

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**DICOM Server: Aplicação para  
aquisição e encaminhamento  
automáticos de imagens médicas entre  
instituições de saúde**

**Diogo Filipe da Costa Ramalho**

**U. PORTO**

**FEUP** FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Professor Doutor Rui Filipe Lima Maranhão de Abreu

Coorientador: Engenheiro Pedro Manuel Sá Balão Alves Rocha

20 de Fevereiro de 2014



# **DICOM Server: Aplicação para aquisição e encaminhamento automáticos de imagens médicas entre instituições de saúde**

**Diogo Filipe da Costa Ramalho**

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Professor Doutor José Manuel De Magalhães Cruz

Arguente: Professor Doutor José Maria Amaral Fernandes

Vogal: Professor Doutor Rui Filipe Lima Maranhão de Abreu

---

20 de Fevereiro de 2014



# Resumo

A imagiologia é uma especialidade médica com grande relevância para o diagnóstico e tratamento de inúmeras patologias. Ao longo das últimas décadas e seguindo a mesma tendência noutras áreas para a adaptação tecnológica, o serviço de imagiologia também tem evoluído para tirar maior partido das soluções e avanços da informática. Numa altura em que as imagens médicas digitais são amplamente utilizadas, surgem novos desafios para organizar toda a informação recolhida bem como o acesso dos dados entre instituições de saúde.

Apesar de, na atualidade, uma grande parte das instituições de saúde possuírem sistemas de informação que permitem o armazenamento e partilha de imagens médicas, a interoperabilidade entre aplicações ainda não é uma realidade totalmente conseguida. Esta falta de interoperabilidade entre sistemas de informação condiciona os cuidados de saúde prestados aos doentes, que por vezes são sujeitos a avaliações clínicas repetidas e decisões baseadas em informação incompleta.

O *standard* DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*) surgiu de forma a melhorar a interoperabilidade entre aplicações e definir normas que possibilitassem a colaboração das mesmas. É amplamente utilizado, sendo o formato preferencial para o armazenamento de imagens médicas.

Esta dissertação apresenta uma aplicação com base no *standard* DICOM, com o intuito de realizar o encaminhamento e a aquisição de imagens entre instituições de saúde. Nela foram detalhadas as funcionalidades de comunicação desenvolvidas assim como os procedimentos para encaminhamento e aquisição automáticos de imagens médicas. A aplicação tem base numa arquitetura flexível, dinâmica e adaptável às necessidades. As funcionalidades desejáveis para a aplicação foram testadas através da análise do seu tempo de execução e, com os resultados obtidos desta análise, concluiu-se que a aplicação apresenta um desempenho satisfatório e estável cumprindo com os objetivos propostos.

Em suma, esta aplicação constitui uma vantagem por compreender o *standard* DICOM já implementado e bastante disseminado nas instituições de saúde, o que torna desnecessária a modificação de software preexistente. A aplicação é ainda dotada das funcionalidades requeridas inicialmente, o encaminhamento e aquisição automáticos de imagens médicas, que poderão possibilitar a cooperação entre entidades de saúde dispersas, e permitir um fluxo de trabalho mais dinâmico.



# Abstract

Medical Imaging is a specialty with great relevance for the diagnosis and treatment of numerous pathologies. Over the past decades, and following the same trend in other areas for technological evolution, imaging service has also evolved to take greater advantage of advances in computer technology. At a time when the digital medical images are widely used, there are new challenges to organize the collected information as well as access of data between institutions.

Although currently a large part of health institutions possess systems that allow the storage and sharing of medical images, interoperability between applications is not yet a reality totally achieved. The aim of this thesis is to study and develop a solution to simplify the exchange of imaging information scattered across many institutions.

This lack of interoperability among information systems affects the health care provided to the patient, which sometimes may be subject to repeat clinical evaluations and decisions based on incomplete information.

The DICOM standard (Digital Imaging and Communication in Medicine) appeared in order to improve interoperability between applications and set rules that would enable collaboration between them. It is widely used and is the preferred format for storing medical images.

This thesis presents an application based on the DICOM standard, in order to perform forwarding and image acquisition between health institutions.

The communication features such as procedures developed for routing and automatic acquisition of medical images were detailed. The application is based on an architecture flexible, dynamic and adaptable to the needs. Desirable features for the application were tested by analysis of its execution time, and with the results of this analysis, it was concluded that the application displays a satisfactory and stable performance fulfilling the proposed objectives.

In summary, this application has an advantage by comprehending the DICOM standard which is implemented and quite widespread in health institutions, making unnecessary the modification of existing software. The application also provides functionality for forwarding and automatic acquisition of medical images, which could enable cooperation between entities dispersed and allow a more dynamic workflow.





# Agradecimentos

Ao professor Rui Maranhão, pelo acompanhamento e orientação prestada ao longo de toda a dissertação, assim como a disponibilidade demonstrada para o esclarecimento de dúvidas que foram surgindo.

Ao Engenheiro Pedro Rocha e ao Engenheiro Nuno Ribeiro, pelo acompanhamento na empresa, e por terem partilhado comigo a sua vasta experiência e conhecimentos.

Agradeço aos meus colegas da Glintt HS, por ter sido tão bem recebido e por todos os momentos de boa disposição que me proporcionaram.

A todos os meus amigos que me acompanharam ao longo do curso, com os quais partilhei grandes momentos que ficarão na minha memória para sempre.

À minha família, a quem devo tudo aquilo que sou, por me apoiarem e por estarem sempre presentes.

À Joana, pela paciência, pelo carinho e apoio incondicional.

Diogo Ramalho



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto . . . . .	1
1.2	Problema . . . . .	2
1.3	Motivação e Objetivos . . . . .	3
1.4	Estrutura da Dissertação . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
2.1	DICOM . . . . .	5
2.1.1	Sistema de Informação DICOM . . . . .	6
2.1.2	Imagens DICOM . . . . .	7
2.1.3	Transporte . . . . .	8
2.1.4	Serviços DICOM . . . . .	9
2.1.5	Conformidade . . . . .	10
2.1.6	Acesso <i>Web</i> para Objetos Persistentes DICOM (WADO) . . . . .	11
2.2	PACS . . . . .	12
2.3	Outras soluções . . . . .	13
2.3.1	Dicoogle . . . . .	13
2.3.2	<i>VirtualPACS</i> . . . . .	13
2.3.3	Microsoft <i>HealthVault</i> . . . . .	14
2.3.4	DICOM Grid . . . . .	15
2.3.5	ShareAgent . . . . .	15
2.4	Tecnologias . . . . .	15
2.4.1	Comparação entre bibliotecas DICOM . . . . .	17
2.5	Sumário . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Conceção</b>	<b>19</b>
3.1	Requisitos . . . . .	19
3.1.1	Partilha de imagens médicas entre instituições de saúde . . . . .	19
3.1.2	Encaminhamento de imagens médicas de acordo com regras . . . . .	20
3.1.3	Validação de imagens médicas . . . . .	20
3.1.4	Controlo do acesso apenas a PACS autorizados . . . . .	21
3.1.5	Persistência dos dados . . . . .	21
3.1.6	Tolerância a falhas . . . . .	23
3.2	Solução . . . . .	24
3.3	Tecnologias . . . . .	24
3.3.1	<i>Entity Framework</i> . . . . .	24
3.3.2	<i>Unity Application Block</i> . . . . .	24
3.3.3	<i>Quartz.NET</i> . . . . .	25

## CONTEÚDO

3.4	Sumário . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Implementação</b>	<b>27</b>
4.1	Arquitetura . . . . .	27
4.1.1	<i>DICOMBroker</i> . . . . .	28
4.1.2	Comunicação . . . . .	29
4.1.3	Processo de Associação . . . . .	29
4.2	<i>ValidationModule</i> . . . . .	31
4.3	<i>ActionsModule</i> . . . . .	33
4.3.1	<i>Actions</i> . . . . .	34
4.3.2	Fluxo de dados do <i>ActionModule</i> . . . . .	35
4.4	<i>QueryModule</i> . . . . .	36
4.4.1	Aquisição de imagens . . . . .	38
4.5	Instanciação automática de <i>Actions</i> e <i>ValidationEntities</i> . . . . .	39
4.6	Aplicação <i>Web</i> . . . . .	40
4.7	Base de dados . . . . .	41
4.8	Monitorização de erros . . . . .	43
4.9	Sumário . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Testes e Resultados</b>	<b>45</b>
5.1	Testes ao software . . . . .	45
5.2	Imagens médicas utilizadas . . . . .	45
5.3	Testes de compatibilidade . . . . .	46
5.4	DICOM Server . . . . .	46
5.4.1	Tempo de execução do encaminhamento . . . . .	47
5.4.2	Tempo de execução das aquisições de imagens . . . . .	48
5.5	Testes de sistema . . . . .	49
5.6	Sumário . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>51</b>
6.1	Satisfação dos Objetivos . . . . .	52
6.2	Trabalho Futuro . . . . .	52
	<b>Referências</b>	<b>55</b>

# Lista de Figuras

1.1	Exemplo de interação entre instituições de saúde . . . . .	3
2.1	Objetos de informação DICOM . . . . .	6
2.2	Hierarquia da informação DICOM . . . . .	7
2.3	Formato DICOM . . . . .	7
2.4	Exemplo de um ficheiro DICOM . . . . .	8
2.5	Declaração de conformidade . . . . .	11
2.6	Sistema de armazenamento e distribuição das imagens médicas . . . . .	12
2.7	Interface com o utilizador do Dicoogle . . . . .	13
2.8	Arquitetura da solução VirtualPACS . . . . .	14
2.9	Logótipo da aplicação HealthVault . . . . .	14
2.10	Logótipo da empresa DICOM Grid . . . . .	15
3.1	Exemplo de partilha entre instituições de saúde . . . . .	20
3.2	Processo de checkpoint do sistema . . . . .	23
4.1	Representação do fluxo de envio presente no XML de configuração do DICOM-Broker . . . . .	29
4.2	Interface <i>IValidationEntity</i> . . . . .	32
4.3	Processo de validação . . . . .	32
4.4	Interface <i>IAction</i> . . . . .	33
4.5	Fluxo do processo de ações . . . . .	36
4.6	Fluxo de processo do <i>QueryModule</i> . . . . .	37
4.7	Imagem de ecrã da aplicação <i>web</i> . . . . .	40
4.8	Estrutura base da base de dados . . . . .	41
4.9	Estrutura total da base de dados . . . . .	42
5.1	Cenário de execução do teste de encaminhamento de imagens médicas . . . . .	47
5.2	Cenário de execução do teste de aquisição de imagens . . . . .	48

## LISTA DE FIGURAS

# Lista de Tabelas

2.1	Tabela de correspondência entre os serviços e os comandos DICOM . . . . .	10
2.2	Comparação de bibliotecas DICOM . . . . .	17
3.1	Comparação tempo de escrita da base de dados . . . . .	22
5.1	Imagens usadas para testes . . . . .	46
5.2	Tempo de execução do encaminhamento de imagens . . . . .	47
5.3	Tempos de execução da aquisição das imagens . . . . .	48

## LISTA DE TABELAS



# Abreviaturas e Símbolos

AE	Application Entity
AET	Application Entity Title
3DES	Triple Data Encryption Standard
ACR	American College of Radiology
AES	Advanced Encryption Standard
API	Aplicational Programming Interface
BLOB	Binary large object
CT	Computed Tomography
DA	Date
DES	Data Encryption Standard
DICOM	Digital Image and Communication in Medicine
DIMSE	DICOM service command
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IOD	Information Object Definitions
JPEG	Joint Photographic Experts Group
MG	Mammography
MRI	Magnetic resonance imaging
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
OB	Object Binary
OT	Other
PET	Positron Emission Tomography
SCP	Service Class Provider
SCU	Service Class User
SDK	Software Development Kit
SI	Sistema de Informação
SQL	Schema Query Language
PACS	Picture Archiving and Communication System
PN	Personal Name
RT	Rich Text Format
SSL	Secure Sockets Layer
TCP/IP	Internet protocol suite
TI	Tecnologias da Informação
TLS	Transport Layer Security
UID	Unique Identifier Number
URL	Uniform Resource Locator
VR	Value Representation
VPN	Virtual Private Network
WADO	Web Access to DICOM Persistent Objects
XML	Extensible Markup Language



# Capítulo 1

## Introdução

Este capítulo introdutório contextualiza a temática da dissertação, bem como apresenta o problema que se pretende solucionar e os objetivos a que se propõe.

### 1.1 Contexto

Ao longo das últimas décadas, a Medicina tem aproveitado os progressos tecnológicos e evoluído rapidamente com a cooperação mútua, no sentido do desenvolvimento de mais e melhores técnicas para tratamento terapêutico e diagnóstico de doentes. Corroborando esta colaboração com as tecnologias de informação, também a área particular da Medicina destinada ao diagnóstico complementar de patologias, a Imagiologia, sofreu grandes transformações que a tornaram progressivamente mais capaz de responder às necessidades do sistema de saúde. Por definição, a imagiologia médica refere-se ao “estudo da interação de todas as formas de radiação com os tecidos biológicos e ao desenvolvimento de tecnologia apropriada para a extração de informação clinicamente útil a partir de observações destas interações” [CJS93]. Pode englobar várias modalidades, como a Radiologia, a Angiografia, a Fluoroscopia, a Mamografia (raios X), a Tomografia Axial Computorizada (TAC / CT), a Tomografia por Emissão de Positrão (PET), a Ecografia, a Eco-Doppler, a Imagem por Ressonância Magnética (IRM / MRI), entre outras [BHPS98].

Com os avanços tecnológicos, os sistemas de imagem médica mais tradicionais baseados em película foram-se tornando obsoletos [Syl10]. O uso de sistemas de imagens médicas digitais em instituições de saúde é essencial, mesmo em pequenos centros de imagiologia, sendo o armazenamento e visualização destas imagens algumas das funcionalidades necessárias a estas instituições para que, assim, se tornem mais eficientes nos serviços prestados ao utente. Atualmente, é bastante comum o uso de equipamentos dotados de tecnologias que permitem a sua ligação a um sistema de informação, criando imagens digitais ao invés das películas usadas tradicionalmente [MEM02]. O progresso do desempenho e capacidade de armazenamento dos computadores tem possibilitado o desenvolvimento de sistemas cada vez mais complexos para a captura e processamento dos dados.

Na Medicina, a quantidade de informação disponível para um profissional clínico tem aumentado progressivamente [BMD<sup>+</sup>07], pelo que os sistemas de informação, em particular os de gestão de imagens médicas, desempenham um papel fundamental na organização e disponibilização das imagens em Hospitais, Centros de Imagiologia e outras instituições de saúde.

DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) ou “comunicação de imagens digitais em medicina” é um padrão para a manipulação, armazenamento, impressão e comunicação de dados de Imagiologia que surgiu nos anos 80, devido à necessidade de estabelecer um *standard* a ser usado pela indústria de aplicações médicas. O seu desenvolvimento começou nos anos 80 e, até então, cada fabricante tinha o seu próprio protocolo para comunicação entre os seus produtos, pelo que não existia interoperabilidade e coerência na representação dos dados das imagens médicas produzidas entre fabricantes. Neste sentido, o *American College of Radiology* (ACR) e a *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) reuniram-se para criar o padrão, cuja primeira versão foi publicada em 1985. Mais tarde, em 1988, foi publicada a segunda versão que resolvia problemas da anterior e fornecia ferramentas para interação de dispositivos de imagem médica. Em 1993, foi publicada a terceira versão deste *standard*, versão essa que vem sendo melhorada com regularidade até aos dias de hoje [MEM02].

Esta dissertação enquadra-se na área das Aplicações Médicas e foi realizada em colaboração com a empresa Glintt HealthCare Solutions, S.A, que propôs a temática apresentada. A Glintt Healthcare Solutions é uma empresa integrada no grupo Glintt, que conta com mais de 20 anos de experiência no setor da Saúde. Dedicar-se à prestação de serviços na área das Tecnologias da Informação (TI), tendo como área principal de atuação o desenvolvimento de projetos na área da Gestão de Saúde. A empresa marca presença em mais de 200 hospitais e clínicas [Gli13].

## 1.2 Problema

A expansão dos equipamentos compatíveis com DICOM até em pequenos centros de exames médicos, originou uma dispersão das imagens médicas digitais por diferentes instituições. O processo de partilha de exames médicos é ultrapassado, atualmente muitas instituições trocam imagens médicas através do envio da película, CD/DVD, VPN ou email. Estas formas de partilha estão desajustadas com a realidade atual e a necessidade de consumo rápido de informação [SCO13]. Existe uma grande necessidade de uso de informação de diferentes entidades para o mesmo paciente pelo que é cada vez mais importante que estas imagens médicas circulem entre instituições de saúde de forma simples e eficaz. Esta necessidade advém de uma série de fatores possíveis como, por exemplo, a mudança do paciente de instituição médica ou pela falta de capacidade da entidade de origem em diagnosticar uma patologia e, por isso, ter de recorrer a uma entidade externa sem que haja o transtorno da repetição de exames na entidade de destino [Fer11].

Assim, as instituições de cuidados de saúde têm vindo a tornar-se fortemente ligadas e cooperantes. No entanto, surgem alguns problemas como demonstrado no seguinte exemplo (ver Figura 1.1): uma instituição (A) precisa que um determinado exame seja efetuado noutra instituição (B) e interpretado numa terceira instituição (C). Neste exemplo, podem existir problemas quer

no que diz respeito à comunicação do pedido de exame quer na cobrança dos serviços prestados por cada uma das instituições, bem como na própria comunicação do exame de B para C [EH98].

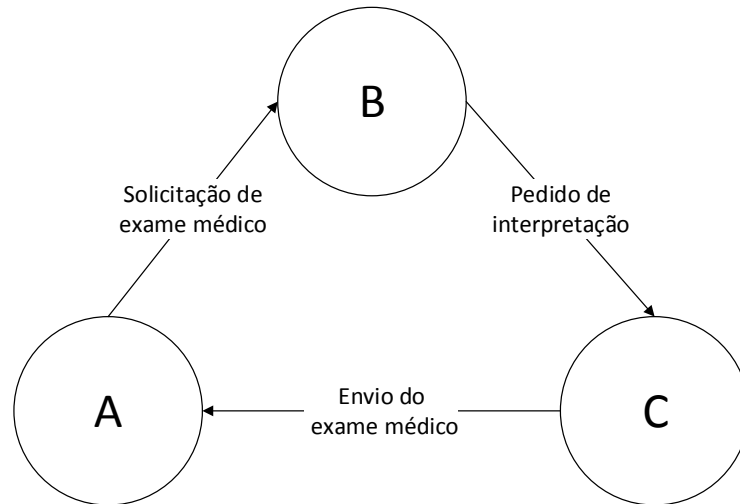


Figura 1.1: Exemplo de interação entre instituições de saúde

### 1.3 Motivação e Objetivos

Numa altura em que cada vez é mais importante a partilha de informação entre entidades de saúde, é essencial a criação de formas que possibilitem uma troca eficiente e natural destas informações.

O objetivo desta dissertação é estudar e implementar uma solução para o problema de troca de imagens médicas entre instituições de saúde. Pretende-se chegar a uma solução com base no *standard* DICOM usando uma ferramenta distribuída que faça a ligação entre várias instituições que a possuam ou que possuam um aplicação que esteja em conformidade com o *standard*, e que permita o controlo do processo de encaminhamento e aquisição de imagens médicas, facilitando assim a sua cooperação.

### 1.4 Estrutura da Dissertação

Este documento está organizado em 6 capítulos, começando com a introdução na qual é feito um enquadramento do problema. No capítulo 2 é apresentado o estado da arte e são referenciados os trabalhos relacionados. De seguida, no capítulo 3 são detalhados o problema que motiva a dissertação, os requisitos esperados assim como algumas tecnologias relevantes para o desenvolvimento da aplicação. Mais adiante, o capítulo 4 descreve a arquitetura concebida assim como detalhes sobre a implementação das funcionalidades principais da aplicação. No capítulo 5 são

## Introdução

apresentados os testes realizados ao software que incluem testes de performance. Por fim, no capítulo 6, são descritas as conclusões resultantes do processo de desenvolvimento da aplicação e as perspectivas de trabalho futuro.

## Capítulo 2

# Revisão Bibliográfica

Nesta secção importa explorar o estado da arte relacionado com o assunto proposto. Será feito um levantamento do atual desenvolvimento das tecnologias e uma análise a outros produtos semelhantes àquele que se pretende desenvolver.

### 2.1 DICOM

“Comunicação de imagens digitais em medicina” ou, em inglês, *Digital Imaging and Communications in Medicine* é uma norma para a manipulação, armazenamento, impressão e comunicação de dados de Imagiologia.

Este *standard* define o formato de ficheiro DICOM (.dcm) assim como um protocolo de comunicação de rede baseado em TCP/IP para o processo de negociação de associações e para a comunicação de mensagens, serviços ou objetos de informação. DICOM inclui estruturas de dados para imagens médicas e informações associadas, serviços orientados para transmissão ou impressão de imagens médicas via rede, formatos de arquivo para troca de dados, gestão de fluxo de trabalho, consistência e qualidade de apresentação, e requisitos da conformidade dos dispositivos e programas [MEM02].

O formato de ficheiro DICOM é o mais utilizado no mundo no que toca a imagens médicas. Cerca de 92% deste tipo de ficheiros são gerados neste formato [RB13]. Segundo dados da União Europeia, 61% dos Hospitais europeus possuem um Sistema de Comunicação e Arquivo de Imagens mas, em média, apenas 25% desses Hospitais são capazes de partilhar imagens médicas com outras entidades de saúde [COM11].

Este *standard* facilita a interoperabilidade de sistemas declarando conformidade num ambiente de vários fornecedores, mas por si só não garante interoperabilidade entre aplicações [Ass09].

### 2.1.1 Sistema de Informação DICOM

O mundo real tem uma implicação direta na representação do *standard* DICOM. O modelo de informação representa cada objeto real e descreve a sua relação. Estas relações são muito importantes para a organização dos sistemas de informação.

A definição destes objetos e atributos seguem um norma DICOM chamada *Information Object Definitions* (IODs). IODs são coleções de atributos que descrevem propriedades IOD. Um IOD de um paciente pode ser descrito, por exemplo, pelo nome do paciente, sexo, idade, altura, e outra informação relevante sobre o paciente. DICOM mantém uma lista de todos os atributos padrão (mais de 2000), para manter a consistência dos dados. Na figura 2.1 é feita a comparação entre a representação da informação do mundo real e a sua representação em formato DICOM. Os dados do utente são associados a *Tags* de forma a manter a informação do paciente estruturada.

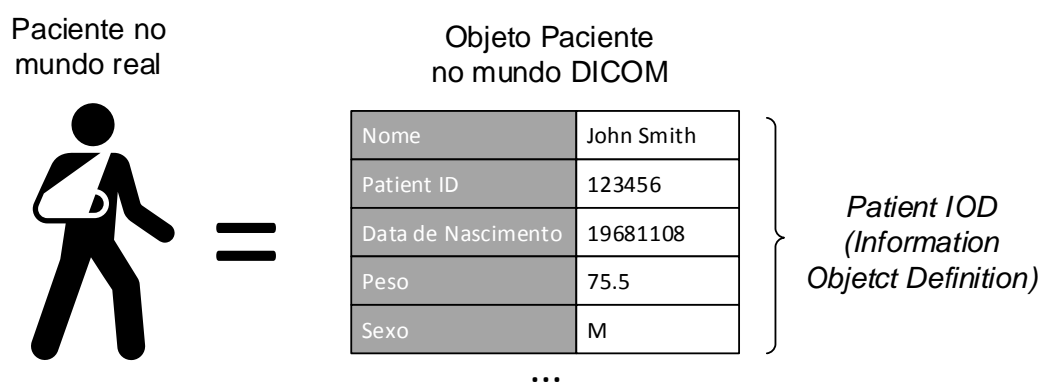


Figura 2.1: Objetos de informação DICOM (adaptado da imagem presente em [Pia12])

DICOM tem a seguinte hierarquia: Paciente – Estudo – Séries – Imagem, como pode ser observado na figura 2.2. A hierarquia reproduz entidades como, por exemplo, um paciente pode ter múltiplos exames, e esses exames podem ser de diferentes modalidades. Cada modalidade usa um protocolo diferente e pode produzir um diferente número de imagens. A cada nível da hierarquia é atribuída uma chave (*UIDs*) única, estes servem como identificadores únicos de cada imagem médica. DICOM *UIDs* são *strings* como, por exemplo, “1.2.840.10008.1.2” que são construídos por sequencias numéricas separadas por pontos. Estes identificadores devem ser globalmente únicos de forma a garantir a distinção entre vários países, fabricantes ou equipamentos [Pia12]. De maneira a que isso seja garantido, estes *UIDs* são gerados tendo em conta a seguinte convenção:

***UID* = <raiz da organização>.<sufixo>**

A “<raiz da organização>” é uma porção do *UID* que identifica a instituição que gerou a imagem. Idealmente cada instituição deve possuir um número que deve usar na parte inicial do



UID de forma a garantir que estes são diferentes dos usados noutras instituições [Pia12].

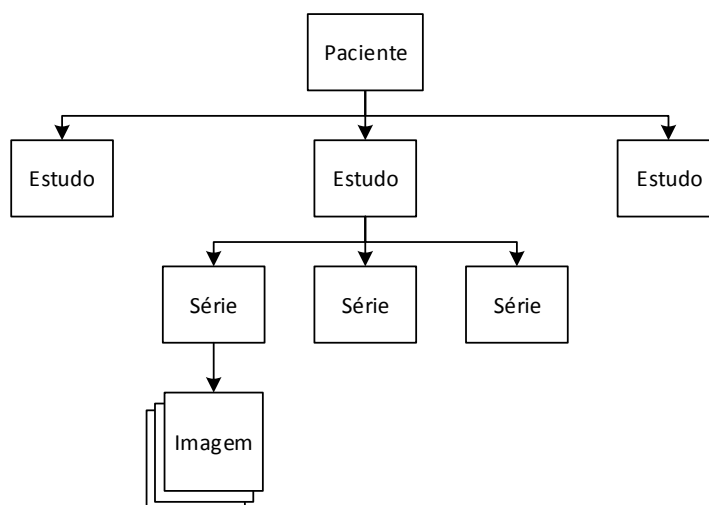


Figura 2.2: Hierarquia da informação DICOM

### 2.1.2 Imagens DICOM

DICOM especifica um conjunto de propriedades para alcançar a correta visualização e codificação das imagens. Suporta várias técnicas de compressão como, por exemplo, JPEG com ou sem perdas. Uma imagem médica gerada em DICOM pode incluir, para além da imagem, informação relacionada com o paciente, detalhes do procedimento de aquisição realizado, entre outras informações importantes [KHOS09]. A possibilidade de enviar, para além das imagens, informação relacionada com estas é uma das características mais importantes que distingue a norma DICOM de muitas outras, que se encontram limitadas, por exemplo, aos dados da imagem [Ass09].

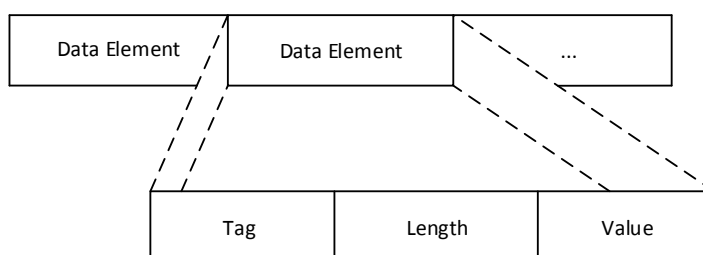


Figura 2.3: Formato DICOM

Os objetos DICOM estão organizados num formato TLV (*Tag, Length, Value*) como pode ser visto na figura 2.3. A *Tag* é um par de dois valores, representando o grupo e o número do elemento. Cada *tag* é única e não existem *tags* duplicadas no mesmo documento. Um número hexadecimal

entre 0x0000 e 0xFFFF representa a *tag*. Por exemplo, o *id* do paciente faz parte do grupo 0x10 e do subgrupo 0x20. Portanto, a *tag* do id do paciente é (0010,0020). Existe outro campo chamado *Value Representation (VR)* que define o modo como os atributos são codificados. Contém o código que descreve o tipo do elemento, por exemplo, PN significa *Person Name*, DA significa *Date* e OB significa *Object Binary*. O comprimento de um atributo pode variar por cada *tag*, portanto o campo *length* define o tamanho de cada atributo. Por fim, o campo *value* contém o valor da *tag* como por exemplo (*image pixel data, patient name, etc.*). Na figura 2.4 é mostrado um exemplo de um ficheiro DICOM. Este está dividido em duas partes, uma contém a metainformação e a outra possui os dados referentes à imagem médica.

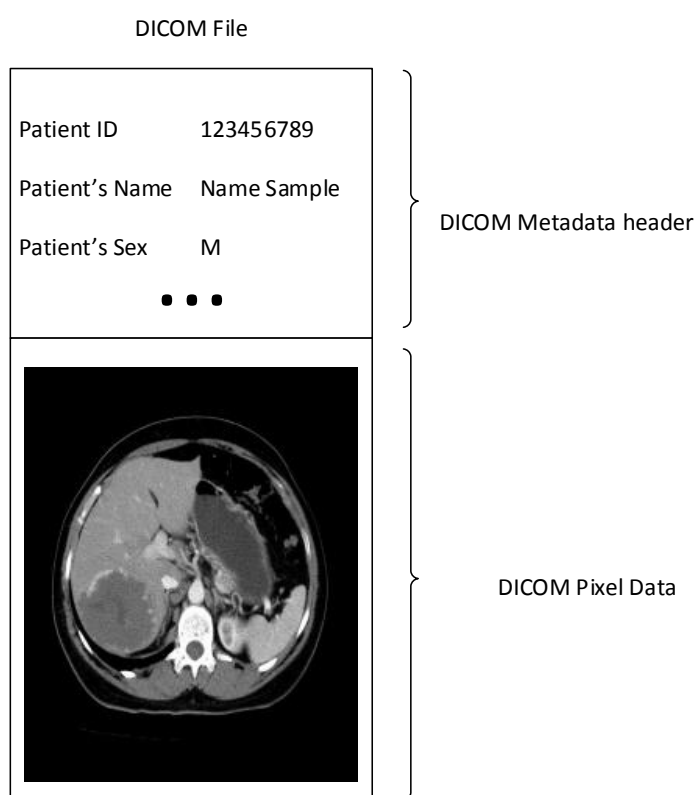


Figura 2.4: Exemplo de um ficheiro DICOM

### 2.1.3 Transporte

O protocolo DICOM é bastante importante para garantir a interoperabilidade entre dispositivos médicos. Este protocolo implementa o seu próprio protocolo de comunicação baseado no TCP/IP. Existem vários conceitos no protocolo, mas apenas será explorada a camada de serviços que é bastante importante para o desenvolvimento das funcionalidades desta aplicação.

DICOM tem vários serviços que seguem a arquitetura cliente-servidor. Num cenário DICOM existem um *Service Class Provider (SCP)* e um *Service Client User (SCU)*. Um equipamento pode

ter vários papéis, isto é, pode ser SCP ou SCU dependendo do tipo do serviço. Cada dispositivo DICOM tem uma *Application Entity Title* (AET), que é a forma de identificar o dispositivo na rede, sendo que esse AET juntamente com o IP e a porta funcionam como um mecanismo de endereçamento para o dispositivo.

### 2.1.3.1 Negociação

O primeiro passo para que duas aplicações comuniquem é a negociação. O sistema A “pergunta” ao sistema B quais as partes do *standard* que ele implementa e, caso sejam compatíveis, é criada uma associação. O contexto é definido na norma DICOM e ambos os lados devem concordar com a definição do contexto. O contexto é identificado por um *UID* e enviado para o parceiro no início da negociação. Analisando o *UID*, o parceiro é capaz de decidir se é capaz de responder ao solicitado. Nesta altura, pode aceitar a associação ou rejeitá-la. Após este processo de negociação, ambas as partes sabem quais as capacidades e limitações de cada aplicação. Pode ser iniciada a troca de informação de acordo com o contexto da associação. Quando a associação já não é precisa, é terminada.

### 2.1.4 Serviços DICOM

O *standard* DICOM suporta muitos aspetos da comunicação de imagens. Este é composto por vários serviços DICOM, cada um realiza uma função única. Os serviços são os seguintes [BHPS98]:

- *Store* - é um serviço essencial para todos os dispositivos de captação de imagens médicas. Permite que as imagens sejam enviadas para um DICOM Server para serem armazenadas;
- *Storage commitment* - este serviço é utilizado como forma de confirmação que as imagens estão na realidade guardadas. É um serviço muito utilizado para, por exemplo, certificar que é seguro apagar imagens médicas armazenadas localmente;
- *Query/Retrieve* - é necessário pesquisar e obter imagens para análise do servidor de imagem. DICOM não especifica como a base de dados deve ser estruturada, mas especifica como solicitar uma lista de pacientes e estudos e ainda como iniciar a transferência dessas imagens;
- *Modality worklist* - este serviço permite que um equipamento de imagiologia (uma modalidade) adquira informações sobre os pacientes e o agendamento das exames, evitando a necessidade de introdução desses dados repetidamente;
- *Modality performed procedure step* - também conhecido por MPPS, este serviço é um complemento ao *Modality Worklist*. Permite o envio de relatórios com informações relevantes sobre o procedimento realizado no exame, tais como, tempo de início, hora de término e duração do estudo, dose administrada, etc.;

## Revisão Bibliográfica

- *Printing* - este serviço é usado para enviar imagens para impressoras DICOM, normalmente para impressão em película;
- *Off-line media* (Ficheiros DICOM) - a estrutura de ficheiros corresponde à décima parte do *standard* DICOM. Especifica uma estrutura para o armazenamento das informações médicas em ficheiro.

Na seguinte tabela podemos encontrar a relação entre os serviços referidos e os seus respetivos comandos DICOM.

Serviço DIMSE	Comando DICOM
<i>Verification</i>	C-ECHO
<i>Storage</i>	C-STORE
<i>Query/Retrieve</i>	C-FIND, C-MOVE, C-GET
<i>Worklist Management</i>	C-FIND
<i>Printing</i>	N-CREATE, N-SET, N-DELETE, N-ACTION
<i>Storage Commitment</i>	N-CREATE, N-SET
<i>Modality Performed Procedure Step</i> (MPPS)	N-CREATE, N-SET

Tabela 2.1: Tabela de correspondência entre os serviços e os comandos DICOM

Os serviços *DICOM service command* (DIMSE) estão divididos em dois grupos: compostos e normalizados. Os serviços compostos são chamados “DIMSE-C” e os normalizados “DIMSE-N”. A letra “C” ou “N” precedem o nome do serviço DICOM de forma a identificar qual o grupo ao qual pertence. Os serviços normalizados representam uma única instância enquanto que os compostos representam uma transação em bloco de várias instâncias de imagens médicas.

### 2.1.5 Conformidade

Apesar de ser um *standard*, a implementação do DICOM por si só não assegura a interoperabilidade entre aplicações [Ass09]. Devido à grande extensão e complexidade da norma, geralmente esta não é implementada na sua totalidade e, por isso, é necessária a criação de uma declaração de conformidade. As declarações de conformidade devem dar a saber quais as partes da norma suportadas. A segunda parte da norma assegura que as declarações de conformidade tenham a mesma estrutura global, o que facilita a análise de interoperabilidade com outras aplicações ou dispositivos de imagem médica.

Como mostra a figura 2.5, para comunicar, o sistema A e o sistema B precisam de ser compatíveis. Na imagem é usada a metáfora das peças de puzzle para indicar que estas devem encaixar de maneira a que haja interoperabilidade entre os sistemas.

## Revisão Bibliográfica

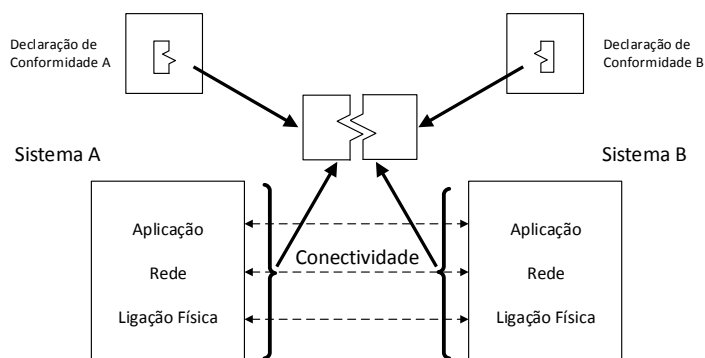


Figura 2.5: Declaração de conformidade (adaptado da imagem presente em [Rev97])

Como conclusão, se um estudo imagiológico for enviado para um escritório médico a partir de um centro hospitalar, um CD ou um filme terão de ser impressos e entregues em mão. Frequentemente, este procedimento é caro, inadequado, ineficiente e lento. Não existe hoje uma abordagem eletrónica simples de mover estudos imagiológicos, ou outros registos similares, entre locais não filiados [MdSRG10].

### 2.1.6 Acesso Web para Objetos Persistentes DICOM (WADO)

Mais recentemente foi introduzido na norma o serviço de acesso *Web* para objetos DICOM como resposta ao problema da distribuição e visualização via *Web*. O serviço WADO processa-se através dos pedidos ao servidor, efetuados via HTTP, existindo a possibilidade de especificar os dados de retorno aquando do envio do pedido, que podem ser do tipo DICOM, JPEG, RTF ou XML [BH92].

O WADO está limitado a objetos persistentes DICOM e precisa da informação prévia do UID do objeto que pretende solicitar. Outra limitação deste serviço é a não especificação de formas de submissão de ficheiros DICOM [KL09].

No exemplo 2.1, é mostrado um exemplo da utilização do WADO para a obtenção de uma imagem em formato *JPEG*.

```
1 http://www.hospital/radiology/wado.php?requestType=WADO
2 &studyUID=1.2.250.1.59.40211.12345678.678910
3 &seriesUID=1.2.250.1.59.40211.789001276.14556172.67789
4 &objectUID=1.2.250.1.59.40211.2678810.87991027.899772.2
```

Código 2.1: Exemplo de aquisição de uma imagem via WADO

## 2.2 PACS

Devido ao elevado uso do formato DICOM, surgiu a necessidade de criar um sistema para o armazenamento e distribuição das imagens médicas neste formato. O termo PACS (*Picture archiving and communication system*), traduzindo, “Sistema de Comunicação e Arquivo de Imagens”, refere-se a um sistema distribuído que trata da digitalização, pós-processamento, distribuição e armazenamento de imagens médicas dentro de uma instituição de saúde [CBHJ82].

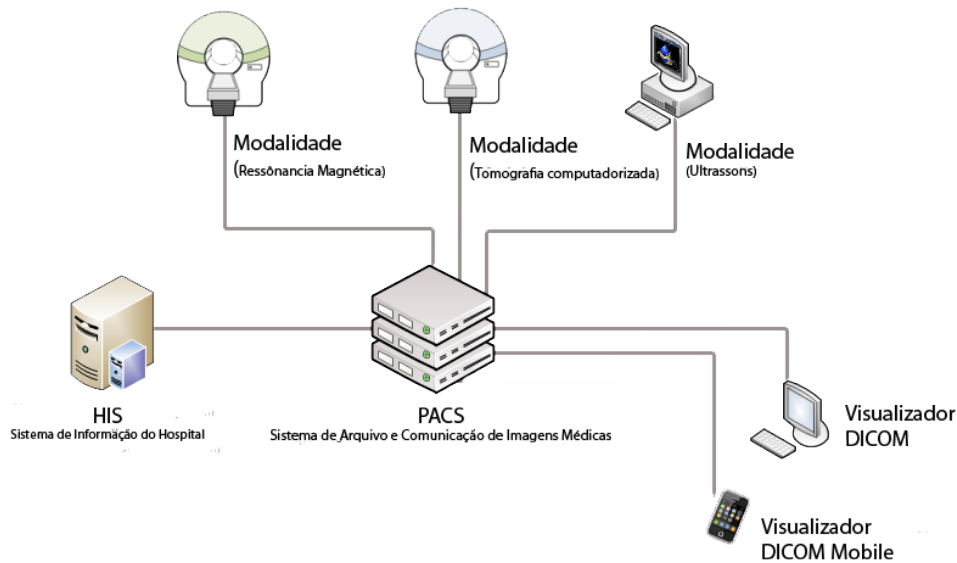


Figura 2.6: Sistema de armazenamento e distribuição das imagens médicas

Como se pode ver através da figura 2.6, as imagens médicas são geradas pelas várias modalidades de exames como, por exemplo, radiografias, ressonâncias magnéticas, ou ultrassons. Após a sua captura, são armazenadas pelo PACS que posteriormente disponibiliza essa mesmas imagens nos terminais médicos, para consulta e análise (visualizadores DICOM). O sistema de informação do hospital é responsável pelo armazenamento dos dados dos pacientes que são importantes para fazer a ligação das imagens médicas geradas ao respetivo paciente.

## 2.3 Outras soluções

Neste subcapítulo pretende-se dar a conhecer algumas das aplicações mais semelhantes e que podem ser úteis ao desenvolvimento desta dissertação.

### 2.3.1 Dicoogle

Dicoogle [Dic12] é um projeto desenvolvido na Universidade de Aveiro, iniciado em 2007 e, atualmente, ainda em desenvolvimento. É um projeto de código aberto desenvolvido em Java, focado na indexação e na rápida procura/resposta dos exames médicos.

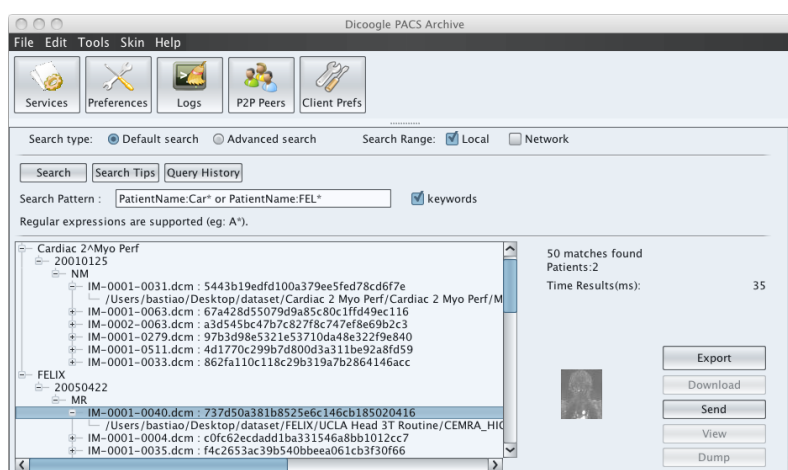


Figura 2.7: Interface com o utilizador do Dicoogle

Ao contrário dos PACS tradicionais que utilizam uma base de dados para o indexamento das imagens médicas e tipicamente apenas indexam uma pequena parte dos dados, o Dicoogle indexa a totalidade dos metadados, o que é uma vantagem na altura de pesquisar.

Para além disso, também tem explorado várias formas para troca de imagens entre instituições. Uma das formas exploradas foi o P2P (Peer-to-Peer), em português, Ponto-a-Ponto [CFB<sup>+</sup>11].

### 2.3.2 VirtualPACS

*VirtualPACS* comporta-se como um servidor PACS virtualizado que permite a ligação entre múltiplas fontes de dados remotas, incluindo as que não suportam mensagens DICOM. Isto torna o sistema bastante flexível de forma a que seja possível um cliente interagir com as imagens médicas como se estivesse a aceder a um único PACS centralizado [SPC<sup>+</sup>09].

O *VirtualPACS* está instalado numa máquina cliente e serve como um *gateway* entre os clientes locais DICOM e as fontes remotas.

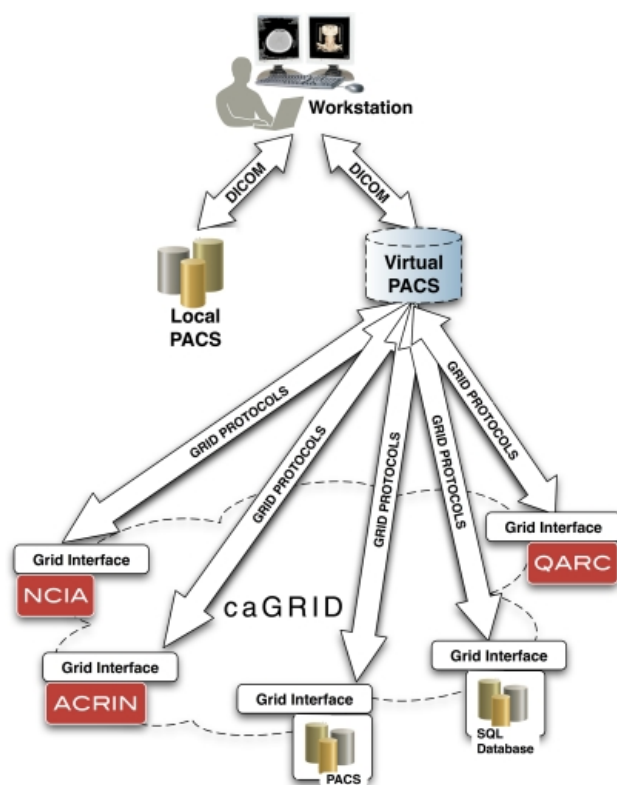


Figura 2.8: Arquitetura da solução VirtualPACS (imagem retirada de [SPC<sup>+</sup>09])

Como se pode observar na figura 2.8, o VirtualPACS cria um servidor virtualizado para uma estação de trabalho a partir de fontes DICOM remotas. Cada fonte é exposta ao ambiente através de uma interface de serviço denominada de “*caGrid*” [SPC<sup>+</sup>09]. *caGrid* é um serviço que recorre à infraestrutura de computação em *GRID*. Foi desenhado para permitir serviços e ferramentas que permitem ligar aplicações e recursos em conformidade com as diretrizes e políticas usadas pela comunidade *caBIG<sup>TM</sup>* que possibilita que os investigadores contribuam facilmente aproveitando os recursos num ambiente multi-institucional [OLH<sup>+</sup>07].

### 2.3.3 Microsoft HealthVault

“O Microsoft HealthVault é um local de confiança onde as pessoas podem recolher, armazenar, utilizar e partilhar informações de saúde online” [Mic13b].



Figura 2.9: Logótipo da aplicação HealthVault

Esta solução consiste num portal *web* desenvolvido pela Microsoft com o objetivo de armazenar e manter informações médicas pessoais. É um serviço que apenas está disponível em alguns países e que não tem qualquer custo para os pacientes. Permite integração com outras aplicações



e introdução direta através de dispositivos compatíveis como, por exemplo, medidores de pressão arterial, batimento cardíaco ou ainda a glicemia [Ste08].

Este serviço também permite o armazenamento de imagens médicas. Muitas instituições atualmente fornecem as imagens médicas por via de CD-ROM e essas imagens podem ser enviadas pelo utilizador através de uma aplicação chamada “Microsoft HealthVault Connection Center” também desenvolvido pela Microsoft. Mas ainda é algo restrito no que toca à partilha de informações, uma vez que neste momento ainda só é possível a partilha entre utilizadores do serviço [Ste08]. A sua disponibilidade também é reduzida em relação ao número de países abrangidos até ao momento, não resolvendo por si só o problema da troca de imagens médicas.

### 2.3.4 DICOM Grid



Figura 2.10: Logótipo da empresa DICOM Grid

DICOM Grid é um software desenvolvido por uma empresa com o mesmo nome, com sede no Arizona. Foi fundada em 2006 por neurorradiologistas com o principal objetivo de facilitar a troca de imagens médicas entre instituições, utilizando para isso a *cloud* [Dic13]. Possui também um portal de acesso aos pacientes para envio e gestão das imagens médicas, à semelhança do HealthVault da Microsoft.

### 2.3.5 ShareAgent

*ShareAgent* é um produto comercial desenvolvido pela empresa ClearCanvas [Cle13]. A sua primeira versão foi lançada em agosto de 2012 e permite aos profissionais de saúde transferir e encaminhar de forma automática imagens médicas para qualquer dispositivo compatível com DICOM. Combina funções básicas de visualização com a capacidade de monitorizar e controlar o envio e receção de estudos médicos digitais. Implementa serviços básicos de DICOM como a pesquisa, a aquisição e o envio, permitindo o movimento dos estudos digitais dos pacientes entre diferentes destinos.

## 2.4 Tecnologias

Nesta secção será feito um levantamento de algumas bibliotecas .NET de forma a comparar as suas vantagens e limitações e assim escolher a mais adequada ao desenvolvimento das funcionalidades pretendidas para a aplicação.

### **ClearCanvas SDK**

ClearCanvas [Cle13] é uma empresa que se dedica à inovação na área das imagens médicas digitais. Produz soluções comerciais de PACS e ao mesmo tempo disponibiliza à comunidade uma biblioteca para .NET de código aberto e de utilização gratuita.

Esta permite visualizar, arquivar, gerir e distribuir imagens médicas. É uma biblioteca bastante usada pela indústria das aplicações médicas, com boa documentação e exemplos. A sua elevada cobertura do *standard* é um dos seus pontos fortes porque lhe confere uma boa capacidade de interagir e comunicar com outros sistemas.

### **DICOM Connectivity Framework (DCF)**

É uma ferramenta multiplataforma com suporte para outras linguagens como, por exemplo, C++ ou Java. É uma *framework* robusta e de alta performance com grande cobertura do *standard*, com boa documentação e exemplos, porém não é uma ferramenta gratuita [Bri13].

### **DICOM Sharp**

DICOM Sharp é uma biblioteca de código aberto para .NET. Foi iniciada em 2004 e construída com o objetivo de facilitar e agilizar o desenvolvimento de aplicações tirando partido das vantagens que o desenvolvimento orientado a objetos que o ambiente .NET tem para oferecer [DS09].

Por outro lado, a cobertura do *standard* é ainda reduzida e o projeto tem tido pouco suporte ao longo dos últimos anos.

### **DVTk**

A primeira versão do DICOM Validation Toolkit data do ano de 1997 e foi desenvolvido por um grupo da Philips. É um projeto de código aberto desenvolvido em .NET que permite testar, validar e diagnosticar protocolos de comunicação em ambientes médicos. Para além disso tem um suporte alargado do *standard* [DVT11].

Como ponto de diferenciação dos restantes, este projeto possui emuladores dos serviços que permitem testar as aplicações de uma forma mais rápida.

### **EvilDicom**

EvilDicom é uma biblioteca desenvolvida para C# .NET 4.0 e tem uma abordagem orientada a objetos para facilitar o desenvolvimento de aplicações. É uma biblioteca gratuita e de código aberto mas oferece módulos extra pagos conforme as necessidades dos utilizadores [Evi12]. Possui boa documentação e exemplos mas uma das suas desvantagens é que o mesmo é recente e com pouca cobertura do *standard* DICOM.

### **FO-DICOM**

*Fellow Oak DICOM* é uma biblioteca de código livre e gratuita desenvolvida nativamente para .NET. É uma biblioteca de alta performance, totalmente assíncrona. Suporta compressão de imagem e está preparada para grandes volumes de dados [FD13].

**GrassRoots**

A biblioteca Grassroots [Gra13] implementa o *standard* DICOM, foi desenvolvida em C++ mas suporta mais linguagens de programação, tais como, C#, Java e Python.

**RZDCX**

RZDCX é uma biblioteca comercial para .NET. O seu principal objetivo é simplificar e acelerar o desenvolvimento de aplicações médicas. Este objetivo é conseguido com recurso a uma API de alto nível que esconde a complexidade dos serviços de DICOM. Alguns dos serviços suportados por esta biblioteca são, por exemplo, o envio, a pesquisa, a impressão, entre outros [DR13].

**2.4.1 Comparação entre bibliotecas DICOM**

A tabela 2.2 apresenta uma comparação entre as tecnologias descritas previamente. A informação usada para produzir esta tabela foi recolhida através da documentação das respetivas ferramentas. Quando a documentação não foi suficiente para julgar a presença de determinada característica, foram consultados fóruns e a secção de perguntas frequentes. Caso houvesse falta de informação, essa característica foi considerada inexistente.

O símbolo ✓ indica que a ferramenta possui essa característica e o símbolo X representa a ausência dessa característica.

	ClearCanvas	Dicom Connectivity	DICOM#	DVTk	EviDicom	FO-DICOM	Grassroots	RZDCX
<b>Características gerais</b>								
Código aberto	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	X
Freeware	✓	X	✓	✓	✓*	✓	✓	X
<b>Serviços DICOM Suportados</b>								
Storage	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
Print	✓	✓	X	✓	X	X	X	✓
Query / Retrieve	✓	✓	X	✓	✓	✓	X	✓
WorkList	X	✓	X	✓	X	X	X	✓
Compressão de Imagem	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓
Network	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓

Tabela 2.2: Comparação de bibliotecas DICOM

Para esta dissertação os serviços não tem igual peso. Devido à natureza da dissertação, é dada preferência aos serviços de armazenamento, *query/retrieve* e negociação que está nesta tabela representado na linha “*Network*”.

## 2.5 Sumário

Este capítulo procurou descrever os conceitos chave relacionados com o *standard* DICOM, entre os quais o PACS, de modo a introduzir esta tecnologia e expor a importância do seu papel no contexto das aplicações de saúde. Foi feito um levantamento sobre outras aplicações semelhantes e, por fim, um resumo de algumas bibliotecas que podem ser úteis ao desenvolvimento desta dissertação.

## Capítulo 3

# Conceção

Nesta secção, é descrito o problema que motivou esta dissertação, quais os requisitos da mesma e a abordagem para a resolver.

### 3.1 Requisitos

Tendo em vista as necessidades no que concerne o tema da dissertação, foram propostas diversas funcionalidades que valorizassem o sistema desenvolvido e correspondessem às expectativas para o produto final.

Pretende-se que a aplicação possua a capacidade de:

- Partilha de imagens médicas entre instituições de saúde;
- Encaminhamento de imagens médicas de acordo com regras;
- Validação de imagens médicas;
- Controlo do acesso apenas a PACS autorizados;
- Tolerância a falhas;
- Persistência dos dados.

#### 3.1.1 Partilha de imagens médicas entre instituições de saúde

Um dos requisitos principais a que esta dissertação se propõe resolver é a interoperabilidade entre instituições de saúde. Interoperabilidade é um requisito essencial para este projeto porque permite manter os equipamentos existentes compatíveis com a solução proposta e, desta forma, não cria a necessidade de alteração do *software* já existente nas instituições de saúde. A aplicação deve suportar os serviços de DICOM *Storage* e DICOM *Query/Retrieve* de maneira a permitir a partilha destas imagens entre instituições.

## Conceção

Na figura 3.1, é representado um possível posicionamento da aplicação em instituições distintas que, aliado a mecanismos automáticos, permite a agilização do processo de partilha de imagens.

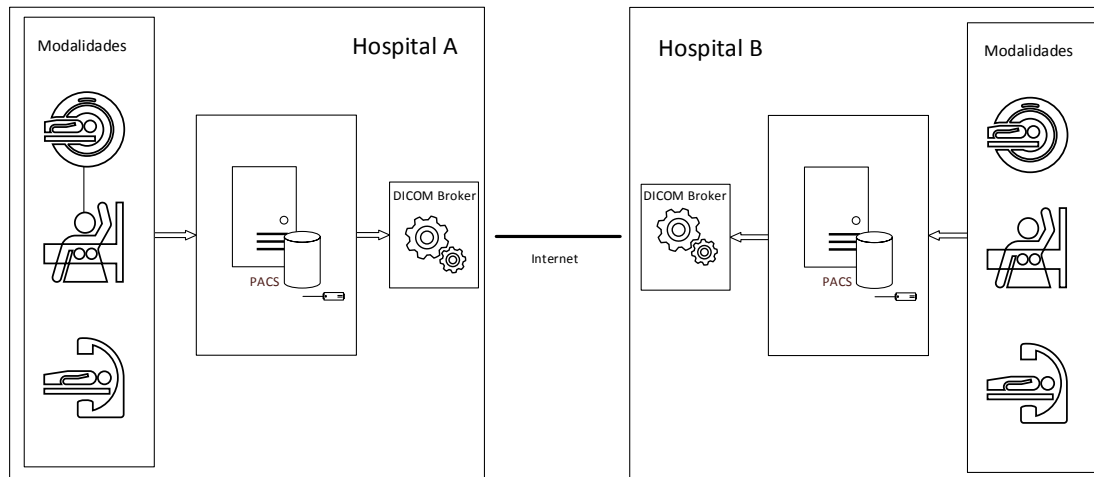


Figura 3.1: Exemplo de partilha entre instituições de saúde

### 3.1.2 Encaminhamento de imagens médicas de acordo com regras

O encaminhamento das imagens deve ser feito de forma automática pela aplicação. É o utilizador quem define as regras que a aplicação deve consultar e cumprir, definidas num ficheiro de configuração. Este ficheiro deve conter qual a reação que a aplicação deve tomar tendo em conta a origem dos dados, ou seja, para onde devem ser encaminhadas as imagens médicas.

### 3.1.3 Validação de imagens médicas

A informação contida num ficheiro DICOM não é universal, existindo a possibilidade de, por exemplo, um *patientID* não ser único. Este problema pode ser grave quando trocamos imagens médicas entre instituições.

A introdução dos dados segue as normas da instituição médica onde o exame foi realizado, podendo ser, por exemplo, uma combinação entre o nome e data de nascimento, número nacional de saúde, etc. Essas políticas podem entrar em conflito com a codificação utilizada noutra instituição [Pia12]. Ao transferir um estudo ou série que contém um *patientID* já utilizado, o PACS que recebe as imagens associa as novas imagens como sendo do paciente que já pertencia ao sistema [Pia12]. Isto é, podem ser associadas de forma errada imagens médicas pertencentes a diferentes pacientes se estas tiverem o mesmo *patientID*.

Esta situação poderia ser resolvida se fosse criado um sistema central de gestão dos números de identificação de saúde ou que fossem implementadas normas que regulamentassem a atribuição do número de identificação a cada paciente mas esta situação implica o desenvolvimento de um

serviço central para desempenhar a tarefa assim como a adaptação de todos os sistemas de informação às novas regras. A solução mais eficaz e sem dependências é criar um sistema que avalie as informações contidas nas imagens médicas de forma a evitar a integração de imagens não válidas, criando alternativas para alteração dos dados das imagens médicas em caso de erro de integração.

### 3.1.4 Controlo do acesso apenas a PACS autorizados

O controlo de acessos tem como objetivo proteger pessoas e informação contra acessos não autorizados. A solução de troca de imagens médicas entre instituições de saúde implica a criação de um método para controlo de acesso, de modo a assegurar a restrição dos dados e evitar o acesso não autorizado.

A aplicação deve ser capaz de gerir as relações de confiança entre instituições de saúde e rejeitar pedidos não autorizados de modo a que a partilha seja restrita apenas a PACS reconhecidos como seguros por esta aplicação.

O controlo do acesso é realizado de forma distribuída criando configurações adequadas a cada instituição que possua a aplicação. Assim, cada instituição possui a sua própria configuração contendo a lista de entidades de confiança dessa instituição ao qual esta permite o acesso.

### 3.1.5 Persistência dos dados

A persistência dos dados foi um problema importante durante a realização desta dissertação derivado do grande volume de dados característicos deste tipo de ficheiros.

As soluções para armazenar imagens têm mudado ao longo do tempo com o desenvolvimento dos sistemas de informação. Inicialmente, as imagens eram armazenadas em ficheiros e apenas o caminho da imagem era guardado na base de dados. Mais tarde, um novo tipo de dados chamado BLOB (*Binary Large Object*) foi desenvolvido, e introduziu a possibilidade de armazenar as imagens diretamente na base de dados. Isto permitiu o acesso a imagens como parte de uma simples transação, tal como já acontecia com os outros tipos de dados armazenados em bases de dados [BLW13].

As fraquezas de flexibilidade do modelo das bases de dados relacionais levaram à emergência de um ecossistema de bases de dados não relacionais ou sistemas *NoSQL*, adequados a ambientes mais ágeis [RDS<sup>+</sup>12]. A informação dos documentos DICOM é bastante heterogénea e é representada sobre a forma de chave-valor. A sua heterogeneidade é um desafio para as bases de dados relacionais pelo que o uso de uma base de dados *NoSQL* pode constituir uma vantagem. Contudo, o uso destas bases de dados implica a conversão dos documentos DICOM para formato *json* para serem inseridos e manipulados [RDS<sup>+</sup>12].

Após analisadas várias soluções, optou-se por armazenar os ficheiros em *filesystem* em oposição ao uso de BLOB, porque segundo [SVIG07] existe uma melhor performance ao armazenar no *filesystem* quando os ficheiros apresentam mais de um *megabyte*, em média. No caso de imagens médicas os ficheiros, por norma, são superiores a esse valor [Ora08]. Descartou-se também a abordagem da base de dados *NoSQL* por esta implicar a desconstrução dos documentos DICOM

## Conceção

e, por conseguinte, uma maior carga de processamento e complexidade. A grande vantagem da utilização de uma base de dados *NoSQL* em DICOM é a sua flexibilidade em tratar a heterogeneidade dos documentos. Isto foi conseguido na base de dados relacional através da criação de uma tabela chave-valor, onde é armazenada a metainformação dos documentos, à semelhança do que acontece com uma base de dados documental. Assim, o sistema tem a capacidade de incluir dados da metainformação nas pesquisas à base de dados.

A simplicidade desta abordagem é a sua vantagem mais óbvia. A segunda, menos óbvia, é que todos os ficheiros DICOM são armazenados separadamente do PACS. O PACS apenas aponta o local onde foram armazenados os ficheiros e faz a gestão da informação (apaga, atualiza e relaciona os registos dos ficheiros uns aos outros). Esta separação da aplicação e informação pode ser uma ajuda bastante importante num possível processo de migração do sistema [Pia12].

Optou-se então por utilizar uma base de dados relacional para armazenar todos os dados referentes às imagens médicas e informações relativas ao controlo do fluxo de dados com um apontador para o local onde as imagens estão armazenadas no sistema de ficheiros.

### 3.1.5.1 Comparação de performance entre bases de dados

Foram realizados alguns testes de performance de modo a avaliar o comportamento das soluções de armazenamento propostas para a aplicação. Para o teste, foi usado o mesmo conjunto referido no capítulo 5. Foram usados 12 estudos, contendo 1104 ficheiros DICOM com um tamanho total de 578 MB. (Para mais detalhes ver Tabela 5.1) Estes testes foram realizados num computador com um processador 64 bit Intel Core 2 Duo T6670 de 2.2GHz, com 4Gb de RAM.

#### Teste de velocidade de escrita

Este teste consiste em avaliar a velocidade de escrita dos ficheiros DICOM nas bases de dados. Os testes foram realizados duas vezes e o valor contido no campo “Tempo de execução em minutos” é a média de ambos.

Proposta de solução	Tempo de execução em minutos
CouchDB	1:42:177
CouchDB com ficheiro em anexo	3:15:32
PostgreSQL com Blob	3:08:80
PostgreSQL + sistema de ficheiros	33:52
Oracle + Blob	3:22:10
Oracle + sistema de ficheiros	25:75

Tabela 3.1: Comparação tempo de escrita da base de dados

Apesar da sua simplicidade de utilização e eficiência na execução, a base de dados CouchDB parece sofrer com a serialização dos ficheiros DICOM para o formato *Json*. Apresenta valores razoáveis mas bastante superiores à proposta de solução “Oracle + sistema de ficheiros”. Após a realização dos testes às bases de dados relacionais, notou-se uma grande diferença de tempo de execução em relação ao uso de BLOBS versus o sistema de ficheiros, sendo o segundo superior. A



utilização de Oracle como base de dados para o projeto justifica-se pela sua superior performance em relação às alternativas mas também pelas funções avançadas para DICOM [AAC<sup>+</sup>], que não foram exploradas neste projeto mas podem vir a ser uma alternativa no futuro da aplicação.

### 3.1.6 Tolerância a falhas

A fiabilidade e consistência de um sistema são aspetos bastante importantes em qualquer aplicação. Neste caso, as aplicações para a área da saúde não são uma exceção. Garantir que o sistema se mantém estável e que os dados dos exames dos pacientes se mantêm coerentes é de elevada importância.

Para manter a consistência dos dados foi usado um sistema de *checkpoints*. Este mecanismo cria um ponto em que o sistema está estável, e para onde pode ser revertido em caso de falha.

Será demonstrado o processo com recurso a um exemplo de como o sistema reage em caso de insucesso na seguinte figura 3.2.

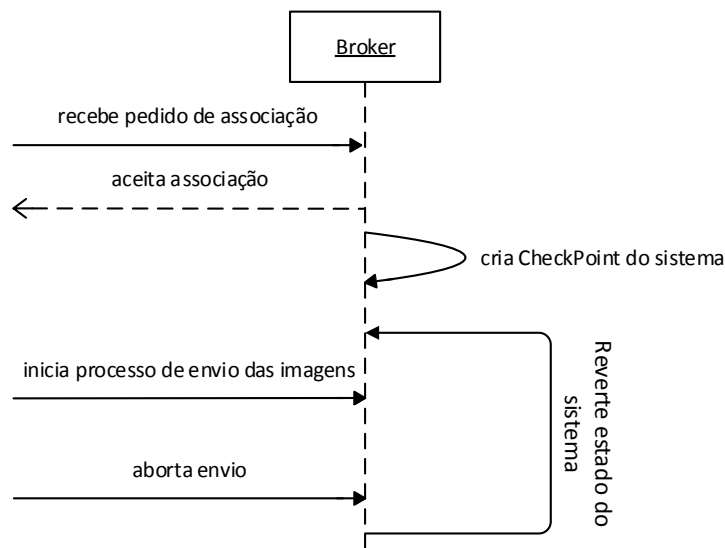


Figura 3.2: Processo de checkpoint do sistema

Assim que recebe um pedido de uma associação, o sistema responde de forma afirmativa a essa mensagem e cria um *checkpoint*. A partir desse momento e ao longo da execução da aplicação são registadas todas as alterações feitas ao sistema causadas por essa associação. O sistema inicia o processo de recepção das imagens médicas e caso esse processo termine de forma inesperada, o sistema consegue reverter até ao *checkpoint* anteriormente feito. Reverter o sistema significa reverter a base de dados e eliminar todos os ficheiros recebidos durante esta associação que foram armazenados no sistema de ficheiros, mantendo assim a consistência do sistema e não disponibilizando

estudos incompletos para encaminhamento para outras entidades, de forma a não propagar erros. Este mecanismo foi implementado no *DICOM Broker* que é o módulo responsável por receber as imagens médicas e por iniciar o processo de encaminhamento dessas mesmas imagens.

## 3.2 Solução

Para o desenvolvimento da aplicação foi usada a linguagem C#, para melhor integração com aplicações já desenvolvidas na empresa, juntamente com recurso a uma biblioteca DICOM já referida no capítulo 2.4 chamada ClearCanvas. Esta biblioteca implementa serviços de comunicação, assim como interpretar e editar ficheiros DICOM, destacando-se das restantes pela boa interoperabilidade entre aplicações compatíveis com o *standard*.

Para conseguir atingir os objetivos para esta dissertação e alcançar a máxima interoperabilidade entre aplicações, pretende-se cobrir de forma alargada o *standard* e explorar formas de comunicação para que as instituições consigam colaborar entre si.

## 3.3 Tecnologias

Nesta secção serão referidas algumas tecnologias fundamentais para a resolução de problemas durante o desenvolvimento do projeto.

### 3.3.1 *Entity Framework*

A *Entity Framework* [Mic13a] é um conjunto de tecnologias em ADO.NET que permite o desenvolvimento de aplicações orientadas a dados. Enquadra-se dentro da categoria de *object-relational mapping (ORM)* que é uma técnica de conversão de dados entre bases de dados e programação baseada em objetos. A *Entity* permite aos programadores trabalhar a informação armazenada na base de dados como se de objetos se tratasse. O armazenamento é tratado pela própria *framework* assim como outras operações mais utilizadas em bases de dados. É criada uma abstração sobre a base de dados que facilita e agiliza o desenvolvimento de software e é por si só uma ferramenta muito útil.

### 3.3.2 *Unity Application Block*

A *Unity Application Block* [Mic08] é um *container* leve para injeção de dependências que suporta também injeção do método construtor, propriedades e chamada de métodos por injeção.

Dentro de um projeto, as dependências devem ser registadas no *Unity Container* para ficarem disponíveis a qualquer serviço ou módulo que precise de uma referência para ele próprio. Ter um mecanismo de injeção de dependências torna o código mais fácil de manter e menos complexo nas ligações entre diferentes módulos. O *Unity* permite construir objetos de forma dinâmica e é por esse motivo que é usado neste projeto. É bastante importante para mudar o comportamento da

aplicação, através da mudança do o ficheiro de configuração e sem ser necessária a alteração de código.

### 3.3.3 *Quartz.NET*

Quartz.NET [Qua13] é uma biblioteca .NET que permite agendar a execução de tarefas. Tarefas são porções de código que podem ser executadas periodicamente ou a uma determinada hora/dia de forma automática.

Uma funcionalidade que muitas aplicações *desktop* e *web* necessitam é uma ferramenta para agendar tarefas. Esta *framework open source* controla a execução paralela de tarefas que podem ser executadas apenas uma vez ou de forma periódica. O que se pretende é implementar uma tarefa e associá-la à *framework* que a executa de acordo com o agendamento programado.

## 3.4 Sumário

Neste capítulo foram apresentados os requisitos espetáveis para a aplicação, bem como referidas algumas tecnologias mais importantes para o seu desenvolvimento. Foi ainda realizado e discutido um teste comparativo da velocidade de inserção de dados DICOM, em algumas bases de dados de forma a permitir uma escolha mais adequada.

Espera-se assim que a aplicação seja tolerante a falhas e que permita o encaminhamento e aquisição de imagens médicas entre instituições autorizadas, de acordo com regras previamente estabelecidas.

Conceção

## Capítulo 4

# Implementação

Neste capítulo importa explorar o processo de conceção da solução. Serão apresentados os requisitos, assim como decisões relevantes sobre as tecnologias a usar.

### 4.1 Arquitetura

Tendo em conta os requisitos da aplicação e de forma a manter a aplicação o mais flexível e fácil de manter, a mesma foi desenvolvida por módulos.

Os módulos da arquitetura principais são os seguintes:

- *ActionsModule*;
- *ValidationModule*;
- *DICOMBroker*;
- *QueryModule*.

O módulo chamado *ActionsModule* é o responsável pela consequência, ou seja, é a resposta da aplicação. As classes deste módulo implementam uma interface de nome *IAction*, para uniformizar as ações e ainda facilitar o uso da injeção de dependências.

Já a validação dos exames é função do módulo designado por *ValidationModule*. À semelhança do módulo *ActionsModule* este também obriga à implementação de uma interface chamada *IValidationEntity*.

O *DICOMBroker* é o ponto de comunicação com outras aplicações. É este o módulo responsável pela receção de mensagens. Para além disso, é ele que desencadeia toda a ação da aplicação.

O *QueryModule* é o módulo responsável por pesquisar de forma periódica imagens médicas noutras instituições e adquirir as mesmas de forma automática.

## Implementação

### 4.1.1 *DICOMBroker*

Num sistema em que se pretende que exista interação com outras aplicações, é necessário um ponto de entrada no sistema. Como tal, foi desenvolvido o *DICOMBroker* que é o módulo inicial e que desencadeia todo o processo de encaminhamento das imagens médicas.

Este módulo é configurável através de um ficheiro de configuração, podendo dar origem a vários *Brokers* no arranque da aplicação.

```
1 <mstns:ReceiveModule>
2   <mstns:DICOMConfiguration>
3     <mstns:localAE>GlinttDCMBroker</mstns:localAE>
4     <mstns:localPort>501</mstns:localPort>
5     <mstns:StorageLocation>Received\</mstns:StorageLocation>
6   </mstns:DICOMConfiguration>
7   <mstns:ReceiveWorkFlow>
8     <mstns:DICOMOrigin>GINKGO</mstns:DICOMOrigin>
9     <mstns:Validator>
10      <mstns:ValidationUnityName>EntidadeValidacaoCPC</mstns:ValidationUnityName>
11    </mstns:Validator>
12    <mstns>Action>
13      <mstns>ActionUnityName>SendToPACS</mstns>ActionUnityName>
14      <mstns:SendToPACS>
15        <mstns:remoteAE>ClearCanvasWS</mstns:remoteAE>
16        <mstns:remoteHost>127.0.0.1</mstns:remoteHost>
17        <mstns:remotePort>104</mstns:remotePort>
18      </mstns:SendToPACS>
19    </mstns>Action>
20  </mstns:ReceiveWorkFlow>
21 </mstns:ReceiveModule>
```

Código 4.1: Exemplo do XML utilizado para a configuração do *Broker*

Neste ficheiro de configuração representado no código 4.1 para além dos parâmetros de configuração iniciais do *DICOMBroker* (secção do XML *DICOMConfiguration*), estão também definidos qual o fluxo que os dados devem ter, bem como qual a entidade que os irá validar e qual a ação que deve ser tomada após a transferência terminar.

Na figura 4.1 é feito o paralelismo entre o ficheiro de configuração e o fluxo de processo resultante. O fluxo do processo faz-se na direção das setas representadas na imagem. O processo inicia-se com uma solicitação externa ou interna para envio de imagens médicas para o DICOM Broker. O processo definido no ficheiro de configuração determina que o responsável pela validação é a entidade denominada na aplicação por “EntidadeValidaçãoCPC” e, por fim, é iniciada a ação responsável por encaminhar as imagens médicas, neste caso para um PACS chamado “ClearCanvasWS”.

## Implementação

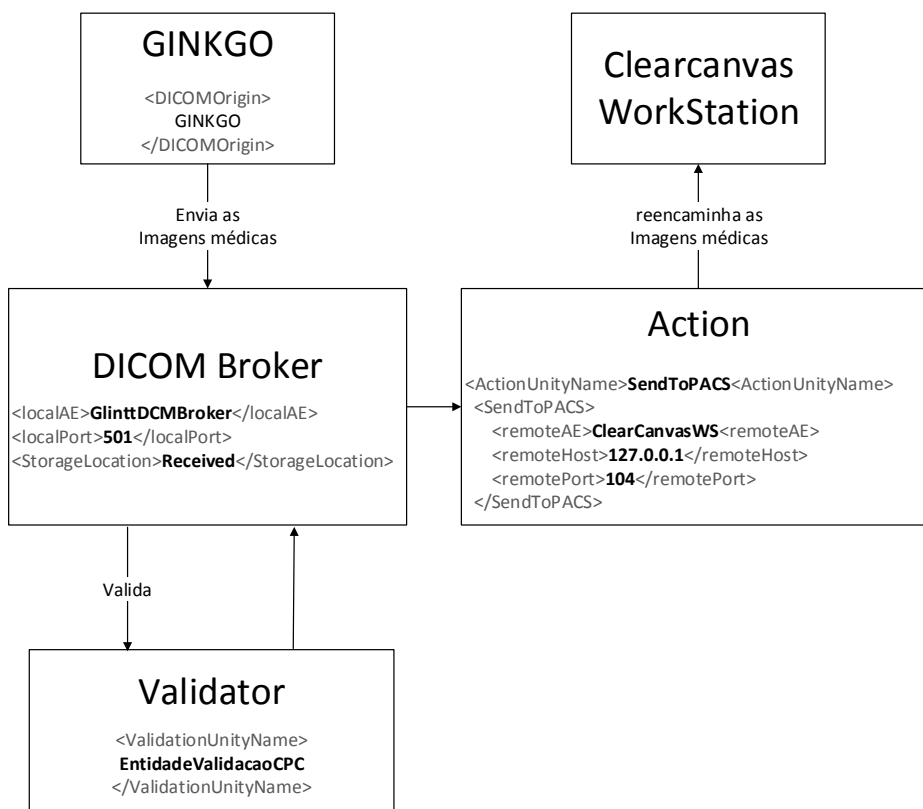


Figura 4.1: Representação do fluxo de envio presente no XML de configuração do DICOMBroker

### 4.1.2 Comunicação

O *DICOMBroker* fica disponível para outras aplicações se tentarem associar. Após receber um pedido de associação, o *Broker* verifica se o remetente da mensagem é conhecido, ou seja, se é autorizado, e valida as permissões do remetente. Este módulo deve estar sempre disponível para o exterior da instituição de forma a que todos os pedidos possam ser processados.

### 4.1.3 Processo de Associação

O principal objetivo do protocolo de associação é assegurar que duas aplicações DICOM (AEs) são compatíveis e que transferem informação num formato e ordem bem definidos.

De uma perspetiva de rede, as associações DICOM fornecem um mecanismo mais indicado para a transmissão de mensagens DICOM. O protocolo TCP/IP processa o envio dos dados de um dispositivo para o outro, mas não toma decisões nem tem conhecimento do formato dos dados. As funcionalidades do TCP/IP foram estendidas de forma a satisfazer as necessidades do protocolo DICOM. As associações previstas no *standard* DICOM tornam o TCP/IP capaz de reconhecer e lidar com objetos e comandos DICOM.

## Implementação

Uma associação DICOM é um processo comum de todos os serviços DICOM e deve ser aberta antes de qualquer comando ser enviado. Para que duas aplicações consigam comunicar entre si é necessário um processo de negociação. A associação é sempre o primeiro processo, que ocorre antes de qualquer transação DICOM e está dividida em duas fases. A primeira fase é a negociação e a segunda fase é o período onde se realiza a transferência dos dados.

Durante a primeira fase, o processo de negociação, a entidade que pretende fazer a conexão cria um *presentation context* onde identifica serviços DICOM que pretende utilizar. A outra entidade avalia essa lista de serviços e responde com os que aceita e com os serviços que recusa para essa associação, até ambas as partes chegarem a um acordo. Caso contrário, a entidade pode rejeitar a associação. Durante este processo de negociação, é negociada também qual a sintaxe de transferência a ser utilizada para o envio dos dados.

Se essa associação for aceite as aplicações podem trocar dados conforme acordado no processo de negociação. Assim que todas as imagens médicas forem transferidas é feito um pedido para terminar a conexão entre ambas as aplicações.

### 4.1.3.1 *Transfer Syntax*

*Transfer Syntax* define um conjunto de regras que permite que aplicações DICOM negociem os métodos de codificação aplicados no conjunto de dados transferido. Entre os elementos de codificação definidos pela sintaxe de transferência estão a estrutura dos elementos de dados, a ordenação de bytes e se foi aplicado algum algoritmo de compressão nas imagens médicas a transferir.

Existem três sintaxes sem compressão que definem a *byte order*, sendo elas:

- *Implicit VR Little Endian* - possui o identificador único “1.2.840.10008.1.2” e é a sintaxe definida por defeito para a realização de transferências DICOM;
- *Explicit VR Little Endian* - possui o identificador “1.2.840.10008.1.2.1” e a mesma sintaxe que a anterior, com a diferença de incluir os tipos VR nos objetos DICOM;
- *Explicit VR Big Endian* - possui o identificador “1.2.840.10008.1.2.2”. É idêntico à sintaxe anterior mas utiliza a ordenação de *bytes big-endian*. Esta sintaxe é já pouco utilizada hoje em dia.

DICOM define uma *Transfer Syntax* por defeito que é “*Implicit VR Little Endian Transfer Syntax* (UID = “1.2.840.10008.1.2”)”, e deve ser suportada por todas as implementações em conformidade com o *standard*. Isto implica que se uma aplicação receber um pedido de *A-ASSOCIATE* deve pelo menos oferecer esta sintaxe como forma possível para a transferência dos dados.

Existem ainda outras sintaxes afetas à compressão das imagens suportadas pelo *standard*, usando o método *JPEG*. As variantes mais relevantes são as seguintes:

- *DICOM explicit JPEG baseline 8-bit Lossy compression* (1.2.840.10008.1.2.4.50);
- *DICOM explicit JPEG baseline 12-bit Lossy compression* (1.2.840.10008.1.2.4.51);



## Implementação

- *DICOM explicit JPEG baseline Lossless compression* (1.2.840.10008.1.2.4.57);
- *DICOM JPEG-LS Lossless compression* (1.2.840.10008.1.2.4.80);
- *DICOM JPEG-LS Near-Lossless compression* (1.2.840.10008.1.2.4.81);
- *DICOM JPEG2000 Lossless compression* (1.2.840.10008.1.2.4.90);
- *DICOM JPEG2000 Lossy compression* (1.2.840.10008.1.2.4.91).

Todas estas sintaxes têm como base *Explicit VR Little Endian* e implementam diferentes algoritmos de compressão de imagens. No caso do remetente utilizar uma sintaxe de transferência com recurso a compressão e a AE que recebe essas imagens médicas não suportar esse algoritmo de compressão, ambos utilizam a sintaxe “1.2.840.10008.1.2” (sintaxe de transferência por defeito) para a transferência das imagens sem a utilização de compressão.

Existem sintaxes de transferência privadas que, em teoria, só podem ser entendidas pelos dispositivos do mesmo fabricante e serão rejeitadas por outros. Isto faz com que a sintaxe “1.2.840.10008.1.2”, para além de sintaxe por defeito, seja também a mais usada.

As sintaxes de transferência são usadas em praticamente todas as transações DICOM. Estas asseguram total compatibilidade e mantêm o sistema livre de incorreções ou erros que poderiam eventualmente ocorrer durante o processo.

## 4.2 *ValidationModule*

Um dos principais objetivos é interligar instituições de saúde e criar ferramentas que as ajudem a cooperar. Porém, manter a consistência dos dados entre instituições para que as imagens médicas partilhadas continuem a ter significado na entidade de destino das informações é um dos desafios para conseguir essa cooperação.

Para isso ser possível foi criado um módulo para validar as imagens médicas antes de estas serem integradas na instituição de destino. Por exemplo, um utente pode ter um *Patient ID* diferente em diferentes instituições, dado que o preenchimento desses dados não é normalizado. Esse foi o caso prático usado durante o desenvolvimento mas o módulo está preparado para ser expandido e realizar validações de outros tipos consoante a necessidade.

De modo a manter a uniformidade entre as classes de validação e regulamentar a implementação de futuras classes, foi criada uma interface com o nome *IValidationEntity* (figura 4.2). Esta interface exige que seja implementado o método *IsValid()*, que recebe uma imagem médica e deve responder “verdadeiro” ou “falso”, se a imagem for válida ou não, respetivamente.

## Implementação

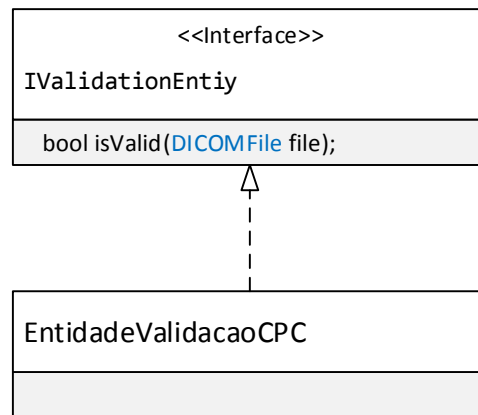


Figura 4.2: Interface *IValidationEntity*

Na figura 4.3 é mostrado o processo geral da validação das imagens em contexto com os restantes módulos.

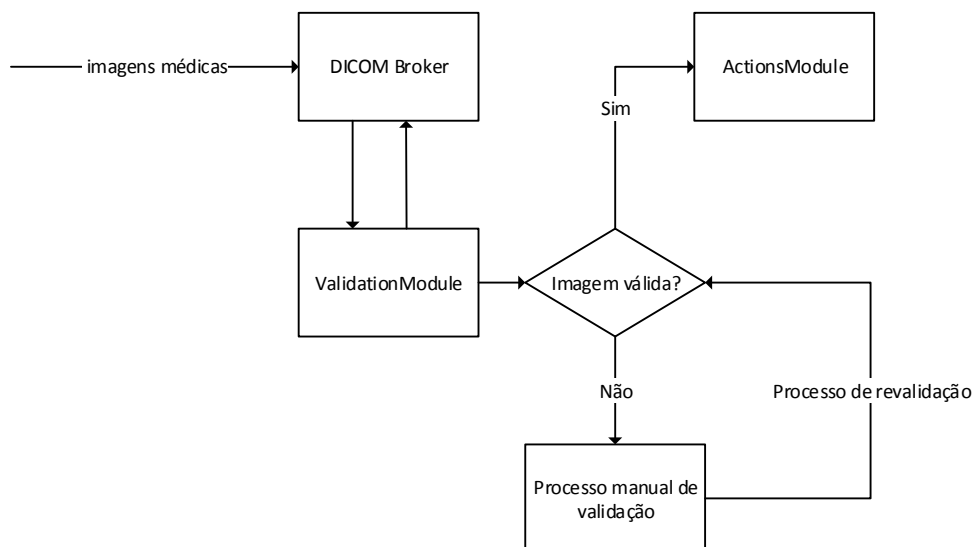


Figura 4.3: Processo de validação

Assim que o módulo valide as imagens médicas, estas serão enviadas para o *DICOMBroker* que se encarrega de fazer o envio para a instituição de saúde que está definida no ficheiro de configuração. Caso a imagem médica não seja validada, esta não é integrada no PACS e fica a aguardar por uma validação manual. Esta validação concretiza-se numa aplicação *web* preparada para o efeito que consiste na alteração dos dados de uma série de imagens médicas, de forma a que

a informação esteja de acordo com o restante sistema e permita passar o processo de validação. Por consequência, quando a validação é bem sucedida, essas imagens são integradas no PACS.

### 4.3 *ActionsModule*

Para a aplicação se tornar realmente dinâmica no que se refere ao seu funcionamento seria necessário que esta se fosse adaptando a múltiplas situações. Parte da resolução deste problema partiu pela criação de um módulo responsável pelas ações que a aplicação podia realizar.

Tendo em vista a adição de mais funcionalidades e de modo a manter a uniformidade entre as ações, foi criada uma interface com o nome *IAction* que as novas ações devem respeitar (Figura 4.4).

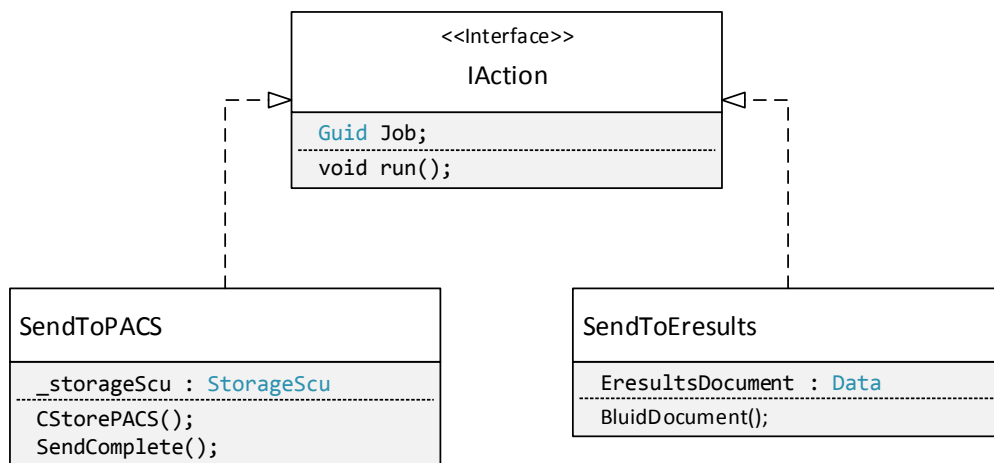


Figura 4.4: Interface *IAction*

Essas ações são instanciadas de forma dinâmica durante a execução da aplicação, com base nas definições declaradas no ficheiro de configuração do *DICOMBroker*.

```

1      ...
2      <mstns:DICOMOrigin>GINKGO</mstns:DICOMOrigin>
3      <mstns:Action>
4          <mstns:ActionUnityName>SendToPACS</mstns:ActionUnityName>
5          <mstns:SendToPACS>
6              <mstns:remoteAE>ClearCanvasWS</mstns:remoteAE>
7              <mstns:remoteHost>127.0.0.1</mstns:remoteHost>
8              <mstns:remotePort>104</mstns:remotePort>
9          </mstns:SendToPACS>
10     </mstns:Action>
11     ...
    
```

Código 4.2: Exemplo da configuração de uma ação

## Implementação

Como pode ser visto no excerto do ficheiro de configuração mostrado acima, o sistema deve reagir com a ação mencionada na *tag ActionUnityName* caso receba e conclua com sucesso uma receção de imagens médicas da origem referida na *tag DICOMOrigin*, e instanciar de forma automática a ação com os parâmetros descritos na sua secção do XML. Neste caso em concreto, como a ação é o envio das imagens para um PACS no XML estão mencionadas as configurações necessárias para que o envio das imagens médicas seja possível, como é o caso da *Application Entity*, o IP e porta do PACS de destino.

### 4.3.1 Actions

Uma ação é um ato ou comportamento da aplicação, que resulta como resposta a um estímulo. O estímulo é um agente que desencadeia todo um processo. Por exemplo, o estímulo de receber imagens médicas de uma determinada origem desencadeia uma ou mais ações. As ações a executar podem variar, sendo previamente definidas em conformidade com determinado estímulo.

De forma a adaptar a aplicação às necessidades, podem ser desenvolvidas novas ações e assim mudar o seu comportamento. Para este projeto foram desenvolvidas duas ações, uma com a função de envio das imagens médicas para PACS de outras instituições, denominada *SendToPACS*, e outra cujo papel era a integração com uma aplicação *web* da empresa para consulta e manipulação de MCDTs (Meios Complementares de Diagnóstico e Terapêutica).

Antes de instanciar uma ação, o *DICOMBroker* cria uma fila com as imagens médicas que serão afetadas por essa mesma ação. Essa fila é denominada por *job*. Uma única transação pode criar vários *jobs* da mesma *action* ou não.

É criado um *job* por cada *action*, ou seja, se um pedido ao *DICOMBroker* originar duas ações, serão gerados dois *jobs*. Esta decisão foi tomada para que cada *job* seja independente. Caso esta premissa não fosse assumida, duas ações que partilhassem o mesmo *job* falhariam, se pelo menos uma delas falhasse.

Se em alguma circunstância ocorrer uma qualquer falha como, por exemplo, a indisponibilidade da ligação a um servidor que está em manutenção ou desligado, este *job* fica em estado pendente e pode ser iniciado posteriormente. Este procedimento garante que o processo não se perca, sendo este apenas interrompido.

#### 4.3.1.1 Envio de imagens

O envio das imagens para o PACS é da inteira responsabilidade da ação *SendToPACS*. Esta ação implementa o serviço *C-Store* do *standard* DICOM, o que permite à aplicação o envio das imagens médicas para um PACS e que este as integre e armazene. Este processo de envio é assegurado pelo *standard* DICOM que implementa estas comunicações.

## Implementação

```
1 StorageScu _storageScu = new StorageScu(localAE, remoteAE, remoteHost, remotePort);
2 _storageScu.ImageStoreCompleted += new EventHandler<StorageInstance>(
    storageScu_StoreCompleted);
3 _storageScu.AddFile(pathFile);
4
5 IAsyncResult asyncResult = _storageScu.BeginSend(new AsyncCallback(SendComplete),
    _storageScu);
```

Código 4.3: Exemplo do envio de uma imagem médica

Para a realização de um *C-Store* é necessário saber algumas informações sobre o destino das imagens, como o AE, o endereço de IP e a porta do PACS. Esse é o primeiro passo mostrado no código 4.3 e de seguida é associado um evento para a aplicação tomar conhecimento que o envio terminou. O próximo passo é adicionar ao comando a informação de quais as imagens que devem ser enviadas e, por fim, é feito o envio assincronamente, de forma a não prejudicar a capacidade de resposta da aplicação.

### 4.3.1.2 Envio para o eResults

Uma outra ação adicionada à aplicação foi a capacidade de integração com o eResults.

O eResults é uma aplicação da Glintt HealthCare Solutions, que é responsável pela gestão documental e cujo objetivo é a centralização numa aplicação dos dados relativos aos resultados de exames, vindos das diferentes aplicações que atuam nas diversas áreas de um hospital.

A integração do DICOM Server com esta aplicação tem como principal objetivo associar as imagens médicas aos relatórios de exames, como método auxiliar de diagnóstico clínico. A associação das imagens médicas ao seu relatório clínico emitido pelos profissionais de saúde competentes é uma funcionalidade importante e vantajosa do ponto de vista organizacional da informação partilhada entre instituições de saúde.

### 4.3.2 Fluxo de dados do *ActionModule*

A arquitetura da aplicação foi desenhada para suportar várias *actions* e criar instâncias das mesmas de forma dinâmica, com recurso a um ficheiro de configuração. O fluxo de dados do *ActionModule* é completamente personalizável, de forma a adaptar-se às necessidades e fluxos de trabalho já implementados nas instituições de saúde. Assim, se uma dada instituição pretender introduzir novas ações exclusivas e mais adequadas à sua realidade, sempre que necessário, poderá colocá-las em prática referindo essas novas ações no ficheiro de configuração da aplicação, o que mudará o seu comportamento e o fluxo de trabalho.

Na figura 4.5 pode ver-se o processo de ações executado pela aplicação.

## Implementação

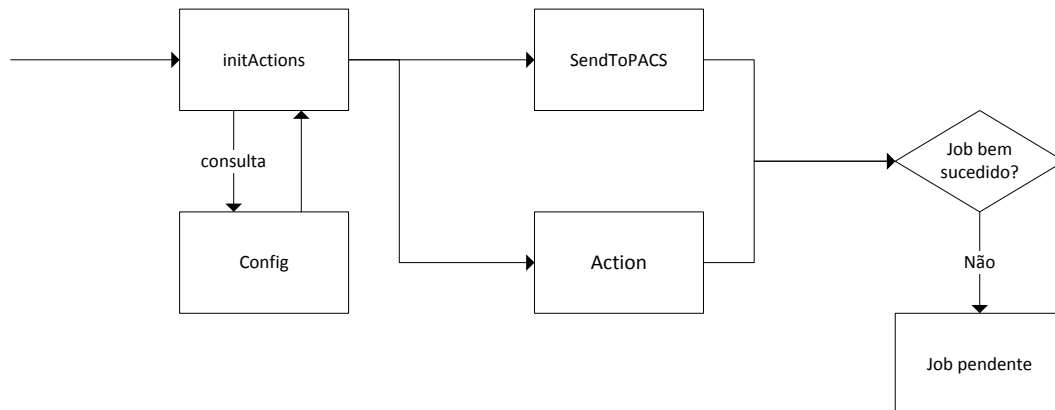


Figura 4.5: Fluxo do processo de ações

Assim que o *DICOMBroker* termina a recepção das imagens médicas, envia a ordem para iniciar o *ActionModule* que consulta as configurações, instancia as *actions* indicadas no ficheiro e cria um *job* por cada tarefa. Em caso de falha, esse *job* é colocado na fila de *jobs* pendentes.

### 4.4 QueryModule

Cada vez mais existe uma movimentação de pacientes entre instituições de saúde, existindo muitas vezes exames que são solicitados a instituições de saúde externas, por incapacidade de resposta ou por falta de equipamento [KDG<sup>+</sup>12]. Esta situação determina a necessidade da criação de um mecanismo automático de obtenção destes exames para que estes sejam integrados previamente no PACS da instituição de saúde. Esta deliberação cria assim a vantagem de garantir que o exame é integrado no sistema da instituição que o solicitou com uma latência máxima que é definida na aplicação. Este sistema dispensa a exigência da partilha manual das imagens médica.

Ao contrário do *DICOMBroker* que tem um comportamento passivo, o *QueryModule* tem um comportamento ativo na aplicação. As suas funções partem por pesquisar imagens médicas em PACS externos e verificar a disponibilidade de um exame médico anteriormente requerido assim como a solicitação do seu envio, sendo pois um elemento de extrema importância para conseguir um processo completamente automático na partilha de imagens médicas entre instituições.

Este processo é realizado de forma periódica, em intervalos definidos no ficheiro de configuração da aplicação. Pode ser, por exemplo, executado semanalmente, diariamente ou com periodicidades menores, como horas minutos ou mesmo segundos.

```
1 <mstns:Query>
2   <mstns:PoolingIntervalInSeconds>43200</mstns:PoolingIntervalInSeconds>
3   <mstns:QueryGenerator>
```

## Implementação

```
4 <mstns:QueryGeneratorUnityName>QueryGenUnity</mstns:QueryGeneratorUnityName>
5 </mstns:QueryGenerator>
6 <mstns:DICOMDestiny>Destiny</mstns:DICOMDestiny>
7 <mstns:DICOMConfiguration>
8 <mstns:localAE>localAE</mstns:localAE>
9 <mstns:localPort>104</mstns:localPort>
10 <mstns:StorageLocation>\Location</mstns:StorageLocation>
11 </mstns:DICOMConfiguration>
12 <mstns:Validator>
13 <mstns:ValidationUnityName>ValidatorUnityName</mstns:ValidationUnityName>
14 </mstns:Validator>
15 <mstns:Action>
16 <mstns:ActionUnityName>ActionName</mstns:ActionUnityName>
17 <mstns:ActionName >
18 <mstns:remoteAE>configExemplo</mstns:remoteAE>
19 <mstns:remoteHost>configExemplo</mstns:remoteHost>
20 <mstns:remotePort>configExemplo</mstns:remotePort>
21 </mstns:ActionName >
22 </mstns:Action>
23 </mstns:Query>
```

Código 4.4: Exemplo do ficheiro para configuração do *QueryModule*

O XML anterior 4.4 é um exemplo de uma configuração do *QueryModule*. Nele ficam definidos a periodicidade com que será feita a pesquisa das imagens médicas assim como a classe responsável por gerar os termos de pesquisa, a instituição que será questionada e o fluxo dos dados, ou seja, qual a entidade que os vai validar e qual a ação que o *DICOMBroker* vai executar. As pesquisas podem ser ajustadas a diferentes necessidades por parte das instituições, para isso é necessário a criação de especificações neste módulo.

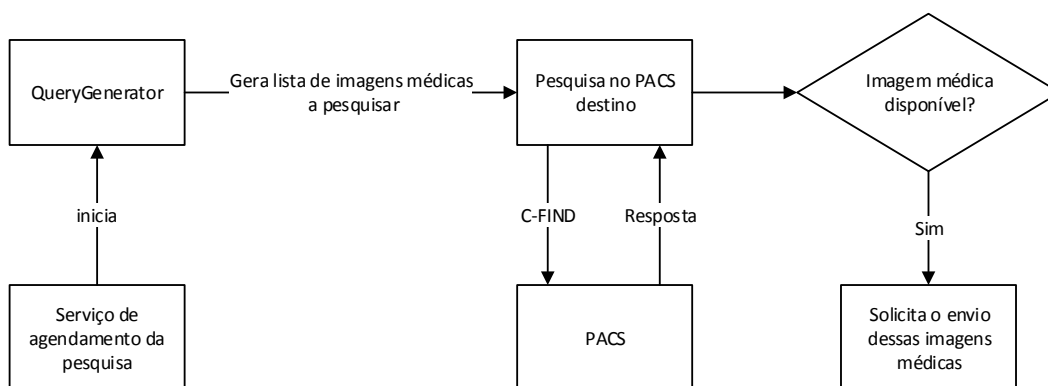


Figura 4.6: Fluxo de processo do *QueryModule*

#### 4.4.1 Aquisição de imagens

A aquisição automática de imagens médicas foi implementado utilizando os serviços do *standard* DICOM e está dividida em duas fases: a pesquisa e o pedido de envio da imagem por parte do PACS. O primeiro passo realizado pela aplicação para a aquisição de imagens é a criação de uma lista com os exames que devem ser pesquisados. Essa lista é fornecida através de registos de alocações de exames registados, e funciona como *input* para o processo seguinte, a pesquisa.

A pesquisa de imagens médicas pode ser feita a partir de dois níveis iniciais referentes à hierarquia de informação DICOM (Figura 2.2), ao nível do paciente ou ao nível do estudo. Cada nível define quais os termos de pesquisa que podem ser utilizados para refinar os resultados.

Na fração de código 4.5, é mostrado um exemplo de como é feita uma pesquisa a um PACS. Nessa pesquisa podem ser definidos vários parâmetros como, por exemplo, o *PatientId*, o *Patient-Name*, entre outros. Esta ação de pesquisa traduz-se num comando DICOM chamado *C-Find*.

```

1 PatientRootFindScu findScu = new PatientRootFindScu();
2 PatientQueryIod queryMessage = new PatientQueryIod();
3 queryMessage.QueryRetrieveLevel = QueryRetrieveLevel.Study;
4 queryMessage.SetCommonTags();
5 queryMessage.PatientId = "ExemploPatientID";
6
7 IList<PatientQueryIod> results = findScu.Find("DicomBroker", "DicomUK", "
  87.106.65.167", 104, queryMessage);

```

Código 4.5: Exemplo de uma pesquisa

Após a pesquisa no servidor PACS, a próxima operação a realizar é o pedido de envio desses exames. Para isso, é preciso enviar um comando *C-Move*, comando esse que envia a ordem ao PACS para que este proceda ao envio das imagens médicas solicitadas para um determinado AE. Apenas o AE é enviado para o PACS e isto implica que a aplicação seja conhecida pelo PACS e que este tenha conhecimento das restantes configurações necessárias para o envio, bem como o IP e a porta da aplicação.

```

1 Network.Scu.MoveScuBase moveScu = new Network.Scu.StudyRootMoveScu("DICOMBroker", "
  DicomUK", "87.106.65.167", 104, "DICOMBroker");
2 moveScu.AddStudyInstanceUid(studyInstanceUid);
3 moveScu.Move();

```

Código 4.6: Exemplo da solicitação de um estudo

No código anterior é possível ver a construção de um comando *C-Move* para a aquisição de um estudo. O identificador do estudo mencionado como *studyInstanceUid* deve ser pedido previamente pelo processo de pesquisa e deve ser associado ao pedido de *C-Move* por parte da aplicação. A partir do momento que este comando é executado, a transferência do estudo pedido é iniciada.



## 4.5 Instanciação automática de *Actions* e *ValidationEntities*

A instanciação automática de classes torna a aplicação bastante dinâmica e permite que o seu comportamento seja alterado apenas mudando o ficheiro de configuração da aplicação. A *Unity* simplifica o processo de criação de objetos e aumenta a flexibilidade no desenvolvimento de aplicações modulares.

Aquando do arranque da aplicação são injetadas duas interfaces no *Unity Application Block container*: *IAction* e a *IValidationEntity*.

No excerto de código 4.7, podemos ver como é feito o registo das classes no *Unity*. Primeiro deve ser criado um *container*, que é o componente principal da *Unity*, e nele estão contidos todos os mapeamentos de interfaces. Em segundo lugar, para criar um registo no *container* deve ser usado o método *registerType*, especificando qual a interface e a classe que devem ficar associadas como se pode verificar nas linhas 3, 4 e 5 do código 4.7.

```

1 IUnityContainer container = new UnityContainer();
2
3 container.RegisterType<DicomServerApp.BaseInterfaces.IAction, SendToPACS>("
   SendToPACS");
4 container.RegisterType<DicomServerApp.BaseInterfaces.IAction, SendToPACS>("
   SendToEResults");
5 container.RegisterType<DicomServerApp.BaseInterfaces.IValidationEntity,
   EntidadeValidacaoCPC>("EntidadeValidacaoCPC");

```

Código 4.7: Injeção de dependências

A instanciação dinâmica de ações é possível recorrendo às capacidades da *Unity Application Block*. Para tal, é pedido ao *container* que resolva a dependência da seguinte forma:

```

1 var action = container.Resolve<IAction>(ActionUnityName.toString());
2 action.run();

```

Código 4.8: Instanciar ações de forma dinâmica

No segmento de código 4.8 pode observar-se o procedimento de *injection* para obtenção de uma classe que implemente a interface *IAction*. Neste caso, como existem várias classes que implementam esta interface, é fornecido um parâmetro que permite à *Unity* perceber qual a classe que deve devolver. O parâmetro fornecido é o nome da classe e é obtido através do ficheiro de configuração. A *Unity* permite, desta forma, mudar o comportamento da aplicação simplesmente através de configurações e sem a necessidade da alteração de código.

## 4.6 Aplicação Web

Dado que a aplicação é transparente para o utilizador, foi fundamental desenvolver uma interface gráfica para dar suporte à aplicação e, simultaneamente, dar conhecimento ao utilizador dos processos por ela efetuados.

Além disso, havia a necessidade de complementar o *ValidationModule* de forma a que o utilizador visualizasse as imagens médicas que falharam o processo de validação e as pudesse validar manualmente. Para que isso aconteça, o utilizador deve alterar os dados que impedem que a imagem seja validada. Por exemplo, se o *PatientID* de uma determinada imagem médica não for válido, o utilizador pode, através do *website*, alterá-lo e assim dar seguimento ao processo de integração da imagem no PACS.

Outras funcionalidades úteis para o controlo do processo de envio e a verificação de erros foram adicionadas ao *website* posteriormente. Uma destas funcionalidades é a possibilidade de o utilizador retomar tarefas de envio pendentes devido a uma eventual falha durante a execução de uma *action*, garantindo que o facto dessa interrupção ter ocorrido não prejudique a entrega das séries.

Ao longo de toda a aplicação é registado o estado das operações para possibilitar a monitorização e a resolução de problemas. O utilizador pode, através do *website*, consultar os processos que foram concluídos com êxito mas também os processos que falharam, ficando a conhecer mais detalhes sobre o erro e permitindo-lhe, assim, tomar decisões mais acertadas durante a resolução dos mesmos. O utilizador pode ainda filtrar os erros por categoria ou pesquisar por qualquer campo associado à imagem médica que pretende.

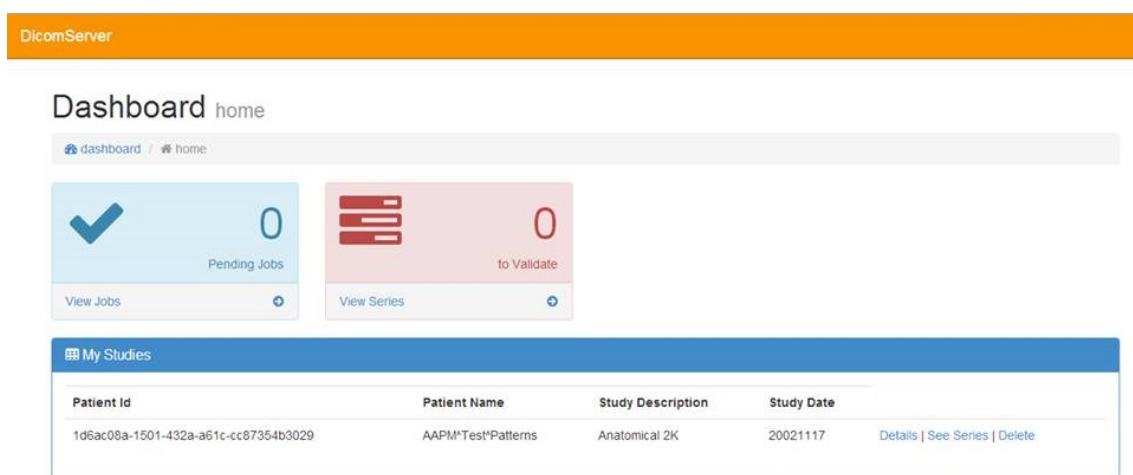


Figura 4.7: Imagem de ecrã da aplicação *web*

## 4.7 Base de dados

Para o controlo e armazenamento das informações relevantes no contexto da aplicação, era fundamental o recurso a uma base de dados adequada. Para esse efeito, procedeu-se ao desenvolvimento de uma base de dados Oracle escolhida com base em critérios predefinidos.

A estrutura em que esta base de dados assenta foi pensada para respeitar a hierarquia dos documentos DICOM (Figura 2.2). Ou seja, a um paciente podem estar associados vários estudos, os quais podem englobar várias séries, que podem, por sua vez, conter múltiplas imagens médicas.

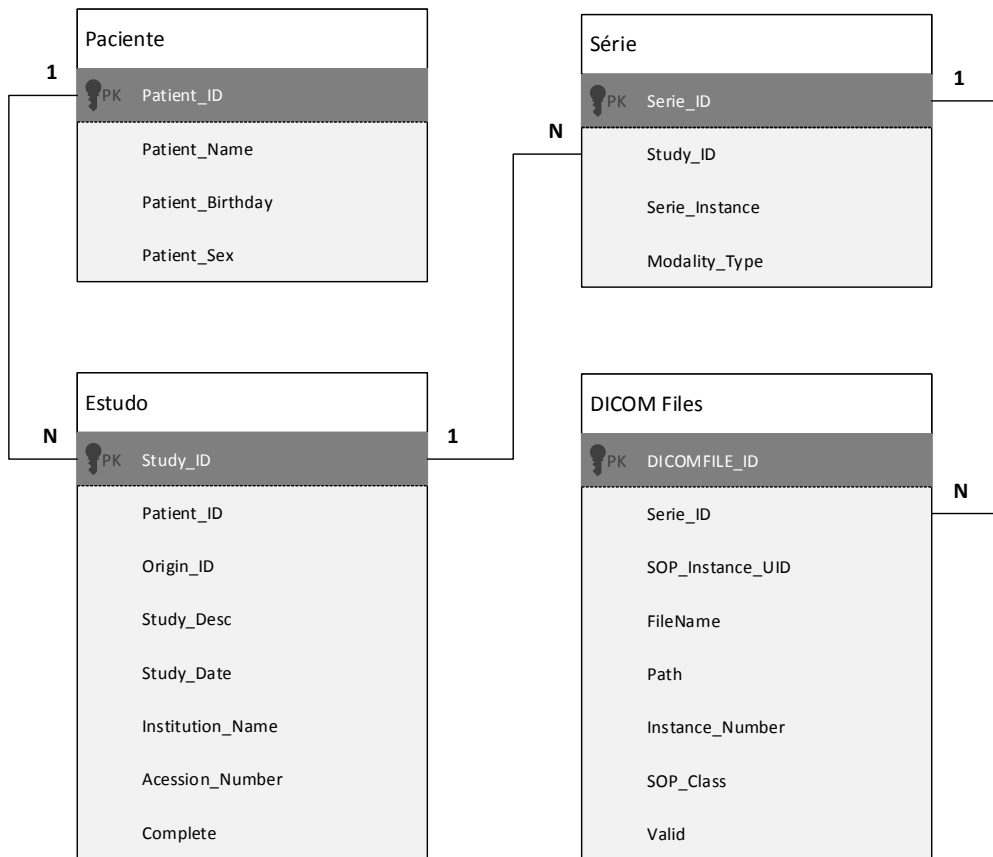


Figura 4.8: Estrutura base da base de dados

Ao longo do seu desenvolvimento, a base de dados foi sendo expandida para dar resposta a outras funcionalidades necessárias, como a validação, o controlo do fluxo de envio, e armazenamento da metainformação, relativos às imagens médicas. A adição de novas funções fez com que ao esquema inicial da base de dados fossem acrescentadas as tabelas presentes na figura 4.9.

## Implementação

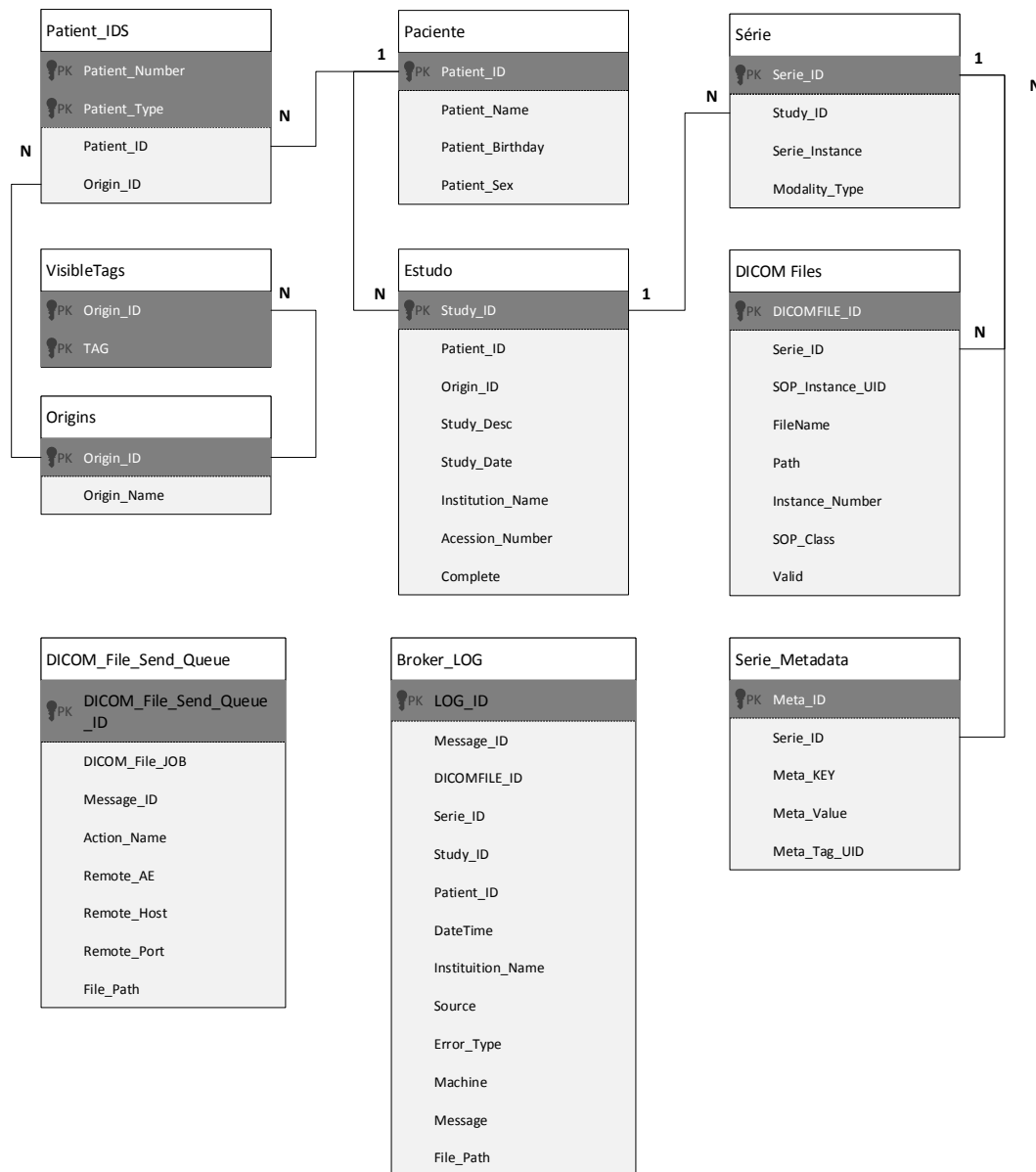


Figura 4.9: Estrutura total da base de dados

A tabela *ValidationEntity* é responsável pelo registo das imagens médicas que falharam a validação. Por outro lado, a tabela denominada por *DICOMFileSendQUEUE* é responsável pelo controlo de fluxo de envio das imagens médicas, e contém o registo do conjunto de imagens que devem ser enviadas em conjunto. A *SerieMetadata* é a tabela responsável pelo registo da metainformação contida em cada série de imagens médicas, e possibilita a pesquisa da informação das séries sem ter de recorrer aos ficheiros originais das imagens médicas. São ainda armazenados pela base de dados os registos da monitorização e de erros da aplicação.

## 4.8 Monitorização de erros

Todo o *software* é sujeito a erros e falhas durante o seu funcionamento. A monitorização constante e recolha de informação relevante para a recuperação e evolução do sistema é de grande importância e pode ser vital em caso de falha ou erro crítico do sistema. Para obter um registo relevante, é essencial conseguir detalhar e relacionar os acontecimentos durante a execução da aplicação. Este detalhe pode permitir a otimização da resolução dos erros verificados.

Os registos feitos pela aplicação são categorizados em quatro tipos, nomeadamente, “informação”, “sucesso”, “perigo” e “erro”, de modo a ser mais fácil e eficiente a leitura e filtragem da natureza da informação. É feito ainda um agrupamento das informações registadas, com base no *messageID*, que é único por associação ou *job*. A anexação dos registos é vantajosa por permitir seguir o processo passo a passo e perceber qual a origem do problema.

## 4.9 Sumário

Neste capítulo, foi apresentada uma solução que permite a comunicação entre instituições de saúde, tirando partido dos serviços disponibilizados pelo *standard* DICOM. Foram detalhadas as funcionalidades de comunicação desenvolvidas, assim como os procedimentos para encaminhamento e aquisição automáticos de imagens médicas.

A arquitetura proposta permite que a aplicação seja bastante dinâmica, conferindo-lhe a capacidade de adaptação a futuras necessidades que possam surgir.

## Implementação

## Capítulo 5

# Testes e Resultados

Este capítulo destina-se à apresentação dos testes realizados ao funcionamento dos módulos e teste de compatibilidade da aplicação com PACS existentes no mercado.

### 5.1 Testes ao software

Para validar a aplicação era essencial testá-la em cenários semelhantes àqueles a que esta será submetida em contexto real.

Foram realizados testes às funcionalidades principais desenvolvidas durante a dissertação, sendo elas, o encaminhamento de imagens médicas e a aquisição automática das mesmas.

Realizou-se testes de compatibilidade com outros sistemas PACS, de forma a validar o uso do *standard* DICOM, testes de sistema, assim como foram avaliados os tempos de duração das atividades principais da aplicação.

### 5.2 Imagens médicas utilizadas

Para a realização dos testes à aplicação, era necessário a utilização de imagens médicas. As imagens médicas usadas para testes foram as mais variadas, de modo a garantir que a solução estava preparada para comunicar nas várias modalidades de exame e sintaxes de transferência suportadas pelo *standard* DICOM.

Essas imagens foram obtidas através de repositórios abertos para efeitos de investigação. Foram usados 5 estudos distribuídos por 12 séries que continham no total 1104 imagens médicas de diversas modalidades de exames, como mamografia (MG), tomografia computadorizada (CT) e uma modalidade especificada como *Other* (OT), de maneira a cobrir vários cenários.

Modalidade	Séries	Nº de imagens	Tamanho total do estudo (MB)
MG	1	1	5.9
OT	1	2	16
CT	2	32	16.3
CT	1	361	181
CT	7	708	359

Tabela 5.1: Imagens usadas para testes

O tamanho das imagens médicas utilizado varia consoante a modalidade de exame, razão pela qual existem disparidades entre o número de imagens e o tamanho total do estudo.

### 5.3 Testes de compatibilidade

Para efeitos de testes de compatibilidade com PACS existentes no mercado, foram escolhidos dois softwares distintos de forma a confirmar que a aplicação desenvolvida era capaz de interagir com outras aplicações DICOM. Um dos critérios para a escolha dos PACS foi o facto destes poderem mimetizar a utilização da aplicação no mundo real de forma mais autêntica, uma vez que são usados pela indústria atualmente.

Os PACS escolhidos para o efeito foram:

**Clearcanvas Workstation** - é desenvolvido pela empresa Clearcanvas desde 2008. Embora a utilização deste software não seja gratuita, foi utilizada a versão experimental, que se mostrou suficiente para os testes realizados. Este PACS é certificado para uso clínico nos Estados Unidos da América, Canadá e União Europeia.

**GINKGO CADx** - é desenvolvido pela empresa MetaEmotion Healthcare desde 2009. A versão *basic* é gratuita e compatível com a versão 3.0 do *standard* DICOM. Como base para o seu desenvolvimento, foi usada a biblioteca DCM4CHEE. Este PACS é também certificado pela União Europeia.

Para além destas soluções, foi utilizado um servidor público de DICOM *online*, chamado *Medical Connections DICOM Server* e localizado no endereço <http://www.dicomserver.co.uk/>. Este servidor é usado pela comunidade para efeitos de testes de interoperabilidade.

### 5.4 DICOM Server

Complementarmente aos testes de compatibilidade, foram ainda realizados testes ao tempo de execução das principais funcionalidades da aplicação. Como se tratam de transferências de imagens médicas, estes resultados estão fortemente relacionados com a velocidade da rede onde são executados.



### 5.4.1 Tempo de execução do encaminhamento

Para determinar o tempo de execução do encaminhamento de imagens médicas, foi criado um cenário (ver Figura 5.1) semelhante ao que acontecerá na realidade.

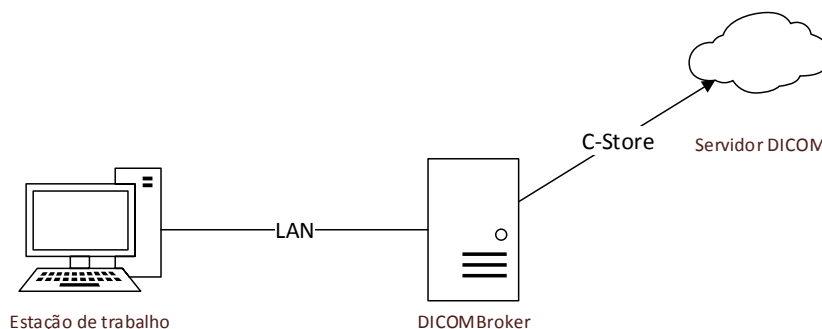


Figura 5.1: Cenário de execução do teste de encaminhamento de imagens médicas

Neste teste, foram utilizados dois computadores ligados na mesma rede. O PACS escolhido para o envio dos dados foi o Ginkgo, no qual foram introduzidas as imagens médicas referidas anteriormente. O outro computador estava a executar o DICOM Server com configurações para reencaminhar as imagens médicas para o servidor online “*Medical Connections DICOM Server*”. O tempo de execução obtido corresponde ao tempo de envio via LAN para o DICOMBroker mais o tempo de envio das imagens médicas para o servidor. Os testes foram executados duas vezes e os resultados apresentados na tabela 5.2 são a média do tempo de execução observado.

Modalidade	Séries	Nº de imagens	Tamanho total(MB)	Tempo de execução (seg)	Velocidade de transferência (Mb\seg)
MG	1	1	5.9	14.92 seg	3.16
OT	1	2	16	51.98 seg	2.46
CT	2	32	16.3	100.35 seg	1.30
CT	1	361	181	495.95 seg	2.91
CT	7	708	359	837.37 seg	3.43

Tabela 5.2: Tempo de execução do encaminhamento de imagens

Os resultados do tempo de execução encontram-se dentro do esperado, revelando-se satisfatórios. Verificou-se que o aumento da complexidade e número de imagens não implicou um acréscimo do tempo de execução. Isso mostra que o desempenho da aplicação é linear, que o seu tempo de execução se mostra constante e que não depende da complexidade do estudo, ao contrário do que se podia especular.

## Testes e Resultados

O facto do DICOMBroker esperar pela conclusão da transferência do estudo tem uma implicação no tempo total de execução. Esta decisão foi feita durante o desenvolvimento do projeto para garantir que, caso a conexão falhasse, o DICOMBroker não entregaria o exame de forma parcial. Apesar disso, os tempos estão dentro do esperado para as circunstâncias em que foi realizado.

O conjunto total das 1104 imagens médicas foram encaminhadas com êxito, pelo que se obteve uma taxa de sucesso de entrega de 100% para os testes realizados.

### 5.4.2 Tempo de execução das aquisições de imagens

Foi criado um segundo cenário (ver Figura. 5.2) de forma a estimar o tempo de execução de uma outra aplicação possível do DICOM Server, no mundo real.

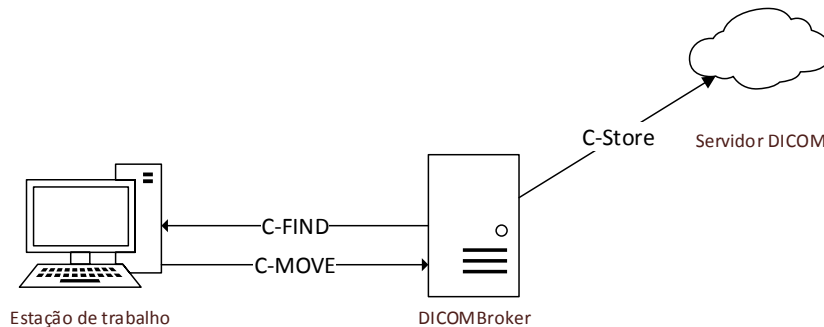


Figura 5.2: Cenário de execução do teste de aquisição de imagens

Este teste consiste na aquisição de imagens médicas de um PACS, a partir do *DICOMBroker*. De forma a utilizar o mesmo conjunto de exames, optou-se por realizar a aquisição em LAN e depois encaminhar esses mesmos exames para o servidor “*Medical Connections DICOM Server*”, à semelhança do primeiro teste. O PACS usado para este teste foi o ClearCanvas.

Modalidade	Séries	Nº de imagens	Tamanho (MB)	Tempo aquisição (seg)	Tempo encaminhamento (seg)
MG	1	1	5.9	12.20	20.53
OT	1	2	16	19.31	39.92
CT	2	32	16.3	20.87	33.36
CT	1	361	181	92.54	367.44
CT	7	708	359	336.09	737.07

Tabela 5.3: Tempos de execução da aquisição das imagens

O tempo de aquisição referido na tabela é o tempo de pesquisa somado com o tempo de envio das imagens do PACS para o DICOM Server. O tempo de encaminhamento refere-se ao tempo de envio das imagens adquiridas para o servidor online. Os tempos revelaram-se satisfatórios e dentro dos valores esperados. Como a operação de aquisição foi realizada dentro da mesma rede é normal e exetável que esses valores sejam inferiores ao tempo de execução do encaminhamento das imagens médicas. Notam-se diferenças entre os valores registados para o encaminhamento da tabela 5.2, devido ao facto desse valor ter sido registado pelo processo de receção e envio e, neste cenário, optou-se por dividir esse processo e avaliar assim o tempo demorado para a aquisição.

### 5.5 Testes de sistema

De modo a conseguir testar o sistema, recorreu-se ao uso de PACS de terceiros e conjuntos de imagens médicas mencionadas anteriormente. Foram montados alguns cenários de caso de uso para efeitos de testes e validação da aplicação.

**1º Teste** - Receber imagem médica com origem GINKGO, esta ser validada e a entrega ser executada com êxito.

**Pré-condições:**

A origem GINKGO deve ser conhecida pelo DICOMBroker.

O *PatientID* deve ser válido.

**Pós-condições:**

Os ficheiros DICOM devem estar armazenados no sistema de ficheiros.

A base de dados deve estar devidamente preenchida.

**Resultado do teste:**

Este teste foi realizado com sucesso, o exame foi recebido e armazenado corretamente.

**2º Teste** - Receber um estudo com origem GINKGO com um *PatientID* inválido.

**Pré-condições:**

A origem GINKGO deve ser conhecida pelo DICOMBroker.

**Pós-condições:**

O estudo deve ficar disponível na aplicação *web* para os dados serem alterados de forma a serem válidos.

**Resultado do teste:**

Este teste foi realizado com sucesso, o estudo foi recebido pelo DICOMBroker e armazenado com sucesso no sistema de ficheiros. O estudo falhou a validação do *PatientID*, como previsto, e ficou disponível no *website* para a validação manual.

**3º Teste** - Receber um estudo com origem GINKGO, este ser válido mas a entrega do estudo não ser concluída.

**Pré-condições:**

A origem GINKGO deve ser conhecida pelo DICOMBroker.

O *PatientID* do estudo deve ser válido.

**Pós-condições:**

Deve ser criado na base de dados um *Job* para retomar o envio das imagens médicas mais tarde.

**Resultado do teste:**

Este teste foi realizado com sucesso; o estudo foi recebido pelo *DICOMBroker* e armazenado com sucesso no sistema de ficheiros. A validação do estudo foi bem sucedida mas não conseguiu efetuar a ligação ao PACS de destino. O estudo ficou disponível no *website* para o reenvio.

## 5.6 Sumário

Neste capítulo foram apresentados e descritos os vários testes realizados à aplicação, assim como o tempo de execução das principais funções, de modo a fazer uma avaliação do seu desempenho global. Em termos de compatibilidade com duas soluções PACS, os resultados dos testes ao DICOM Server foram positivos. A aplicação é dotada da capacidade para comunicar e transferir dados sem dificuldades, tarefa essa que é determinante para o correto funcionamento da aplicação em contexto real e para o cumprimento dos objetivos propostos. Os resultados dos testes para o tempo de encaminhamento e aquisição das imagens foram satisfatórios, uma vez que se verifica que o tempo de execução está dentro do esperado para estas funcionalidades.

Através destes testes, apurou-se ainda que estes valores não variam significativamente com o aumento da complexidade do estudo, evidenciando assim uma linearidade na execução da aplicação. Durante os testes realizados, todos os estudos foram entregues à “instituição de destino” e a aplicação manteve-se estável durante todo o procedimento. Por fim, perante os resultados dos testes, pode-se constatar que a aplicação se afigura robusta, funcional e que responde aos requisitos idealizados inicialmente.

## Capítulo 6

# Conclusões e Trabalho Futuro

A Saúde é uma área bastante abrangente, importante e influente na vida das populações. Esta condiciona o dia a dia das pessoas que recorrem a estes serviços, quer públicos quer privados, e das instituições que os servem. Sendo parte essencial do funcionamento sócio-económico de um país, é uma área em constante evolução que procura ir de encontro às necessidades, sempre em progresso, das próprias ciências e tecnologias da saúde, como forma de promover o bem-estar físico, mental e social.

Em particular, a Imagiologia é uma área da Medicina de diagnóstico complementar que permite, através de meios e técnicas de diagnóstico por imagem, realizar exames radiográficos desde os mais simples até aos mais complexos. É de fundamental importância no apoio à decisão dos profissionais de saúde e, portanto, do diagnóstico e tratamento atempados das doenças dos utentes. A este nível, a tecnologia é uma poderosa aliada de ambos porque facilita a tomada de decisões e a rapidez dos processos envolvidos. Através da partilha dos estudos imagiológicos realizados entre vários corpos clínicos e várias instituições de saúde, a mobilidade dos utentes, a cooperação e celeridade no diagnóstico são alcançáveis. A grande maioria dos centros imagiológicos e instituições de saúde suportam o *standard* DICOM, pelo que a sua disseminação possibilita a interoperabilidade e comunicação entre os mesmos.

Ao longo desta dissertação foi estudada uma abordagem para solucionar a problemática relacionada com a comunicação e partilha de dados imagiológicos entre instituições de saúde, que na atualidade não é totalmente conseguida e ainda constitui um desafio. Através da aplicação informática desenvolvida neste âmbito, este problema foi minorado, dado que as funcionalidades implementadas se mostraram capazes de uma partilha eficaz, utilizando serviços incluídos no *standard* DICOM. Esta aplicação inclui ainda a vantagem adicional de reconhecer o *standard* já utilizado nas instituições de saúde e, desta forma, não impor a mudança de fluxos de trabalho ou aplicações nas mesmas. A arquitetura desenvolvida na aplicação permite adaptação e flexibilidade aos diversos meios em que possa ser implementada, constituindo assim uma vantagem do ponto de vista de personalização para cada entidade de saúde, adaptada aos seus conceitos e

gestão de dados. A solução desenvolvida para o encaminhamento e aquisição automáticos, com base em configurações pré-estabelecidas, são uma manifesta vantagem na agilização do processo, dispensando a intervenção do utilizador.

Num panorama geral, esta aplicação de encaminhamento e aquisição automáticos de imagens médicas pretende estabelecer uma crescente disseminação da prática de partilha de imagens médicas em Portugal e instituições de saúde que a Glintt HS possui como clientes, e dar conhecimento e expansão desta a um número mais alargado de instituições de saúde, tornando-as cooperantes.

### 6.1 Satisfação dos Objetivos

Os objetivos inicialmente propostos para esta dissertação foram cumpridos com sucesso. É possível, com recurso à aplicação, encaminhar e adquirir imagens médicas de forma simples, eficiente e eficaz, permitindo a interoperabilidade entre várias instituições de saúde.

De forma a criar uma maior confiança na aplicação, foi imprescindível a criação do módulo de validação das imagens médicas, com grande importância para a implementação do projeto, e que é, sem dúvida, uma vantagem na prevenção de possíveis equívocos na identificação dos utentes.

Devido à grande heterogeneidade do meio onde a aplicação irá operar, a criação de uma arquitetura capaz de crescer e de se adaptar foi alcançado com sucesso. O uso de interfaces para regulamentar a implementação de novas *Actions* e *ValidationEntities* e a utilização de injeção de dependências foram as soluções utilizadas que permitiram mudar o comportamento da aplicação sem a necessidade de alteração de código.

Como solução para a ausência de informação sobre os processos, foi desenvolvida uma aplicação *web*. Com recurso a esta interface, o utilizador pode visualizar e gerir os processos, ter conhecimento em quais a validação ou o envio falharam e assim intervir na resolução, minorando o problema. No caso de as imagens médicas não passarem a validação, o utilizador tem a capacidade de editar as informações nelas contidas e revalidar essas mesmas imagens ou, caso ocorra uma falha de envio, o utilizador ao tomar conhecimento, pode reenviar as imagens médicas para o PACS de destino.

A aplicação foi testada em vários cenários e, com base nos resultados obtidos, concluindo-se que o seu funcionamento foi satisfatório e correto, estando a aplicação apta a realizar as funções que lhe são inculcidas.

### 6.2 Trabalho Futuro

Como trabalho futuro, um dos aspetos da aplicação a melhorar é o sistema de validação manual. O cenário ideal seria que o sistema fosse capaz de modificar os dados que impedem, por falha na normalização, as imagens médicas de serem integradas no PACS. Neste momento, esta funcionalidade previne que possíveis exames possam criar conflitos com imagens médicas já inseridas no sistema, mas não atua de forma a que o problema seja resolvido. Evoluir o módulo de

## Conclusões e Trabalho Futuro

forma a que este seja capaz de tomar decisões ou sugestões de forma autónoma seria uma mais valia para o sistema.

Mais ainda, neste momento, a funcionalidade de reenvio de imagens médicas pendentes é feita de forma manual, sendo o utilizador o responsável por executar essa tarefa. Posteriormente, o ideal seria o sistema ir verificando a disponibilidade das entidades de destino, usando particularidades do *standard* para essa verificação e reiniciar o processo de envio assim que possível.

A privacidade, a autenticidade e a integridade dos dados são três fatores críticos no desenvolvimento de uma solução deste tipo, que não devem ser ignorados, no sentido de melhorar a qualidade da aplicação. A privacidade consiste em negar o acesso à informação a indivíduos não autorizados. A autenticidade refere-se à validação da fonte da mensagem e assegurar que os dados foram transmitidos por uma aplicação devidamente identificada. A integridade assegura que a informação não foi modificada acidentalmente ou deliberadamente no transporte, através de substituição, inserção ou eliminação [Zha08]. Assim, prevê-se de extrema importância para este projeto a inclusão de soluções de segurança para uma salvaguarda da transmissão de imagens médicas entre instituições. O uso de protocolos de encriptação como o *Secure Sockets Layer (SSL)/ Transport Layer Security (TLS) (Secure)* é uma possível abordagem para melhorar este aspeto.

Por outro lado, uma possível evolução das funcionalidades do sistema poderá partir da disponibilização destas imagens em dispositivos móveis devido à pertinência, utilidade e atualidade desta área. A criação de formas adequadas a um contexto de telemedicina seria igualmente interessante de explorar, de modo a possibilitar o acesso, diagnóstico e tratamento remotos de imagens médicas.

## Conclusões e Trabalho Futuro



# Referências

- [AAC<sup>+</sup>] Rob Abbott, Melliyal Annamalai, Fengting Chen, Dongbai Guo, Dong Lin, Susan Mavris, David Noblet, Yingmei Sun, Manjari Yalavarthy e Jie Zhang. Oracle multimedia DICOM developer's guide, 11g release 1 (11.1) b28416-03.
- [Ass09] National Electrical Manufacturers Association. Digital imaging and communications in medicine (dicom) part 1: Introduction and overview. 2009.
- [BH92] W Dean Bidgood e Steven C Horii. Introduction to the acr-nema DICOM standard. *Radiographics*, 12(2):345–355, 1992.
- [BHPS98] Jr. Bidgood, W.Dean, StevenC. Horii, FredW. Prior e DonaldE. Syckle. Understanding and using DICOM, the data interchange standard for biomedical imaging. In StephenT.C. Wong, editor, *Medical Image Databases*, volume 465 of *The Springer International Series in Engineering and Computer Science*, pages 25–52. Springer US, 1998. doi:10.1007/978-1-4615-5553-7\_2.
- [BLW13] Liliana BYCZKOWSKA-LIPIŃSKA e Agnieszka WOSIAK. Multimedia nosql database solutions in the medical imaging data analysis. 2013.
- [BMD<sup>+</sup>07] A.A.T. Bui, C. Morioka, J.D.N. Dionisio, D.B. Johnson, U. Sinha, S. Ardekani, R.K. Taira, D.R. Aberle, S. El-Saden e H. Kangarloo. opensourcepacs: An extensible infrastructure for medical image management. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 11(1):94–109, 2007. doi:10.1109/TITB.2006.879595.
- [Bri13] Laurel Bridge. Disponível em <http://www.roniza.com/>, acessado a última vez em 22 de Julho de 2013, 2013.
- [CBHJ82] J. R. Cox, G. J. Blaine, R. L. Hill e R. G. Jost. Study of a distributed picture archiving and communication system for radiology. pages 133–142, 1982. 10.1117/12.967635.
- [CFB<sup>+</sup>11] C. Costa, C. Ferreira, L. Bastião, L. Ribeiro, A. Silva e J. L. Oliveira. Dicoogle - an open source peer-to-peer pacs. *Journal of Digital Imaging*, 24(5):848–856, 2011.
- [CJS93] Zang-Hee Cho, Joie P Jones e Manbir Singh. *Foundations of medical imaging*. Wiley New York:, 1993.
- [Cle13] ClearCanvas. Disponível em <http://www.clearcanvas.ca/>", acessado a última vez em 22 de Julho de 2013, 2013.
- [COM11] EUROPEAN COMMISSION. ehealth benchmarking iii, 2011. URL: [http://ec.europa.eu/danmark/documents/alle\\_emner/sociale/110510\\_ehealth\\_report\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/danmark/documents/alle_emner/sociale/110510_ehealth_report_en.pdf).

## REFERÊNCIAS

- [Dic12] Dicoogle. Disponível em [www.dicoogle.com/](http://www.dicoogle.com/), acessido a última vez em 22 de Julho de 2013, 2012.
- [Dic13] DicomGrid. Disponível em <http://www.dicomgrid.com/>, acessido a última vez em 22 de Julho de 2013, 2013.
- [DR13] Dicom-RZDCX. Disponível em <http://www.laurelbridge.com/dcf.html>, acessido a última vez em 22 de Julho de 2013, 2013.
- [DS09] Dicom-Sharp. Disponível em <http://dicom-sharp.sourceforge.net/>, acessido a última vez em 22 de Julho de 2013, 2009.
- [DVT11] DVTK. Disponível em [www.dvtk.org/](http://www.dvtk.org/), acessido a última vez em 22 de Julho de 2013, 2011.
- [EH98] B. J. Erickson e J. Hangiandreou. The evolution of electronic imaging in the medical environment. *J Digit Imaging*, 11(3 Suppl 1):71–4, 1998. Erickson, B J Hangiandreou, J Review UNITED STATES J Digit Imaging. 1998 Aug;11(3 Suppl 1):71-4.
- [Evi12] EvilDicom. Disponível em <http://evildicom.rexcardan.com/>, acessido a última vez em 22 de Julho de 2013, 2012.
- [FD13] FO-Dicom. Disponível em <https://github.com/rcd/fo-dicom>, acessido a última vez em 22 de Julho de 2013, 2013.
- [Fer11] Daniel dos Santos Ferreira. Cloud para comunicações entre instituições médicas. 2011.
- [Gli13] Glintt. Disponível em [www.glintt.com/](http://www.glintt.com/), acessido a última vez em 22 de Julho de 2013, 2013.
- [Gra13] GrassRoots. Disponível em [http://gdcm.sourceforge.net/wiki/index.php/Main\\_Page](http://gdcm.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page), acessido a última vez em 22 de Julho de 2013, 2013.
- [KDG<sup>+</sup>12] PeterM Kuzmak, RuthE Dayhoff, Sergey Gavrilov, Greg Cebelinski, MaryannL Shovestul e Andrew Casertano. Streamlining importation of outside prior DICOM studies into an imaging system. *Journal of Digital Imaging*, 25(1):70–77, 2012.
- [KHOS09] Hans-Erik Källman, Erik Halsius, Magnus Olsson e Mats Stenström. Dicom metadata repository for technical information in digital medical images. *Acta Oncologica*, 48(2):285–288, 2009.
- [KL09] G. V. Koutelakis e D. K. Lymberopoulos. Wada service: an extension of DICOM wado service. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 13(1):121–30, 2009. Koutelakis, George V Lymberopoulos, Dimitrios K United States IEEE Trans Inf Technol Biomed. 2009 Jan;13(1):121-30. doi: 10.1109/TITB.2008.2007197.
- [MdSRG10] Ramon A Moreno, Marina de Sá Rebelo e Marco A Gutierrez. Dicomgrid: a middleware to integrate pacs and eela-2 grid infrastructure. In *SPIE Medical Imaging*, pages 76280X–76280X. International Society for Optics and Photonics, 2010.
- [MEM02] Peter Mildemberger, Marco Eichelberg e Eric Martin. Introduction to the DICOM standard. *European radiology*, 12(4):920–927, 2002.

## REFERÊNCIAS

- [Mic08] Microsoft. Unity application block. Disponível em <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff648512.aspx>, acessado a última vez em 10 de Fevereiro 2014, 2008.
- [Mic13a] Microsoft. Entity framework. Disponível em <http://msdn.microsoft.com/en-us/data/ef.aspx>, acessado a última vez em 10 de Fevereiro 2014, 2013.
- [Mic13b] Microsoft. Microsoft healthvault. Disponível em [www.healthvault.com.com/](http://www.healthvault.com.com/), acessado a última vez em 22 de Julho de 2013, 2013.
- [OLH<sup>+</sup>07] Scott Oster, Stephen Langella, Shannon Hastings, David Ervin, Ravi Madduri, Tahsin Kurc, Frank Siebenlist, Peter Covitz, Krishnakant Shanbhag, Ian Foster et al. cagrid 1.0: A grid enterprise architecture for cancer research. In *AMIA Annual Symposium Proceedings*, volume 2007, page 573. American Medical Informatics Association, 2007.
- [Ora08] Oracle. Oracle: Performance evaluation of storage and retrieval of DICOM image content in oracle database 11g using hp blade servers and intel processors. July 2008.
- [Pia12] Oleg S Pianykh. *Digital imaging and communications in medicine (DICOM): a practical introduction and survival guide*. Springer, 2012.
- [Qua13] Quartz.NET. Disponível em <http://www.quartz-scheduler.net/>, acessado a última vez em 8 de Janeiro de 2014, 2013.
- [RB13] E R Ranschaert e F H Barneveld Binkhuysen. European teleradiology now and in the future: results of an online survey. *Insights Imaging*, 4(1):93–102, 2013. URL: <http://www.biomedsearch.com/nih/European-Teleradiology-now-in-future/23247775.html>.
- [RDS<sup>+</sup>12] Simón J Rascovsky, Jorge A Delgado, Alexander Sanz, Víctor D Calvo e Gabriel Castrillón. Informatics in radiology: Use of couchdb for document-based storage of DICOM objects. *Radiographics*, 32(3):913–927, 2012.
- [Rev97] Bas Revet. Dicom cook book for implementations in modalities. *Philips Medical Systems, Eindhoven, Netherlands*, 1997.
- [SCO13] L. A. B. Silva, C. Costa e J. L. Oliveira. DICOM relay over the cloud. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 8(3):323–333, 2013. Cited By (since 1996):1 Export Date: 5 July 2013 Source: Scopus.
- [SPC<sup>+</sup>09] Ashish Sharma, Tony Pan, B.Barla Cambazoglu, Metin Gurcan, Tahsin Kurc e Joel Saltz. Virtualpacs—a federating gateway to access remote image data resources over the grid. *Journal of Digital Imaging*, 22(1):1–10, 2009. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10278-007-9074-z>, doi:10.1007/s10278-007-9074-z.
- [Ste08] Robert Steinbrook. Personally controlled online health data—the next big thing in medical care? *New England Journal of Medicine*, 358(16):1653, 2008.
- [SVIG07] Russell Sears, Catharine Van Ingen e Jim Gray. To blob or not to blob: Large object storage in a database or a filesystem? *arXiv preprint cs/0701168*, 2007.

## REFERÊNCIAS

- [Syl10] Pradeep Sylva. A situation analysis on pacs prospects for a developing nation. *Sri Lanka Journal of Bio-Medical Informatics*, 1(2):112–117, 2010.
- [Zha08] Jianguo Zhang. DICOM image secure communication with internet protocols. In Sajeesh Kumar e ElizabethA. Krupinski, editors, *Teleradiology*, pages 33–47. Springer Berlin Heidelberg, 2008. URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-78871-3\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-78871-3_4), doi:10.1007/978-3-540-78871-3\_4.