes nos departamentos de radiologia. Tecnologias consolidadas as quais o DICOMStudio necessitou se conectar.

4.2.1 *Workflow* em alto nível, utilizando a plataforma DICOMStudio

Em uma visão de alto nível, o *workflow* da telerradiologia com o uso da plataforma DICOMStudio é ilustrado na Figura 4.3. O processo de distribuição de exames e laudos é transparente para as clínicas e médicos envolvidos, ou seja, é feito de forma automática e sem a necessidade de intervenções. Os pontos de 1 a 10 descrevem o *workflow* desde a aquisição das imagens, até o fechamento do laudo.

Na figura podemos observar (do lado esquerdo) uma clínica com a modalidade de aquisição de imagens radiológicas e os componentes da arquitetura DICOMStudio. No lado direito, temos várias outras clínicas, indicando a replicação de estruturas semelhantes em outros locais físicos. Na parte de baixo, podemos observar um médico radiologista apto a receber os exames e enviar os laudos utilizando a plataforma DICOMStudio. Entre os componentes, podemos identificar a internet.

Figura 4.3: *Workflow* da telerradiologia em alto nível. A interface do DICOMStudio promove um meio de comunicação comum entre o médico e entidades de saúde distintas



Fonte:Próprio autor

Os passos mostrados na figura 4.3 são detalhados a seguir:

1. O processo inicia quando ocorre a troca de certificados digitais entre a clínica e o médico radiologista [Araújo 2017], em conformidade com as diretrizes definidas no protocolo DICOMFlow, utilizando algum meio de comunicação endereçável da Internet (e.g e-mail, SMS ou aplicativos de troca de mensagens). Os certificados são lidos pelo DICOMStudio e armazenados pelo DICOMPOLICY. Eles serão utilizados nos demais fluxos de troca de informação, garantindo segurança de acesso e integridade dos dados trafegados.
2. Por meio do aplicativo DICOMStudio presente na clínica, configura-se, no DICOMPOLICY, as políticas de distribuição dos exames de imagem para os médicos. O processo de direcionamento de informações ocorre de forma automática. Conforme o *workflow* da clínica se modifica, as políticas de distribuição também podem ser alteradas, assim o fluxo de direcionamento é ajustado de forma automática e dinâmica.
3. Um novo exame de imagem é adquirido na modalidade e carregado no PACS da clínica.
4. O DICOMMOVE, que observa alterações no PACS, busca as informações desse novo exame, eliminando o trabalho manual da técnica em radiologia presente na clínica.
5. Em seguida, o DICOMMOVE consulta as políticas de distribuição e, observando os metadados presentes no exame e as políticas, localiza os radiologistas aptos a receber e efetuar o laudo o exame.
6. Ainda, o DICOMMOVE, consoante diretrizes do protocolo DICOMFlow, cria uma mensagem de serviço, contendo as informações do exame e dos médicos destinatários, e envia para o DICOMWS por meio de Web Service.
7. Por outro lado, o DICOMWS envia notificações para os dispositivos dos médicos destinatários que possuem o aplicativo DICOMStudio, informando da disponibilidade de uma mensagem de serviço.
8. Uma vez recebida a notificação, o DICOMStudio resgata a mensagem de serviço a partir do Web Service DICOMWS. Além dos metadados do exame, a mensagem de serviço carrega a URL de acesso às imagens do exame.

9. Então, o aplicativo DICOMStudio utiliza essa URL para resgatar as imagens, por meio do DICOMMove, em conformidade com as diretrizes de transferência do protocolo DICOMFlow. Uma vez baixado o exame, o médico radiologista utiliza o visualizador de imagens DICOM de sua preferência (e.g. Osirix) para análise e interpretação e emite o laudo.
10. O radiologista submete o arquivo do laudo, por meio do DICOMStudio, para o DICOMWS que o armazena. Opcionalmente, o médico pode optar por assinar o laudo digitalmente, utilizando quaisquer ferramentas externas para tal. Assinar digitalmente um arquivo com extensão .PDF, por exemplo, é uma possibilidade.
11. Por fim, o laudo pode ser consultado no DICOMWS pelo DICOMStudio da clínica, ficando disponível para integrar-se ao *workflow* da clínica, por meio de algum processo ou sistema de integração próprios.

4.2.2 O componente DICOMMove

Remanescente da implementação original do DICOMFlow, o módulo DICOMMove é responsável por implementar as diretrizes de controle da transmissão dos exames de imagem, como também gerenciar as informações que as mensagens de serviço carregam sobre os exames compartilhados através da plataforma. O DICOMMove utiliza a especificação dos perfis XDS e XDS-I [Cross-enterprise Document Sharing for Imaging] como referência para controle de armazenamento das informações, adotando as definições dos atores desse padrão e dos fluxos de comunicação entre esses atores em sua implementação [Araújo 2017].

O DICOMMove utiliza a linguagem de programação JAVA em sua codificação (de acordo com [Araújo 2017]), mais especificamente a arquitetura J2EE para desenvolvimento de sistemas WEB, que fornece suporte à tecnologia HTTPS e REST. Em termos práticos, o módulo DICOMMove é responsável por realizar a comunicação com o sistema PACS das clínicas e iniciar o processo de transmissão dos exames de imagem pela internet.

Diferentemente da abordagem original, o DICOMMove teve que ser modificado para adequar-se à arquitetura da plataforma DICOMStudio. Anteriormente, o DICOMMove utilizava mensagens em padrão XML, trafegadas por e-mail, como exposto na seção 2.6. Aqui, as interfaces do módulo DICOMMove necessitaram ser modificadas para adequar a

comunicação com os novos módulos da arquitetura. Ou seja, o DICOMMove agora troca informações com os módulos DICOMPolicy e DICOMWS através de suas interfaces de comunicação específicas. Realiza consultas ao DICOMPolicy através da sintaxe do banco de dados Firebase e faz a comunicação com o módulo DICOMWS utilizando consultas a um *Web Service* no formato GraphQL.

4.2.3 O componente DICOMWS

Essa subseção trata do componente que introduz a capacidade de ligação entre as clínicas e os médicos radiologistas, ajudando a transpor as barreiras de tecnologia de rede utilizadas por ambas as partes. O uso do DICOMWS fornece uma infraestrutura escalável, segura e automática para a comunicação entre as partes integrantes do fluxo da telerradiologia. Não é necessária configuração adicional, em relação a sistemas de informação, para que uma clínica passe a trocar informações com um médico. Toda a operação é feita de forma automática, através dos serviços do protocolo DICOMFlow.

O componente DICOMWS foi projetado para ser de baixo custo, podendo ser aplicado em qualquer ambiente, mesmo os mais carentes de recursos. Pode ser funcionar dentro do domínio da clínica/hospital ou mesmo fora dele. Para a implementação de referência deste trabalho, o componente foi implementado utilizando a tecnologia GraphQL, que será explorada na próxima subseção.

Entendendo o GraphQL

O GraphQL consiste em uma linguagem de consulta de dados, elaborada pelo Facebook e lançada em meados de 2016. O GraphQL introduz um novo tipo de interface de acesso a dados baseadas na Web, que apresenta uma alternativa à noção de interfaces baseadas em REST [Richardson, Amundsen e Ruby 2013]. Em comparação com a arquitetura REST, o GraphQL apresenta um significativo ganho de performance nas consultas que são efetuadas ao serviço[Vázquez-Ingelmo, Cruz-Benito e García-Peñalvo 2017], melhorando a robustez do serviço em situações de excesso de carga. Rodando uma espécie de *Web Service* sobre o protocolo HTTP, o GraphQL ganhou um impulso significativo e foi adotado por um número crescente de usuários desde o seu lançamento [Hartig e Pérez 2017].

De acordo com [GraphQL], um serviço é criado definindo tipos e campos e, em seguida, fornecendo funções para cada campo em cada tipo. Uma vez que um serviço GraphQL está sendo executado (geralmente um Web Service com uma URL), ele pode receber consultas GraphQL para validar e executar. Uma consulta recebida é primeiro verificada para garantir que ela se refira apenas aos tipos e campos definidos e, em seguida, executada para produzir um resultado. Um exemplo de consulta GraphQL pode ser observada na figura 4.4: O modelo de consulta que busca o registro de uma determinada Pessoa (esquerda) e o modelo de resposta dada pelo serviço GraphQL (direita).

Figura 4.4: Exemplo de consulta GraphQL sendo executada, solicitando informações acerca de um registro de uma pessoa específica armazenada nos registros e a respectiva resposta



```
{
  person(id: some_id)
  {
    name,
    age,
    height,
    weight,
    parents
    {
      name
    }
  }
}
```

```
{
  "person"
  {
    "name": "John",
    "age": 23,
    "height": 1.75,
    "weight": 63,
    "parents": [
      {
        "name": "Alice"
      },
      {
        "name": "Bob"
      }
    ]
  }
}
```

Fonte: Extraído de [Vázquez-Ingelmo, Cruz-Benito e García-Peñalvo 2017]

Na consulta mostrada na figura 4.4, observa-se que a árvore de dados no formato JSON que é retornada pelo serviço GraphQL é limitada ao que foi pedido na consulta, proporcionando uma economia no tráfego de dados. De acordo com [Garcia-Peñalvo e Garcia-Holgado 2016], devido à existência de componentes heterogêneos com funções separadas dentro dos ecossistemas tecnológicos, é importante ter o apoio de métodos de comunicação que apresentem altos níveis de interoperabilidade para conectar os componentes sem afetar a independência de cada um deles. É nesse contexto que o GraphQL pode ser inserido no contexto deste trabalho: O DICOMStudio é constituído de tecnologias heterogêneas, operando em domínios distintos.

De acordo com [Vázquez-Ingelmo, Cruz-Benito e García-Peñalvo 2017], o GraphQL representa solução poderosa para aumentar a interoperabilidade de sistemas que necessitam de intensa manipulação de informações, pois oferece alta flexibilidade e suporte a mudanças de requisitos ao longo do tempo. Em resumo, algumas vantagens na adoção da tecnologia GraphQL podem ser verificadas. São elas:

- Aumento de desempenho devido à redução do número de solicitações em cada consulta à base de dados, bem como níveis mais elevados de escalabilidade e manutenção.
- O GraphQL é adequado para os sistemas que precisam de acesso intensivo aos dados e que estão em constante evolução, pois dá a eles escalabilidade, flexibilidade e desempenho.
- Com o uso do GraphQL, Os dados são fornecidos sob demanda e os clientes podem especificar a estrutura, os filtros ou até mesmo as operações para os dados recuperados, diminuindo a necessidade de tráfego de informações desnecessárias pela rede.

Componente DICOMWS utilizando GraphQL

O componente DICOMWS consiste na estrutura responsável por 3 funções principais:

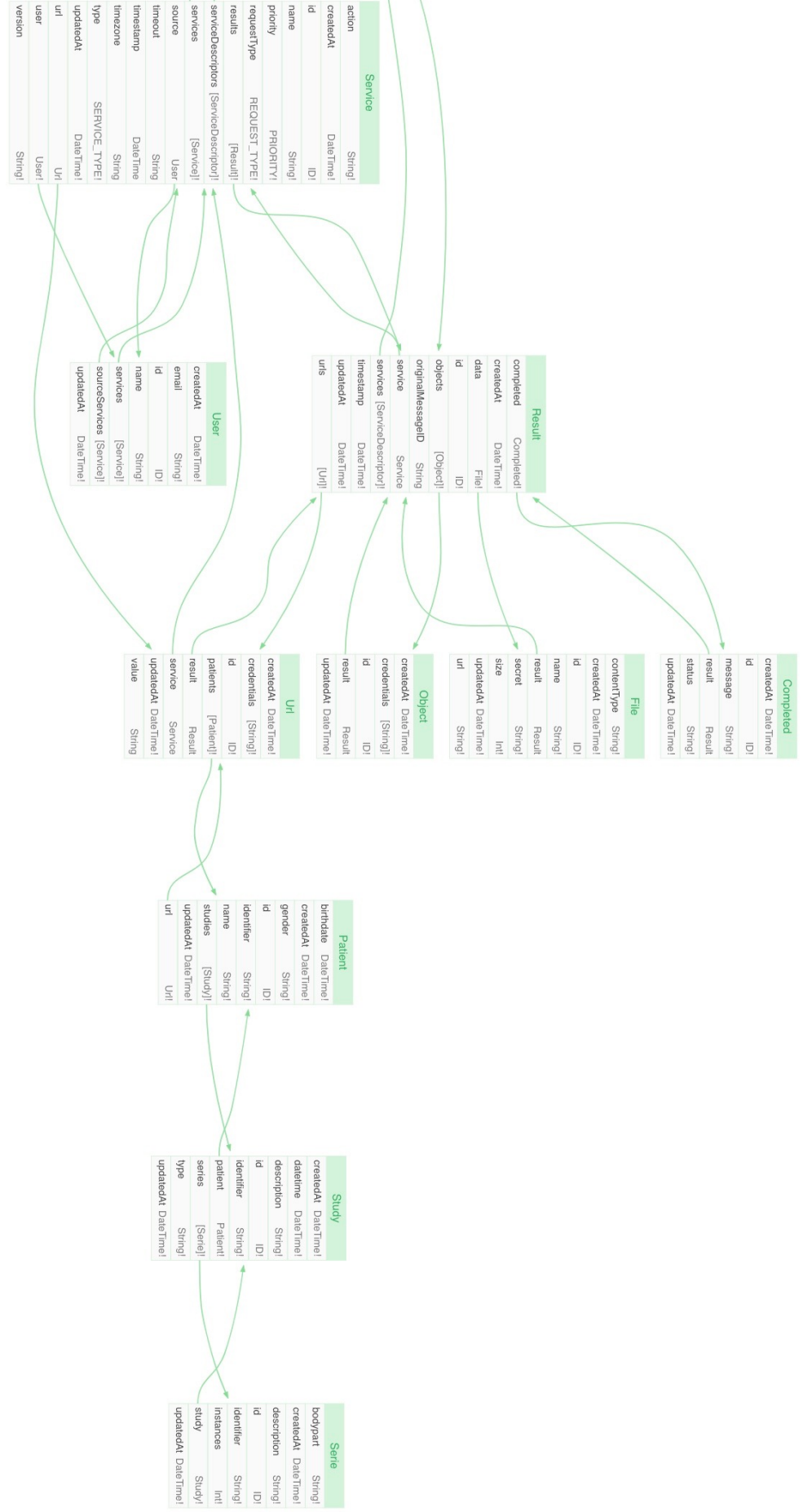
- Armazenar as informações de uma clínica/hospital para que os dados sejam resgatados posteriormente por um médico.
- Fornecer um serviço para que os médicos busquem informações.
- Proporcionar uma estrutura de notificações para que os médicos recebam as informações necessárias quando os exames estiverem disponíveis para realizar o trabalho de confecção de laudos

O DICOMWS é responsável por implementar a estrutura do protocolo DICOMFlow, traduzindo a especificação do protocolo em estruturas de armazenamento no seu banco de dados. Observando as várias vantagens descritas anteriormente, a implementação do DICOMWS feita para este trabalho utilizou a tecnologia GraphQL. Foi possível, assim, construir um serviço de troca de mensagens no formato de Web Service, que trafega os metadados

necessários para todo o fluxo de informações (inclusive das demandas de exames oriundas das clínicas).

A figura 4.5 mostra como os metadados estão organizados na estrutura de banco de dados do DICOMWS. ressalta-se que o modelo físico do componente exibido na figura é replicado para cada instância do DICOMWS em cada clínica.

Figura 4.5: Modelo do Banco de Dados para Persistência dos Metadados no DICOMWS



As principais estruturas de armazenamento (denominadas tipos) exibidas no modelo físico da figura 4.5 estão detalhadas a seguir:

- Tipo Service: Armazena as solicitações de emissão de laudos de uma clínica. Neste momento, ainda não estão atribuídas a nenhum médico responsável.
- Tipo Patient: Dados sobre o paciente que realizou o exame (Tipo proveniente do padrão DICOM).
- Tipo Study: Dados sobre o estudo realizado no exame de imagem (Tipo proveniente do padrão DICOM).
- Tipo Serie: Dados sobre a série do exame em questão (Tipo proveniente do padrão DICOM).
- Tipo URL: Endereço para acesso ao exame. Utilizada pelo médico para realizar o download do conjunto de objetos DICOM de um exame.
- Tipo File: Armazena o retorno dos laudos que um médico emitiu para uma solicitação específica.

Além disso, o componente DICOMWS realiza as notificações para os médicos que participam do *workflow* da telerradiologia e recebem exames para laudar. Na operação de troca de certificados do protocolo DICOMFlow, um médico passa a estar cadastrado em determinada clínica para realizar seus lados. Observando as clínicas que um médico está cadastrado, o DICOMWS envia as notificações para o aplicativo DICOMStudio, informando sobre as demandas de exames que estão disponíveis para realização de laudos.

As notificações são projetadas para garantir o aspecto assíncrono na comunicação. Viabilizado segundo um esquema denominado de *subscriptions*, os médicos estão cadastrados e são notificados em tempo real quando há alguma modificação nos dados relacionados a eles. As subscriptions são um recurso disponibilizado pela implementação do GraphQL utilizada neste trabalho. O mecanismo de notificações possibilita o ingresso e o desligamento de elementos externos sob demanda. Por utilizarem o padrão de mensagens JSON, as notificações são do tipo *lightweight*, reduzindo a demanda de rede em comparação com a implementação

original do DICOMFlow. A infraestrutura de notificações e a de comunicação são independentes tanto em funcionamento quanto em localização, ou seja, podem ser localizadas dentro do domínio da clínica, fora dele ou em um cenário combinado.

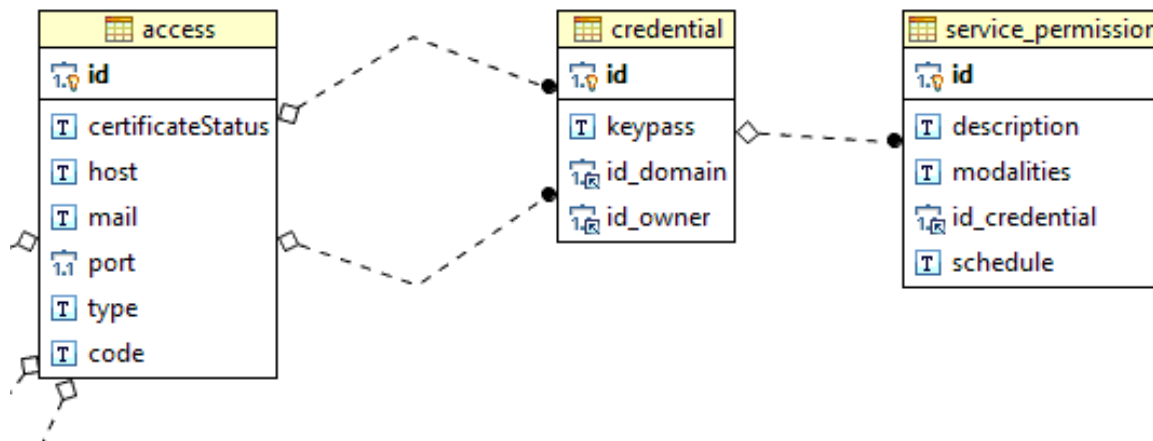
4.2.4 O componente DICOMPolicy

Conforme introduzido anteriormente, o componente DICOMPolicy é um banco de dados responsável por armazenar as políticas de distribuição dos exames na plataforma DICOMStudio, relacionando os médicos com as clínicas e hospitais e associando os exames a um médico radiologista responsável, através das políticas de distribuição dos exames. Além disso, mantém o armazenamento de metadados dos usuários participantes da plataforma

Do ponto de vista do funcionamento do *workflow* da telerradiologia, o DICOMPolicy é acionado sempre que é necessário realizar o encaminhamento de uma requisição de laudos para os médicos radiologistas. Sempre que o DICOMMove detecta a chegada de um novo exame no PACS da clínica/hospital, uma consulta é feita ao DICOMPolicy para determinar para quais médicos o referido exame deverá ser encaminhado.

A figura 4.6 ilustra o modelo físico do banco de dados do DICOMPolicy, em relação às políticas de distribuição. As estruturas de armazenamento de metadados foram omitidas da figura para fins de simplificação. O detalhamento das estruturas destacadas na figura será dado a seguir.

Figura 4.6: Modelo físico do banco de dados do DICOMPolicy, mostrando as estruturas de dados relacionadas às políticas de distribuição dos exames



Fonte:Próprio autor

De acordo com a figura 4.6, as estruturas de armazenamento são:

- A estrutura *Credential* representa o relacionamento entre uma clínica/hospital e um médico radiologista. Ou seja, diz quais médicos estão habilitados a realizar laudos para uma determinada clínica/hospital
- A estrutura *Access* armazena as informações de um médico ou de uma clínica. Por exemplo: o endereço do domínio da internet de uma clínica ou o email de contato do médico radiologista.
- A estrutura *Service Permission* representa os detalhes de um médico radiologista em relação às suas possibilidades de realizar um laudo. Por exemplo, armazena-se as modalidades que o médico está autorizado a emitir laudos e a sua agenda (disponibilidade de dias e horários para realização de laudos).

Desta forma, caso um novo exame de CT chegue, por exemplo, no PACS da clínica, o DICOMMove automaticamente consultaria a estrutura *Credential* do DICOMPolicy, verificando quais médicos estão associados àquela clínica. Posteriormente, verificaria na estrutura *Service Permission* quais médicos estão aptos a realizar o laudo para aquele determinado

exame de CT, verificando o campo *modalities*. Ainda é considerado o campo *schedule* para determinar se ele pode atender a demanda no dia e horários especificados. Após esta consulta no DICOMPolicy, o DICOMMove pode encaminhar as solicitações para os médicos corretamente.

Do ponto de vista tecnológico, a implementação feita para este trabalho utilizou-se de um banco de dados (denominado [Firebase]) que, ao contrário das implementações tradicionais, utiliza uma abordagem não relacional de armazenamento, chamada de NoSQL. O formato de armazenamento e transferência dos dados (JSON) foi um fator determinante para a escolha, uma vez que reduz o volume de informação trafegada pela rede. Algumas vantagens levadas em consideração para a escolha desta tecnologia foram:

- Banco de dados em tempo real: Os dados são sincronizados em todos os dispositivos. Ou seja, caso o médico radiologista utilize o aplicativo DICOMStudio em vários dispositivos, a simples alteração dos dados em qualquer um deles acarretará na atualização automática de todos, sem a necessidade do envio de novas consultas pela rede.
- Banco de dados disponível offline: Em todos os dispositivos sincronizados, há uma instância local do banco de dados. Em caso de falha ou indisponibilidade de internet, os dados são salvos localmente para posterior sincronização com a instância que está replicada na nuvem.
- Escalabilidade e possibilidade de novos módulos: O ambiente do Firebase se mostra escalável e permite que novos dispositivos sejam incluídos na plataforma sem a necessidade de configurações extras.

Na construção do DICOMPolicy, ainda foram adicionados elementos responsáveis por controlar as regras do fluxo de informação da plataforma. Tais elementos foram projetados graças a um recurso denominado de *Cloud Functions*: Funções que monitoram o banco de dados, para que operações sejam realizadas a cada vez que alguma alteração/inclusão/remoção de registro é feita. Desta forma, o controle de alterações das regras fica simplificado, pois não é necessário alterar a programação dos aplicativos dos médicos sempre que alguma regra ou comportamento precisa ser ajustado.

Apesar de não manter um esquema relacional de persistência dos dados, as informações

são armazenadas de forma estruturada e os dados sensíveis organizados em áreas distintas para cada usuário da plataforma, como mostra a figura 4.7.

Figura 4.7: Armazenamento estruturado das informações dos usuários no DICOMPolicy



Fonte:Próprio autor

Na figura 4.7, podemos observar a separação dos dados armazenados no DICOMPolicy. Em azul, temos a área reservada para armazenamento dos dados do médico Dr. X e em vermelho, destaca-se a área separada para armazenamento dos dados do DR. Y. Com essa estrutura, é possível realizar a integração futura com dispositivos móveis, através da utilização de serviços de autenticação integrados com redes sociais como o Facebook e serviços de autenticação do Google, por exemplo. O acesso às informações do banco de dados do DICOMPolicy é feita, nesse contexto, através de uma API fornecida pelo próprio fabricante do serviço.

4.2.5 O aplicativo DICOMStudio

A complexidade do *workflow* ilustrado na Figura 4.3 é abstraída para o usuário do médico radiologista que interage com a plataforma através de uma aplicação Desktop construída com a combinação da linguagem de programação Javascript e das bibliotecas [ReactJS] e [ElectronJS]. O aplicativo DICOMStudio é responsável por exibir, para o médico radiologista, os

exames que estão disponíveis para laudar, possibilitar o resgates dos exames armazenados na clínica/hospital e o facilitar envio dos respectivos laudos.

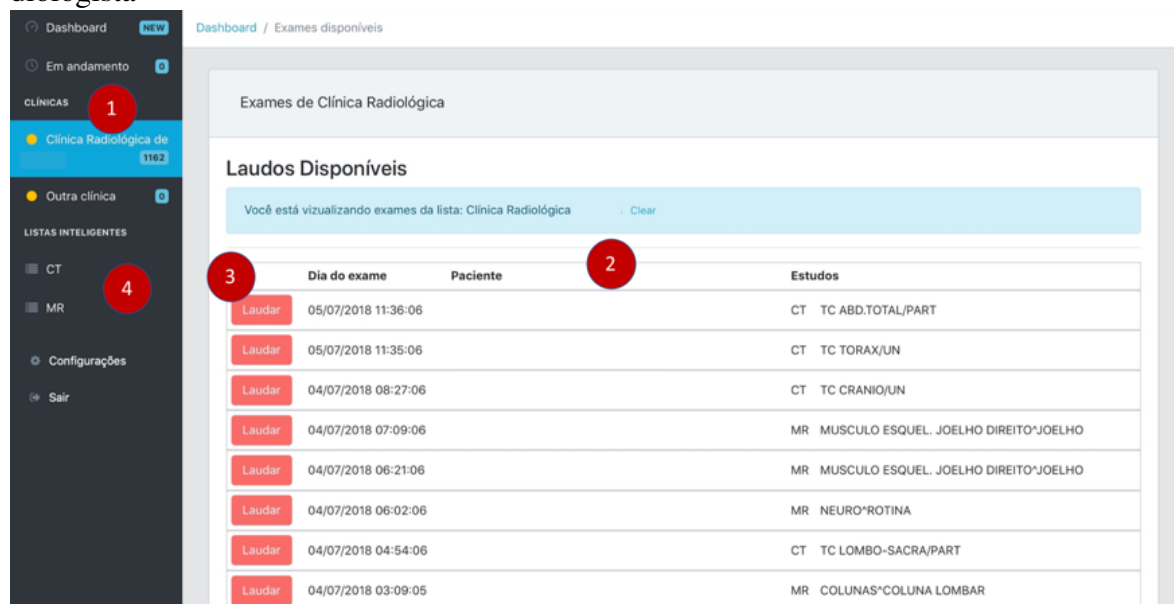
O aplicativo foi desenvolvido de modo a apresentar, para o médico radiologista, uma interface simples e funcional, buscando a utilidade direta e tentando ser semelhante a aplicações que o médico tenha contato diário. Por isso, as solicitações de laudos que são enviadas para um médico são organizadas de modo semelhante a uma caixa de entrada de e-mails, tornando a experiência de utilização do aplicativo familiar para seus usuários.

De acordo com a observação na Clínica Radiológica de Patos e nas conversas com um médico radiologista, modelou-se o fluxo de informações através do aplicativo. Apesar da política de distribuição dos exames (presente no DICOMPolicy) direcionar as solicitações de laudo para médicos específicos, é permitido que mais de um profissional se encaixe nos critérios de distribuição. Ou seja, uma solicitação de laudo pode ser enviada para mais de um profissional, sendo exibida na interface de ambos. Esta característica permite uma maior distribuição dos médicos em relação ao volume de demandas que chegam via DICOMStudio e fornece para a clínica uma maior disponibilidade de profissionais aptos a atender as demandas de laudo.

Desta forma, as demandas de laudo exibidas para os médicos radiologistas como solicitações de laudo. A partir daí, o profissional decide se aceita ou não a demanda, tornando o exame "bloqueado" para aceitação de outros médicos. Ou seja, somente um médico por vez pode "trabalhar" em um exame específico.

Também com base na observação presencial do *workflow* da clínica, detectou-se que existe um prazo (geralmente dimensionado em dias) para que um laudo seja entregue para o usuário final. Desta forma, não é interessante que um médico atribua para si uma demanda de laudo sem um tempo determinado para solucioná-la. Tal comportamento poderia gerar atrasos na entrega dos resultados de um exame. Para solucionar esta questão, o DICOMStudio utiliza um parâmetro pré-configurado pela clínica para determinar quanto tempo um médico tem para completar a tarefa de confeccionar o laudo para um exame de imagem. Caso o profissional não consiga cumprir a tarefa neste tempo, o laudo é automaticamente desbloqueado e fica disponível para que outro médico possa ficar responsável por ele. A figura 4.8 ilustra como as demandas de laudo são exibidas e organizadas para o médico radiologista.

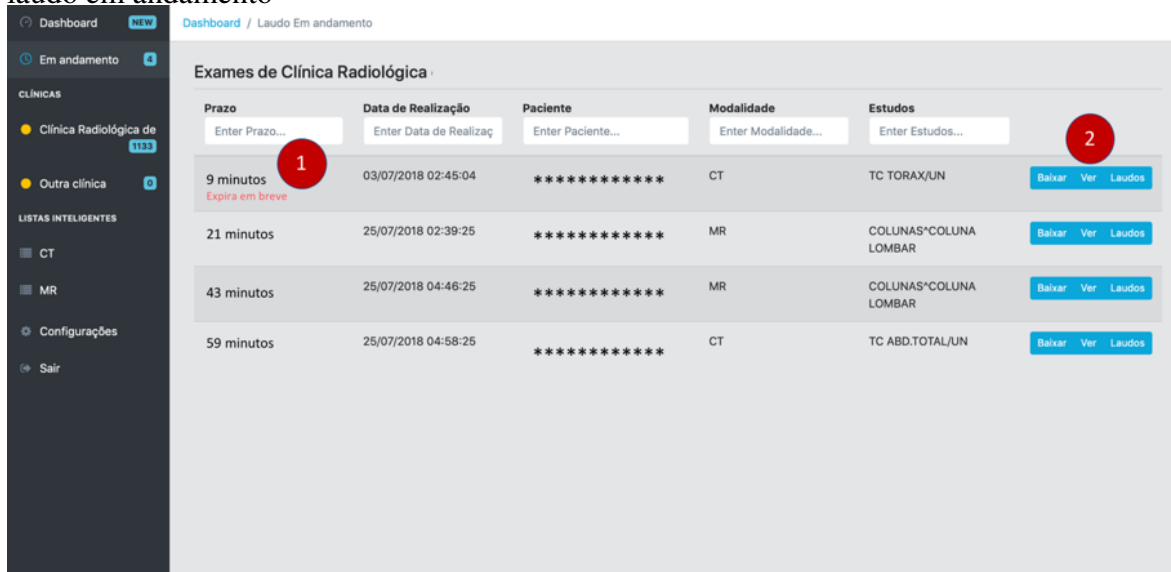
Figura 4.8: Aplicativo DICOMStudio exibindo metadados dos exames para um médico radiologista



Fonte:Próprio autor

Na figura 4.8 são listadas as clínicas a que um médico tem relacionamento (ponto 1), os exames são listados com base em algum critério de ordenação (ponto 2) e o médico pode aceitar uma demanda de laudo oriunda de uma clínica (ponto 3), tornando o exame bloqueado. Neste momento, os metadados do exame são carregados para o banco de dados do usuário médico. Para uma melhor organização, o médico ainda pode filtrar seus exames com base em algum critério ou até mesmo configurando uma série de tags: é o recurso das listas inteligentes (ponto 4). Os laudos que estão em andamento pelo médico são exibidos em uma tela separada, conforme ilustrado na figura 4.9.

Figura 4.9: Aplicativo DICOMStudio exibindo a área que mostra os exames que estão com laudo em andamento



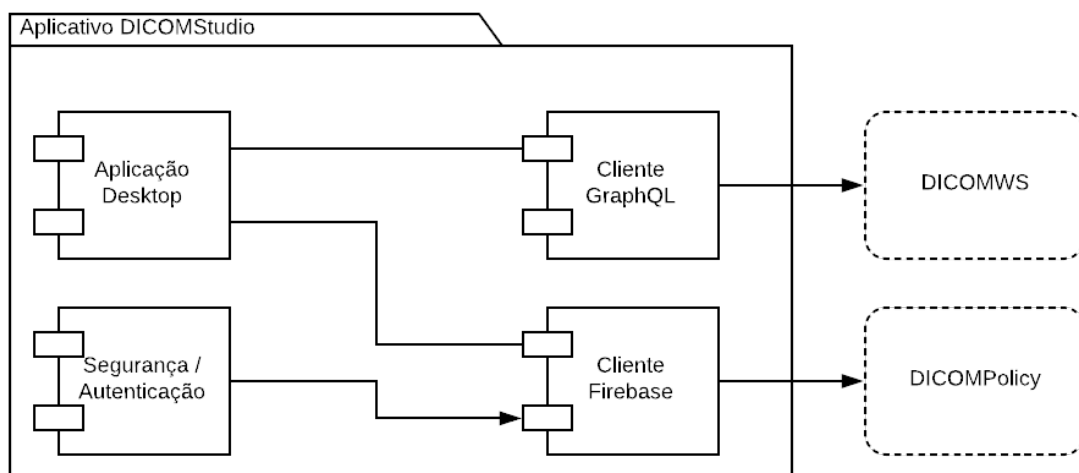
Fonte:Próprio autor

Na figura 4.9, o ponto 1 representa o tempo restante para que o médico radiologista conclua o laudo para aquele determinado exame. Quando o contador é zerado na interface, o exame automaticamente é removido desta área e disponibilizado para que outro médico possa realizar o laudo. O ponto 2 representa as operações que o médico pode realizar sobre um determinado exame. São elas:

- Baixar para o computador pessoal, uma vez que os exames ainda estão sob a guarda da clínica e só após a atribuição deles a um médicos são liberados para *download*.
- Ver o exame, chamando uma rotina do sistema operacional que abre o exame no visualizador de imagens DICOM de preferência do médico.
- Enviar os laudos, que permique que sejam adicionados quaisquer documentos relativos aos laudos deste exame, finalizando o fluxo para aquele determinado exame.

Do ponto de vista tecnológico e de arquitetura de software, a figura 4.10 apresenta um modelo simplificado dos componentes presentes no aplicativo DICOMStudio.

Figura 4.10: Modelo Simplificado de Componentes do aplicativo DICOMStudio



Fonte:Próprio autor

Conforme pode-se observar na figura 4.10, o aplicativo é composto por 4 componentes principais: (1) Aplicação Desktop, responsável pela estrutura de apresentação e coordenação do fluxo de informações; (2) Componente de Segurança e autenticação, responsável por garantir o sigilo das informações trafegadas e o acesso autenticado dos médicos à plataforma; (3) Cliente GraphQL, encarregado de fazer a comunicação com o DICOMWS para resgate dos exames e metadados e o cliente Firebase(4), responsável por realizar a interface com o componente DICOMPolicy.

Para o resgate dos metadados oriundos da clínica, o aplicativo DICOMStudio consome a API do Web Service GraphQL (DICOMWS) fornecido pela clínica, enviando mensagens e consultas no formato e sintaxe aceitos pelo serviço. A figura 4.11 ilustra um exemplo de resultado consulta feita ao componente DICOMWS, solicitando a lista de exames disponíveis para laudar de um usuário do aplicativo.

Figura 4.11: Exemplo do resultado da consulta realizada pelo aplicativo DICOMStudio ao componente DICOMWS para obtenção dos exames disponíveis para laudar

```
{
  "data": {
    "allServices": [
      {
        "updatedAt": "2018-07-26T18:23:26.000Z",
        "source": {
          "id": "cjpg6rp4vmzg6d0110p4r042pk"
        },
        "url": {
          "credentials": [
            "ca1e045a-ee4f-4e8c-aeel-abb598a2e40d"
          ],
          "patients": [
            {
              "name": "PACIENTE X",
              "identifier": "57954",
              "studies": [
                {
                  "series": [
                    {
                      "bodypart": "ABDOMEN",
                      "identifier": "1.2.840.113619.2.22.287.1.22078.2.20180726.251009",
                      "description": "SEM CONTRASTE",
                      "instances": 88,
                      "id": "cjk2vz6w60ud60179sqd05mwr"
                    },
                    {
                      "identifier": "1.2.840.113619.2.22.287.1.22078.20180726.250905",
                      "description": "TC ABD.SUPERIOR/UN",
                      "datetime": "2018-07-26T18:09:05.000Z",
                      "id": "cjk2vz6w60ud50179t17x6jod",
                      "type": "CT"
                    }
                  ],
                  "birthdate": "1982-12-01T03:00:00.000Z",
                  "id": "cjk2vz6w60ud40179fwkfkoo1",
                  "gender": "M"
                }
              ],
              "value": "http://XXXXXX.com:8081/dicomMove/rest/DownloadStudy/1.2.840.113619.2.22.287.1.22078.20180726.250905"
            },
            {
              "id": "cjk2vz6w60ud20179nohdr3kz",
              "createdAt": "2018-07-26T18:23:26.000Z"
            }
          ]
        }
      ]
    }
  }
}
```

Fonte:Próprio autor

Na figura 4.11, pode-se observar o formato de dados JSON utilizado para responder à solicitação. Em formato estruturado, são mostradas as informações do exame, do paciente (PACIENTE X), do estudo em questão (TC ABDOMEN), uma das séries utilizada no exame (ABDOMEN SEM CONTRASTE) e a URL de acesso ao exame, por exemplo. Já a figura 4.12 mostra como as informações dos usuários da plataforma são armazenadas. Em formato de metadados de um banco de dados não relacional, utiliza-se a tecnologia Firebase (a mesma utilizada no módulo DICOMPolicy).

Figura 4.12: Exemplo de persistência dos metadados em um modelo não relacional para o Aplicativo DICOMStudio



Fonte: Próprio autor

Na figura 4.12, é possível perceber a árvore estruturada que contém os metadados do usuário com perfil de médico (DR. Y). É possível observar as listas inteligentes que foram configuradas na interface deste médico, através do nó "listas". Pode-se ver, também, as clínicas as quais este médico tem relacionamento (nó my-clinicas). Os laudos em andamento são organizados em seu respectivo nó, e armazenam os metadados dos exames que estão sob responsabilidade do DR. X, utilizado como exemplo na imagem.

Além de permitir a manipulação de dados em tempo real, a tecnologia utilizada para

armazenar os dados dos usuários do DICOMStudio fornece serviços de autenticação, permitindo que um mesmo usuário carregue seus dados em diversas plataformas e dispositivos (e.g. smartphones, web e aplicação desktop) e em diferentes locais.

Para acesso ao aplicativo DICOMStudio, existe um usuário e senhas previamente definidos. Cada utilizador é identificado por um login próprio e uma senha correspondente. Ao passar pela etapa de autenticação, o usuário terá seus dados carregados no dispositivo que estiver utilizando. Cada usuário tem seus dados armazenados em áreas específicas e separadas dentro banco de dados do DICOMStudio.

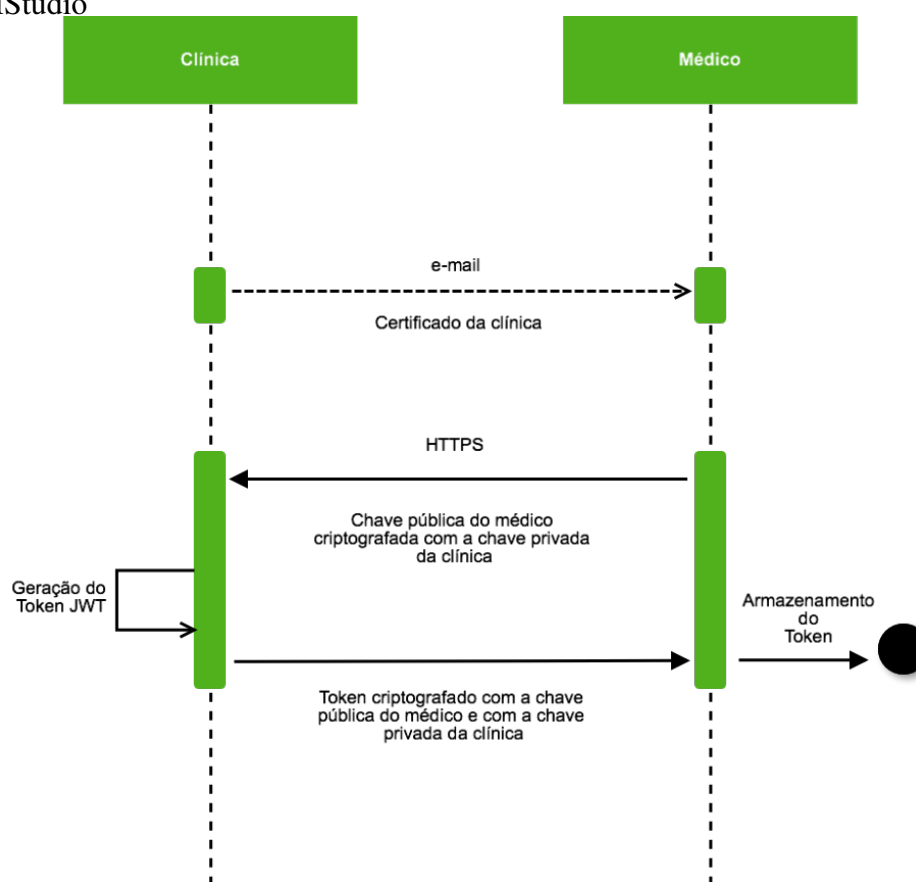
4.3 Aspectos de Segurança

Os aspectos de segurança foram abordados em todos os níveis de comunicação da arquitetura, inclusive os aspectos de segurança relacionados aos componentes e tecnologias mantidos fora da infraestrutura da arquitetura. Os aspectos estão reunidos em 4 grupos que abrangem todo o fluxo de comunicação, desde a aquisição do exame no PACS, passando pela transmissão para o médico e finalizando com a emissão do laudo. As subseções seguintes abordam cada um desses grupos detalhadamente.

4.3.1 A associação médico-clínica

O fluxo de comunicação para troca de certificados e registro em ambas as partes (clínica e médico) é semelhante ao definido nas diretrizes do protocolo DICOMFlow. Entretanto, difere nos meios utilizados para a troca das mensagens, pois a associação não é feita apenas através do protocolo de e-mail, como no DICOMFlow. A etapa de envio do certificado digital do médico, após a solicitação de certificado por parte da clínica, foi substituída por uma troca de mensagens via HTTPS. Embora sejam dois meios de comunicação utilizados, os mesmos aspectos de segurança especificados no DICOMFlow foram seguidos, ou seja, as mensagens trafegam criptografadas e o *token* de acesso aos exames só pode ser recebido e acessado por quem foi destinado pelo médico. Um aspecto não abordado no DICOMFlow é o formato do *token* de acesso, o protocolo não especifica como deve ser o formato, portanto foi utilizada a tecnologia JWT [JWT] para geração do mesmo na solução. A figura 4.13 ilustra esse processo e os passos serão descritos a seguir:

Figura 4.13: Diagrama ilustrando o processo de associação entre médico e clínica utilizando o DICOMStudio



Fonte:Próprio autor

1. Envio do e-mail (obedecendo as diretrizes do protocolo DICOMFlow) - Link recebido por e-mail.
2. Envio da chave pública do médico criptografada com a chave pública da clínica via HTTPS.
3. A clínica gera um token de acesso (JWT), encripta este token com a chave pública do médico e em seguida com a chave privada da clínica e envia para o médico via HTTPS. Garantindo, assim, a autenticidade dos emissores das mensagens.
4. O médico armazena o token para fins de acesso aos metadados.

A partir daí, médico e clínica estão registrados. Ficando, assim aptos a trocarem mensagens futuramente.

4.3.2 Acesso ao PACS e disponibilização dos metadados no DICOMWS

Nesse ponto da comunicação, há duas abordagens possíveis para o acesso ao PACS e disponibilização de metadados:

A primeira, se o DICOMWS for mantido dentro do domínio da clínica, basta o monitoramento direto do PACS com seus próprios mecanismos de segurança embutidos. Desta forma, o nível de segurança é o mesmo que o PACS possui, ou seja, a garantia de proteção dos dados é dada pela própria infraestrutura fornecida pelo PACS.

Se o DICOMWS for mantido fora do domínio da clínica, o esquema de segurança é garantido pela implementação da tecnologia GraphQL. Além dos aspectos relacionados à proteção das consultas Web Services (Timeouts e complexidade da consulta)(citar <https://www.howtographql.com/advanced/4-security/>), existe uma camada de lógica de negócio que contextualiza os dados armazenados, ou seja, lógica de programação permite acesso da informação somente pelos autores ou ou àqueles autorizados por esses autores.

4.3.3 A autenticação do usuário no DICOMClient e transmissão do exame

Para autenticação no DICOMClient, são utilizadas as regras de acesso do [Firebase]. Para acesso aos dados, o Real Time Database especifica quem tem acesso de leitura e gravação

ao banco de dados. Essas regras residem nos servidores e são sempre aplicadas automaticamente. As solicitações de leitura e gravação só serão concluídas se as regras permitirem. A finalidade é proteger o banco de dados contra uso indevido.

Em relação à transmissão dos exames através da internet, conforme mencionado anteriormente, é feita utilizando a tecnologia HTTP/REST. A proteção desta transmissão entre os pontos é protegida pelos protocolos HTTPS e TLS (Transport Layer Security), garantindo confidencialidade, integridade e autenticidade na transmissão do estudo da origem até o destino.

O Token [JWT] que foi trocado na associação, médico-clínica é utilizado para autenticar o usuário na transmissão dos dados, conforme especificação do protocolo DICOMFlow.

4.4 Considerações Finais

Esse capítulo abordou os requisitos e aspectos técnicos utilizados na construção da plataforma DICOMStudio para a telerradiologia. Em detalhes, foram explicados os principais conceitos utilizados em cada um de seus componentes arquiteturais os aspectos de segurança que permearam sua concepção. Todo o desenvolvimento foi feito pensando na transposição das barreiras da telerradiologia abordadas nos capítulos iniciais.

Capítulo 5

Avaliação Experimental

Este capítulo apresenta a avaliação experimental da plataforma DICOMStudio. Foram idealizadas duas modalidades de experimento: Em ambiente completamente simulado (seção 5.2) e a simulação em ambiente real (seção 5.3) com as respectivas subseções descritivas dos experimentos. Em cada subseção correspondente são mostrados alguns resultados observados a partir dos experimentos realizados.

Foram analisados os fluxos de comunicação entre os componentes da arquitetura e feito o monitoramento das informações passadas entre os módulos da plataforma. Por fim, na seção 5.4, são feitas as considerações finais do capítulo.

5.1 Testes de Viabilidade Técnica

O objetivo dos experimentos descritos a seguir foi avaliar, mesmo que de forma preliminar, a plataforma para a telerradiologia elaborada neste trabalho. Os experimentos foram feitos visando atestar a viabilidade técnica e operacional da arquitetura desenvolvida e a capacidade de funcionamento e integração das tecnologias utilizadas no desenvolvimento dos componentes arquiteturais do DICOMStudio.

Foram elaboradas duas modalidades de experimentos. A primeira, em um ambiente interno e controlado, simulando o funcionamento dos componentes da arquitetura, distribuindo os exames via plataforma DICOMStudio e verificando as funcionalidades do aplicativo DICOMStudio. O segundo experimento foi realizado com o auxílio da Clínica Radiológica de Patos e de um médico radiologista simulando o fluxo da telerradiologia em um ambiente

real. Os detalhes dos experimentos são dados a seguir.

5.2 Testes de viabilidade técnica em ambiente interno

O objetivo deste teste foi verificar o funcionamento da plataforma DICOMStudio em um ambiente interno e controlado, visando a correção de possíveis erros e o ajuste das funcionalidades, capacitando a plataforma para o funcionamento em ambientes reais de uma forma mais robusta. Para a execução dos testes, foi construído um ambiente que simula uma clínica de radiologia. Os computadores utilizados no teste estão localizados a uma distância de 5 quilômetros entre si, em dois laboratórios: Uma parte localizada no Laboratório de Arquitetura e Sistemas de Software da Universidade Federal da Paraíba e a outra na Infraestrutura de TI da Superintendência de Tecnologia da Informação da Universidade Federal da Paraíba (STI-UFPB).

O primeiro computador simula o servidor PACS de uma clínica, armazenando os exames que serão posteriormente distribuídos. O segundo computador simula a estação pessoal do médico radiologista, onde serão confeccionados os laudos dos exames. Os exames eram gerados através de um software de simulação e automaticamente depositados no sistema PACS da máquina 1 (descrita logo abaixo). O módulo DICOMMove foi configurado para encaminhar as solicitações de laudo para um médico radiologista específico, com dados fictícios. As políticas do módulo DICOMPolicy foram configuradas para suportar apenas um médico radiologista. O restante do processo seguiu o *workflow* do DICOMStudio, explorado anteriormente.

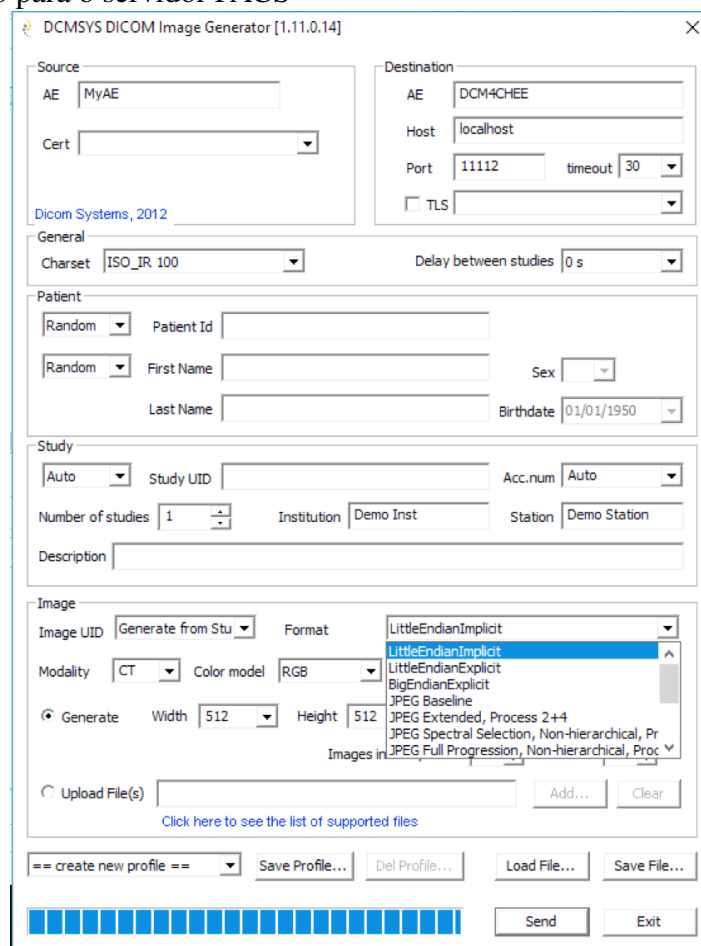
Após as solicitações de emissão de laudo, foi feito o monitoramento do DICOMWS para verificar o correto encaminhamento das solicitações. A partir daí, o usuário que simula o médico radiologista baixou os exames máquina 2, abriu as imagens em uma aplicativo de visualização médica (conferindo a integridade das informações trafegadas) e realizou o upload dos laudos. Também foi feita a verificação do módulo DICOMPolicy, para verificar a correta associação dos exames ao médico radiologista simulado nos testes. O processo descrito anteriormente segue o *workflow* definido na seção 4.1.

Para a realização do experimento, utilizou-se a configuração de ambiente descrita a seguir:

5.2.1 Configuração do ambiente interno

No computador que simula a clínica, foi instalado o servidor PACS DCM4CHEE (Operando sobre a máquina Virtual da linguagem JAVA) para armazenamento e gerenciamento das imagens. Para persistência dos metadados dos exames, utilizou-se o banco de dados MySQL. Os servidores de aplicação JBOSS e TOMCAT são utilizados para hospedar o servidor DCM4CHE e o módulo DICOMMove, respectivamente. Como não há a disponibilidade de uma modalidade para captura dos exames, utilizou-se o software DCMFlow para simular a geração de novas imagens e o envio para o PACS, conforme mostra a figura 5.1.

Figura 5.1: Aplicativo DCMFlow utilizado para simular a geração de imagens em uma modalidade e o envio para o servidor PACS



Fonte: Próprio autor

Com o uso do software mostrado na figura 5.1, foram gerados exames DICOM de To-

Tabela 5.1: Especificações dos computadores utilizados nos testes em ambiente interno

Recurso	Máquina 1	Máquina 2	Ambiente Externo
CPU	Intel i5@3.4GHz	Intel i5@2.5GHz	-
Memória	8 GB	8 GB	-
Sistema Operacional	Microsoft Windows 10 Pro	MacOS High Sierra	-
JVM	versão 1.7	-	-
DCM4CHE	versão 2.18	-	-
Banco de dados	MySQL 5.1	-	-
JBOSS	versão 4.2.3GA	-	-
TOMCAT	versão 7.0.29	-	-
DICOMMove	versão 2.0	-	-
DICOMPolicy	-	-	versão 1.0
DICOMWS	-	-	versão 1.0
DICOMStudio App	-	versão 1.0	-

mografia Computadorizada (CT) e Ressonância Magnética (MR) com imagens de dimensão 512 x 512 pixels. As imagens utilizadas neste teste não foram de pacientes reais, conforme mostra a imagem da simulação.

A tabela 5.1 mostra a especificações de hardware e software dos computadores utilizados nos testes em ambiente interno. Na tabela, a máquina 1 representa o servidor PACS, a máquina 2 representa o equipamento que simula o computador do médico. Não há especificações detalhadas sobre o ambiente externo pois trata-se de um serviço escalável, hospedado na nuvem.

Não foi necessária nenhuma configuração adicional de rede nem de firewalls para que o experimento fosse realizado. O experimento se inicia com a geração dos exames de imagem e depósito dos mesmos no DCM4CHE através do software DCMFlow. Após essa etapa, segue o monitoramento do banco de dados do PACS pelo DICOMMove, conforme fluxo detalhado na seção 4.1.

5.2.2 Resultados dos testes em ambiente interno

A máquinas estiveram interligadas através de uma rede metropolitana com capacidade de transmissão de dados de 5Mbits/s. Os componentes DICOMWS e DICOMPolicy foram instalados em ambientes externos aos dois laboratórios (hospedados na nuvem).

A simulação foi feita durante 12 horas, de forma ininterrupta. Os exames foram gerados obedecendo o intervalo de uma hora entre cada um e trafegados entre os componentes da plataforma DICOMStudio do ambiente montado. Não foram observados erros ou problemas no tráfego de informações / exames durante a execução dos testes.

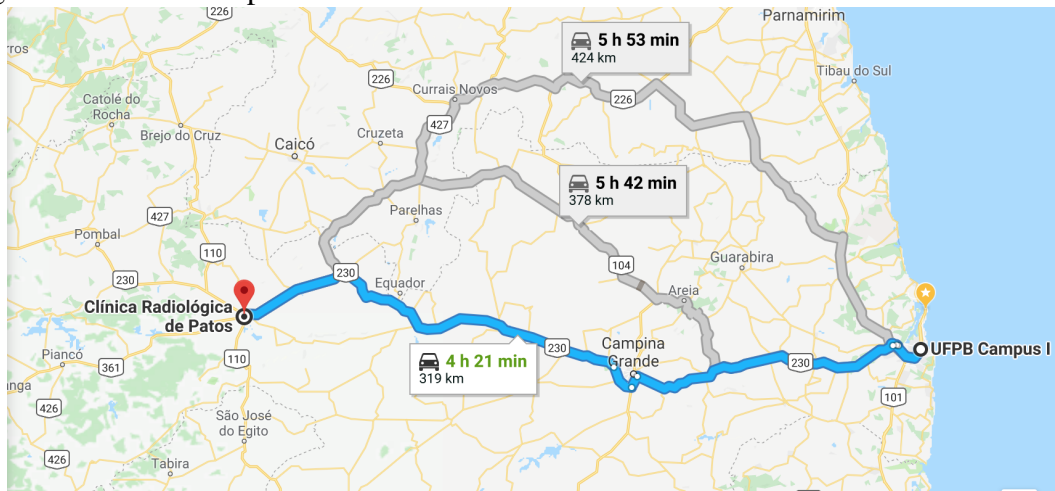
Não foram detectados erros/problemas considerados impeditivos para a instalação da plataforma em um ambiente real. Porém, não foram colhidas métricas para atestar o desempenho da plataforma no ambiente interno.

Além disso, ficou demonstrado que a arquitetura elaborada para a plataforma DICOMStudio é tecnicamente viável. A interligação entre os componentes mostrou ser robusta, uma vez que o fluxo de informações entre elas não foi interrompido e os dados trafegaram entre eles sem problemas de compatibilidade.

5.3 Testes de viabilidade técnica em ambiente real

O objetivo da segunda modalidade de experimento foi validar o *workflow* da telerradiologia com o uso da plataforma DICOMStudio em um ambiente real. A clínica Radiológica de Patos foi utilizada como laboratório para a captura e processamento dos exames. A distância que separou a clínica do médico radiologista foi de cerca de 300 quilômetros, conforme mostra a figura 5.2.

Figura 5.2: Mapa ilustrando a localização da Clínica radiológica de Patos e do médico radiologista utilizado no experimento



Fonte: Próprio autor

O médico radiologista (localizado em João Pessoa/PB) utilizou a plataforma para simular sua rotina de trabalho. Para validar o funcionamento da plataforma DICOMStudio, o *workflow* radiológico descrito na seção 4.1 foi executado na Clínica Radiológica de Patos, buscando realizar simulações de situações mais aproximadas da realidade diária de uma clínica de radiologia. Os testes foram feitos em ambiente controlado e com um grupo selecionado de usuários. Com o *workflow* em execução, foi possível realizar o monitoramento dos componentes módulo a módulo (DICOMMove, DICOMWS, DICOMPolicy e aplicativo DICOMStudio), verificando o fluxo dos dados entre eles. Além disso, buscou-se verificar se a arquitetura suportaria a carga de exames em situações de uma clínica típica.

É importante enfatizar que, embora os exames utilizados fossem reais, o experimento buscou somente avaliar a arquitetura da solução desenvolvida, simulando as operações da telerradiologia. Os laudos reais foram emitidos utilizando os meios tradicionais da clínica. Para a realização do experimento, utilizou-se a configuração de ambiente descrita a seguir.

5.3.1 Configuração do ambiente para os testes em ambiente real

A configuração detalhada das máquinas utilizadas neste experimento pode ser visualizada na tabela 5.2. Na clínica, um servidor (denominado de Máquina 3) continha o sistema PACS

Tabela 5.2: Especificações dos computadores utilizados nos testes em ambiente interno

Recurso	Máquina 3	Máquina 4	Ambiente Externo
CPU	Intel Xeon E5@2.4GHz	Intel i5@1.3GHz	-
Memória	4 GB	4 GB	-
Sistema Operacional	Ubuntu v2.6.38	MacOS X Mountain Lion	-
JVM	versão 1.6	-	-
DCM4CHE	versão 2.16	-	-
Banco de dados	MySQL 5.1	-	-
JBOSS	versão 4.2.3GA	-	-
TOMCAT	versão 7.0.29	-	-
DICOMMove	versão 2.0	-	-
DICOMPolicy	-	-	versão 1.0
DICOMWS	-	-	versão 1.0
DICOMStudio App	-	versão 1.0	-

DCM4CHE (para gerenciamento e arquivamento dos exames), banco de dados MySQL e sistema operacional Ubuntu, além do módulo DICOMMove para monitoramento dos novos exames. A máquina 4 representa a estação pessoal de trabalho do médico radiologista, rodando o sistema Operacional MacOS e com a versão 1.0 do aplicativo DICOMStudio.

Os exames foram capturados nas modalidades de Tomografia Computadorizada (CT) e Ressonância Magnética (MR) da clínica, alimentando o servidor PACS DCM4CHE. Uma máquina monitora a chegada de novos exames através do adaptador DICOMMove e dá início ao *workflow* de distribuição dos exames. Por se tratar de um ambiente de realização de exames clínicos reais, são inseridos no PACS imagens das mais variadas características e subspecialidades da radiologia. As máquinas estão interligadas através de um *link* de internet comercial e os componentes DICOMWS e DICOMPolicy foram instalados em ambientes externos à clínica (hospedados na nuvem).

O médico radiologista, por sua vez, verificava as requisições destinadas a ele via aplicativo DICOMStudio e realizava seu trabalho rotineiro de análise e laudo dos exames. As verificações feitas aqui foram semelhantes às aquelas realizadas no teste anterior. Ou seja: Monitoramento do banco de dados das imagens no sistema PACS da clínica; monitoramento das

mensagens de serviço oriundas da clínica para o DICOMWS; Monitoramento da associação dos exames a um determinado médico no DICOMPolicy e verificação de integridade dos exames transmitidos via plataforma.

A figura 5.3 mostra o monitoramento feito no módulo DICOMWS para atestar o correto armazenamento dos registros de exames de imagens oriundos da Clínica Radiológica de Patos. No detalhe, são exibidos os registros de banco de dados que representam os estudos de imagem capturados na clínica de patos. Metadados como data de criação, descrição dos exames e modalidade podem ser observados na imagem

Figura 5.3: Monitoramento do componente DICOMWS, exibindo o conjunto de exames transmitidos no experimento em ambiente real

Study (Data)
Add description

id	createdAt	datetime	description	identifier	patient	series	type
+ add new node ...							
cjg6s4cw8zn2t0114xwddv1j	19/04/2018 14:07:44	19/04/2018 14:07:39	MR do Ombro	null	cjg6s4cw8zn2s01145po2fva	["cjg6s4cw8zn2u0114yyl24...	MR
cjg6s4z5h001m0138w113ak24	19/04/2018 14:36:13	03/04/2018 07:26:03	COLUNAS*COLUNA LO...	1.3.12.2.1107.5.2.37.4...	cjg6s4z5h0010138867civ9	["cjg6s4z5h001n013820wf1...	MR
cjg6s509vzwsa0120ggn8h18n	19/04/2018 14:36:14	03/04/2018 07:28:36	null	1.2.392.200036.9125.2...	cjg6s509vzwsn0120h12210vp	["cjg6s509vzwsa0120rskg13...	CR
cjg6s51ih05g0115vmtr0jr	19/04/2018 14:36:16	03/04/2018 07:58:08	null	1.2.392.200036.9125.2...	cjg6s51ih05gh0115jwbkv9b	["cjg6s51ih05g0115lks8eq...	CR
cjg6s53ob013h0110ef5v7fny	19/04/2018 14:36:19	03/04/2018 08:04:36	CORPO*COLANGIO	1.3.12.2.1107.5.2.37.4...	cjg6s53ob013g0110w4n5xabx	["cjg6s53ob013i0110guntac...	MR
cjg6s53szxm30172myhg90c	19/04/2018 14:36:21	03/04/2018 08:15:32	null	1.2.392.200036.9125.2...	cjg6s53szxm201723sry63pd	["cjg6s53szxm40172sabt...	CR
cjg6s55y203a0126hqs0r7d4	19/04/2018 14:36:22	03/04/2018 08:16:52	TC TORAX/PART	1.2.840.113619.2.22.2...	cjg6s55y203ah0126f1s15nk3	["cjg6s55y203aj0126o94528...	CT
cjg6s574c0040138cqup9qu	19/04/2018 14:36:23	03/04/2018 08:35:42	null	1.2.392.200036.9125.2...	cjg6s574c0040138co2qs05u	["cjg6s574c0040138efeyd...	CR
cjg6s57px03bm0126asdvj3xy	19/04/2018 14:36:24	03/04/2018 08:49:16	TC CRANIO/PART	1.2.840.113619.2.22.2...	cjg6s57px03bm0126sap4tj4	["cjg6s57px03bo0126kmdk...	CT
cjg6s591e01n80114m3g6ctvq	19/04/2018 14:36:26	03/04/2018 08:58:55	MUSC.ESQUEL. JOELHO ...	1.3.12.2.1107.5.2.37.4...	cjg6s591e01n701144qd16eqd	["cjg6s591e01n901144gvvx...	MR
cjg6s59tb01nz0114pag87mpf	19/04/2018 14:36:27	03/04/2018 09:01:05	TC CRANIO/PART	1.2.840.113619.2.22.2...	cjg6s59tb01ny0114clu10pn	["cjg6s59tb01o001147n04v...	CT
cjg6s5extzwwa0120f0lmsve0	19/04/2018 14:36:28	03/04/2018 09:05:08	null	1.2.392.200036.9125.2...	cjg6s5extzwwn012061skl0fx	["cjg6s5extzwwp0120h99jcv...	CR

Fonte:Próprio autor

Já a figura 5.4 mostra o monitoramento feito no DICOMPolicy para atestar o correto encaminhamento do exame para o médico radiologista utilizado nos testes.

Figura 5.4: Monitoramento do DICOMPolicy, mostrando um laudo em andamento oriundo da Clínica Radiológica de Patos



Fonte:Próprio autor

Conforme mostrado na figura 5.4, pode-se verificar os registros correspondentes a um médico específico no módulo DICOMPolicy. Em vermelho, podemos ver os metadados dos laudos em andamento para o médico utilizado no experimento, separados por clínica de origem.

5.3.2 Resultados dos testes em ambiente real

No período de abril a julho de 2018, foram trafegados cerca de 2900 exames de imagem pela plataforma DICOMStudio. As modalidades de estudos foram CT e MR. O link de internet utilizado na clínica foi de 1.5MB para upload, operando no regime de 24/7. Nos testes realizados, foi possível obter exames de 60MB (em média), por exemplo, em um tempo de aproximadamente 30 segundos. Foi possível atestar a robustez da plataforma DICOMStudio ao ser aplicada em um ambiente de "Produção", que necessitava de agilidade e precisão nas

operações do *workflow* radiológico. Não foram colhidas métricas nos testes aqui realizados, para que o funcionamento da clínica não fosse comprometido com uma sobrecarga de informações na rede.

A combinação das tecnologias de notificação e banco de dados em tempo real para armazenamento de informações médicas forneceu, à plataforma, escalabilidade e flexibilidade com pouca complexidade. Somente tecnologias e bibliotecas abertas foram utilizadas no desenvolvimento dos módulos. O DICOMStudio deixa o radiologista livre para escolher o visualizador de imagens DICOM de sua preferência.

A plataforma permitiu que os exames de imagem sejam mantidos somente na origem (clínica) e no computador do médico radiologista, uma vez que não é necessário o envio para uma central de laudos externa. O conjunto de funcionalidades do DICOMStudio permite que os radiologistas se relacionem diretamente com as clínicas/hospitais, sem a necessidade de intermediação de algum tipo de serviço externo. Por fim, a plataforma forneceu para o médico um ponto único de acesso a informações de várias clínicas/hospitais, caso fosse necessário o chaveamento.

5.4 Considerações Finais

Este capítulo discutiu as abordagens utilizadas para realizar uma análise experimental da plataforma DICOMStudio. Embora necessite de uma análise mais detalhada e testes mais robustos, foi possível realizar experimentos que visavam atestar a viabilidade técnica da solução de software desenvolvida.

O experimento descrito na seção 5.2 foi utilizado para preparar o ambiente, em termos de correção de erros e funcionalidades para a execução de um teste mais elaborado (descrito na seção 5.3).

Capítulo 6

Discussão e Conclusão

Este capítulo conclui a apresentação da proposta da plataforma DICOMStudio. No capítulo 1, foi descrita a motivação para a construção do trabalho, abordando aspectos da Teleradiologia e as lacunas existentes nesta área do conhecimento. Foram traçados os objetivos deste trabalho e a metodologia a ser empregada para alcançá-los. No capítulo 2, foi exposta a fundamentação teórica. No capítulo 3, os trabalhos relacionados que serviram como base para a construção deste. No capítulo 4, detalhou-se a proposta propriamente dita, abordando o modelo arquitetural da solução de software desenvolvida e o fluxo da telerradiologia após a utilização da plataforma DICOMStudio. No capítulo 5, foi descrita a avaliação experimental da plataforma. Aqui, serão mostradas as interpretações sobre os resultados obtidos e as perspectivas futuras para a plataforma DICOMStudio.

6.1 Discussão e Conclusão

O desenvolvimento do DICOMStudio contemplou aspectos que visam integrar clínicas a médicos radiologistas, proporcionando a execução das etapas do *workflow* para a telerradiologia. Foi utilizando o conceito de projetar sobre uma base instalada existente, oriundo das infraestruturas de informação. Contornando limitações técnicas e sociais, foi possível oferecer uma solução para telerradiologia que relaciona diretamente clínicas e médicos radiologistas, sem necessidade de entidades intermediárias, como as centrais de laudos ou empresas terceirizadas. A plataforma proporciona um ambiente multidomínio com conectividade e escalabilidade.

As questões de segurança relativas ao tráfego de informações sensíveis e confidenciais são tratadas através do uso de certificados digitais e criptografia dos dados. A plataforma considera os aspectos legais do exercício da telerradiologia [Conselho Federal de Medicina], além de garantir a guarda das informações somente pelas entidades autorizadas (clínica e médico radiologista).

A plataforma tem um baixo índice de interferência no *workflow* das clínicas e hospitais, bastando apenas a instalação de um adaptador para o seu funcionamento. Fornece descentralização, comunicação assíncrona, um ambiente flexível e uma arquitetura aberta para a prática da telerradiologia cooperativa e de alta qualidade. Além disso, fornece um ambiente multidomínio, onde entidades heterogêneas podem se comunicar sem a necessidade de diversas configurações de software. Os médicos e clínicas podem, desta forma, associar-se livremente e com quantos parceiros (clínicas e hospitais) sejam necessários, utilizando somente uma solução de software.

A plataforma possibilitou uma interface amigável para os médicos e de baixa interferência para as clínicas, capaz de se adaptar a infraestruturas de baixa tecnologia, comumente encontradas em clínicas de regiões do interior, comuns no Brasil. Futuramente deseja-se realizar uma análise mais detalhada, expandindo o número de clínicas originadoras de exames de imagem e de médicos radiologistas realizando laudos.

Com o uso da plataforma, operações que antes eram feitas com o auxílio de trabalho humano, podem ser automatizadas, evitando possíveis erros de operação e impondo uma velocidade maior nos processos internos. Além disso, o uso do DICOMStudio permite que somente as entidades autorizadas tenham a guarda e acesso aos exames de imagem, eliminando a necessidade de armazenamento/tráfego dos exames por servidores externos ao binômio clínica/médico.

A plataforma DICOMStudio possui componentes que podem ser categorizados como pertencentes à categoria de *Cloud Computing*. Porém, diferentemente da abordagem tradicional mostrada na seção 3.2.2 (Soluções baseadas em *Cloud Computing*), os componentes do DICOMStudio não se caracterizam pela centralização, uma vez que, para cada clínica ingressante na plataforma, os componentes DICOMPolicy e DICOMWS serão replicados e funcionarão de forma independente para cada uma delas. Os dados armazenados em cada estrutura não estão interligados. Portanto, não há um catálogo global que concentre as informa-

ções. O mesmo argumento pode ser estendido para comparação com a solução apresentada por [Figueiredo e Motta 2013].

Em especial, observando a solução proposta por [Monteiro, Costa e Oliveira 2016], podemos diferenciar o DICOMStudio no sentido de que não há a obrigatoriedade de ingresso em uma nuvem privada para comunicação entre os módulos da plataforma, o que permite que o DICOMStudio trabalhe em um modelo de controle distribuído.

Já em relação às soluções comerciais, denominadas de centrais de laudo, a plataforma DICOMStudio se mostra atenta às questões de regulamentação da telerradiologia e relativas à segurança dos dados dos pacientes, uma vez que não há a necessidade de armazenamento dos exames de imagem em uma entidade externa. Ou seja, somente a clínica que originou os exames e o médico responsável pelo laudo detêm a guarda dos arquivos do paciente.

O desenvolvimento do trabalho foi feito no contexto da pós-graduação, como pré-requisito para obtenção do título de mestrado. Porém, é possível que, por meio de adaptações na plataforma e elaboração de um modelo de negócio, torne-se uma solução de mercado.

6.1.1 Resumo Comparativo

De forma semelhante ao que foi feito na seção 3.2.6, aqui são levados em consideração os critérios adotados na seção 3.1, fazendo novamente a confrontação entre os trabalhos relacionados e, desta vez, incluindo o DICOMStudio na comparação. A figura 6.1 é encarregada de fazer o resumo, incluindo a solução proposta neste trabalho.

Figura 6.1: Comparativo entre os trabalhos relacionados (incluindo o DICOMStudio), considerando os critérios elencados na seção 3.1

	P2P	Cloud Computing				Perfis de Integração		E-mail	Soluções Comerciais	DICOMStudio
	Figueiredo e Motta (2013)	Monteiro et al. (2016)	Yuan et al. (2015)	Viana-Ferreira et al. (2017)	Godinho et al. (2016)	Ribeiro et al. (2014)	Zhang et al. (2016)	Weisser et al. (2006)		
Multidomínio	✗	✗	✗	✗	✗	+	+	✓	✗	✓
Aberta	+	✗	✗	✗	✗	+	+	✓	✗	✓
Descentralizada	✗	✗	✗	✗	✗	+	+	✓	✗	✓
Flexível	+	✗	✗	✗	✗	+	+	+	✗	✓
Escalável	✓	+	+	+	+	✓	✓	✓	+	✓
Assíncrona	✓	+	✓	✓	✗	✓	+	✓	✓	✓
Assimétrica	+	✗	✗	✗	✗	+	✗	✗	✗	✓

✓

Atende à característica

+

Atende parcialmente

✗

Não atende

✓	Atende à característica
+	Atende parcialmente
✗	Não atende

Fonte: Próprio autor

Na figura 6.1, as linhas correspondem aos critérios descritos na seção 3.1. Já as colunas representam os trabalhos relacionados encontrados na literatura e detalhados neste capítulo.

Para cada critério, o *tick* em verde indica que o trabalho relacionado da respectiva coluna atende ao critério contido da linha em questão. Já a cruz em laranja indica que o trabalho atende parcialmente ao critério da contido na linha. Por sua vez, o X em vermelho indica que o trabalho relacionado não atende ao critério.

Observa-se então, que as características descritas na seção 3.1 foram alcançadas com sucesso pela solução descrita neste trabalho. Revelando um resultado final capaz de atender aos requisitos para a prática da telerradiologia de forma ampla.

6.2 Limitações

No atual estágio do trabalho, a plataforma DICOMStudio apresenta uma implementação de referência funcional, com arquiteturas de software especificadas e que conseguem realizar o workflow da telerradiologia para emissão de laudos atendendo os requisitos listados anteriormente. Porém, existem algumas limitações que deverão ser transpostas futuramente. A saber:

- O aplicativo DICOMStudio foi construído levando em consideração apenas a experiência da equipe do trabalho e de um único médico radiologista. É necessário um aprimoramento com base no feedback de mais médicos radiologistas para criar uma solução com ampla aceitação e com a qualidade adequada de usabilidade.
- A coleta de requisitos foi feita exclusivamente com uma clínica de radiologia. É preciso ampliar o espectro de clínicas para que o *workflow* radiológico elaborado seja genérico o suficiente para contemplar as mais diversas situações do cotidiano das clínicas.
- É preciso validar a implementação de referência com várias clínicas comunicando-se com diversos médicos, validando que o *workflow* radiológico funciona independentemente para cada uma das entidades de saúde.
- É preciso validar o modelo de interação com o usuário do aplicativo DICOMStudio com um número significativo de médicos radiologistas operando em concorrência na elaboração de laudos, sobre uma mesma base de dados de exames.
- Testes mais complexos, com métricas de desempenho, incluindo a validação de carga nos componentes do DICOMStudio precisam ser feitos. Além de pesquisas acerca da usabilidade do aplicativo destinado aos médicos.
- É necessário desenvolver uma versão da solução para aplicativos móveis que seja compatível com o sistema operacional iOS, da Apple e Android, do Google.
- Na solução para computadores pessoais, é necessário implementar uma política para download de exames em segundo plano, de modo a detectar quando o usuário do computador não esteja em uso da rede e automaticamente obtenha os exames de imagem.
- É necessário avaliar a necessidade de implementação de um visualizador de exames de imagens DICOM (viewer) para viabilizar o fluxo completo de criação de laudos na versão mobile do DICOMStudio. Hoje, como foi expresso, os médicos têm a liberdade de escolher o visualizador de imagens de sua preferência. Caso o desenvolvimento do visualizador seja necessário, será necessário adaptar o DICOMStudio para dar suporte

a tal ferramenta, criando um serviço capaz de suportar o download de imagens utilizando a técnica de streaming.

6.3 Publicações

O presente trabalho foi elaborado no âmbito do projeto de pesquisa: “Aplicações de telemedicina como sistemas sociotécnicos adaptativos complexos: investigação de requisitos, cenários de uso e desafios.

No escopo do projeto, está incluída a elaboração do protocolo de serviços DICOMFlow. Este trabalho pode ser visto como uma continuação/aprimoramento do primeiro. As publicações aqui listadas forneceram a base de pesquisa para a construção deste trabalho. São elas:

- Araújo, D. A. B., Neto, J. R., Damasceno, H. H., Silva, D. A., Motta, G. H. DICOMFlow: Um modelo de arquitetura para formação de uma infraestrutura de informação telerradiológica. Proceedings of the XII Brazilian Symposium on Information Systems, ISBN 978-85-7669-317-8, p. 458-465, 2016.
- Lucena-Neto, J. R., Damasceno, H. H., Silva, D. A., Araújo, D. A. B., Motta, G. H. DICOMFlow: Uma infraestrutura assíncrona, assimétrica, descentralizada para distribuição de imagens médicas. XV Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, 2016. (Prêmio de melhor artigo completo do CBIS-2016)

Ainda como resultado do trabalho, foram produzidos registros de software, a saber:

- ARAUJO, D. A. B. ; LUCENA-NETO, J. R. ; MOTTA, G. H. M. B. . DICOMFlow: Protocolo para distribuição de imagens médicas interdomínios. 2018. Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR512018052206-8, data de registro: 27/11/2018, título: "DICOMFlow: Protocolo para distribuição de imagens médicas interdomínios", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
- ARAUJO, D. A. B. ; LUCENA-NETO, J. R. ; MOTTA, G. H. M. B. . DICOMFlow: software de distribuição de imagens médicas entre entidades de saúde distintas para

a prática da telerradiologia. 2018. Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR512018052207-6, data de registro: 27/11/2018, título: "DICOMFlow: software de distribuição de imagens médicas entre entidades de saúde distintas para a prática da telerradiologia", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

- MOTTA, GUSTAVO H.M.B.; LUCENA-NETO, J. R. ; ARAUJO, D. A. B. ; Barbosa, J. R. S. ; Araújo-Neto, S. A. . DicomClient - Software de distribuição e apresentação de exames de imagens médicas entre entidades de saúde distintas para a prática da telerradiologia. 2019. Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR512019001421-9, data de registro: 05/07/2019, título: "DicomClient - Software de distribuição e apresentação de exames de imagens médicas entre entidades de saúde distintas para a prática da telerradiologia", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

Bibliografia

- [Altman e Gunderman 2008]ALTMAN, D. J.; GUNDERMAN, R. B. Outsourcing: a primer for radiologists. *Journal of the American College of Radiology*, Elsevier, v. 5, n. 8, p. 893–899, 2008.
- [Araújo et al. 2016]ARAÚJO, D. A. et al. DICOMFLOW : An architectural model for the formation of a teleradiological information infrastructure DICOMFLOW : Um modelo de arquitetura descentralizada para formação de uma infraestrutura de informação telerradiológica DICOMFLOW : A decentralized archi. *Proceedings of the XII Brazilian Symposium on Information Systems*, n. May, 2016.
- [Araújo 2017]ARAÚJO, D. A. B. d. *DICOMFlow: Gateway assíncrono e descentralizado para formação de uma infraestrutura de informação para distribuição de imagens médicas*. Dissertação (Mestrado), 2017.
- [Barneveld Binkhuysen e Ranschaert 2011]Barneveld Binkhuysen, F. H.; RANSCHAERT, E. R. Teleradiology: Evolution and concepts. *European Journal of Radiology*, v. 78, n. 2, p. 205–209, 2011. ISSN 0720048X.
- [Benjamin, Aradi e Shreiber 2010]BENJAMIN, M.; ARADI, Y.; SHREIBER, R. From shared data to sharing workflow: Merging pacs and teleradiology. *European Journal of Radiology*, Elsevier, v. 73, n. 1, p. 3–9, 2010.
- [Borgstede 2008]BORGSTED, J. P. Radiology: commodity or specialty. *Radiology*, Radiological Society of North America, v. 247, n. 3, p. 613–616, 2008.
- [Bowker et al. 2010]BOWKER, G. C. et al. International Handbook of Internet Research. p. 97–117, 2010. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-1-4020-9789-8>>.

- [Bradley 2008]BRADLEY, W. G. J. Off-site teleradiology: the pros. *Radiology*, Radiological Society of North America, v. 248, n. 2, p. 337–341, 2008.
- [Brant-Zawadzki 2007]BRANT-ZAWADZKI, M. N. Special focus—outsourcing after hours radiology: one point of view—outsourcing night call. *Journal of the American College of Radiology*, Elsevier, v. 4, n. 10, p. 672–674, 2007.
- [Chatterjee et al. 2017]CHATTERJEE, A. R. et al. Image Sharing in Radiology—A Primer. *Academic Radiology*, Elsevier Inc., v. 24, n. 3, p. 286–294, 2017. ISSN 18784046. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.acra.2016.12.002>>.
- [Clark, Huckman e Staats 2013]CLARK, J. R.; HUCKMAN, R. S.; STAATS, B. R. Learning from customers: Individual and organizational effects in outsourced radiological services. *Organization Science*, Informs, v. 24, n. 5, p. 1539–1557, 2013.
- [Conselho Federal de Medicina]Conselho Federal de Medicina. *Resolução CFM 1.890/09*. Disponível em: <http://www.portalmedico.org.br/resolucoes/CFM/2014/2107_2014.pdf>.
- [Cross-enterprise Document Sharing for Imaging]CROSS-ENTERPRISE Document Sharing for Imaging. http://wiki.ihe.net/index.php/Cross-enterprise_Document_Sharing_for_Imaging. Accessed: 2017-09-01.
- [Digital Imaging and Communications in Medicine]DIGITAL Imaging and Communications in Medicine. Disponível em: <<https://www.dicomstandard.org>>.
- [ElectronJS]ElectronJS. Disponível em: <<https://electronjs.org>>.
- [Figueiredo 2013]FIGUEIREDO, J. F. M. *SOCIALRAD: Um Modelo Distribuído para Teleradiologia Assíncrona de Forma Segura e Cooperativa*. Dissertação (Mestrado) — Departamento de Informatica, Universidade Federal da Paraíba, 2013.
- [Figueiredo e Motta 2013]FIGUEIREDO, J. F. M.; MOTTA, G. H. M. B. SocialRAD: an infrastructure for a secure, cooperative, asynchronous teleradiology system. *Studies in health technology and informatics*, v. 192, n. MEDINFO 2013, p. 778–82, jan 2013. ISSN 0926-9630. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23920663>>.

[Firebase]Firebase. Disponível em: <<https://firebase.google.com/docs/?hl=pt-br>>.

[Garcia-Peñalvo e Garcia-Holgado 2016]GARCIA-PENÁLVO, F. J.; GARCIA-HOLGADO, A. *Open source solutions for knowledge management and technological ecosystems*. [S.l.]: IGI Global, 2016.

[Godinho et al. 2016]GODINHO, T. M. et al. A routing mechanism for cloud outsourcing
 of medical imaging repositories. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, IEEE, v. 20, n. 1, p. 367–375, 2016.

[GraphQL]GraphQL. Disponível em: <<https://graphql.org>>.

[Hanseth e Lyytinen 2010]HANSETH, O.; LYYTINEN, K. Design theory for dynamic complexity in information infrastructures: The case of building internet. *Journal of Information Technology*, Palgrave Macmillan, v. 25, n. 1, p. 1–19, 2010. ISSN 02683962. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1057/jit.2009.19>>.

[Hartig e Pérez 2017]HARTIG, O.; PÉREZ, J. An initial analysis of facebook’s graphql language. In: JUAN REUTTER, DIVESH SRIVASTAVA. *AMW 2017 11th Alberto Mendelzon International Workshop on Foundations of Data Management and the Web, Montevideo, Uruguay, June 7-9, 2017*. [S.l.], 2017. v. 1912.

[Hillman 2009]HILLMAN, B. J. Bad money drives out good: forebodings of a corporatized american radiology—the 2009 eugene caldwell lecture. *American Journal of Roentgenology*, Am Roentgen Ray Soc, v. 193, n. 6, p. 1481–1485, 2009.

[Huang 2010]HUANG, H. K. *PACS and Imaging Informatics*. [S.l.: s.n.], 2010. 1689–1699 p. ISSN 1098-6596. ISBN 9788578110796.

[Javascript]Javascript. Disponível em: <<https://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-262.htm>>.

[JWT]JWT. Disponível em: <<http://jwt.io>>.

[Kaye et al. 2008]KAYE, A. H. et al. A survey of radiology practices’ use of after-hours radiology services. *Journal of the American College of Radiology*, Elsevier, v. 5, n. 6, p. 748–758, 2008.

- [Levin e Rao 2011]LEVIN, D. C.; RAO, V. M. Outsourcing to teleradiology companies: bad for radiology, bad for radiologists. *Journal of the American College of Radiology*, Elsevier, v. 8, n. 2, p. 104–108, 2011.
- [Lucena Neto et al. 2016]Lucena Neto, J. R. et al. Dicomflow: infraestrutura assíncrona, assimétrica, descentralizada para distribuição de imagens médicas. *Journal of Health Informatics*, v. 8, p. 327–338, 2016.
- [Mazzoncini de Azevedo Marques e Covas Salomão 2009]Mazzoncini de Azevedo Marques, P.; Covas Salomão, S. PACS: Sistemas de Arquivamento e Distribuição de Imagens. *Revista Brasileira de Física Médica*, v. 3, n. 1, p. 9, 2009. ISSN 1984-9001.
- [Monteiro, Costa e Oliveira 2016]MONTEIRO, E. J. M.; COSTA, C.; OLIVEIRA, J. L. A cloud architecture for teleradiology-as-a-service. *Methods of Information in Medicine*, v. 55, n. 3, p. 203–214, 2016. ISSN 00261270.
- [Motta 2014]MOTTA, G. H. M. B. Towards Social Radiology as an Information Infrastructure: Reconciling the Local With the Global. *JMIR Medical Informatics*, JMIR Medical Informatics, v. 2, n. 2, p. e27, oct 2014. ISSN 2291-9694. Disponível em: <<http://medinform.jmir.org/2014/2/e27/>>.
- [Oliveira e Motta 2016]OLIVEIRA, M. A. L.; MOTTA, G. H. M. B. *Formação de uma infraestrutura de informação para telerradiologia : um estudo de múltiplos casos baseado na teoria de projeto para complexidade dinâmica*. 171–177 p. Dissertação (Mestrado), 2016.
- [Pianyk 2012]PIANYKH, O. S. *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. 423 p. ISBN 978-3-540-74570-9. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-3-540-74571-6>>.
- [Pressman 2009]PRESSMAN, R. *Engenharia de Software - 7.ed.* McGraw Hill Brasil, 2009. ISBN 9788580550443. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=y0rH9wuXe68C>>.
- [ReactJS]ReactJS. Disponível em: <<https://reactjs.org>>.

- [Ribeiro et al. 2014]RIBEIRO, L. S. et al. XDS-I outsourcing proxy: Ensuring confidentiality while preserving interoperability. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 18, n. 4, p. 1404–1412, 2014. ISSN 21682194.
- [Richardson, Amundsen e Ruby 2013]RICHARDSON, L.; AMUNDSEN, M.; RUBY, S. *RESTful Web APIs: Services for a Changing World*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2013.
- [Rodríguez e Oquillas 2011]RODRÍGUEZ, F. R.; OQUILLAS, D. I. Teleradiology in the emergency department: opportunity and danger. *Radiologia*, v. 53, p. 78–81, 2011.
- [Secure/Multipurpose Internet Mail Extensions]SECURE/MULTIPURPOSE Internet Mail Extensions. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc5751>>.
- [Silva, Costa e Oliveira 2013]SILVA, L. A. B.; COSTA, C.; OLIVEIRA, J. L. DICOM relay over the cloud. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, v. 8, n. 3, p. 323–333, 2013. ISSN 18616410.
- [Thrall 2007]THRALL, J. H. Teleradiology part i. history and clinical applications. *Radiology*, Radiological Society of North America, v. 243, n. 3, p. 613–617, 2007.
- [Vázquez-Ingelmo, Cruz-Benito e García-Peñalvo 2017]VÁZQUEZ-INGELMO, A.; CRUZ-BENITO, J.; GARCÍA-PENALVO, F. J. Improving the oceu's data-driven technological ecosystem's interoperability with graphql. In: *ACM. Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. [S.l.], 2017. p. 89.
- [Viana-Ferreira et al. 2017]VIANA-FERREIRA, C. et al. An intelligent cloud storage gateway for medical imaging. *Journal of medical systems*, Springer, v. 41, n. 9, p. 141, 2017.
- [Weisser et al. 2006]WEISSER, G. et al. Standardization of teleradiology using Dicom-email: Recommendations of the German Radiology Society. *European Radiology*, v. 16, n. 3, p. 753–758, 2006. ISSN 09387994.
- [Yuan et al. 2015]YUAN, Y. et al. Sharing of larger medical dicom imaging data-sets in cloud computing. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, American Scientific Publishers, v. 5, n. 7, p. 1390–1394, 2015.

[Zapf, Bermann e Sunderbrink 2011]ZAPF, C.; BERMANN, A.; SUNDERBRINK, D. Pacs and ris. In: *Springer handbook of medical technology*. [S.l.]: Springer, 2011. p. 1199–1208.

[Zhang et al. 2016]ZHANG, K. et al. Clinical experiences of collaborative imaging diagnosis in Shanghai district healthcare services. *SPIE 9789, Medical Imaging 2016: PACS and Imaging Informatics: Next Generation and Innovations*, v. 9789, p. 97890X, 2016. ISSN 16057422. Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.2217314>>.