



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

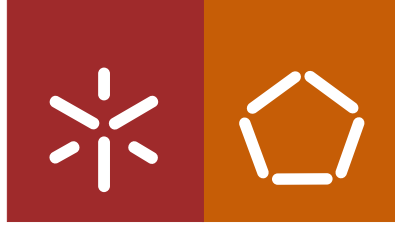
Maria Manuel Bastos Salazar

**Qualidade da Informação no
Processo de Tomada de Decisão em Grupo**

Maria Manuel Bastos Salazar **Qualidade da Informação no Processo de Tomada de Decisão em Grupo**

UMinho | 2017

maio de 2017



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Manuel Bastos Salazar

**Qualidade da Informação no
Processo de Tomada de Decisão em Grupo**

Tese de Doutoramento
Engenharia Biomédica

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor José Neves
Professor Doutor António Abelha

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração da presente tese. Confirmando que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri à prática de plágio ou a qualquer forma de falsificação de resultados. Mais declaro que tomei conhecimento integral do Código de Conduta Ética de Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 4 de Maio de 2017

Nome completo, *Maria Manuel Bastos Salazar*

Assinatura

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Manuel Bastos Salazar'.

Agradecimentos

A realização deste trabalho foi um grande desafio. É com muito afeto e amizade que expresso o meu agradecimento a todos os que contribuíram de alguma forma para a conclusão desta etapa.

Começo por agradecer ao Professor Doutor José Neves e ao Professor Doutor António Abelha pela confiança depositada e a orientação notável que me prestaram ao longo deste percurso e por todo o conhecimento que me transmitiram.

Agradeço também ao Professor Doutor José Machado e Professor Doutor Manuel Filipe Santos, por todo o apoio e contribuições prestados, essenciais para a realização deste trabalho. O perfeccionismo e forma de trabalhar são admiráveis, agradeço pela maneira simples e clara como continuamente me transmitiu os conhecimentos, mas também por ter encontrando sempre maneira de me ajudar a solucionar os obstáculos que iam surgindo.

Ao meu amigo e colega Cesar Quintas por toda a entreaajuda, apoio, troca de ideias e muita paciência, foram essenciais para a realização deste trabalho.

Estou grata também a toda a equipa do Serviço de Sistemas de Informação do Centro Hospitalar do Porto, pela boa disposição e momentos de descontração que me proporcionaram, essenciais para tornar este percurso mais agradável e possível de concretizar.

Aos meus pais, agradeço-lhes todas as experiências de vida que me proporcionaram. A educação, os valores, as viagens, os conselhos, os “ralhetes” e a irmã fantástica que me deram. São os maiores.

Agradeço à minha irmã o ânimo, juventude, exemplo de perseverança nos seus trabalhos e à sua ajuda, fundamentais para me dar força para terminar o meu.

Ao meu companheiro de vida, obrigada por todo o apoio, compreensão, otimismo e muita paciência. O melhor marido de todos. Aos meus filhos, Ricardo e Amélia pela alegria e sorrisos. Ricardo, obrigada pela boa escolha musical essencial

para os momentos de descontração. Amélia, obrigada por te teres portado tão bem.
é um privilégio ter-vos ao meu lado e saber que posso sempre contar convosco.

O meu muito obrigada!

Resumo

No processo de tomada de decisão em grupo, a argumentação tem um papel muito importante. As decisões são tomadas considerando diversos pontos de vista e de perícia dos diferentes participantes, de forma a decidir o caminho que o grupo deve seguir. No entanto, o conhecimento e a crença são normalmente incompletos, contraditórios e sensíveis ao erro, sendo desejável o uso de ferramentas formais para abordar o problema de usar informação incerta e não precisa no raciocínio. Pelo outro lado, os modelos e o raciocínio baseados na qualidade têm sido objecto de estudo atualizado na área científica da Inteligência Artificial, em particular devido à necessidade de oferecer ajuda nos processos de tomada de decisão. Neste doutoramento, o problema, será tratado através do uso de uma linguagem de programação em lógica estendida, em que a qualidade da informação é obtida a partir de programas lógicos ou teorias. Será definido um modelo computacional para formalizar o processo de tomada de decisão em grupo em termos de cenários múltiplos, também definidos como programas em lógica ou teorias, em que o cenário mais apropriado é aquele em que a qualidade da informação é maior.

Por outro lado, O Processo Clínico Electrónico (PCE) é, sem dúvida alguma, uma mais valia num ambiente hospitalar, tornando-se indispensável nos hospitais onde está implementado, trazendo benefícios tanto para os profissionais de saúde como para os pacientes. Posto isto, é de extrema importância assegurar que este sistema esteja atualizado, apresente as melhores funcionalidades, de fácil utilização, de modo a auxiliar o trabalho dos profissionais.

Foi feita uma avaliação do PCE implementado no Centro Hospitalar do Porto (CHP). Neste contexto, foram desenvolvidas avaliações de usabilidade ao sistema através de questionários e do método *heuristic walkthrough*. De modo a avaliar o nível do corrente PCE, recorreu-se igualmente a um modelo de avaliação de registos médicos electrónicos, o *Electronic Medical Record Adoption Model* (EMRAM). Além de tornar possível a averiguação do atual estado do PCE implementado no CHP, foi igualmente possível obter uma visão do que ainda se pode progredir. Posteriormente, foi efetivada uma análise SWOT com o intuito de adquirir informação mais precisa

nos aspetos a alterar no PCE. Com base neste estudo, o CHP passa a ter conhecimento do estado atual do PCE implementado, das suas fragilidades, bem como das potencialidades que podem vir a ser exploradas.

Abstract

In the decision-making group, the argument has a very important role. Decisions are taken considering various views and expertise of the various participants in order to decide which way the group should follow. However, the knowledge and belief are often incomplete, contradictory and susceptible to error, and it is desirable to use formal tools to address the problem of using uncertain information and do not have the reasoning. On the other hand, the models and the reasoning based on quality have been studied to date in the scientific area of Artificial Intelligence, in particular because of the need to offer help in decision-making processes. In this work, this problem will be treated through the use of a programming language in extended logic, where quality information is obtained from logic programs or theories, a computer model will be set to formalize the decision-making process group in terms of multiple scenarios, also defined as logic programs or theories, in which the most appropriate scenario is one in which the quality information is higher.

On the other hand, the Electronic Health Record (EHR) is undoubtedly an asset in a hospital environment, making it indispensable in hospitals where it is implemented, bringing benefits to both health professionals and patients. This makes it extremely important to ensure that this system is up to date, provide the best features, easy to use, in order to assist the work of professionals.

An assessment of the EHR implemented in the Centro Hospital do Porto (CHP) was made. In this context, we developed the system usability evaluations through questionnaires and method heuristic walkthrough. In order to evaluate the level of EHR, also resorted to it a model of evaluation of electronic medical records, the Electronic Medical Record Adoption Model (EMRAM). In addition to making it possible to investigate the current state of EHR implemented in CHP it was also possible to get a view of what still can progress. Subsequently, a SWOT analysis was carried out in order to get more precise information on aspects of the change in the EHR. Based on this study, the EHR is replaced by knowledge of the current state of the EHR implemented, its weaknesses and the potential that may be exploited.

Índice

Agradecimentos	V
Resumo	VII
Abstract	IX
Acrónimos	XV
Lista de tabelas	XIX
Lista de tabelas	XXI
1 Introdução	1
1.1 Informática Médica	3
1.2 Informação Hospitalar	5
1.3 Lógica	7
1.4 Motivação	8
1.5 Objetivos	9
1.6 Publicações	10

1.7	Metodologia	14
2	Revisão da Literatura	15
2.1	Processo Clínico Eletrónico	18
2.1.1	Processo Clínico	18
2.1.2	Processo Clínico em Papel	21
2.1.3	Processo Clínico Eletrónico	25
2.2	Extensão à Programação em Lógica	32
2.2.1	Qualidade de Informação	36
2.2.2	Tomada de Decisão em Grupo	38
3	Resultados	43
3.1	Estudo I - Step Towards Paper Free Hospital through Electronic Health Record	45
3.1.1	Abstract	47
3.1.2	Introduction	47
3.1.3	The Electronic Health Record	48
3.1.4	The HIMSS	50
3.1.5	Methods	55
3.1.6	Results	57
3.1.7	Discussion	59
3.1.8	Conclusions	60

3.1.9	References	60
3.2	Estudo II - SWOT Analysis of a Portuguese Electronic Health Record	63
3.2.1	Abstract	65
3.2.2	Introduction	65
3.2.3	The Electronic Health Record	66
3.2.4	SWOT Analysis	67
3.2.5	SWOT Analysis of the EHR	69
3.2.6	TOWS Analysis of the EHR	72
3.2.7	Discussion	74
3.2.8	Conclusions	77
3.2.9	References	77
3.3	Estudo III - Data Quality Evaluation of Electronic Health Records in the Hospital Admission Process	79
3.3.1	Abstract	81
3.3.2	Introduction	81
3.3.3	AIDA framework	82
3.3.4	The Electronic Health Record	83
3.3.5	Normalization	85
3.3.6	The computational model	86
3.3.7	The case study	89
3.3.8	The results	92

3.3.9	Conclusion	94
3.3.10	References	94
3.4	Estudo IV - Multi-agent systems for HL7 interoperability services . . .	97
3.4.1	Abstract	99
3.4.2	Main text	99
3.4.3	Health Level Seven Protocol	101
3.4.4	Multi-agent systems for interoperability	105
3.4.5	HL7 services in multi-agent system	105
3.4.6	Conclusions	109
3.4.7	References	110
4	Conclusão e Trabalho Futuro	113
4.1	Conclusão	115
4.2	Trabalho Futuro	117
	Bibliografia	119

Acrónimos

ACSS Administração Central do Sistema de Saúde

ADL *Archetype Definition Language*

AIDA Agência para a Integração, Difusão e Arquivo

AM *Archetype Model*

ANSI *American National Standards Institute*

ARRA *American Recovery and Reinvestment Act*

AUI *Atom Unique Identifier*

CAP *College of American Pathologists*

CC Ciências da Computação

CUI *Concept Unique Identifier*

CEN Comissão Europeia de Normalização

DICOM *Digital Imaging and Communications in Medicine*

DR *Design Research*

EC Estudo de Caso

FSN *Fully Specified Name*

EMRAM *Electronic Medical Record Adoption Model*

EUA *Estados Unidos da América*

GIA Grupo de Inteligência Artificial

HIMSS *Healthcare Information Management Systems Society*

HL7 *Health Level Seven*

HL7 CDA *HL7 Clinical Document Architecture*

HL7 RIM *HL7 Reference Information Model*

IA Inteligência Artificial

ICD *International Classification of Diseases*

ICD9 *ICD 9th Revision*

ICD9-CM *ICD9 Clinical Modification*

ICD10 *ICD 10th Revision*

ICD10-CM *ICD10 Clinical Modification*

ICN *International Council of Nurses*

ICNP *International Classification for Nursing Practice*

IGIF Administração Central do Sistema de Saúde

IHTSDO *International Health Terminology Standards Development Organization*

IM Informática Médica

IOM *Institute of Medicine*

ISO *International Standards Organization*

IOS EN 13606 *International Standards Organization European Norm 13606*

LOINC *Logical Observation Identifiers Names and Codes*

LUI *Lexical Unique Identifier*

MCDT Meio Complementar de Diagnóstico e Terapêutico

MSA Módulo *Stand-Alone*

NCHS *National Center for Health Statistics*

NLM *National Library of Medicine*

PACS *Picture Archive and Communication System*

PAQC *Patient Access to Quality Care*

PC Processo Clínico

PCE Processo Clínico Eletrônico

PoC Prova de Conceito

POMR *Problem-oriented medical record*

PCP Processo Clínico em Papel

SAM Sistema de Apoio Médico

SAPE Sistema de Apoio às Práticas de Enfermagem

SINUS Sistema de Informação para Unidades de Saúde

SI Sistemas de Informação

SIH Sistemas de Informação Hospitalar

SM *Service Model*

SMS *Short Message Service*

SNOMED CT *Systematized Nomenclature of Medicine Clinical Terms*

SNOMED RT *SNOMED Reference Terminology*

SNS Serviço Nacional de Saúde

SOA *Service-Oriented Architectures*

SONHO Sistema Integrado de Informação Hospitalar

SPMS Serviços Partilhados do Ministério da Saúde

SSD Sistemas de Suporte à Decisão

SUI *String Unique Identifier*

RELMA *Regenstrief LOINC Mapping Assistant*

RM *Reference Model*

TCP/IP *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*

TI Tecnologias da Informação

UDDI *Universal Description, Discovery and Integration*

UMLS *Unified Medical Language System*

UMLS M *UMLS Metathesaurus*

UMLS SL *UMLS Specialist Lexicon*

UMLS SN *UMLS Semantic Network*

WHO *World Health Organization*

WIMP *Window, Icon, Menu and Pointing device*

WS *Web Service*

WSDL *Web Services Description Language*

XML *eXtensible Markup Language*

Lista de Tabelas

1.1	Disciplinas subjacentes à IM [Pereira, 2012]	3
2.1	Organização dos dados no PC	18
2.2	Incentivos à implementação do PCE nos EUA [Ollapally, 2010]	30
3.1	The SWOT Matrix	69
3.2	The TOWS Matrix	69

Lista de Figuras

1.1	Processo do conhecimento [Duarte, 2008]	6
2.1	Ciclo do PC [Pereira, 2012]	20
2.2	Processo Clínico em Papel [Pereira, 2012]	21
2.3	PCP e relação entre as fontes de informação [Pereira, 2012]	22
2.4	PCP e relação entre as fontes de informação [Pereira, 2012]	27
2.5	Tipo de dados armazenados nos PCE europeus (adaptado de [EU, 2013])	31
2.6	Uma medida da QdI para o programa em lgica ou teoria P com respeito ao paciente <i>joao</i>	38
2.7	A Fase <i>In-meeting</i> com várias interações	40
2.8	Uma medida da QdI para um cenário possível de tomada de decisão para o paciente <i>joao</i>	41
3.1	The AIDA modules	83
3.2	The POMR Method	84
3.3	A measure of QI for MB	94

3.4 Information flow inherent to the developed HL7 service using a multi-agent system 106

3.5 Overall architecture of the HL7 communication using a multi-agent system 108

Capítulo 1

Introdução

1.1 Informática Médica

A gestão da informação apresenta-se, nos dias de hoje, como uma atividade de elevado destaque no quotidiano de todos os profissionais de saúde. É necessário que a informação clínica seja armazenada de uma forma segura e que permita a consulta e a utilização da mesma. Atualmente, verifica-se também uma necessidade de uma análise contínua de dados e conhecimentos biomédicos para a resolução de problemas e tomadas de decisão. Neste contexto da procura pela eficiência e precisão no ato médico, que se torna indispensável o recurso às novas tecnologias de informação. Assim, despontou uma vasta área de investigação, a Informática Médica (IM) [Pereira, 2012].

A IM é definida pela *National Library of Medicine* (NLM) como o campo das ciências da informação que se ocupa da análise e disseminação da informação clínica, através da aplicação das tecnologias computacionais em diversos aspectos dos cuidados de saúde [Ammenwerth et al., 2003]. De salientar que a IM é considerada uma disciplina científica pelo facto do seu domínio estar bem definido, os cuidados de saúde. A IM é uma área que envolve os aspectos teóricos e práticos do processamento e partilha de informação, assentados na perícia e experiências, defletidas de procedimentos na prestação de cuidados de saúde [Bemmel, 1984].

Tabela 1.1: Disciplinas subjacentes à IM [Pereira, 2012]

Informática Médica	
Ciências Médicas e da Saúde	Ciências da Computação
Investigação biomédica Informação médica Informação sobre doente Práticas clínicas/enfermagem Perfil dos profissionais de saúde Dados epidemiológicos	Sistemas e tecnologias informação Tecnologias de apoio à decisão Sistemas distribuídos Engenharia de <i>software</i> Bases dados/relacionais Inteligência artificial

Tal como demonstra a Tabela 1.1, o termo IM integra um conjunto de disciplinas subjacentes à associação das Tecnologias de Informação (TI), e de outros assuntos das ciências da computação, aplicados na área da medicina e respectivos serviços de

saúde, conduzindo assim à existente confusão na hora de a definir. Atualmente a visão mais aceite sobre este conceito refere que a IM é a disciplina que investiga a estrutura e as propriedades da informação médica.

A área das ciências da saúde é uma das áreas em que a necessidade de informação para a tomada de decisões é maior. A IM é o campo científico que estuda os recursos, os dispositivos e os métodos para otimizar o armazenamento, a recuperação e a gestão das informações da saúde. Assim, é possível afirmar que a IM está relacionada com a informação e ao modo como esta é gerida, e não com o equipamento que torna tudo isto possível. A distinção nem sempre se torna fácil e óbvia. Apesar disso, entendendo-se o seu significado, percebe-se que as relações e as propriedades de informação são tão importantes para a computação médica, como o hardware é necessário para a sua distribuição. Isto é vital para entender o campo de informática médica e o impacto que esta terá na computação médica no futuro.

De uma forma sucinta, pode definir-se que o objecto de estudo da IM compreende os seguintes pontos [Duarte, 2008]:

- Compreensão da natureza elementar dos sistemas de informação e delimitação dos princípios de modelação dos mesmos;
- Desenvolvimento e evolução de processos interventivos, mediante a panóplia de dados que lhes é provida;
- Desenvolvimento de métodos e princípios que permitam o planeamento de tais processos;
- Avaliação do impacto destas intervenções, no fluxo de trabalho dos indivíduos, da própria organização de saúde e na produtividade apresentada por estes.

1.2 Informação Hospitalar

Um profissional de saúde, na sua atividade, necessita da disponibilização de uma vasta quantidade de informação de qualidade. Promover o total acesso à informação clínica torna-se essencial, de forma a potenciar uma melhor qualidade na prestação de cuidados médicos aos doentes.

Os métodos de colheita de informação encontram-se presentes em todas as etapas da rotina clínica, que vão desde o processo simples da admissão do doente, na recepção da instituição, até ao mais complexo procedimento de imagiologia. Dada a natureza crítica da maioria do conhecimento veiculado à informação hospitalar, aspectos como a celeridade de comunicação e a integridade de dados são de extrema importância na tomada de decisões devidamente apoiadas [Duarte, 2008]. Desta forma, assume-se que a informação hospitalar não é estritamente exclusiva para os médicos e os enfermeiros, mas sim comum a outras áreas funcionais hospitalares, como é o caso da administração e pessoal responsável pela gestão de *stocks*, por exemplo.

A informação assenta em três níveis fundamentais do saber, que se diferenciam segundo o grau de elaboração empregue na aprendizagem, estruturação e fundamentação no que à sua produção diz respeito. São eles [Pereira, 2012] [Kakas et al., 1998]:

- **Dados** - São a representação precisa de um facto ou experiência, envolvendo tratamento mínimos. Assumem-se como um reflexo moderadamente fidedigno dos acontecimentos reais. Podem compreender factos, textos, gráficos, imagens e sons, entre outros. Representam a matéria-prima a ser utilizada na produção de informação;
- **Informação** - É o resultado da estruturação, transformação e/ou análise de dados, de forma a produzir deduções e inferências lógicas credíveis. O processo de transformação apreende a aplicação de procedimentos que podem incluir a

formatação, a tradução, a fusão, a impressão, entre outros. Constituem uma leitura de um conjunto de dados;

- **Conhecimento** - Consiste em deduções e explicações que interpretam um conjunto de informações. Engloba conceitos e raciocínios lógicos essencialmente abstractos que interligam e dão significado a factos concretos. Envolve hipóteses, teses, teorias e leis.

Os dados e a informação apresentam uma riqueza e potencial de extrema importância, no entanto, estes não se convertem em conhecimento de uma forma simples. A Figura 1.1 demonstra, de uma forma sintetizada, esta inter-relação que decorre entre os dados, a informação e o conhecimento. O conhecimento científico tem início nos dados, a “matéria-prima” em estado bruto, que após sujeitos a operações lógicas originam informações, que por último, são interpretadas originando então o conhecimento. O conhecimento pode ainda dar origem à inteligência caso este seja sintetizado.

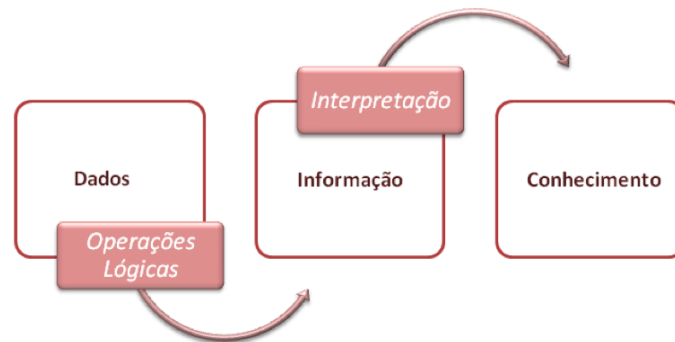


Figura 1.1: Processo do conhecimento [Duarte, 2008]

Numa instituição de saúde, o acesso à informação é vital. Os profissionais clínicos necessitam de informação de qualidade, de modo a possibilitar a realização do seu trabalho com eficiência e eficácia. De entre a informação disponível, o indivíduo seleciona aquela que lhe é útil, usando-a para responder a questões, compreender situações, tomar decisões e resolver problemas. A informação de qualidade, como qualquer outro recurso organizacional (financeiro, material e humano), é um

recurso que necessita ser gerido para ajudar as organizações a melhorar a sua produtividade, competitividade e performance geral.

1.3 Lógica

Geralmente, o conhecimento e a crença são incompletos, contraditórios ou sensíveis ao erro, sendo desejável usar ferramentas formais para tratar esses problemas [Kowalski, 2006] [Sheridam, 1991]. A Lógica e os programas em Lógica [Ginsberg, 1991] têm-se constituídos como formalismos atractivos para a representação de conhecimento e uma abordagem para a resolução de problemas de procura. Nas últimas décadas, várias técnicas não clássicas para modelar o universo de discurso e os procedimentos de raciocínio em sistemas inteligentes têm sido propostas [Neves, 1984] [Subrahmanian, 2001]. Além de tratar a questão da informação incerta, existe também o problema de tratar a informação incompleta. A programação em Lógica apresenta formalismos interessantes e eficientes para a representação de conhecimento e para o raciocínio, de forma a resolver problemas de procura em ambientes com informação deficiente. Por exemplo, Hommersom e alguns colegas [Hommersom et al., 2008] apresentaram um trabalho válido para avaliar a qualidade da informação usando a Lógica Matemática. Eles usaram a abdução e a lógica temporal para verificar a qualidade de linhas orientadoras na Medicina e propõem um método para diagnosticar problemas potenciais numa linha do tempo, tendo em conta a preservação de critérios gerais de qualidade na Medicina numa caracterização ao meta-nível. Eles também exploraram uma abordagem onde usam uma translação relacional para mapear formulas em lógica temporal para lógicas de primeira ordem e um demonstrador de teoremas baseado na resolução. O objectivo é construir um processo de quantificação da qualidade da informação que emana de um programa em lógica ou teoria durante um processo evolucionário que resolve o problema em ambientes com informação incompleta. Em [Lima et al., 2009], apresenta-se um mo-

delo para a tomada de decisão com avaliação da qualidade da informação, ao longo das várias etapas do processo de tomada de decisão em grupo, em particular no domínio da prestação de cuidados de saúde [Novais et al., 2009].

1.4 Motivação

As duas principais causas de morte na população portuguesa têm sido nos últimos anos os tumores malignos e as doenças de nível circulatório. Para a diminuição da tendência crescente de alguns géneros de cancro, como o do cólon do útero, do cólon e do recto, muito depende, sobretudo da prevenção e da escolha dos tratamentos adequados. [Duarte, 2008] O poder de antever a evolução e definir o tratamento de um caso de cancro deriva da capacidade de o estadiar, isto é, compreender e classificar de forma clara o estado actual deste, determinando a sua extensão e localização. No entanto, a existência de diferentes formas de estadiamento para cada tipo e localização de cancro, mesmo utilizando uma das actuais normas, torna este procedimento bastante complexo tendo em conta a sua especificidade e a variedade de intervenientes que necessitam de o compreender.

Os modelos baseados na qualidade e o raciocínio qualitativo têm tido um papel importante na área científica da Inteligência Artificial, em particular pela necessidade de desenvolver sistemas inteligentes de suporte à decisão. Nesta área, é possível desenvolver projectos muito importantes e interessantes, com sucesso garantido, de forma a potenciar o processo de tomada de decisão em ambientes hospitalares. Estes sistemas podem ser globais, locais ou orientados ao paciente, e em instituições com responsabilidade no ensino da Medicina, potenciam e melhoram a investigação e a aprendizagem. Desta forma, uma abordagem baseada no estabelecimento e no estudo de cenários, em que a sua validade e a sua certeza se baseiam na avaliação da qualidade da informação, usando programas lógicos ou teorias, é a mais adequada para a resolução deste problema.

1.5 Objetivos

O grande desafio deste projeto está na definição de um modelo computacional para formalizar o processo de tomada de decisão em grupo em termos de cenários múltiplos, em que o cenário mais apropriado é aquele em que a qualidade da informação é maior. O problema, será tratado através do uso de uma linguagem de programação em lógica estendida, em que a qualidade da informação é obtida a partir de programas lógicos ou teorias. O objectivo central deste projeto é avaliar a utilização deste modelo na melhoria do procedimento do estadiamento de cancro, assim como o processo de decisão em grupo, de forma a providenciar um melhor acompanhamento e tratamento de pacientes com esta doença. Assim, através de princípios de Inteligência Evolucionária, associados a Sistemas Multi-Agente (SMA), com a avaliação constante da qualidade da informação, desenvolver não só uma solução de apoio ao estadiamento, mas também uma plataforma que apoie a decisão em grupo neste procedimento. Normas de estadiamento como aquela que foi desenvolvida pela *American Joint Commission on Cancer* (AJCC) em conjunto com a *International Union Against Cancer* (UICC), serão incorporadas no sistema de forma a uniformizar o estadiamento entre os diferentes intervenientes, melhorando o processo em si. Além disso, a construção de múltiplos cenários, permitem uma maior capacidade de previsão do melhor tratamento a seguir. [Greene et al., 2002]

Os SMA, atualmente, usados por diferentes unidades de saúde para a integração de sistemas. Se bem que não sejam ainda utilizados no suporte inteligente à decisão médica, demonstram um enorme potencial nesta área, na medida em que têm capacidade de incorporar outras tecnologias, como o caso da inteligência evolucionária e processos de monitorização da qualidade da informação. [Abelha et al., 2002] Desta forma, procura-se uma solução que seja adaptativa às especificidades de um determinado caso, às metodologias e agentes intervenientes (humanos/software) nesse estadiamento. O sistema poderá apoiar médicos especializados na área da

oncologia, assim como de diferentes especialidades, além de outros profissionais na área da saúde, de forma a construir sinergias na compreensão do estado atual do paciente [Neves et al., 2008].

Este trabalho procura também dar respostas às quatro perguntas de investigação:

P1 - A utilização do PCE garante melhor qualidade de informação, permitindo uma melhor qualidade de diagnóstico e conduzindo a uma redução do número de erros médicos?

P2 - Em ambiente real, é possível avaliar o desempenho, a segurança e a usabilidade do PCE?

P3 - Pode o PCE ter papel crucial na tomada de decisão no tratamento dos doentes?

P4 - Como implementar, em ambiente real, a interoperabilidade na saúde?

1.6 Publicações

Durante a realização deste projeto vários estudos foram realizados. Esses estudos foram submetidos a avaliação científica com sucesso, resultando nas seguintes publicações:

- Andreia Brandão, Maria Salazar and Filipe Portela, Step Towards Improving the Voluntary Interruption of Pregnancy by Means of Business Intelligence, in *Applying Business Intelligence to Clinical and Healthcare Organizations*, José Machado and António Abelha (eds), IGI Global, 2016.
- Filipe Portela, Alexandra Cabral, António Abelha, Maria Salazar, César Quintas, José Machado, José Neves and Manuel Filipe Santos, *Knowledge Acquisi-*

- tion Process for Intelligent Decision Support in Critical Health Care. *Healthcare Administration: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. IGI Global Book, 2014.
- Eliana Pereira, Andreia Brandão, Maria Salazar, Filipe Portela, Manuel Santos, José Machado, António Abelha and Jorge Braga, Decision Support in Maternity Care by means of Data Mining Models for Pre-Triage, in *Integration of Data Mining in Business Intelligence Systems*, Ana Azevedo and Manuel Santos (eds), IGI Global Book, 2014.
 - Júlio Duarte, Gabriel Pontes, Maria Salazar, Manuel Santos, António Abelha and José Machado, Stand-Alone Electronic Health Record, in *Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM2013)*, Bangkok, Thailand, 2013.
 - Maria Salazar, Júlio Duarte, Rui Pereira, Filipe Portela, Manuel Filipe Santos, António Abelha and José Machado, Step towards Paper Free Hospital through Electronic Health Record, in *Advances in Information Systems and Technologies, Advances in Intelligent Systems and Computing Volume 206*, Springer, 2013.
 - Rui Pereira, Maria Salazar, António Abelha and José Machado, SWOT Analysis of a Portuguese Electronic Health Record, in *Collaborative, Trusted and Privacy-Aware e/m-Services*, IFIP AICT Volume 399, Springer, 2013.
 - Filipe Portela, Alexandra Cabral, António Abelha, Maria Salazar, César Quintas, José Machado, José Neves and Manuel Filipe Santos, Knowledge Acquisition Process for Intelligent Decision Support in Critical Health Care. *Information Systems and Technologies for Enhancing Health and Social*. IGI Global Book, 2013.
 - Júlio Duarte, Gabriel Pontes, Maria Salazar, Manuel Santos, António Abelha and José Machado, Stand-Alone Electronic Health Record, in *Proceedings of*

the 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM2013), Bangkok, Thailand, 2013.

- Miguel Miranda, Maria Salazar, Filipe Portela, Manuel Santos, António Abelha, José Neves, José Machado, Multi-agent Systems for HL7 Interoperability Services, *Procedia Technology*, Volume 5, 2012, Pages 725-733.
- Rui Pereira, Júlio Duarte, Maria Salazar, Manuel Santos, António Abelha and José Machado, Usability of an Electronic Health Record, 4th IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong, 2012.
- Rui Pereira, Júlio Duarte, Maria Salazar, Manuel Santos, José Neves, António Abelha and José Machado, Usability Evaluation of Electronic Health Record, 2012 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences, Langkawi, Malaysia, 2012.
- Cabral, A., Pina, C., Machado, H., Abelha, A., Salazar, M., Quintas, C., Portela, F, Machado, J., Neves, J., Santos, M., Data Acquisition Process for an Intelligent Decision Support in Gynecology and Obstetrics Emergency Triage, in *Communications in Computer and Information Science*, 221 CCIS (PART 3), Springer, 2011.
- Gabriel Pontes, Ana Duarte, David Cuevas, Maria Salazar, Miguel Miranda, António Abelha and José Machado, A Moral Decision Support System in Medicine, in Novais, P.; Machado, J.; Rodrigues, César; Abelha, A.(ed), *Modelling and Simulation 2011*, EUROSIS.
- Júlio Duarte, Maria Salazar, Cesar Quintas, Manuel Santos, José Neves, António Abelha and José Machado, Data Quality Evaluation of Electronic Health Records in the Hospital Admission Process, 9th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, ICIS 2010, Japão.

- Santos M, Portela F, Vilas-Boas M., Machado J., Abelha A., Neves J., Silva A., Rua F., Salazar M., Quintas C., Cabral A.F., Intelligent Decision Support in Intensive Care Units Nursing Information Modeling, Computers and Simulation in Modern Science Volume III, WSEAS PRESS, 2009.
- Júlio Duarte, Miguel Miranda, António Abelha, José Machado, José Neves, Manuel Santos, Carlos Alberto, Maria Salazar, César Quintas, Alexandra Ferreira, João Neves, Agent based Group Decision Support in Medicine, in Proceedings of Worldcomp 2009, 2009 International Conference on Artificial Intelligence, Las Vegas, USA, 2009.
- Santos M, Portela F, Vilas-Boas M., Machado J., Abelha A., Neves J., Silva A., Rua F., Salazar M., Quintas C., Cabral A.F., Intelligent Decision Support in Intensive Care Units Nursing Information Modeling, Computers and Simulation in Modern Science Volume III, WSEAS PRESS, 2009.
- José Neves, Manuel Santos, José Machado, António Abelha, Sollari Allegro, Maria Salazar, Electronic Health Records and Decision Support: Local and Global Perspectives, WSEAS TRANSACTIONS on BIOLOGY and BIOMEDICINE, Issue 8, Volume 5, 2008.
- José Neves, Manuel Santos, José Machado, António Abelha, Sollari Allegro, Maria Salazar, Electronic Health Records - Organizational, Regional, National, or Worldwide? 1st WSEAS International Conference on Biomedical Electronics and Biomedical Informatics, Long CA; Anninos P; Pham T; Anastassopoulos G; Mastorakis NE (eds), World Scientific and Engineering Academy and Society (2008) 116-121

1.7 Metodologia

Numa primeira fase será elaborado um diagnóstico de diferentes cenários em que o processo de tomada de decisão, individualmente ou em grupo, é central em diferentes serviços de um hospital, dando especial ênfase à processo de decisão em grupo ligado à Oncologia, seguindo-se um planeamento e uma avaliação do trabalho a realizar.

Numa fase intermédia do trabalho, dar-se-á ênfase à acção, promovendo a mudança e a optimização de processos na organização.

Para avaliar o sistema e discutir resultados, o sistema será estudado com casos reais. A abordagem metodológica de investigação centra-se em situações específicas ou cenários que dependem do tipo de questões de investigação encontradas, do controlo e da proximidade do investigador perante os acontecimentos e, por último, do carácter histórico ou actual dos eventos. O Estudo de Caso pretende perceber o problema, descobrir o essencial e caracterizar a situação em estudo, tendo como objecto de análise uma entidade bem definida; por exemplo, um programa, um processo, um agente inteligente, uma organização. Na génese das perguntas de investigação está a necessidade de se conhecer em detalhe o “como”, o “quando” e o “porquê” do objecto de estudo. Quando o investigador não domina os acontecimentos em análise e estes estão inseridos num contexto real, a estratégia de usar o caso de estudo revela-se como uma escolha adequada.

Uma contribuição importante deste trabalho foi a integração do sistema com o Processo Clínico Eletrónico em ambiente hospitalar.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Durante a realização deste projeto foram feitas várias pesquisas bibliográficas, todas elas com objetivos bem definidos. Estas pesquisas resultaram, tanto num conhecimento que permitiu o avançar do projeto, como numa revisão da literatura que é apresentada ao longo do atual capítulo. Foram utilizadas as seguintes base de dados bibliográficas:

- *Isi Web of Knowledge*;
- *Science Direct*;
- *Google Scholar*;
- *PubMed*;
- *SpringerLink*;
- *Scopus*;

As pesquisas bibliográficas realizadas podem ser divididas em duas fases distintas. Separadas pelas duas fases de pesquisas, as palavras chave mais utilizadas foram:

- Sistemas de Informação Hospitalar, Processo Clínico Eletrónico, Sistemas de Registo Clínico, Sistemas de Informação na Saúde, Registo Médico, Usabilidade, Avaliação do PCE, SIH, PCE;
- Lógica, Programação em Lógica, Qualidade da Informação, Sistemas de Suporte à Decisão, Tomada de Decisão em Grupo.

Para além das pesquisas bibliográficas, o conhecimento adquirido com a experiência do trabalho diário como Diretora do Serviço de Sistemas de Informação do Centro Hospitalar do Porto, contribuiu também para realização deste trabalho, em especial para a percepção da realidade vivida num contexto regional e nacional.

2.1 Processo Clínico Eletrónico

2.1.1 Processo Clínico

Segundo [Slee et al., 2000], o Processo Clínico (PC) pode ser entendido como o conjunto de documentos normalizados e ordenados, contendo toda a informação relativa à saúde de um doente, desde o nascimento do mesmo até ao momento da sua morte. Assim, o PC tem de incluir todos os problemas de saúde, os tratamentos e as respostas de um certo indivíduo aos mesmos, assistindo aos cuidados de saúde sempre que necessário. Os autores acrescentam ainda que o PC é destinado ao registo dos atos e procedimentos clínicos a um dado indivíduo numa dada instituição de saúde.

Em [Coiera, 2003], o autor defende que os dados médicos contidos no PC podem ser distinguidos em dois grande grupos, os dados médicos e os dados administrativos. O dados médicos pode ainda se separado em mais dois grupos, os dados médicos físicos e os outros dados médicos. Os dados médicos físicos correspondem às ocorrências singulares do paciente (como por exemplo o sexo, o grupo sanguíneo ou as alergias). Os outros dados médicos compreendem todas as ocorrências múltiplas ou dados temporais (a história clínica, o diagnóstico, os procedimentos, entre outros). Em relação aos dados administrativos, são dados que servem como identificação dos doentes. A Tabela 2.1 ajuda a perceber que tipo de dados são registados no PC.

Tabela 2.1: Organização dos dados no PC

Grupo de Dados	Administrativos	Médicos físicos	Outros dados médicos
Tipo de dados	Nome Morada Data Nascimento	Sexo Grupo sanguíneo Alergias	Diagnósticos Procedimentos História Clínica

O PC proporciona um meio de comunicação entre grupos clínicos que atuam ativamente nos cuidados de saúde de um doente, já que diferentes profissionais de saúde têm a possibilidade de visualizar e/ou alterar a informação presente num PC.

Desta forma, as notas são partilhadas por elementos de toda a equipa, para que a coerência se mantenha aquando do tratamento do doente, tanto nos diferentes turnos de trabalho, como para situações em que os profissionais clínicos não tenham a oportunidade de se reunirem de modo a partilhar ideias sobre uma determinada condição. Segundo [Abelha, 2004], durante o período de internamento de um doente, o PC constitui o único suporte de informação atingível pelos responsáveis médicos. Todos os resultados clínicos, observações e registos essenciais à prestação de cuidados de saúde deverão ser tangíveis a partir deste. Após o termo de um episódio, o PC deve assumir-se como o último ponto de convergência relativo a todo o conhecimento clínico do doente, podendo, assim, garantir a consulta a longo prazo. Adicionalmente, o PC pode ser usado como auxílio a futuros diagnósticos e procedimentos clínicos, assim como atuar como elemento de extrapolação de dados para eventuais pesquisas e investigações na saúde.

Para [Duarte, 2014], a informação que é armazenada no PC pode ser visualizada como um conjunto de documentos e dados clínicos de um doente. Estes dados podem ser divididos em duas categorias distintas, os dados relativos e os dados complementados. Os dados relativos dizem respeito aos diagnósticos, aos diários clínicos, aos exames físicos, à história clínica e aos tratamentos e procedimentos efetuados. Em relação aos dados complementados, estes são compostos por informação proveniente de outras fontes, estando incluídos os testes laboratoriais a que um doente é submetido, assim como todos os meios complementares de diagnóstico, como as ecografias, os electrocardiogramas, as endoscopias, os raio x, as tomografias computadorizadas, entre muitos outros. Como é possível aferir, grande maioria da informação contida no PC é alfanumérica, isto é, recorre a caracteres e/ou dígitos para efetuar os registos. A informação não alfanumérica é maioritariamente proveniente dos meios complementares de diagnóstico, que são compostos por imagens (a imagem resultante de um raio x) ou por sinais (o resultado de um electrocardiograma).

Para [Bremmel and Musen, 1999], o PC demonstrou ser uma ferramenta extremamente útil aquando das tomadas de decisões e avaliações, na realização de estudos epidemiológicos, nas investigações clínicas, entre muitos outros procedimentos hospitalares, contendo ainda toda a informação clínica dos doentes, o que permite controlar sempre o estado dos doentes, mesmo que estes tenham recebido cuidados de saúde em diversos serviços hospitalares. é um excelente suporte à assistência ao doente, não apenas como fonte para a avaliação e tomada de decisão, mas também como fonte de informação a ser partilhado entre os diferentes agentes prestadores de cuidados de saúde. Para além destas características, o PC é também um documento legal, contendo todos os atos clínicos a que um doente esteve sujeito, assim como de grande ajuda para efeitos de gestão ou avaliações de custos. Os autores, defendem ainda que o PC tem também papel importante na formação de novos profissionais de saúde.

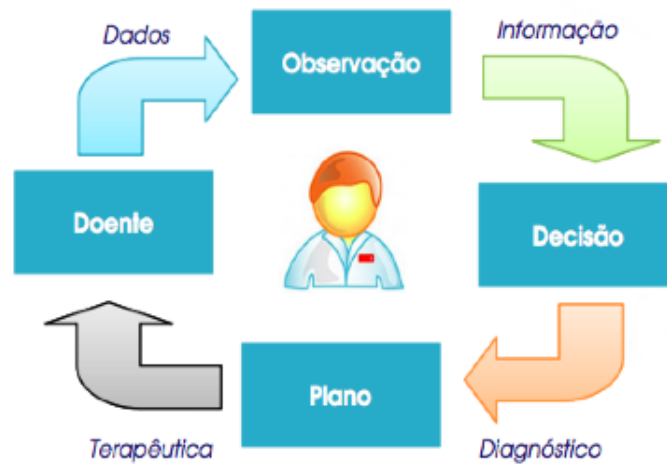


Figura 2.1: Ciclo do PC [Pereira, 2012]

Segundo [Duarte, 2014], cada registo realizado no PC segue um fluxo denominado por ciclo do PC e que está esquematizado na Figura 2.1. Numa primeira etapa, é recolhida toda a informação adjacente ao estado de saúde do doente. Esta informação deriva da observação de dados recolhidos do doente, sejam eles, a título de exemplo, a história clínica, a opinião do médico ou medidas numéricas provenientes de exames físicos (temperatura, tensão arterial, entre outros). Esta é uma

etapa de muita importância, pois além de ser a etapa do ciclo onde se origina o conhecimento específico relativo à condição do doente, todas as tomadas de decisão dos clínicos vão ser baseadas nesta informação. Esta decisão tomada pelos clínicos faz parte da seguinte etapa do ciclo, que predispõe a obtenção de um ou mais diagnósticos. Após a confirmação de um ou mais diagnósticos, pode-se atingir a última etapa do ciclo, o plano. Nesta etapa, que também pode ser denominada por ação, o paciente é submetido a uma terapêutica clínica. Após a aplicação da terapêutica, volta-se à primeira etapa, com a observação dos resultados e efeitos que esta produziu no doente. Este conjunto de etapas compõem a essência do PC, esteja este sob o forma de papel ou codificado digitalmente.

2.1.2 Processo Clínico em Papel

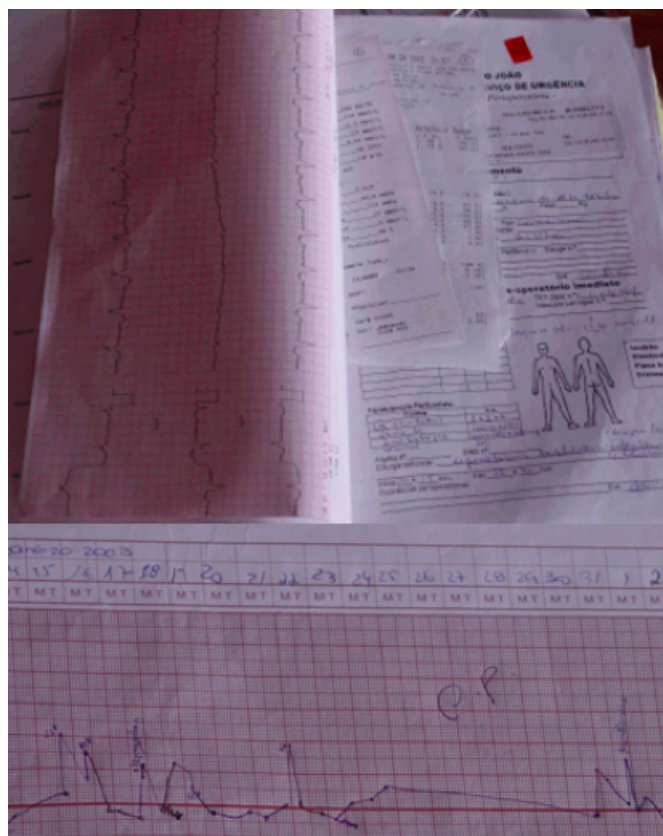


Figura 2.2: Processo Clínico em Papel [Pereira, 2012]

Em [Coiera, 2003], o autor define o Processo Clínico em Papel (PCP) como

uma forma de registo clínico que percorre todas as etapas do PC, sendo que os dados clínicos são introduzidos no processo de forma manuscrita. A esta forma de registo tem servido a prática hospitalar desde os primórdios do registo clínico. Assim sendo, um PCP contém todos os dados clínicos inseridos manuscritamente pelos profissionais clínicos, podendo coexistir imagens médicas provenientes dos resultados dos meios complementares de diagnóstico, que são anexadas ao processo em papel.

Para [Duarte, 2008], apesar de não se ter assistido a um progresso significativo no que diz respeito à natureza física do PCP, a organização das informações e do conhecimento contido num PCP tem sido alvo de reformulações sucessivas. Inicialmente, adoptou-se a entropia proposta por Hipócrates, registando cronologicamente os episódios, existindo atualmente metodologias bem mais complexas, como o registo médico orientado ao problema ou o registo médico ordenado consoante a origem dos seus dados.



Figura 2.3: PCP e relação entre as fontes de informação [Pereira, 2012]

Segundo [Pereira, 2012], os dados e as informações clínicas de um doente provêm das mais diversas origens, desde história clínica e exames objetivos, até resultados de exames complementares de diagnóstico. Todos esses dados e informações

recolhidas são armazenados, servindo assim como base à prestação de cuidados de saúde, o que implica que haja a necessidade de integrar as informações provenientes das diversas fontes. A Figura 2.3 permite verificar a relação existente entre os dados provenientes das diversas fontes e o PCP. Da observação da figura, torna-se possível afirmar que o PCP corresponde a uma centralização de toda a informação clínica do doente, sendo que essa informação tem apenas um sentido.

Vantagens e Desvantagens do PCP

O PCP apresenta determinadas limitações que podem ser apontadas. Segundo [Duarte, 2014], uma das mais importantes é a ausência de um modelo *standard* neste tipo de registos, ou seja, há uma inconsistência de formato, o que pode conduzir a uma ambiguidade relativamente à interpretação por parte de terceiros. Desta forma, a informação contida no PCP pode não ser captada de forma unívoca, falhando num aspecto vital na análise de percurso clínico de um doente. A esta falta de estruturação podem surgir mais problemas, pois o localizar da informação pretendida torna-se uma tarefa mais complicada, existe uma maior propensão de erros de registo assim como ocultação de informação essencial à obtenção de diagnóstico e decisão da respetiva terapêutica. O autor afirma que a falta de estruturação ao nível do conteúdo do PCP, levam a que os profissionais clínicos não visualizem, sistematicamente, informação útil para a própria consulta e processo de decisão clínica, chegando tal ineficiência a valores na ordem dos 81%. Isto pode conduzir à realização de exames e análises sem necessidade e, conseqüentemente, ao aumento dos custos, custos estes perfeitamente evitáveis na rotina de tratamento hospitalar. A ilegibilidade é outro ponto negativo, para o autor, como todos os registos são realizados manuscritamente, a questão da ilegibilidade está presente, o que numa área como esta é preocupante.

Para [Duarte, 2014], quando um doente realiza diversos meios complementares de diagnóstico e/ou realiza várias consultas, do mesmo ou até em distintos serviços

de saúde, a sua informação clínica torna-se bastante voluptuosa, apresentando multiplicidade de pastas. Isto traduz-se numa grande ocupação de espaço para arquivo, ultrapassando as condições ideais de acondicionamento e preservação. Mais importante que isso, dificulta o processo de acesso às informações do PC. Para um PCP, o aumento da informação clínica torna-se um grande problema. Outro problema que advém deste tipo de processos clínicos diz respeito à não ubiquidade, ou seja, não pode ser consultado por mais do que uma pessoa de cada vez em diferentes locais. A juntar a isto, está sujeito a um manuseamento constante, por diferentes indivíduos ou mesmo circular entre diferentes instituições, o que resulta numa grande probabilidade de perda e/ou danos (fragilidade no suporte físico).

Finalmente, outra grande dificuldade que o PCP oferece aos profissionais de saúde é a tarefa diária de procura de processos. Essa tarefa é extenuante e bastante demorada, exigindo valiosos recursos humanos para que seja cumprida de forma mais eficaz possível. Segundo [Dick and Steen, 1991], em grandes estruturas hospitalares, o PCP está apenas disponível em 70% das ocasiões em que é solicitado, podendo isto resultar em má decisões e todos os problemas a elas associados.

Apesar das destas limitações do PCP, um registo deste tipo apresenta algumas vantagens. Em [Duarte, 2008], o autor indica como ponto positivo a sua portabilidade e facilidade de utilização e acesso. Como este tipo de registo apresenta uma grande liberdade estrutural, não possuindo grandes regras e proibições no registo, o médico tem a possibilidade de recorrer ao uso de diagramas, selecionar pormenores específicos em resultados de exames, entre muitos outros. Para o autor, a maior vantagem deste tipo de registo provem da familiaridade de uso, o que torna desnecessário qualquer tipo de formação mais específica para a sua utilização [Duarte, 2008].

2.1.3 Processo Clínico Eletrónico

Nos últimos anos tem-se assistido a um enorme desenvolvimento no que às tecnologias de computação diz respeito, motivado pelo aparecimento dos computadores pessoais, de diferentes sistemas operativos e, essencialmente, à massificação da internet. Esta evolução na área das tecnologias da computação, tal como na maioria das áreas, provocou um grande aumento do número de aplicações informáticas na área da saúde e, conseqüentemente, um aumento na quantidade de informação nas instituições de saúde. Este aumento da quantidade de informação, aliado a outros factores, como a necessidade de melhorar a acessibilidade e a integração dos serviços, da crescente necessidade de estruturar a informação clínica, assim como de a tornar acessível no momento e local em que é precisa, surge a necessidade da transição do PCP para a era digital. é nesta transição para o mundo digital que surge o Processo Clínico Eletrónico (PCE).

Segundo a *International Organization for Standardization* (ISO), o PCE é um repositório de informação relativa ao estudo da saúde de um indivíduo objecto de cuidados, num formato susceptível de ser processado informaticamente, armazenado e transmitido de um forma segura e acessível por múltiplos utilizadores devidamente autorizados. Possui um modelo lógico de informação normalizado ou comumente acordado. A sua finalidade primária é o suporte a cuidados de saúde integrados, com continuidade, eficientes e com qualidade. Contém informação retrospectiva, corrente e prospectiva [ISO, 2003].

Para [Abelha, 2004], o PCE não corresponde, exatamente, a uma informatização de um PCP. Apesar de toda a informação contida num PCP se encontrar organizada digitalmente num PCE, este último deve possuir determinados características que não se encontram presentes num PCP. Assim, a tarefa de registar da informação clínica no PCE é realizada de um modo mais facilitado e seguro. Apresenta, ainda, a capacidade de auxiliar na decisão médica, na prestação dos

cuidados de saúde e na investigação e de incorporar relatórios (formulários de segundas, relatórios clínicos, gráfico, etc.). é um processo que apresenta uma elevada inteligência, pois além de possuir sistemas de apoio à decisão, detém sistemas de alertas personalizados e serviços de avisos e mensagens automáticas aos clínicos. A integração promovida por este tipo de registos é outra das suas grandes potencialidades. Existe uma total integração com todos os sistemas de informação existentes numa unidade prestadora de cuidados de saúde. Esta integração promove a ubiquidade de registos entre diferentes especialidades e serviços, ligações aos PCs dos familiares, integração automática a inventários e faturação. Para [Pereira, 2012], a transição para a era digital do PCP possibilita que criação uma interação entre o PCE e as fontes de informação que participam na realização do mesmo. A ligação estabelecida entre O PCE e as fontes de informação é bidirecional, ou seja, existe *feedback*, situação que não se verificava com o PCP. Deste aspecto do PCE advém a possibilidade de ocorrer a partilha de informação entre os diferentes utilizadores, assim como a interação entre as fontes de informação, como demonstra a Figura 2.4.

Para que uma implementação de um PCE tenha sucesso, é preciso ter em conta um conjunto de requisitos, para além das características comuns do PCE. Para [Duarte, 2014], um desses aspectos mais importantes é relativo ao desempenho, pois o PCE deve demonstrar uma elevada rapidez na resposta e poder ser acedido, de um modo fácil, fiável, íntegro e seguro, quando e onde seja pretendido, 24 horas por dia. Não menos importante é também o requisito do controlo e acesso, pois o PCE deve possibilitar um acesso fácil a todos os prestadores de cuidados de saúde, sem no entanto descuidar os mecanismos de confidencialidade. Segundo [Duarte, 2008], o conteúdo do PCE tem de possuir todos os dados uniformes e todos os formatos e sistemas de codificação devidamente normalizados. Segundo o autor é necessário ter sempre em mente que o PCE é também uma ferramenta de partilha de informação, devendo conter informação que seja perceptível a todos os clínicos. O PCE deve conter também documentos externos (por exemplo formulários de se-

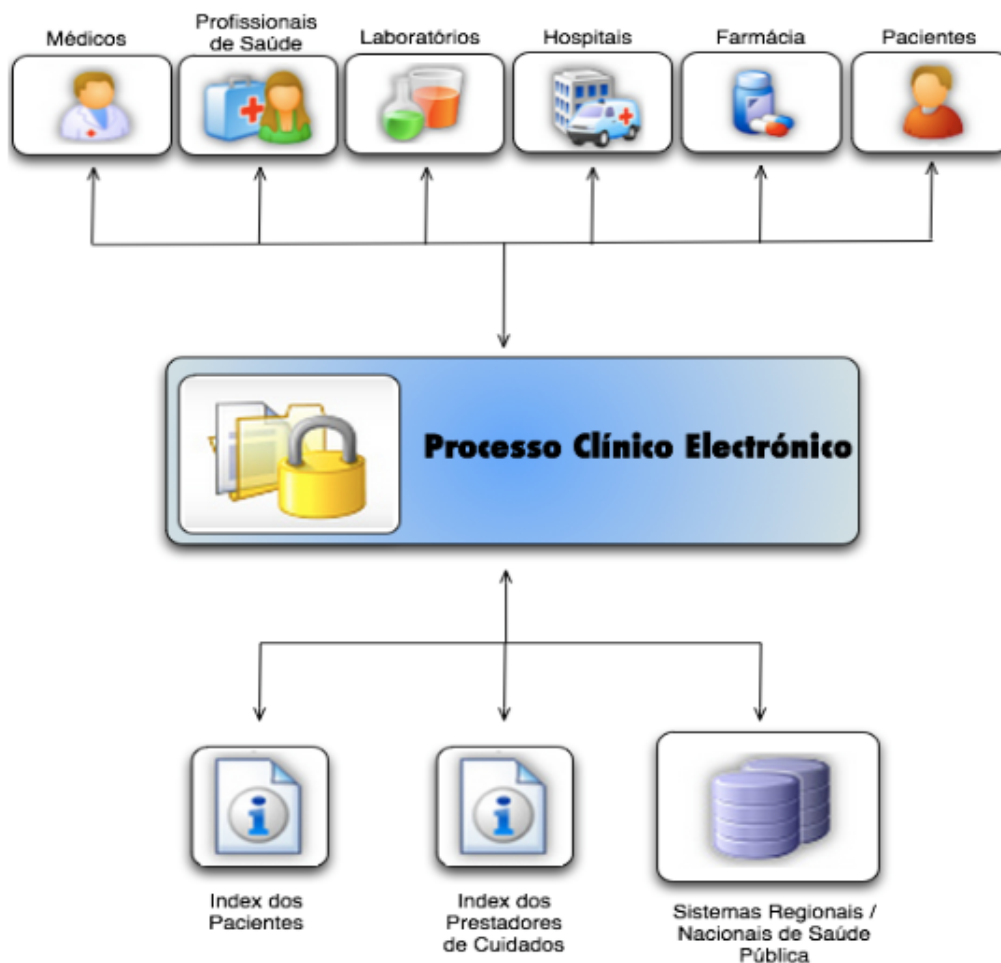


Figura 2.4: PCP e relação entre as fontes de informação [Pereira, 2012]

guradoras), relatórios clínicos pré-definidos (por exemplo notas de alta) e relatórios personalizados, possibilitando assim a geração de documentos e relatórios personalizados para fins específicos, facilitando ainda a configuração de interfaces de registo.

Vantagens e Desvantagens do PCE

Segundo [Pereira, 2012], um dos benefícios que mais sobressai advém da informatização dos dados. Assim sendo, é possível armazenar uma enorme quantidade de informação num dispositivo que ocupa pouco espaço físico. Esta propriedade de um PCE vai se acentuar cada vez mais, uma vez que as ciências computacionais evoluem a cada dia que passa. Além disso, deixa de existir a necessidade de armazenar

os dados fisicamente (em papel e arquivos), o que se traduzia numa operação problemática dada a elevada a quantidade de espaço necessário para o armazenamento de diversos materiais. A partilha de informação também se torna uma tarefa muito mais simples de se realizar e de um modo imediato.

Para [Abelha, 2004], a segurança e a confidencialidade dos dados dos indivíduos são dois aspectos de extrema importância num PC. Apesar de haver muitas preocupações relativas à possível perda de dados num PCE, havendo inclusive quem considere que a segurança num PCE seja inferior à existente num PCP, para o autor isto não traduz a realidade. A duplicação de dados é mais facilitada num PCE, permitindo a criação de *backups*, o que por si já é um sinal de segurança. Segundo o autor, um sistema de PCE bem concebido, com esquemas seguros de redundância e planos de contingência, torna o PC muito mais fiável e menos suscetível à perda de dados, conseguindo-se assim desmistificar o mito de que o PCE não é seguro. A confidencialidade dos dados dos doentes é obtida recorrendo a perfis de acesso específico para cada utilizador, possibilitando a restrição de acesso ao PC, assim como realizar uma monitorização de forma automática. Adicionalmente, o PCE torna possível o uso dos registos de *log* de modo a se detectar acessos de utilizadores não-autorizados.

Em [Ginsberg, 1991], o autor identifica uma grande melhoria, com utilização do PCE, a facilidade no acesso à informação clínica. Com este método de registo, os profissionais de saúde adquirem a capacidade de acesso a um mesmo PC simultaneamente, mesmo quando este é acedido de localizações distintas. Verifica-se, também, um aumento da velocidade de acesso à informação. O apoio à pesquisa de informação é também alvo de melhoramento, pois um utilizador adquire a capacidade de pesquisar em texto livre, recorrer a palavras chave, procurar relacionamentos ou mesmo obter estatísticas. O problema da legibilidade é ultrapassado com a transição do PCP para o PCE. Antes da transição, os registos eram efectuados à mão, verificando-se uma constante dificuldade na leitura dos mesmos, dependendo da caligrafia dos profissionais de saúde, o que se traduzia num elevado número de

erros médicos.

Segundo [Duarte, 2008], O PCE permite também o processamento dos dados em contínuo, do que advém o grande benefício da procura ininterruptamente por erros, assim como a capacidade de emitir avisos e mensagem aos médicos no caso da ocorrência de situações patológicas anómalas. Possibilita também uma redução nos erros de digitação, pois existe a possibilidade de integração com aparelhos médicos, permitindo efetuar uma recolha automática dos parâmetros clínicos (temperatura, tensão arterial, pulso, entre outros). O autor destaca ainda, em relação aos *layouts*, as diversas formas de visualização e introdução de dados que o utilizador pode optar, contrariamente ao que se verificava num PCP. O PCE garante a possibilidade de personalizar a interface. Este aspecto pode parecer irrelevante à primeira vista, mas é de grande importância dada a existência de modalidades bastantes específicas num ambiente hospitalar [Duarte et al., 2014].

Implementações do PCE

A adoção do PCE não tem alcançado tanto sucesso como se previa inicialmente. Isto deve-se muito às diversas barreiras que surgem à sua implementação. Em [Häyrinen et al., 2008], os autores destacam algumas dessas barreiras. Os elevados custos iniciais, as limitações de hardware, a sincronização dos registos, a adequação incorreta às necessidades reais, as dúvidas relativas ao retorno do investimento e a resistência à mudança dos profissionais clínicos são as principais barreiras apontadas pelos autores. Diversos estudos têm sido efectuados com o intuito de incidirem nas taxas de utilização e na implementação do PCE.

Um estudo efetuado pela *National Center for Health Statistics* (NCHS) permitiu determinar a adesão do PCE por parte dos profissionais clínicos ao longo dos últimos anos. O estudo verificou que, enquanto que em 2001 a percentagem de adesão ao PCE nos Estados Unidos da América (EUA) era apenas de 18,2%, em

2005 subiu para os 23,9% e em 2009 fixou-se nos 43,9%. O estudo permitiu concluir que, nos últimos anos os valores sobre a adoção do PCE têm aumentado consideravelmente nos EUA [Hsiao et al., 2009]. Com o objetivo de aumentar ainda mais esses valores, o presidente dos EUA reforçou o estímulo à adoção do PCE com a introdução da ata *American Recovery and Reinvestment Act* (ARRA). Este estímulo passou por recompensar monetariamente as instituições que aderissem o PCE até 2014. As instituições que adotaram em 2011 e 2012, arrecadaram uma maior quantia, enquanto as que adotaram depois de 2015 inclusive, não obtiveram qualquer compensação, ficando sujeitas ao pagamento de elevadas coimas [Ollapally, 2010]. A tabela 2.2 monsta as quantias envolvidas em cada ano, dependendo da data da adoção do PCE.

Tabela 2.2: Incentivos à implementação do PCE nos EUA [Ollapally, 2010]

	2011	2012	2013	2014	2015 +
Incentivo 2011	18 000 \$	-	-	-	-
Incentivo 2012	12 000 \$	18 000 \$	-	-	-
Incentivo 2013	8 000 \$	12 000 \$	15 000 \$	-	-
Incentivo 2014	4 000 \$	8 000 \$	12 000 \$	15 000 \$	-
Incentivo 2015	2 000 \$	4 000 \$	8 000 \$	12 000 \$	-
Incentivo 2016	-	2 000 \$	4 000 \$	8 000 \$	-
Incentivo Total	44 000 \$	44 000 \$	39 000 \$	35 000 \$	-

A nível europeu, o estudo *Benchmarking Deployment of eHealth among General Practitioners*, encomendado pela Comissão Europeia e que se realiza de 5 em 5 anos, permite aferir sobre a utilização do PCE nos países Europeus. Neste estudo os países foram classificados numa escala de 0 a 4, em que a não utilização foi representada pelo valor 0 e a utilização por todos os clínicos de todo o país foi representada pelo valor 4. Verificou-se que os países melhor classificados são a Holanda, a Dinamarca, o Reino Unido, a Espanha e a Itália, com valores finais a rodar os 3,329 e 3,140. Os últimos lugares da grelha econtram-se países como a Lituânia, a Grécia e Malta. Estes últimos lugares ficaram com classificações compreendidas entre os 1,393 e 2,126. Relativamente a Portugal, o nosso país aparece sensivelmente a meio da tabela, com classificação de 2,803. Contudo, Portugal fica ligeiramente

a baixo da média de todos os países europeus, classificada com 2,944 [EU, 2013]. Apesar de tudo, esta informação pode ser algo traiçoeira, na medida em que pode transparecer que países como a Holanda e a Dinamarca utilizam o PCE a 100%, ou seja, não utilizem nenhuma informação em papel. Mas isso nem sempre é verdade, o PCE pode estar implementado numa unidade de saúde em todos os seus serviços, mas não se encontrar disponível para todos os dados existentes nessa mesma unidade. Por essa mesma razão, o referido estudo analisou a percentagem de dados que estão presentes no PCE, analisando também a evolução desde o último estudo realizado. Concluiu-se que a medicação está no topo da lista com 95%. Com 93%, seguem os armazenamentos de informação relativa a história clínica e os parâmetros básicos. A informação relativa a diagnósticos possui uma taxa de 92%. Segue na lista a informação referente aos resultados laboratoriais, com 91%. Os restantes dados so apresentados na figura 2.5. Da análise da figura observa-se também a grande evolução que ocorreu entre os dois últimos estudos da Comissão Europeia. Dada esta grande evolução, os autores do estudo esperam, num futuro próximo, que todas as unidades de saúde possuam um PCE com toda a informação clínica, de modo a tornar essa unidade livre de papel [EU, 2013].

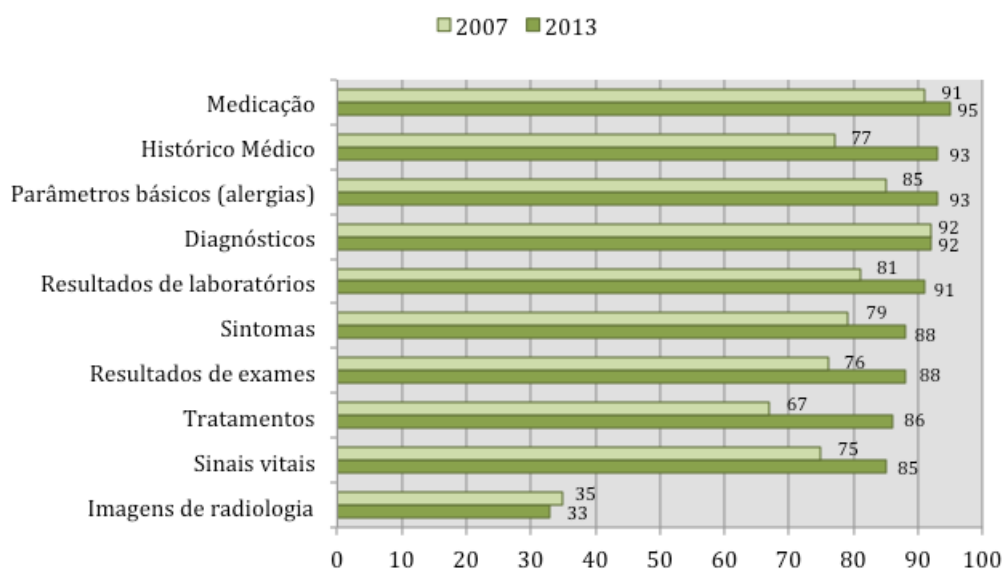


Figura 2.5: Tipo de dados armazenados nos PCE europeus (adaptado de [EU, 2013])

Em relação ao panorama nacional, o Ministério da Saúde realizou um estudo que foi publicado em 2009 e concluiu que muito está ainda por fazer nesta área, havendo já algumas tentativas de desenvolvimento de PCE [MS, 2009]:

- **Processo Clínico Eletrónico** - É um registo electrónico com objetivo de registo, arquivo e partilha e informação clínica e encontra-se em funcionamento no Centro Hospitalar do Porto;
- **Processo Clínico Eletrónico único** - É um sistema de registo eletrónico de informação clínica e está implementado em alguns Centros de Saúde e Hospitais da Região Autónoma da Madeira;
- **Informação Clínica do Utente** - Este método de registo constitui uma forma de registo electrónica e encontra-se em funcionamento no Hospital São João, no Porto;
- **Urgência Pediátrica Integrada do Porto** - Este sistema foi projetado tendo por base a necessidade de dar resposta eficaz ao atendimento pediátrico na área do Porto e encontra-se em funcionamento tanto em hospitais como em centros de saúde da zona.

O estudo refere que existem outras tentativas de implementação do PCE, mas à data ainda em fases piloto e com pouco divulgação [MS, 2009].

2.2 Extensão à Programação em Lógica

Para formalizar o modelo computacional, considera-se uma extensão à programação em lógica com dois tipos de negação, a negação clássica, \neg , e a negação fraca ou por falsificação, *not*. Intuitivamente, *not p* é verdadeiro sempre que não existe razão para acreditar em p (pressuposto do mundo fechado), enquanto $\neg p$

obriga a uma prova do literal negativo. Uma Extensão à Programação em Lógica (ELP) [Analide et al., 2006], é uma colecção finita de regras na forma [Neves, 1984]:

$$q \leftarrow p_1 \wedge \dots \wedge p_m \wedge \text{nao } p_{m+1} \wedge \dots \wedge \text{nao } p_{m+p}$$

$$?p_1 \wedge \dots \wedge p_m \wedge \text{nao } p_{m+1} \wedge \dots \wedge \text{nao } p_{m+p}$$

Onde $?$ é um átomo que denota a falsificação, e q e cada p_i são literais, ou seja formulas do tipo a ou $\neg a$, sendo a um átomo, para $n, m \in \mathbb{N}_0$. A ELP introduz outro tipo de negação: a negação forte, representada pelo símbolo da negação clássica \neg . Em muitas situações, é útil representar $\neg A$ como um literal, se é possível provar $\neg A$. Na ELP, as expressões A e $\text{not } A$, sendo A um literal, são literais estendidos, enquanto A ou $\neg A$ são literais simples. Intuitivamente, $\text{not } p$ é verdadeiro sempre que não existe uma razão para acreditar em p , enquanto $\neg p$ obriga a uma prova do literal negativo.

Cada programa está associado a um conjunto de hipóteses (ditas abdutíveis). Estas hipóteses fornecem soluções possíveis ou explicações / justificações para uma dada questão, sendo dadas aqui na forma de exceções às extensões dos predicados que constituem o programa. Para raciocinar sobre o corpo de conhecimento apresentado num programa em particular ou uma teoria, definida na base do formalismo apresentado em epígrafe, considera-se um dado procedimento em termos da extensão de um predicado chamada *demo*, usando ELP. Esse predicado permite raciocinar sobre o corpo de conhecimento apresentado num dado domínio, definido em termos do formalismo já apresentado. Dada uma questão, devolve uma solução baseada num conjunto de pressupostos. Esse meta-predicado (*demo*) será definido como um meta-demonstrador de teoremas para informação incompleta representado pela assinatura:

$$demo : T, V \rightarrow \{verdadeiro, falso, desconhecido\}$$

Que infere a avaliação V de um teorema T em termos do valor de verdade *falso* (ou 0), o valor de verdade *verdadeiro* (ou 1) e o valor *desconhecido* (com valores de verdade pertencentes ao intervalo $]0,1[$), tendo em conta o seguinte conjunto de produções:

$$demo(T, verdadeiro) \leftarrow T.$$

$$demo(T, falso) \leftarrow \neg T.$$

$$demo(T, desconhecido) \leftarrow not T, not \neg T.$$

Usando um exemplo simples, considera-se o seguinte conjunto de predicados:

$$itch : Nome X Valor$$

$$fever : Nome X Valor$$

$$pain : Nome X Valor$$

Onde o primeiro argumento denota o nome do paciente e o segundo denota o valor de verdade (ou grau de confiança) em relação ao sujeito. Por exemplo, a extensão do predicado *itch* pode agora ser dada na forma (programa 1):

$$\neg itch(X, Y) \leftarrow not itch(X, Y), not abducible_{itch}(X, Y).$$

$$abducible_{itch}(X, Y) \leftarrow itch(X, \perp).$$

$$itch(paulo, \perp).$$

$$itch(joao, 1).$$

$$abducible_{itch}(carolina, 0.6).$$

$$abducible_{itch}(carolina, 0.8).$$

$$?((abducible_{itch}(X_1, Y_1) \vee abducible_{itch}(X_2, Y_2)) \wedge \neg(abducible_{itch}(X_1, Y_1) \wedge abducible_{itch}(X_2, Y_2))).$$

Onde a primeira cláusula denota o fecho do predicado *itch*. Na segunda cláusula, o símbolo \perp denota um valor nulo, no sentido em que se assume que Y pode tomar qualquer valor de verdade no intervalo $[0,1]$. A quarta cláusula denota que o valor de verdade de *itch* para o paciente *joao* é 1. As cláusulas 5 e 6 denota, o facto de o valor de verdade de *itch* para o paciente *carolina* é 0.6 ou 0.8, ou talvez ambos. A sétima cláusula define um invariante que implementa o operador *XOR*, ou seja, define que o valor de verdade de *itch* para o paciente *carolina* é 0.6 ou 0.8, mas podem ser ambos.

A extensão do predicado *fever* pode ser dada na forma (programa 2):

$$\neg fever(X, Y) \leftarrow not\ fever(X, Y), not\ abducible_{fever}(X, Y).$$

$$abducible_{fever}(X, Y) \leftarrow fever(X, \perp).$$

$$fever(carolina, \perp).$$

$$fever(paulo, 1).$$

$$abducible_{fever}(joao, 0.50).$$

$$abducible_{fever}(carolina, 0.75).$$

$$?((abducible_{fever}(X_1, Y_1) \vee abducible_{fever}(X_2, Y_2)) \wedge \neg(abducible_{fever}(X_1, Y_1) \wedge abducible_{fever}(X_2, Y_2))).$$

A extensão do predicado *pain* pode ser dada na forma (programa 3):

$$\neg \text{pain}(X, Y) \leftarrow \text{not pain}(X, Y), \text{not abducible}_{\text{pain}}(X, Y).$$

$$\text{abducible}_{\text{pain}}(X, Y) \leftarrow \text{pain}(X, \perp).$$

$$\text{pain}(\text{carolina}, \perp).$$

$$\text{pain}(\text{paulo}, 1).$$

$$\text{abducible}_{\text{pain}}(\text{joao}, 0.3).$$

$$\text{abducible}_{\text{pain}}(\text{joao}, 0.45).$$

$$\text{abducible}_{\text{pain}}(\text{joao}, 0.57).$$

No programa os três últimas cláusulas denotam o caso em que o valor de verdade de *pain* para o paciente *joao* é o valor desconhecido, de entre os valores do conjunto $\{0.3, 0.45, 0.57\}$.

2.2.1 Qualidade de Informação

Nos processos de tomada de decisão [andG. Zhang et al., 2007] [Novais et al., 2009] é necessário procurar apenas os caminhos de procura mais promissores. Cada caminho deve ser testado em termos da sua habilidade para adaptar-se a ambientes dinâmicos, ou seja, ambientes em permanente atualização, para deduzir e desenhar inferências, e para escolher a ação mais apropriada a partir de um vasto conjunto de alternativas. O caminho óptimo num contexto EPL é um programa em lógica ou teoria que modela o universo de discurso e maximiza o seu factor de Qualidade de Informação (QdI). Sendo i ($i \in [1, m]$) que representa os predicados cujas extensões fazem um programa em lógica estendida que modela o universo de discurso, como é dado acima em termos dos predicados *itch*, *fever* e *pain*, sendo j ($j \in [1, n]$) os atributos desses predicados.

Seja $x_j \in [\min_j, \max_j]$ um valor para o atributo j . Para cada predicado está também associada uma função de avaliação $V_{ij}[\min_j, \max_j] \rightarrow [0, 1]$, que dá o predicado de avaliação i atribuído a um valor do atributo j no intervalo de valores aceitáveis, ou seja, o domínio (por questões de simplicidade os valores de avaliação fazem parte do intervalo $[0,1]$).

A QdI com respeito a um predicado genérico p pode ser analisado em 4 situações e pode ser medido no intervalo $[0,1]$, quando a informação é positiva ou negativa, quando a informação é desconhecida mas pode ser selecionada a partir de um ou mais valores, e quando a informação é desconhecido mas pode ser derivada a partir de um conjunto de valores possíveis, mas apenas um pode ser selecionado. Se a informação é conhecida (positiva) ou falsa (negativa) o QdI para o predicado em avaliação é 1. Para situações em que o valor é desconhecido o QdI é dado por:

$$QdI_p = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} = 0 (N \gg 0)$$

Para as situações em que a informação é desconhecida mas pode ser derivada a partir de um conjunto de valores, $QdI_P = 1/Card$, sendo $Card$ a cardinalidade do conjunto de exceções para P , se o conjunto de exceções é disjunto. Se o conjunto de exceções não é disjunto, a qualidade-da-informação é dada por:

$$QdI_P = \frac{1}{C_1^{Card} + \dots + C_{Card}^{Card}}$$

Sendo C_{Card}^{Card} um subconjunto de $card$ -combinações, com $Card$ elementos. O próximo elemento do modelo a ser considerado é a importância relativa que um predicado atribuí aos seus atributos sobre observação., ou seja, W_{ij} é a relevância do atributo j para o predicado i . Assume-se que os pesos de todos os predicados são normalizados:

$$\forall i \sum_{j=1}^n W_{ji} = 1$$

Pelo outro lado, a função de avaliação de um predicado, quando associada a um valor $x = (x_1, \dots, x_n)$ num espaço multi-dimensional, é definida em termos dos seus domínios de atributo na forma:

$$V^i(x) \sum_{j=1}^n W_j^i * V_i^j(x_j)$$

Assim, é viável medir a QoI que ocorre como o resultado da invocação de um programa em lógica para demonstrar um teorema (por exemplo, Teorema), invocando os valores $V_i(x)$ num espaço multidimensional e projetando-o num espaço a duas dimensões. Por exemplo, para os programas 1, 2 e 3, tem-se para o paciente *joao* (em termos da área em tracejado):

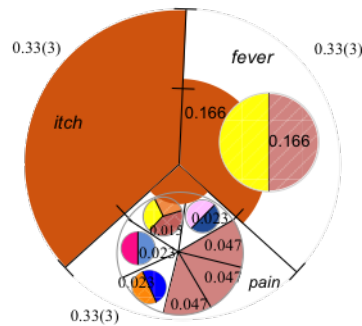


Figura 2.6: Uma medida da QoI para o programa em lógica ou teoria P com respeito ao paciente *joao*

2.2.2 Tomada de Decisão em Grupo

O grupo de Inteligência Artificial do Departamento de Informática, da Escola de Engenharia, da Universidade do Minho, tem vindo a trabalhar no projeto VirtualECare, do qual resultaram já várias publicações em conferências internacionais. O

projecto VirtualECare corporiza um sistema multiagente inteligente para monitorizar processos e interagir com os utilizadores, normalmente pessoas com mais de 60 anos e familiares. O sistema é constituído por diferentes serviços presentes em unidades para a prestação de cuidados de saúde. O sistema liga-se s instituições de saúde responsáveis pelo acompanhamento dos pacientes assim como s casas dos familiares, centros de lazer, instalações culturais e lojas, entre outros locais [Novais et al., 2009].

O VirtualECare GDSS é um Sistema de Suporte decisão em Grupo (GDSS) orientado ao conhecimento [Lima et al., 2009], suportado por uma base de dados (ou base de conhecimento) e modela representações do universo de discurso, a partir de uma abordagem computacional baseada na prova. Nessa abordagem, o valor de verdade de um teorema é demonstrado em termos da QdI dos termos que compõem a extensão dos predicados invocados [Analide et al., 2006].

A abordagem para o VirtualECare GDSS baseia-se na racionalidade empírica de Simon [Simon, 1982]. O recurso Inteligência ocorre continuamente, ao mesmo tempo que o GDSS interage com os outros componentes do sistema VirtualECare. Os problemas identificados que executam ações despertam a formação de uma decisão em grupo. A formação do grupo é conduzida na fase de *Pre-meeting*, quando um facilitador deve escolher os parceiros. De forma a formar o “melhor” grupo, deve-se avaliar a QdI com base na informação possuída por cada participante. Os passos de *design* e *choice* ocorrem na fase de *In-meeting*. No *In-meeting*, os participantes trabalham de forma a atingir os objectivos da reunião e tomar as melhores decisões. De forma a atingir esse resultado, os participantes usam uma base de conhecimento e partilham informação. Novamente, o sistema deve permitir medir a QdI disponível. Na fase de *Post-Meeting*, é importante avaliar os resultados alcançados da forma mais profunda, pelo grupo, assim como o grau de satisfação de cada participante em relação aos resultados.

Os ciclos da fase *In-Meeting*, através de um conjunto de interações, são similares “circular logic of choice” de Nappelbaum [Nappelbaum, 1997]. No modelo

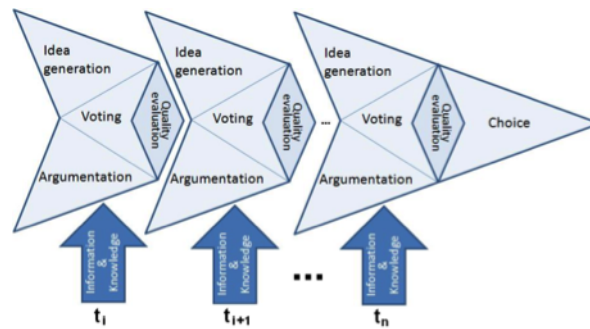


Figura 2.7: A Fase *In-meeting* com várias interações

de Nappelbaum, a partir da descrição de opções, do julgamento de valores e de instruções instrumentais, desenvolvem-se ciclos de melhoramento da descrição do problema através duma escolha. Essa abordagem é estendida, em sintonia com o modelo de decisão Hedgehog de Jones e Humphreys [Jones and Humphreys, 2005]. Em vez de construir e descrever a solução para um determinado problema dentro de um contexto de um caminho simples para a decisão, sugere-se a exploração de potenciais caminhos diferentes para desenvolver conhecimento contextual, permitindo a autoria colaborativa de resultados. Dessa forma, a QdI é avaliada em cada iteração, para cada caminho possível. O sistema de conhecimento é vigiado de forma a integrar a informação necessária medida pela função QdI [Analide et al., 2006] [Machado et al., 2010]. Se a medida de QdI não atinge o limite esperado, nova informação e/ou conhecimento deve ser procurado e o processo volta ao passo anterior. A Figura 2.8 ilustra a situação em que o limite de qualidade é atingido por um processo passo-a-passo, até um ponto na escala temporal onde a decisão é tomada. Em cada iteração, podem ser usadas abordagens diferentes para gerar alternativas e critérios, em particular a generalização de ideias, a argumentação e as técnicas de votação, para suportar o processo de tomada de decisão [Lima et al., 2009].

Mesmo quando o tempo obriga o grupo a tomar decisões rápidas, antes que o limite de qualidade seja atingido, a avaliação da QdI associada ao processo de inferência é central porque dá uma medida da confiança da decisão em si. Em qualquer momento, vários cenários possíveis são colocados, cada um com uma QdI

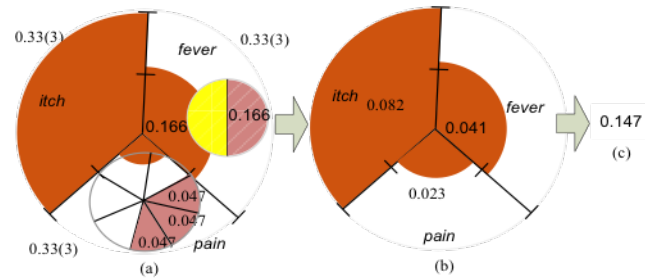


Figura 2.8: Uma medida da QdI para um cenário possível de tomada de decisão para o paciente *joao*

próprio (figura 2.6). Por exemplo, na figura 2.8 (a) mostra-se a QdI para um cenário que envolve os programas 1, 2 e 3 com respeito ao paciente *joao*, e em (b) mostra-se a mesma representação, mas agora tendo em conta o predicado *relevance*. É assim possível definir uma relação de ordem para os diferentes cenários, em termos da QdI, ou seja, o cenário ou teoria a ser selecionado é aquele que apresenta o maior valor de verdade.

Capítulo 3

Resultados

3.1 Estudo I - Step Towards Paper Free Hospital through Electronic Health Record

Maria Salazar, Júlio Duarte, Rui Pereira, Filipe Portela, Manuel Filipe Santos,
António Abelha, José Machado

Advances in Information Systems and Technologies, (Vol. 206, pp. 685-694):
Springer Berlin Heidelberg 2013.

3.1.1 Abstract

Information technology has great potential for transforming the health care system, improving quality of care. With the increasing expansion of health information systems, the Electronic Health Record (EHR) has become one of the finest sources for clinical information aggregators in the context of digital health. The EHR is a core part of a hospital information system, as well as a service on duty of the patient to improve the treatment of patients. It can be considered as a longitudinal electronic record of patient health information, for example vital signs, medical history or laboratory data, generated by one or more encounters in any care delivery setting. As the EHR offers many potential opportunities for healthcare systems, it is important to take steps to improve the system. With this in mind, a study of the features present on a Portuguese EHR was made. The basis of this study was an adoption model that evaluates the EHR system accordingly to its current features. After this study, the EHR will be ranked into one of the existing eight stages

3.1.2 Introduction

The sustained demand by healthcare organizations to improve the quality of patient care and patient safety boosted the adoption of information and communication technologies (ICT). Along with the computerization of hospitals, a new stage began and with it the emergence of new concepts, paradigms and methodologies to solve problems in this domain of knowledge. Healthcare, among other industries, has already profited extensively by the growth of ICT, with the objective of serving not only physicians but also other professionals in their daily work with patients. The most common application of those types of systems is the electronic health records (EHR) system.

More than just a computerized version of a paper medical chart, over time, the EHR can allow a patient's providers to share important information, across different

health care settings, while maintaining EHR patient confidentiality in accordance with federal and state privacy and security requirements. The patient health information in an EHR includes allergies, radiology images, lab and test results, medical history, diagnoses, medications, and immunization dates. Besides the inclusion of all the functions provided by the process clinic in paper, other features are present, such as decision support systems, personified warning or automatic alerts and messages. The EHR has proved to be an excellent tool for healthcare organizations. But the continuously seek for improving the system is necessary. The task of maintaining a well-functioning health service requires continual adjustments and sometimes also the introduction of new functions and it is also possible to turn the system more usable to the healthcare providers. Those modifications will increase the efficiency; reduce errors, which leads to improve the patient safety, along with other benefits.

In this context, this article highlights an EHR hospital system that was evaluated in accordance with an adoption model. This study was made to understand the level of the current EHR, and ascertain what can be improved in order to turn the hospital into a paperless environment. This article contains six others sections. The subsequent section explains the notion of electronic health record. In the third section, the HIMSS organization is addressed. The fourth section describes the methods used to perform the categorization of the EHR's level. The remaining sections feature the results, as well as its discussion and lastly the final conclusion is presented.

3.1.3 The Electronic Health Record

The Electronic Health Record (EHR) is a core application, which covers horizontally the health care unit and makes possible a transverse analysis of medical records along the several services, units or treated pathologies [I-1]. Despite the fact that there is not one exact definition for EHR, it can be defined as the computerized

records of patients clinical data. This information, which can be clinical, administrative or financial, is inserted in an electronic system that enables the capture, maintenance, transmission and storage of clinical information which is essential, not only for the monitoring of the health status of each patient but also for proposes such as cost management [I-2] [I-3] Thus, an EHR is an assembly of standardized documents, ordered and concise, directed to the register of actions and medical procedures; a set of information that can be compiled either by physicians or other health professional; a register of compiled facts, containing all the information regarding patient health data; and a follow up of the risks values and clinical profile [I-1].

All the data are collected accordingly to the Problem Oriented Medical Record (POMR) method. This is a format for clinical recording consisting of a problem list, a database including the patient history with physical examination and clinical findings, diagnostic, therapeutic and educational plans and a daily SOAP (Subjective, Objective, Assessment and Plan) progress note. The problem list serves as an index for the reader, each problem being followed through until resolution. This system widely influences note keeping by recognizing the four different phases of the decision making process: data collection; the formulation of problems; the devising of a management plan; and the reviewing of the situation and the revising of the plan if necessary [I-4] [I-5].

With the adoption of the EHR it was possible to acquire the versatility of a device capable of storing a vast sum of data. This was the great advantage obtain with the transition of Paper Clinic Process (PCP) to EHR. The data legibility, the continuous data processing, the ability to detect errors or releasing alarms concerning eventual pathological anomalies can also be considered as positives features acquired with the implementation of EHR. With the inclusion of this advantages, the patient assistance has become more effective, faster and with better quality.

Despite the fact that the EHR system is fully implemented at the hospital,

there are always particular modifications that can be made in order to improve the system, which is crucial to achieve success. The referred adjustments can be involved in the integration of new features or by improving the work conditions (reduce errors, improve patient safety and care quality, increase efficiency). Furthermore, although the EHR system is a replacement of the PCP, the hospital still uses paper charts to deliver and manage patient care and has a mixture of discrete data, document images and medical images within its EHR environment.

With those considerations in mind, it was extremely important to evaluate the level of the EHR. Furthermore, it is vital understand with new features can be included to achieve the main goal, which is to turn the hospital into a paperless environment. One organization produced one adoption model that can be a useful tool in this task. Lets know a bit more about that organization, HIMSS, and its adoption model, the EMRAM.

3.1.4 The HIMSS

The Healthcare Information and Management Systems Society (HIMSS), founded over 50 years in Georgia Institute of Technology, is a cause-based, not-for-profit organization exclusively motivated on providing global leadership for the optimal use of information technology (IT) and management systems for the furtherance of healthcare [I-6].

HIMSS, along with its related organizations, are headquartered in Chicago with additional offices in the United States, Europe and Asia, representing more than 44,000 individual members, of which more than two thirds work in healthcare providers, governmental and non-profit organizations [6].

HIMSS frames and leads healthcare practices and public policy through its content expertise, professional development, research initiatives and media vehicles

designed to promote information and management systems' contributions to improve the quality, safety, access and cost-effectiveness of patient care [I-6].

More recently, two affiliates were created: HIMSS Foundation and HIMSS Analytics. The mission of the last one is to provide the highest quality data and analytical expertise to support improved decision-making for healthcare providers, healthcare IT companies and consulting firms. This subsidiary is also responsibly for the development of the Electronic Medical Record Adoption Model (EMRAM), which is an eight steps process to understanding the level of Electronic Medical Record (EMR) capabilities in hospitals [I-7]. The model identifies the levels of EMR capabilities ranging from ancillary department systems through a paperless EMR environment. It is important to highlight that the term EMR is similar to EHR. The only difference between those two terms is that an EMR only includes the patient information of one healthcare organization and the EHR contains information of different healthcare organizations [I-2].

3.1.4.1 Electronic Medical Record Adoption Model (EMRAM)

The EMRAM was created in 2005 to reflect how individual hospitals and integrated delivery systems (IDS) in the United States and Canada adopt information technology. Along with this, the EMRAM can be used as a guideline to achieve higher levels of IT adoption in way to improve patient safety, care quality, health information exchange and a paperless environment [8].

To submit a hospital to this model, a comprehensive questionnaire that lists up to 250 potential applications and the hardware supporting the application has to be completed. In addition to this, information about hospital's budget and staffing, the information system (IS) department budget and staffing can be collect in order to a benchmarking can be built. After gathering this up, HIMSS Analytics software analyses the gathered data and generates a score from zero to 7000, which will

indicate the hospital's stage. This way, all aspects of adoption, even portions of stages not yet completed, are awarded. However, each step has criteria that must be met before the stage level can be awarded. For instance, a hospital cannot be a stage 5 if they have not completed all the criteria present on stage 4, even though they may meet all conditions for stage 5. The logic is all aspects of a stage must be met to complete a stage. Brief descriptions of all criteria present in each stage are presented following [I-8]:

- **Stage 0** - At this stage are present all the organizations that do not have installed any of the key ancillary department systems, such as laboratory, pharmacy or radiology. In addition to this, it is required that the organization is not processing laboratory, pharmacy and radiology data output online from external service providers.
- **Stage 1** - To achieve this stage, the major ancillary clinical systems have to be installed. Another possibility to accomplish it is if the laboratory, pharmacy and radiology information system data output is delivered to the hospital for online access and processing in case of those ancillary services are not provided in-house, but by external service providers.
- **Stage 2** - It is required at this stage that the major ancillary clinical systems feed data to a system that provides physician access for retrieving and reviewing patient-centered results. The referenced system may be an Electronic Patient Record (EPR) system or a clinical data repository (CDR) which is fed by and feeding back into sub-systems. It might contain a controlled medical vocabulary (CMV) tool such as SNOMED to transfer results into a format that can be incorporated into the EMR as structured data. It also may contain the clinical decision support/rules engine for rudimentary conflict checking. Information from document imaging systems may be linked to the system at this stage. The hospital should be health information exchange (HIE) capable

at this stage and can share information in the EPR/CDR with other patient care stakeholders.

- **Stage 3** - Nursing/clinical documentation (e.g. vital signs, flow sheets, nursing notes, care plan charting) and/or the electronic medication administration record (eMAR) system and Order Entry/Communications are required, and are implemented and integrated with the EPR/CDR for at least one service in the hospital. The first level of clinical decision support may be implemented to conduct error checking with order entry (i.e., drug/drug, drug/food, drug/lab conflict checking normally found in the pharmacy). Some level of medical image access from picture archive and communication systems (PACS) may be available for access by physicians outside the Radiology department, e.g. via the organization's intranet.
- **Stage 4** - Computerized Practitioner Order Entry (CPOE) for services (e.g. radiology, laboratory, operating room, etc.) and/or medication (i.e. ePrescribing) is added to the nursing/clinical documentation and EPR/CDR environment. For instance, if one patient service has implemented CPOE for use by any clinician and with physicians entering orders and completed the previous stages, then this stage has been achieved. Second level of clinical decision support capabilities related to evidence based medicine may be available.
- **Stage 5** - This stage has only one requirement: the existence of a full complement of PACS systems provides medical images to physicians via an intranet and displaces all film-based images. Therefore, if a hospital contains it and has completed all the previous stages, this stage five has been achieved.
- **Stage 6** - It is obligatory at this stage to have implemented, for at least one patient care service area, a full physician documentation/charting. A clinical decision support system (CDSS) provides guidance for all clinician activities related to protocols and outcomes in the form of variance and compliance alerts

(i.e. third level of clinical decision support). Some form of structured templates is required to capture discrete data for physician documentation interaction with CDSS. The closed loop medication administration environment is fully implemented. The electronic medication administration record (eMAR) is implemented and integrated with CPOE/ePrescribing and/or pharmacy to maximize point of care patient safety processes for medication administration. Bar coding or other auto identification technology, such as radio frequency (RFID), automated dispensing machines (ADM) or double e-signature by administering nurses ensure the protection of the 5 Rights’.

- **Stage 7** - At this stage, the hospital no longer uses paper charts to deliver and manage patient care and has a mixture of discrete data, document images and medical images within its EMR environment. Also, Clinical Data Warehouses are being used to analyze patterns of clinical data to improve quality of care and patient safety and to feed outcomes reports, Quality Assurance and Business Intelligence. The hospital demonstrates summary data continuity for all hospital services (e.g. inpatient, outpatient, ED and with any owned or managed ambulatory clinics). Clinical information can be readily shared via standardized electronic transactions (e.g. Continuum of Care Document) with all entities that are authorized to treat the patient or a health information exchange (i.e. other non-associated hospitals, ambulatory clinics, sub-acute environments, employers, payers and patients in a data sharing environment).

3.1.4.2 The prestigious stages

Of the eight stages present in the EMRAM, the stage six and the stage seven are the most prestigious being the stage seven the pinnacle of an environment where paper charts are no longer used to deliver patient care. Hospitals that achieve these two stages are recognized to represent best practices in implementation of the EHR, mastering the key challenges such as closed loop medication administration, use of

CCD transactions to share data with other organizations or the inexistence of no more film in radiology for example.

To achieve those stages, other requirements aside the collecting of data have to be completed. The validation of stage six is only completed with a phone interview. The final evaluation of the stage seven is conducted by an on-site visit [I-8]. This shows the importance of assigning those stages to a hospital.

In the United States, there are a lot of hospitals awarded with the stage seven, more precisely 88 hospitals [I-7]. California is the state that leads with 37 stage seven hospitals. However, in Asia there are twelve stage six hospitals and only one hospital has been recognized with the stage seven award, the Seoul National University Bundang Hospital [I-7]. In Europe, the University Medical Center Hamburg-Eppendorf (UKE) in Germany is the only one that achieved stage seven of the EMRAM [I-8]. There is not a single Portuguese hospital awarded with a stage seven or six.

3.1.5 Methods

The major objective in this phase was to identify all the features that are available at the current EHR system in the hospital. Although it is whispered that a one-on-one interview or a brainstorm are the greatest methods to gather this type of information, this was not done. Instead, an inside study was performed. The decision for this method in opposition to those referred before is simple. The healthcare providers do not have availability to spend time to join interviews. The study solution is a better choice in this area because it does not affect the work of the health professionals.

In order to conduct this analysis properly, a guideline was created. As the guideline was elaborated accordingly to the EMRAM, it is based on the different requirements listed along the eight stages of the model. Thus, the proposal of this guideline is to identify which characteristics are present in the system. Along with

the identification of each feature, this study turn also possible to find out which features are present but are not used by the users. Or even if the users know the existence of those features. This way, those features can be recognized and further investigation can be performed in order to establish the reason of not being used. With this knowledge, adjustments can be implemented in order to overpower that drawback. Therefore, this study was conducted at the totality of the hospital's units.

Below is the list of some points presented in this guideline:

- Reading reports in electronic format;
- Management of the list of inpatients;
- Requests for analyzes or examinations;
- Prescription of drugs;
- Registration / reading of nursing notes;
- Usage of paper documentation in the management and delivery of patient care;
- Existence of electronic medication administration record.

With the outcome of this study, it is expect to rank the EHR into one of the eight levels of the EMRAM. It would be of great pleasure to the hospital if the EHR achieve one of the prestigious stages (stage six or stage seven). However, if the EHR cannot achieve such stages, there are no reasons for disappointment. Instead, it can be essential to understand what have to change in order to turn it into a better system. The objective of the hospital is to become a paperless environment, which means be recognized with a stage seven.

3.1.6 Results

This was an extremely meticulous work, analyzing everything present in the hospital, to further comparison with the EMRAM and see in what level the EHR is nowadays. This exercise has never been done before to this specific EHR system, so comparisons with previous work do not fit in here.

Through the results obtained from this studied in the hospital, it was possible to identify all the features present in the system. All the major ancillary clinical systems, such as laboratory, pharmacy and radiology, were installed in the hospital. Furthermore, all the information derived from those systems is feed to the EHR, which allows the physicians to have access for retrieving and reviewing the patient-centered results.

In order to help those clinical systems, along with others, the hospital implemented a medical imaging technology, in order to provide economical storage and convenient access to images from different modalities. The referred technology is a picture archiving and communication system (PACS), which allows the digital transmission of images and reports, eliminating the need of manually files or films.

The hospital is Health Information Exchange (HIE) as exchange information with other hospitals and health centers. This means that it has the capability to electronically move clinical information among disparate health care information systems while maintaining the meaning of the information being exchanged. Being HIE the access to clinical data is facilitate, as well as its retrieval, in order to provide safer and more timely, efficient, effective, and equitable patient-centered care. The hospital owns equally Clinical Data Warehouses, which are used, for example, to analyze patterns of clinical data to improve quality of care and patient safety and to feed outcomes reports.

The EHR contains a controlled medical vocabulary, the Systematized Nomen-

clature of Medicine (SNOMED), and it also has installed other useful tools like the ninth revision of the International Classification of Diseases (ICD-9). Those tools, not only facilitates the work of the entire workers in the hospital, but also improve other tasks such as indexing. All the information stored at the EHR can be seen by all the patient care stakeholders. This system also contains nursing/clinical documentation where the healthcare providers can record the vital signs of patients and nursing notes for example. All the order entries are made electronically and integrated with the EHR at the totality of the hospital's services. Along with this, it has mechanisms to prevent errors, such as error checking with order entry.

Physicians have the possibility of, electronically, entry instructions for the treatment of patients under his or her care. This is possible once the EHR has integrated the Computer Practitioner Order Entry (CPOE). However, the CPOE has other benefits, like patient-centered decision support, real-time patient identification, drug dose recommendations or check for treatment conflicts. Integrated with the CPOE is the electronic medication administration record (eMAR), which is responsible to enlist bar coding technology in order to submit and fill prescriptions with hand-held scanners that read bar codes and transmit them to the terminal/workstation using Bluetooth wireless technology. The eMAR relays drug dosage data to the pharmacy, which is then connected to the nursing stations.

Finally, it was possible to observe that the intensive care, one of the different patient care service areas present in the hospital, is a paperless environment. All the physician documentation/charting is made electronically, without paper. However, the majority of the patient care services areas still feel the necessity to use paper charts to deliver and manage patient care. That is not inevitably for everything accomplished in that service, but in the fulfillment of some actions, they have to use paper.

3.1.7 Discussion

Comparing the results obtained with the specification of the EMRAM, it is possible to identify the current stage of the EHR. Once the major ancillary clinical systems are installed in the hospital, the stage one is achieved. The data from those systems is included in the EHR, which has a controlled medical vocabulary. This, and the fact that the hospital is capable of exchange health information make the EHR ranking the second stage.

The third and fourth stages are also taken, because the EHR fulfills all the requirements present in those stages. The nursing and clinical documentation, electronic medication administration record system and order entry/communication are implemented successfully in the hospitals' EHR, as well as the CPOE. The system PACS is also present in the hospital, therefore the stage five is achieved.

It was possible to state that the intensive care was the only one patient care service area, which was a paperless environment. This means that the stage seven cannot be achieved, as the entire hospital has to be free of paper. But what is the conclusion about the stage six? Can the EHR be recognized as level six or 'only' level five?

Full physician documentation present in, at least, one of the services of the hospital is fulfill, as seen before. The third level of clinical decision support is also present in the EHR. The last requirement to achieve stage six is verified as well. The electronic medication administration record is fully implemented, and the medication administration is automatized by bar coding. Therefore, the EHR present in the hospital can be considered as a stage six.

Being recognized as a stage six hospital is very prestigious. However, more improvements have to be made to aim to the top, turn the hospital a paperless environment and become a reference regarding the EHR system. With this study, it

was possible to state the level of the EHR. In addition to this, it turned possible to identify the remaining steps that need to be taken in order to improve the system and become a stage seven EHR.

A stage seven hospital demonstrates superior implementation and utilization of health IT systems, resulting of true sharing, information exchange and immediate delivery of patient data to improve process performance, quality of care and safety. That is the aim of the hospital, reach the higher level of the EMRAM, providing the best service not only for the patients, but also to all their workers.

3.1.8 Conclusions

In this paper it is presented an evaluation of the current EHR system, with the help of the EMRAM provided by the HIMSS. The awareness of the level of the EHR system is vital to know what has to be done in order to improve the system to achieve the main goal of turn the hospital into a paperless environment. Having the hospitals' EHR to be recognized as a stage six is a source of pride. However, it is pretended to achieve the stage seven and be in the top. With this in mind, this evaluation turn possible to identify what have to be done to aim that objective, which means achieving the seventh level. After these modifications have been made, it is vital to done this evaluation again to see if the level seven in really achieved. The expectation is high as is the ambition.

3.1.9 References

[I-1] Machado, J., Alves, V., Abelha, A., Neves, J.: Ambient intelligence via multiagent systems in the medical arena. *Engineering Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications* 15, 3, 151-157 (2007).

[I-2] Machado J., Abelha, A., Novais, P., Neves, J., Neves, J.C.: Quality of

service in healthcare units, Int. J. Computer Aided Engineering and Technology, Vol. 2, No. 4, pp. 436 to 449, Inderscience Pub., (2010).

[I-3] Duarte, J., Portela, F., Abelha, A., Machado, J., Santos, M.: Electronic Health Record in Dermatology Service, Communications in Computer and Information Science, 221 CCIS (PART 3), Springer (2011).

[I-4] Peixoto, H., Santos, M., Abelha, A., Machado, J.: Intelligence in Interoperability with AIDA, LNCS Volume no 7661, Springer (2012).

[I-5] Miranda M., Abelha A., Santos M., Machado J., Neves J.: A Group Decision Support System for Staging of Cancer, eHealth, Springer, 114-121 (2008).

[I-6] Healthcare Information and Management Systems Society,
<http://www.himss.org/ASP/index.asp>.

[I-7] HIMSS Analytics, <http://www.himssanalytics.org/home/index.aspx>.

[I-8] HIMSS Europe, <http://www.himss.eu/>.

3.2 Estudo II - SWOT Analysis of a Portuguese Electronic Health Record

Rui Pereira, Maria Salazar, António Abelha and José Machado
Collaborative, Trusted and Privacy-Aware e/m-Services, IFIP AICT Volume 399,
Springer, 2013.

3.2.1 Abstract

In this paper it is describe a SWOT analysis of an Electronic Health Record (EHR) implemented in a Portuguese hospital. As the EHR is a core part of a hospital information system, it is extremely important to ensure that it offers the best functionalities and that users are satisfied. With this analysis it is intended to gather information about the system, in order to improve the EHR implemented in the hospital. In the end, and appending to the results of a usability evaluation done in previous works, the evaluation team had enough knowledge about are the strengths and weaknesses of the EHR, as well as what opportunities can be taken and the threats that have to be avoided.

3.2.2 Introduction

The sustained demand by healthcare organizations to improve the quality of patient care and patient safety boosted the adoption of information and communication technologies (ICT). Therefore, nowadays hundreds of ICT systems, such as the electronic health record (EHR), have been adopted in order to serve physicians as well as other professionals in their daily work with patients. An EHR can be defined as a longitudinal electronic record of patient health information generated by one or more encounters in any care delivery setting, such as progress notes, medications, vital signs, past medical history, laboratory data or radiology reports. It has the ability to generate a complete record of a clinical patient encounter, which includes evidence-based decisions support, quality management and outcomes reporting. The EHR has proved to be an excellent tool for healthcare organizations. Once EHR systems play an important role in a hospital environment, it is vital to ensure that it presents the best conditions possible. In this context, this article highlights one manner to perform an evaluation to the state of this type of systems. The EHR implemented at Centro Hospitalar do Porto (CHP), in Portugal was subjected to

a SWOT analysis in order to ascertain what can be change to improve the system. This analysis can reveal what are the great strengths of the system as well as its major pitfalls. In addition to this, the opportunities than can be taken advantage of are highlighted and the key threats to the system are alerted. At the end of this analysis, a great amount of information about the EHR is gather, which can be used to improve the system, availing to become a better tool for the professionals of the hospital as well as for patients.

3.2.3 The Electronic Health Record

The EHR, assumed as a Hospital Information System (HIS) for excellence, is a core application which covers horizontally the virtual health care unit and makes possible a transverse analysis of medical records along the several services, units or treated pathologies, bringing to healthcare units new computation models, technologies and tools, based on data warehouses, agents, multi-agent systems and ambient intelligence [II-1]. It receives the information of patients, in particular exams, thru a platform which main goal is providing rye interoperability between heterogeneous information system and medical equipment [II-8]. Beyond the organizational, functional, technical and scientific requisites, one may have to attend ethical and legal needs, as well as data quality, information security, access control and privacy. Despite the fact that there is not one exact definition for EHR, it can be defined as the computerized records of patients? clinical data. This information, which can be clinical, administrative or financial, is inserted in an electronic system that enables the capture, maintenance, transmission and storage of clinical information which is essential, not only for the monitoring of the health status of each patient but also for proposes such as cost management [II-2][II-3]. Thus, the EHR is an assembly of standardized documents, ordered and concise, directed to the register of information that can be compiled either by physicians or other health professional; a register of compiled facts, containing all the information regarding patient health data; and a

follow up of the risks values and clinical profile [II-1]. The main goal is to replace hard documents by electronic ones, increasing data processing and reducing time and costs. The patient assistance will be more effective, faster and quality will be improved. With the adoption of such a system like EHR, it is possible to facilitate and improve care in health establishments. It enables the possibility of acquiring the versatility of a device capable of storing a vast sum of information, which can become more accentuated with the development of computer science. The data legibility and duplication, the continuous data processing, the ability to detect errors, the reduce frequency of loss records, the support communication between external sources of medical information, management and resource planning or releasing alarms concerning eventual pathological anomalies are some of the great advantages acquired with this system. Analysing the advantages at a structural level, the EHR supports the customization of the user interface, allowing the use of different layouts of insertion and viewing information under the very useful aspect of the availability of specific modalities in the hospital. Along with this, the EHR enables the automated collection of clinical parameters from monitors, imaging equipment, chemical analysis, among others [II-2]. Furthermore, it allows that the entire information can be share among different users whom are directly involved in the healthcare of the patient.

3.2.4 SWOT Analysis

The assignment of providing a well-functioning health service demands continual adjustments and sometimes also the introduction of new financing and organizational methods. We must be careful, however, that in enterprise such modifications we do not obliterate aspects that are function well. Hence, it is essential to comprehend the assets and drawbacks of the EHR, as well as the prospects available to the system and the vulnerabilities that threaten it. In another words: Which features of the EHR should be safeguarded from any modification? Which charac-

teristics can be improved? With these deliberations in mind, the idea of enterprise a so-called SWOT analysis of the EHR implemented at the CHP was developed. SWOT is an acronym that stands for: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. The origin of this technique still remains a little dubious, with the vast majority assigns the development of this strategic planning tool to Albert Humphrey, between the years 1960 and 1970. SWOT analysis (Table 3.2.4) aims to identify the strengths and weaknesses of the case of study (normally an organization) and, at the same time, the opportunities and threats presents in the environment. Strengths represent the internal power that an organization possesses to compete against its rivals [II-4]. Weaknesses represent aspects that negatively impact product and/or service value with regards to customers or competi- tive environment [II-5]. Oppor- tunities are defined as a set of conditions suitable for achieving certain goals at the right time, and threats are any improper event or force in the external environment that causes harm to the organization?s strategy [II-6]. Afterwards the identification of these factors, strategies are developed which may build on the strengths, elimi- nate the weaknesses, exploit the opportunities and counter the threats. The first two variables (strengths and weaknesses) can be identified by an internal appraisal and the remaining aspects (opportunities and threats) by an external assessment [II-7]. Hereupon, it is possible to say that SWOT analysis considers the organiza- tional environment, which is composed by many elements that organizations deal with and form complex cause-and-effect type of relationships with. Environment can be divided into two categories: internal and external environment. The inter- nal environment is one that can be controlled by the organization/institutional and therefore is directly sensitive to the strategies formulated. It deals with internal fac- tors within an organization in various areas such as management, culture, finance, research and development, staff, operational efficiency and capacity, technical fra- meworks and organizational structure. The external environment is not in control of the organization. It acts homogeneously on the whole of organizations engaging in the same market and the same area. This way, opportunities and threats influence

equally the entire organizations, whose probability of impact should be handled by each company separately. Hence, the external appraisal scans the entire factors that take place outside the organization's boundary such as political, economic, cultural, social, technological and competitive environment with a view to identifying opportunities and threats [II-7]. A variation of SWOT analysis is the TOWS analysis, projected by Heinz Wehrich. In the TOWS analysis the various factors are identified and these are then paired e.g. an opportunity is matched with a strength, with the intention of stimulating a new strategic initiative. With the TOWS analysis, the information gathered with the SWOT analysis is exploited in order to assemble different strategies (Table 3.2.4). The S-O strategy uses the strengths to capitalize on opportunities and the S-T strategy uses the strengths to prevent the threats. The W-O strategy aims to improve the weaknesses through opportunities. The W-T strategy is the most defensive strategy of the TOWS analysis. All the strategies that can be created, are proposed to avoid threats and, at the same time, minimizing the weaknesses.

Tabela 3.1: The SWOT Matrix

	Internal	External
Positive	Strengths	Opportunities
Negative	Weaknesses	Threats

Tabela 3.2: The TOWS Matrix

	Opportunities	Threats
Strengths	S-O Strategy	S-T Strategy
Weaknesses	W-O Strategy	W-T Strategy

3.2.5 SWOT Analysis of the EHR

In order to gather information to perform the SWOT analysis, the EHR implemented at CHP was object of an intense study. This study undertook the perception of the various aspects present in the SWOT analysis. The results of this study were

consolidated and subsequently the items of SWOT analysis emerged which are mentioned hereinafter.

3.2.5.1 Strengths of the HER

- Power management of change in the system;
- Ability to personalize objects like interface;
- High availability and support full-time;
- High accessibility;
- Security;
- Technologically modern system;
- Ease of maintenance;
- Ease of use (usability);
- Credibility of the management team;
- Immediate access to detailed clinical information;
- Reports customized to meet the needs required;
- High computing power;
- Interoperability;
- Ability to remotely access the system.

3.2.5.2 Weaknesses of the EHR

- System documentation nonexistent;
- Graphical interface somewhat confusing;

- Necessity of paper documentation in some services of the CHP;
- Insufficient education and training of health professionals;
- Computers are old and therefore slow.

3.2.5.3 Opportunities to the EHR

- Ability to integrate with other applications;
- Ability to provide information via Internet;
- Ability to expand and sustain new services;
- Increasing importance of digital files;
- Government incentives;
- Extinction of paper use in the CHP;
- Modernization and organizational development;
- Projection of more efficient and usable interfaces;
- Developing better and more effective security protocols;
- Increasing expectation of citizens to obtain answers of clinical services faster and, at the same time, reliable;
- Use of mobile devices to access the system;
- Use of new technologies in order to enrich the system.

3.2.5.4 Threats to the EHR

- High degree of competition from other systems;
- Expansion of software companies for the health market;

- Competition / market pressure;
- Competition for scarce talented IT resources;
- Economic-financial crisis and subsequent financial constraints;
- Readiness to recover from disasters;
- Cyber attacks (hackers);
- System is based on Internet Explorer.

3.2.6 TOWS Analysis of the EHR

Once the SWOT analysis is concluded, it is possible to combine the outcomes from this analysis, promoting the TOWS analysis. Through this analysis it is possible to scrutinize the combinations between the different aspects of the system.

3.2.6.1 Strengths to Maximize Opportunities

- The possibility of modifying the system and customizing objects allows the projection of a more efficient and usable interface;
- The safety that the system grants coupled with the technical support that exists at full-time enables the development of better and more effective security protocols;
- Once the platform is at the forefront in terms of technology, numerous opportunities are glimpsed. First, the possibility of implementing the system in other hospitals, both nationally and at international level. However, organization modernization and the possibility of acquiring technologies at attractive prices may reinforce this status of the system, making it a viable alternative to similar systems from reputable companies;

- The remarkable interoperability that exists in the system permits the integration of new applications and the expansion and support of new services;
- The fact that the system can be accessed remotely facilitates the availability of information on the Internet (e.g., patients access their own information comfortably at home) and healthcare professionals access the system via mobile devices;
- The excellent specifications on the handling of the system (immediate access to detailed information, high-capacity computing, among others) based on the growing expectation that citizens have in obtaining responses of clinical services faster and at the same time reliable.

3.2.6.2 Strengths to Minimize Opportunities

- All the strengths verified in the system devalue the competition, whatever it may be. However, it is essential to continue the improvement of the system, because the competition is expected to do the same;
- The security of the system restricts the exposure to computerized attacks and, consequently, violation of patient privacy;
- Since the system is updated, as the technology is concerned, the huge competition for talented and lacking IT resources does not have great influence on the system.

3.2.6.3 Opportunities to Minimize Weaknesses

- The projection of more efficient and usable interfaces guides for improving the current system interface;

- Government incentives, organizational modernization and new technologies with attractive prices are conditions that provide the upgrade of computers in the CHP, which are already a little outdated.

3.2.6.4 Minimization of Weaknesses and Avoid Threats

- There is not any system documentation, but is compensated by the presence of full-time technicians in the CHP;
- Modification of the system interface to not be overtaken by competition.

3.2.7 Discussion

Through the SWOT analysis, it was possible to find out that the existing EHR in CHP is a system of high relevance, owning innumerable positive characteristics. Aspects such as interoperability, good usability and high availability of the system, foster the EHR implemented in CHP within such systems. However, it also has some weaknesses, though outnumbered when compared with its strengths. With this analysis, those weaknesses were identified and can be, now, overcome.

The absence of some kind of system documentation is addressed by the presence of full-time technicians, who are continuously available to assist any healthcare professional that encounters some sort of obstacle in the handling of the system. The interface is a tricky question. As the Portuguese legislation forces the healthcare professional to document in detail the entire information relatively to the patient, which can spawn a huge amount of information. Therefore, when a professional access the clinical process of a patient, every part of the patient's information has to be displayed in the screen, which can make the reading of the process a bit confusing. This aspect can be partially resolved by using screens of larger dimensions (widescreens).

The computerization of the entire clinical process in the wholly services of the CHP is not an easy task. However, it is one of the main goals and steps are being taken to achieve that desired ambition. It is not an easy task and it may take some time, but all the efforts will be compensated.

The question of the old computers is complicated since technology is constantly progress and follow that improvement throughout the entire hospitals is an expensive task indeed. Added to this, the Portuguese financial situation does not benefit the constant modernization. It is a question that will take its time to be overcome.

This analysis showed that there are some opportunities that can be exploited. For instance, the importance that digital files have obtained in recent years coupled with organizational modernization can boost the existing propose to turn the hospital paperless. New services, features or even newly developed systems can be integrating into the EHR, increasing the relevance of the current system. These and others opportunities that came up cannot be overlooked, once is vital to improve the current system in order to be up with the competition.

It is important to take into account possible threats to the EHR. This analysis shows up a few threats that we need to be aware. The faced competition is one of the largest threats, if not the greatest, that this system has to face. There are a lot of EHR's solutions, some of them from reputable companies, like Siemens. However, not only existing solutions is important to take into account, as more and more software companies want to engage into the hospital market.

The economic and financial crisis is another key threat. High financial constraints and fear to hold large investments may constrain the bet in new IT resources, which are scarce. IT resources that proved to be talented will raise the dispute for them, which can be another threat. Security is one issue that is widely considered as a main threat. However, we totally trust in the security of the EHR implemented in the CHP. Nevertheless, it is important to ensure the security and confidentiality

of its information, avoid potential cyber attacks and have alternatives to disaster situations such as, for example, the situation of the system crashing. If this happens, the CHP cannot paralyze the activities, and therefore CHP should have alternatives to flank the situation.

If the SWOT analysis provided the identification of the strengths, weaknesses, opportunities and threats of the system, the TOWS analysis unveiled strategies to improve the EHR system. The strengths of the system can maximize the existing opportunities. For example, as the systems grants interoperability, new services can be integrated into the EHR. The strengths can also be used to minimize the threats. One example of this strategy is the following. The high security stated in the system enables the restricted exposure to computerized attacks. Once the system presents a great amount of strengths, a lot of opportunities can be harnessed and threats avoided, as stated earlier.

This analysis can built on other two strategies. The opportunities can minimize the weaknesses of the systems. For example, the interface of the system was one of the weaknesses and there was one opportunity identified related to that aspect, the projection of more efficient and usable interfaces. Taking advantage of this opportunity, the system can be improved, and the flaw is overcome. The last approach seeks the minimization of the weaknesses of the system as well as avoiding the threats.

At the end of those analyses, the CHP acquired extremely valued information regarding the EHR system. At this point, they know what are their best practices, what has to be enhanced, what prospects have to be exploited and the dangers to circumvent. In addition to this, significant strategies were developed and the CHP can use them to improve the existing EHR.

3.2.8 Conclusions

In this paper it is presented a possible strategic planning to an EHR system, appending to the results of a usability evaluation done in previous works [9]. Considering that strategic planning has not been done to the EHR implemented in the CHP so far, such kind of plan was essential for the hospital. The results show that the system has a lot of strong points as well as fewer weak ones. With the identification of the system's weaknesses, it is possible to circumvent them. This evaluation proved to be an excellent tool, which has provided useful information to improve the quality of the EHR, relevant to offer better conditions not only to the healthcare providers but also to the patients.

3.2.9 References

[II-1] Machado, J., Alves, V., Abelha, A., Neves, J.: Ambient intelligence via multiagent systems in the medical arena. *Engineering Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications* 15(3), 151-157 (2007).

[II-2] Machado, J., Abelha, A., Novais, P., Neves, J., Neves, J.: Quality of Service in Healthcare Units. In: *European Simulation and Modelling Conference, European Technol Inst. Le Havre, France, European and Simulation Modeling Conference 2008*, pp. 291-298 (2008).

[II-3] Neves, J., Santos, M., Machado, J., Abelha, A., Allegro, F.S., Salazar, M.: *Electronic health records and decision support local and global perspectives*. World Scientific Engineering Academy and Society, *Transactions on Biology and Biomedicine* 5(8) (2008).

[II-4] Sharplin, A.: *Strategic Management*. McGraw-Hill, Book Co. (1986).

[II-5] Stahl, M.J.: *Total Quality Management in a Global Environment*, Oxford (1995).

[II-6] Rowe, A.J.: *Strategic Management: A Methodological Approach*, 4th

edn. Addison-Wesley Publishing Co. Inc.

[II-7] Dyson, R.: Strategic development and SWOT analysis at the University of Warwick. *European Journal of Operational Research* 152(3), 631-640 (1994).

[II-8] Peixoto, H., Santos, M., Abelha, A., Machado, J.: Intelligence in Interoperability with AIDA. In: Chen, L., Felfernig, A., Liu, J., Ra??, Z.W. (eds.) *ISMIS 2012*. LNCS, vol. 7661, pp. 264-273. Springer, Heidelberg (2012).

[II-9] Pereira, R., Duarte, J., Salazar, M., Santos, M., Neves, J., Abelha, A., Machado, J.: Usability Evaluation of an Electronic Health Record. In: *Proceedings of the IEEE-EMBS International Conference on Biomedical Engineering and Sciences, Langkawi, Malaysia (2012)*.

3.3 Estudo III - Data Quality Evaluation of Electronic Health Records in the Hospital Admission Process

Júlio Duarte, Maria Salazar, César Quintas, Manuel Santos, José Neves, António
Abelha and José Machado

9th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science,
ICIS 2010, Japão

3.3.1 Abstract

Data Quality Evaluation is a critical problem, specially in Healthcare, where people may take decisions based on confident, acceptable and secure information. In this paper we show how data quality can be evaluated from electronic health records, in particular in a hospital setting. We construct a dynamic virtual world of complex entities or agents, driven by one criterion alone, intelligence, for the provision of healthcare. This virtual world will witness the emergence and will be based on a versatile and powerful paradigm, where the candidate solutions (here understood as agents) are seen as evolutionary logic programs or theories, being the test if a solution is optimal based on a measure of the quality-of-information that stems from them.

3.3.2 Introduction

Medical Informatics (MI) is a *multus disciplus* learning area whose outcome is supported by two main disciplines, Computer Science (CS) and the Health Sciences (HS). It contributes to the modernization and improvement of quality in rendering of health services, through a better management of health information and of resources [III-1]. Specific interaction and communication-based protocols are paramount for the successful implementation, running, and/or management of any Medical Information System (MIS). Indeed, MISs have to be addressed in terms of a wide variety of heterogeneous distributed systems speaking different languages, integrating medical equipment, being customized by different companies, which in turn were developed by people aiming at different goals. This lead us to consider the solution(s) to a particular problem, to be part of an integration process of different sources of information, using different protocols, in terms of an Agency for the Integration, Diffusion and Archive (AIDA) of medical information, and the Electronic Health Record (EHR), bringing to the healthcare arena new methodologies

for problem solving in medical education, computational models, technologies and tools. The MIS can be defined as a hospital subsystem with social and technological character, which processes and manages the whole of the health information and pays attention to the clinical professional work [III-2] [III-3] [III-4].

3.3.3 AIDA framework

AIDA - Agency for the Integration, Diffusion and Archive of Medical Information (Figure 3.1) - is an agency that provides intelligent electronic workers, here understood as software agents, that present a pro-active behavior and are in charge of tasks such as the communications among its different sub-systems, sending and receiving information (e.g. medical or clinical reports, images, collections of data, prescriptions), managing and saving the information and answering to user requests, on time [III-5]. The main goal is to integrate, diffuse and archive large sets of information from heterogeneous sources (i.e. departments, services, units, computers, medical equipments); AIDA also provides tools in order to implement communication with human beings based on web-based services. Under these presuppositions, a healthcare information system (HIS) will be addressed in terms of the Administrative Information System (AIS), the Medical support Information System (MIS), the Nursing support Information System (NIS), the EHR information system and the Department Information Systems (DIS), in particular of the Laboratories (Labs), Radiological Information System (RIS) and Medical Imaging, which deals with images in a standard format, the DICOM one.

Agents exchange messages, which are well-formed formulae of the communication language, performing acts or communicative actions [III-6] [III-7] [III-8]. The intelligence of the system as a whole arises from the interactions among all the system components. The interfaces are based on Web-related front-ends, querying or managing a data warehouse. Such an approach can provide decision support. A

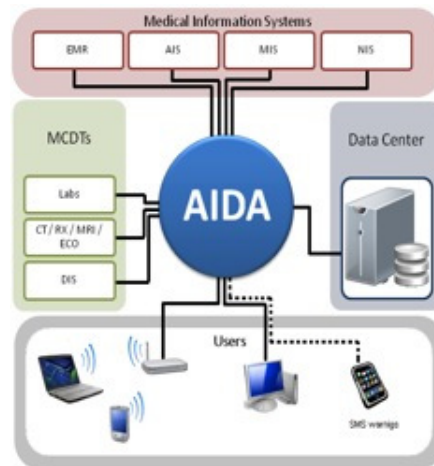


Figura 3.1: The AIDA modules

context dependent formalism has been used to specify the AIDA system incorporating facilities such as abstraction, encapsulation and hierarchy, in order to define the system components or agents; the socialization process, either at the agent level or the multi-agent one, following other possible way of aggregation and cooperation; the coordination procedure at the agent level; and the global system behavior [III-9].

3.3.4 The Electronic Health Record

The Electronic Health Record (EHR) is a core application which covers horizontally the virtual health care unit and makes possible a transverse analysis of medical records along the several services, units or treated pathologies, bringing to healthcare units new computational models, technologies and tools, based on data warehouses, agents, multi-agent systems and ambient intelligence [III-10] [III-11]. Beyond the organizational, functional, technical and scientific requisites, one may have to attend ethical and legal needs, as well as data quality, information security, access control and privacy. An EHR is an assembly of standardized documents, ordered and concise, directed to the register of actions and medical procedures; a set of information compiled by physicians and others health professionals; a register of compiled facts, containing all the information regarding patient health data; and a

follow up of the risk values and clinical profile. The main goal is to replace hard documents by electronic ones, increasing data processing and reducing time and costs. The patient assistance will be more effective, faster and quality will be improved [III-10] [III-12]. Medical education may be improved [III-10] [III-13][III-14].

The process to collect data comes from the Problem Oriented Medical Record (POMR) method. This is a format for clinical recording consisting of a problem list; a database including the patient history with physical examination and clinical findings; diagnostic, therapeutic and educational plans; a daily SOAP (Subjective, Objective, Assessment and Plan) progress note. The problem list serves as an index for the reader, each problem being followed through until resolution. This system widely influences note keeping by recognizing the four different phases of the decision making process: data collection; the formulation of problems; the devising of a management plan; and the reviewing of the situation and the revising of the plan if necessary (Figure 3.2) [III-10] [III-13].

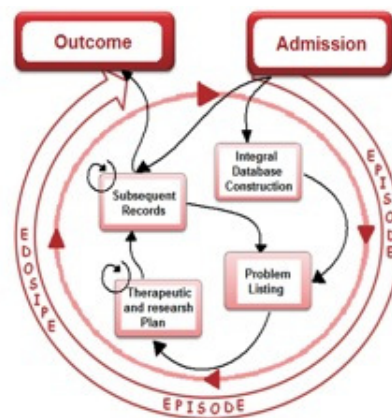


Figura 3.2: The POMR Method

Data processing is made taking under consideration organization, structure, systematization and codification. Using concepts and techniques in the domains of knowledge representation and reasoning, data, databases, objects and structures can be represented. On the other hand, the use of codification systems, scripting and ontologies enable a more natural, automatic, efficient, adaptive and intelligent recording. The system is ubiquitous; i.e., may be used anywhere in the healthcare

unit.

Comparing with the paper register, the great advantage of the EHR it is on the versatility of a device capable to store an enormous amount of information. Another positive point is the data legibility, what it does not happen in paper register, since the data is introduced manually and the legibility of the same depends, in most of the cases, on the calligraphy of the health professional. Another important advantage is the fact of the EHR to carry through the data processing in continuous, being facilitated the detention of errors and the emission of corresponding alarms concerning the situations of eventual pathological anomaly [III-15] [III-16].

3.3.5 Normalization

The information in EHR has to be standardized and normalized, i.e. it is necessary that all the data are structured and double interpretation must be reduced. In addition, the use of norms in the AIDA-PCE guarantees interoperation among the different sub-systems. The norms used in EHR are divided into three different categories: norms of representation of clinical information, norms of communication and norms of image [III-10]. International Classification of Diseases, Ninth Revision, Clinical Modification (ICD-9-CM), Systematized Nomenclature of Medicine-Clinical Terminology (SNOMED-CT) and International Classification for Nursing Practice (ICNP) are examples of common norms of classification used in healthcare. The use of these norms guarantees that the EHR can be legible for any health professional in the whole world, and also allows that machines may help health professionals in diagnosis and decision making [III-10].

3.3.6 The computational model

With respect to the computational model, and in order to fulfill all the prerequisites associated to Agent Oriented Programming, it were considered extended logic programs with two kinds of negation, classical negation, \neg , and default negation, *not*. Intuitively, *not* p is true whenever there is no reason to believe p , whereas $\neg p$ requires a proof of the negated literal. An extended logic program (program, for short) is a finite collection of rules and integrity constraints, standing for all their ground instances, and is given in the form:

$$p \leftarrow p_1 \wedge \dots \wedge p_n \wedge \text{not}q_1 \wedge \dots \wedge \text{not}q_m; \text{ and}$$

$$?p_1 \wedge \dots \wedge p_n \wedge \text{not}q_1 \wedge \dots \wedge \text{not}q_m, (n, m \geq 0)$$

where $?$ is a domain atom denoting falsity, the p_i , q_j , and p are classical ground literals, i.e. either positive atoms or atoms preceded by the classical negation sign \neg . Every program is associated with a set of abducibles. Abducibles can be seen as hypotheses that provide possible solutions or explanations of given queries, being given here in the form of exceptions to the extensions of the predicates that make the program.

These extended logic programs or theories stand for the agents (or programs) that populate the universe of discourse. Indeed, in our approach to AOP, we will not get a logic representation of the agents that model a particular universe of discourse, but rather a possible representation of such agents which may be optimized. On the other hand, logic programming enables an evolving agent to predict in advance its possible future states and to make a preference. This computational paradigm is particularly advantageous since it can be used in program synthesis, employing the methodologies for problem solving that benefit from abducibles, in order to make and preserve abductive hypotheses. Indeed, it is on the preservation of the abductive

hypotheses that our approach will be based to present a solution to the problem of agent or program optimization and evolution.

Above all they must learn how to do these things on their own, not by implementing specific instructions given to them by a programmer, but by continuously responding to positive and negative environmental feedback.

In order to accomplish such goal, i.e., to model the universe of discourse in a changing environment, the breeding and executable computer programs (or agents) will be ordered in terms of the quality-of-information that stems out of them, when subject to a process of conceptual blending. In blending, the structure or extension of two or more predicates is projected to a separate blended space, which inherits a partial structure from the inputs, and has an emergent structure of its own. Meaning is not compositional in the usual sense, and blending operates to produce understandings of composite functions or predicates, the conceptual domain.

We construct a dynamic virtual world of complex and interacting population of agents, entities that are built as evolutionary logic programs or theories that compete against one another in a rigorous selection regime, in order to produce the optimal model to a particular problem. In other words, the agents or logical theories evolve in order to model the universe of discourse, in which fitness is judged by one criterion alone, the quality-of-information.

Therefore, let i ($i \in 1, \dots, m$) denote the predicates whose extensions make an extended logic program that model the universe of discourse, and j ($j \in 1, \dots, n$) the attributes for those predicates. Let $x_j \in [min_j, max_j]$ be a value for attribute j . To each predicate it is also associated a scoring function $V_{ij}[min_j, max_j] \rightarrow 0 \dots 1$, that given the score predicate i , assigns to attribute j a value in the range of its acceptable values, i.e., its domain. For the sake of simplicity, scores are kept in the interval $[0 \dots 1]$, here given in the form:

$all(attribute\text{-}exception\text{-}list, sub\text{-}expression, invariants)$

This states that *sub-expression* should hold for each combination of the exceptions of the extensions of the predicates that denote the attributes in the *attribute-exception-list* and are according to the *invariants*. This is further translated by introducing three new predicates. The first predicate creates a list of all possible exception combinations (e.g., pairs, triples) as a list of sets determined by the domain size. The second predicate recurses through this list, and makes a call to the third predicate for each exception combination. The third predicate denotes sub-expression, given for each predicate, as a result, the respective score function. The Quality of the Information (QI) with respect to a generic predicate K is, therefore, given by $QI_K = 1/Card$, where $Card$ denotes the cardinality of the exception set for K , if the exception set is not disjoint. If the exception set is disjoint, the QI is given by:

$$Q_k = \frac{1}{C_1^{Card} + \dots + C_{Card}^{Card}}$$

where C_{Card}^{Card} is a card-combination subset, with $Card$ elements.

The next element of the model to be considered, it is the relative importance that a predicate assigns to each of its attributes under observation, w_{ij} , which stands for the relevance of attribute j for predicate i (it is also assumed that the weights of all predicates are normalized [?]):

$$\forall i \sum_{j=1}^n w_{ij} = 1$$

It is now possible to define a predicate scoring function, i.e., for a value $x = (x_1, \dots, x_n)$ in the multi dimensional space defined by the attributes domains, which is given in the form:

$$V_i(x) = \sum_{j=1}^n w_{ij} * V_{ij}(x_j).$$

and to measure the QI that stems from a logic program, by posting the $V_i(x)$ values into a multi-dimensional space and projecting it onto a two dimensional one. Under this procedure, it is defined a circle, as the one given in Figure 3.3. There, the dashed n-parts of the circle (in this case built on the extensions of 8 predicates, named as $p_1 \dots p_8$) denote the QI that is associated with each of the predicate extensions that make the logic program P. It works out the most promising extended logic programs or theories to model the universe of discourse of the agents that make the case memory, providing the optimal solution, subject to formal proof.

3.3.7 The case study

3.3.7.1 Case 1

Mr. PB is a 51 years old male, with an extensive background of respiratory problems, such as a someaftermath of pulmonary tuberculosis. However, Mr. PB has a lot more health problems associate to this, he has hypertension, cardiac insufficiency and chronic insufficiency of respiration. This patient has an antecedent of alcoholism and smoking. In fact, 20 years ago, he was a smoker during 5 years. Mr. PB was interned because he needed to be submitted for lung surgery. After surgery he was admitted for a few days at the Intensive Care Unit (ICU) until he was moved to the Post Operative Intensive Care Unit (POICU). When Mr. PB was admitted at the POICU, he was awakened and collaborative, but he was impaired and dotard. The arterial tension was AT=90/40 mmHg. The diagnostic at admission was an abscess of the lung and the treatment that Mr. PB was submitted was a pneumectomy of the right lung. The patient didn't show any infection and the infection markers where in a decreasing state.

From EHR we obtain a XML file containing a record which are shown some

contents:

```

...
<NADMSCI12 title="" Infection at admission value="Not" />
<ALERTA01 title="Cardiac Insuficiency" value="True" />
<ALERTA02 title="Chronic Respiratory Insuficiency" value="True" />
<ALERTA04 title="Allergies" value="False" text="" />
<ALERTA06 title="Pacemaker" value="False" />
<ALERTA09 title="Arterial Tension" value="90/40" unity="mmHg" text="" />
<NADMSCI19 title="Hypertension" value="True" />
<NADMSCI20 title="Diabetes="False" />
<SINDROM1 title="Diagnostic " value="5130 - LUNG ABCESS" />
<SINDROM1 title="Procedure " value="3259 - Pneumectomy" />
...

```

It is now possible to construct an extended logic program, representing the Health Record of PB:

```

{
  ¬ infection,
  ¬ diabetes(X),
  ¬ allergies(X),
  ¬ pacemaker,
  hypertension,
  cardiac_insuf,
  chronic_resp_insuf,
  diagnostic("lung abcess"),

```



```
procedure("pneumectomy"),  
art_tension(90,40,mmHg),  
...  
}agpb
```

3.3.7.2 Case 2

This patient was admitted to the Nephrology service. Ms MB was a 66 years old female. She has as a clinical history a type 2 diabetes, with 22 years of evolution and is taking insulin at least during 4 years from now. She also has hypertension, diabetic retinopathy and a chronic anemia. Ms MB was admitted to the Nephrology service from the emergency department of the same hospital, at admission she was drowsy but responded to the call. She complained only of chest pain, worsened by coughing and could not eliminate the expectoration. The diagnosis at admission was sepsis and pneumonia. She had an infection when she was admitted and the oxygen saturation was $SpO_2 = 86\%$.

From EHR we obtain a XML file containing a record which are shown some contents:

```
...  
<ALERTA04 title="Allergies" value="False" text="" />  
<ALERTA06 title="Pacemaker" value="False" />  
<NADMNEFR07 title="SpO2" value="0.86" />  
<NADMNEFR08 title="Cardiopathy" value="False" />  
<NADMNEFR09 title="Peripheral Vascular Disease" value="False" />  
<NADMNEFR010 title="Hypertension" value="True" />  
<NADMNEFR011 title="Diabetes insulin treatment" value="True" />  
...
```

```

<NADMNEFR033 title="Diagnostic:" value="Sepsis with probable respiratory
starting point" />
<NADMNEFR034 title="Infection at admission" value="Yes" />
<NADMNEFR035 title="Infection Point:" value="" />.
...

```

It is now possible to construct an extended logic program, representing the Health Record of MB:

```

{
infection,
diabetes(type2),
insulin,
¬ allergies(X),
¬ pacemaker,
¬ cardiopathy.
hypertension,
diagnostic(sepsis),
exception(resp_start_point, 0.7),
spO2(0.86)
}agmb

```

3.3.8 The results

For simplification, we will only consider the predicates infection, insulin, cardiopathy, cardiac_insuf, diagnostic, art_tension, procedure, resp_start_point. The following ELP program describes the necessary knowledge to be used for inference:

3.3. Estudo III - Data Quality Evaluation of Electronic Health Records in the Hospital Admission

$$\{$$

- $\neg \text{infection} \leftarrow \text{not infection and not exception}(\text{infection}),$
- $\neg \text{diabetes}(X) \leftarrow \text{not diabetes}(X) \text{ and not exception}(\text{diabetes}(X)),$
- $\neg \text{insulin} \leftarrow \text{not insulin}(X) \text{ and not exception}(\text{insulin}),$
- $\neg \text{insulin} \leftarrow \neg \text{diabetes}(X),$
- $\neg \text{allergies}(X) \leftarrow \text{not allergies}(X) \text{ and not exception}(\text{allergies}(X)),$
- $\neg \text{pacemaker} \leftarrow \text{not pacemaker and not exception}(\text{pacemaker}),$
- $\neg \text{cardiopathy} \leftarrow \text{not cardiopathy and not exception}(\text{cardiopathy}),$
- $\neg \text{hypertension} \leftarrow \text{not hypertension and not exception}(\text{hypertension}),$
- $\neg \text{diagnostic}(X) \leftarrow \text{not diagnostic}(X) \text{ and not exception}(\text{diagnostic}(X)),$
- $\neg \text{procedure}(X) \leftarrow \text{not procedure}(X) \text{ and not exception}(\text{procedure}(X)),$
- $\neg \text{resp_start_point} \leftarrow \text{not resp_start_point and not exception}(\text{resp_start_point}, X),$
- $\neg \text{spO2} \leftarrow \text{not spO2}(X) \text{ and not exception}(\text{spO2}(X)),$
- $\neg \text{art_tension}(X, Y, Z) \leftarrow \text{not art_tension}(X, Y, Z) \text{ and not exception}(\text{art_tension}(X, Y, Z)),$
- $\neg \text{cardiac_insuf} \leftarrow \text{not cardiac_insuf and not exception}(\text{cardiac_insuf}),$
- $\neg \text{chronic_resp_insuf} \leftarrow \text{not chronic_resp_insuf and not exception}(\text{chronic_resp_insuf})$

$$\}ag_{main}$$

Now, given a new case, the seriation of the predicates is made according the percentage of overlap between the dashed areas that make the QI for the predicates in the case memory, and those for the new one. For instance, if we have a case under evaluation, with the QI values depicted below, as shown in Figure 3.3.

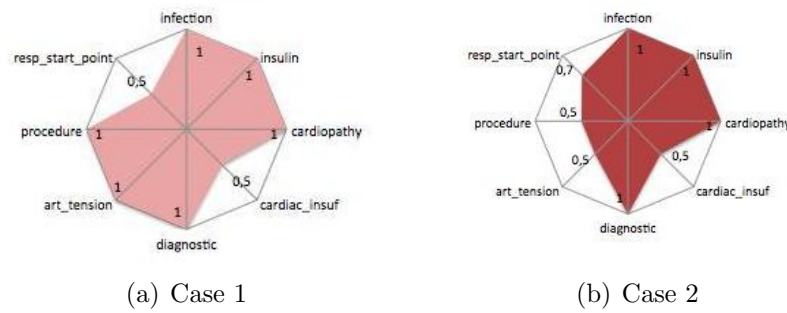


Figura 3.3: A measure of QI for MB

3.3.9 Conclusion

We addressed the problem of evaluating data quality in EHR using a model, that provides a solution, subject to formal proof, to an agent-based system in health-care, which is to be understood as the composition of the extensions of the predicates that denote the objects and the relations that make the inner circle of every case in the EHR. The parameters or attributes, that we were seeking to discover, are given in terms of the extensions of predicates of the kind just referred to above.

3.3.10 References

[III-1] Van Bommel, J.H., Musen, M.A. (1999). Handbook of Medical Informatics. Springer-Verlag Heidelberg.

[III-2] Haux, R., Winter, A., Ammenwerth, E. and Brigl, B. (2004). Strategic Information Management in Hospitals: An Introduction to Hospital Information Systems. New York: Springer-Verlag.

[III-3] Haux. (2006). R. Individualization, globalization and health about sustainable information technologies and the aim of medical informatics. International Journal of Medical Informatics. 75:795-808.

[III-4] Abelha A., Analide C., Machado J., Neves J., Santos M., Novais P., Ambient Intelligence and simulation in health care virtual scenarios, in Establishing

3.3. Estudo III - Data Quality Evaluation of Electronic Health Records in the Hospital Admission

the Foundation of Collaborative Networks, Camarinha-Matos L. Afsarmanesh H., Novais P., Analide C., (Eds), Springer-Verlag, ISBN: 978-0-387-73797-3, pp 461-468.

[III-5] Machado J., Abelha A., Santos M. and Neves J., Multi-agent Based Problem Solving in Medical Decision Support Systems, in Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Engineering and Decision Support, Lisbon, 2006.

[III-6] Weiss, G. (ed), Multi-Agent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, Cambridge, M.A., MIT Press, 1999.

[III-7] Abelha, A., Machado, J., Santos, M., Allegro, S., Rua, F., Paiva, M. and Neves, J. (2002). Agency for Integration, Diffusion and Archive of Medical Information. Proceedings of the Third IASTED International Conference - Artificial Intelligence and Applications (ISBN 0-88986-390-3), Malaga, Spain, 2002.

[III-8] Machado, J., Abelha, A., Novais, P., Neves, J. and Neves, J. (2010) Quality of service in healthcare units, Int. J. Computer Aided Engineering and Technology, Vol. 2, No. 4, pp.436-449.

[III-9] Machado J., Abelha A., Novais P., Neves J., Neves J., (2008).Improving Patient Assistance and Medical Practices through Intelligent Agents, 5th Workshop on Agents Applied in Health Care, in the Seventh International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 08), Cascais, Portugal.

[III-10] Abelha, A. (2004). Multi-Agent Systems to Support Cooperative Work in Health Care Units (in Portuguese), PhD Thesis. Departamento de Informática, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

[III-11] Machado J., Abelha A., Neves J. and Santos M., Ambient Intelligence in Medicine, in proceedings of the IEEE-Biocas 2006, Biomedical Circuits and Systems Conference, Healthcare Technology, Imperial Colledge, London, UK.

[III-12] Dick, R. and Steen, E. (1991). The Computer-based Patient Record

- An Essential Technology for Health Care. Washington, DC: National Academy Press.

[III-13] Abelha A., Alberto C., Neves João., Machado J. and Neves J., Processo Clínico Electrónico, Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia (CLME 2008), Maputo, Mozambique.

[III-14] Elberg, P.B. (2004). Electronic patient records and innovation in health care services. *International Journal of Medical Informatics* 64:201-205, 2001.

[III-15] Duarte, J. (2009). *Qualidade e Normalização do PCE*, MsC Thesis. Departamento de Informática, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

[III-16] Gurley, L. (2004), *Advantages and Disadvantages of the Electronic Health Record*, American Academy of Medical Administrators.

3.4 Estudo IV - Multi-agent systems for HL7 interoperability services

Miguel Miranda, Maria Salazar, Filipe Portela, Manuel Santos, António Abelha,
José Neves and José Machado

Procedia Technology, Volume 5, Elsevier, 2012.

3.4.1 Abstract

Information systems in healthcare are complex abstract systems. Systems communicate in a consolidated manner. Several methodologies exist presently to implement interoperable information systems in healthcare. It results in several common communication architectures and mainstream standards such as Health Level 7. However several concerns regarding distribution, fault tolerance, standards, communication flavoring and tightly bound systems still exist broadly throughout the healthcare arena. The multi-agent paradigm has been an interesting research opportunity for addressing many of such limitation in interoperability. It allows orientating agents towards adaptable but standardized information flow enabling interoperability in a loosely coupled manner.

This paper proposes and explains a multi-agent based architecture, which uses the HL7 standard as a means towards the implementation of interoperability in healthcare environment. It follows the concept of distributed consolidation of information, aiming heterogeneous systems to communicate towards their mutual benefit however through middleware agents which validate and consolidate information.

3.4.2 Main text

Due to its specificities, the healthcare information system configures an environment composed of intricate information technology systems, in which distinct solutions must share data and information consistently and as a whole. The exchange of data and information is of the essence for the optimisation of existing resources and the improvement of the decision making process through consolidation, verification and dissemination of information. Henceforth, within the healthcare environment the integration of all otherwise secluded applications is of the essence for the development of a scalable and functional Health Information System (HIS). The HIS is foremost the consorted and integrated effort of the different heteroge-

neous solutions within the healthcare institution to collect, process, report and use information and knowledge related to its unique environment to influence the existing management policies, health programs, training, research and medical practice within this institution [VI-4]. The core concept of a HIS as an abstract global information system for the processing of data, information and knowledge within the healthcare institution, indicates the significance of interoperability between systems in healthcare.

Numerous architectural solutions have been developed towards interoperability in healthcare, depending of the objectives, context and methodological approaches. At this architectural level, one can enumerate distinct and relevant abstract interoperability approaches, such as end-to-end, hub-and-spoke, distributed multi-agent or service oriented. Properties such as modularity, availability, scalability or delay timespan are associated to the interaction of different systems comprised in the devised architecture.

Considering the definition of an HIS, its essence is the architectural model composed of a group of integrated and interoperable solutions within the healthcare institution. In contrast with the usage of a centralized solution, which is unthinkable considering the specificities of each areas of a healthcare unit, it aims to maintain all distinct services and solutions. It is henceforth essential to imbue the HIS architecture with the capacity to allow communication among different and otherwise secluded systems, avoiding their centralisation and dissemination of End-to-End connections, which restrict the growth of all the infrastructure associated to the HIS. The non-modularity of services adds complexity to alterations and improvements, increasing the global costs of the information systems [IV-1]. Therefore, it is understandable the present concern demonstrated by distinct international institutions, responsible for financing and regulating the purchase and development projects for new HIS, with matters of flexibility, interoperation and integration of heterogeneous systems [IV-2] [IV-9].

Congruently with these concerns, present tendencies regarding research and industry in interoperability applied to healthcare information systems, indicate the potential of agent-oriented architecture [IV-3] [IV-6]. Besides from modularity, scalability and adaptability these systems have also the potential to imbue new features associated to intelligent agents, which may address the existing problems and solve important limitations otherwise difficult to tackle [IV-7]. Although healthcare standards like HL7 are completely distinct from agent communication standards, HL7 services can be also implemented under the agent paradigm [IV-8]. These agent based HL7 services can communicate with services that follow distinct paradigms and communicate with other agents using either HL7 or agent communication standards. Although the HL7 standard can be implemented using other architectures, agent-based solutions enjoy of a vast interoperability capability, being capable to be embedded with the most particular behaviours. These behaviours can become increasingly effective if they use machine learning and other artificial intelligence techniques in order to adapt to the existing environment and being able to prevent errors and correct the flow of information and extraction of knowledge within the institution.

3.4.3 Health Level Seven Protocol

Health Level Seven HL7 gave its first steps as a syntactic healthcare oriented communication protocol at the application layer, the seventh layer of the OSI communication model. The initial versions of the protocol defined the message structure to be exchanged by loosely connected healthcare applications by classifying the different types of messages involved in this environment which were composed at its core by the aggregation of standardized segments.

Henceforth the aim of HL7 is centered on the syntax of what is exchanged, rather than the technology or mean by which this communication occurs nor the

underlying architecture. However considering the objective of the communication and the structuring and design of this standard, defining which artefacts of data should be transferred by a certain message and the events, which should be, be subsequent, the application of client- server architecture was potentiated. In fact, the most common implementation of this architecture using HL7 is based on distinct socket communication clients and servers, in which the client sends an HL7 structured message to the server, that upon processing sends an acknowledgement HL7 standardized message. As mentioned before the HL7 standard is not bound to any technology or either to this architecture, but it is the most widely used in healthcare interoperability.

The initial versions of HL7 were uniquely syntactic, and according to the general models of interoperation are one of the lowest levels of this process. The current version 3 is opening the HL7 scope towards semantic interoperability, including the appropriate use of exchanged information in the sense of the communicating applications behaviour. This model presented in version 3 contains relations and metadata in a abstract level that may enable far higher levels of integration, namely by semantic interoperability and validation of exchanged information, using the relational mapping of each artifact. The Message Development Framework (MDF) is currently moving towards the HL7 Development Framework (HDF), therefore shifting the HL7 paradigm from message to architecture. Newer HL7 developments such as the EHR-S Functional Model and the SOA Project Group activities have been pushing this move [IV-5].

The metadata and archetypes defined in HL7 allow it to organise both production and clinical data in clearly defined and connected segments and fields, which can be validated among artifacts. However, the implementation of version 3 is still rather limited as few service providers and institutions migrated already to this version.

Although version 3 presents several improvements from the previous version,

the latter is still the most commonly used in healthcare information systems and equipment. The messages in this version are defined and identified by its control segment. In the control section of the HL7 standard several rules that are applied to all messages are defined:

- Message Segment
- Message Type
- Trigger Events

The core principle underneath the usage of this approach is the principle that behind any practical event there is the requirement for data to flow among heterogeneous systems that comprise the HIS. Henceforth, most events on the healthcare environment act as triggers for the initiation of information dissemination. While an event can emerge at one system and be handled by this system alone, being the flow of information to other ones aimed mostly at maintenance of consistency; an event can be initiated at one system but need to be handled by another, in which case the information transaction is named an unsolicited update. The scope of the standards aim is to solely specify messages between systems and the events, which trigger them. No considerations regarding underlying systems architecture and implementation are concerned by HL7.

A trigger event may come from one of the following sources:

- User Request Based (in this document also referred to as Environmental) - For example, the trigger event that prompts a system to send all accumulated data to a tracking system every 12 hours is considered Environmental. Similarly a user pressing a button in a user-interface would be considered environmental
- State Transition - resulting from a state transition as depicted in the State Transition Model for a particular message interaction. The trigger for can-

celling a document, for example, may be considered a State Transition Based trigger event

- Interaction Based - based on the receipt of another interaction. For example, the response to a query (which is an interaction) is an Interaction Based trigger event.

From this perspective the flow of information between all information systems and elements in the healthcare institution, or by other words the entire HIS is governed by these events. It's the paper of this standard to regulate and define all these events as well as their implication and required information for the underlying procedures.

The fact that most of the communications are currently being performed with a syntactic and flavored norm such as HL7 version 2 results in loss of modularity and inherent stronger coupling than desirable between systems. Moreover the complexity of flavoring and specificities of each interoperation among systems restricts a standard and extended evaluation of the information within the message before disseminating it among all the systems which compose the HIS.

Although other standards and technologies such as HL7 version 3 or openEHR allow further semantic reasoning and validation, its implementation in real environment is far from a solution considering the difficulties of dealing both of legacy systems or flavored approaches. Moreover the efficiency of the piped HL7 under version 2, and its optimisation over the years turns the migration to these more complex standards and technologies (e.g. XML) far more intricate as it can result in a overhead in equipment and systems communication.

A rather more technological but also significant source of problems is the existence of unpredictable communication failures in the network associated mainly with the hours of higher production rate.

3.4.4 Multi-agent systems for interoperability

The multi-agent system paradigm has been an interesting technology in the area of interoperability in healthcare. Being multi-agent architectures a field of research of distributed artificial intelligence, this technology is intrinsically connected to the basilar concepts that define a distributed architecture, while being distinct in the intrinsic definition of an agent versus the properties of the general middle-wares of many others distributed architectures. Being distributed by nature its characteristics introduce MAS as a rich and fiercely adaptable technology with great interest mainly due to the research interests in this arena.

In an environment where the demand for middle-wares both for production and legacy systems are constant, the agent paradigm demonstrates an intuitive advantage in organizational development in terms of creation of such services.

In this research area concepts and technologies such as terminologies, ontologies, mobility, failure recovery and intelligent behaviours are embedded or explored in many existing frameworks. Henceforth they are of interest for healthcare interoperability and a tool towards intelligent interoperability systems.

3.4.5 HL7 services in multi-agent system

As mentioned before the HL7 standard does not limit the its usage to any technology or architecture, however being the objective of its usage to regulate communications in healthcare oriented systems, there are obviously technologies and architectures that became the most used. Henceforth, the technologies and architectures that grew more common are the ones that are present by default from information systems to specific equipment for the execution of diverse complementary diagnosis methods.

However exchange of communication is not solely limited to occur between

information systems, as communication with equipment is ever-growing more important. This fact is very important to consider since it implicates that not only information systems are concerned with standards and technologies when dealing with communication, the equipment must as well deal with such characteristics. This equipment usually either communicates through the usage of standards in a loosely-coupled manner, i.e. directly with an information system (Radiological Information System, Cardiological Information System,...) or with a proprietary system which can in its term be compatible or not with other information systems. This sort of equipment usually follows a client/server architecture, in which the equipment is in most cases solely a client.

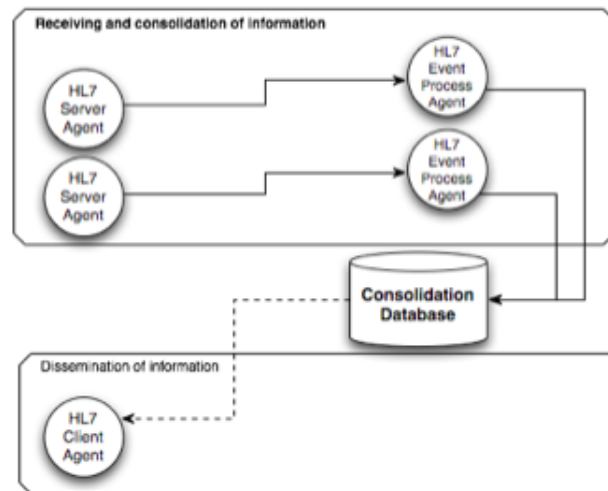


Figura 3.4: Information flow inherent to the developed HL7 service using a multi-agent system

From what is understandable from these last paragraphs there is a considerable difficulty in creating a system that uniformly understands and communicates fully with all services within a HIS. As explained before the even with the overall adoption of standards, more specifically HL7, different flavorings usually require a distinct handling of messages and its events. The unique characteristic of the agent paradigm allows creating specific behaviours or agents, which are adapted to any situation while keeping all systems loosely, coupled.

The currently detailed multi-agent system was developed under WADE/JADE

and is currently in production in mid-sized regional hospital, being responsible for the consolidation and distribution of information in this environment. It is responsible for more than processing and disseminating HL7 messages; it performs several back-office functions indispensable for the functioning of the HIS. However, for the scope of this paper only the HL7 related functionalities will be elaborated.

The concept aimed to represent and implement through this multi-agent system is the idea of distributed consolidation of information. This agent system consolidates in its own data model the information considered relevant for all information systems. When a HL7 event is received through any server agent, it is pre-processed and forwarded to another agent ready to handle this message and its events. The consolidation of this information generates events that are disseminated as HL7 events and messages throughout the systems that are registered as servers in the parametrization of the multi-agents system.

An HL7 server agent may receive messages from several clients, depended or whether or not the client keeps the connection open even while not sending messages or the number of ports open for the TCP pipe parser. As each agent by default in JADE is a unique thread, a sound characteristic that follows the perspective of an agent identity, a single socket pipe parser is preferred per agent, however the pre-processing of each message is handled as a new thread by feeding the message to a behaviour which is encapsulated in a ThreadedBehaviourFactory object. This methodology is preferred not to lock the agent's life cycle, to process the message immediately and to grant that the socket is freed as soon as possible.

As demonstrated in Figure 3.5 there are several containers with agents to receive and process messages, however the organisation per container is not significant. Analyzing the server agent in greater detail, its behaviours are orientated solely with the forwarding of a specific message and event to an agent prepared to provide these services. According to parametrisation of the MAS, the messages are forwarded to agents responsible for dealing with the service which sent the message and the

specific event. Such agents are easily found by the use of a common ontology that defined not only agent communication but also details pertaining the services registered at the directory facilitator, so that the server agent can easily find the agent the message must be forwarded to. This dynamic information flow allows to have a set of general processing agents as well as to add and remove specific agents when needed for a specific interoperability service. Moreover throughout this methodology only the server agents need to be fixed to a specific container and machine, the agents that process the messages and have most of the workload, can have mobility and move from machine to machine, container to container as necessary and also be created more than one agent for the same description service, distributing load and enabling failure prevention.

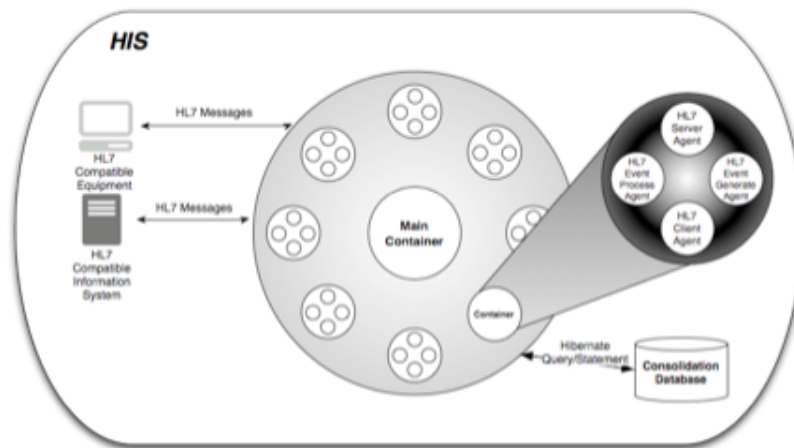


Figura 3.5: Overall architecture of the HL7 communication using a multi-agent system

The consolidation of information is achieved by the conversion of HL7 events to an ontology that also represents the consolidation model present in the relational database. This allows the ontology objects to be handled directly in synchrony and congruently with the database. For this purpose the basic JADE framework as extended with a hibernate implementation significantly different from the standard made available.

From the processing and consolidation of received events the need usually occurs for client agents to communicate with other information systems in order to

disseminate it. These tasks for the client can either emerge from requests by agents that process and consolidate the information resulting from an event or form the consolidation process itself. The relational database when altered possesses a set of triggering for certain events according to parametrization, which may create tasks for the client agents.

Considering this architecture there is obviously a shift from the usual end-to-end architecture, in which services directly intertwine with each other creating a complex mesh of connections. This architecture aims to turn the services available at the HIS loosely-coupled to an extent that adding or removing a service is a matter of changing parametrization within the multi-agent system or add a specific agent type that handles communication translation to a standard one. If a information system is removed or fails to respond the meaningful information remains stored at the consolidation database, while events that will consolidate the system with the rest of the his are being stored and scheduled in this same consolidation database.

3.4.6 Conclusions

The usage of multi-agent systems in interoperability problems constitutes a significant research opportunity to improve the communication among heterogeneous systems. Several of the research interests of agent technology such as ontologies, mobility and fault tolerance among many others can be of great use and interest to be applied in this area.

Although this module represents solely a part of greater project aimed towards a HIS with enhanced forms of interoperability, it is of great significance and interest as HL7 is the most common standard for healthcare communication among heterogeneous systems. This module is currently under validation being introduced gradually into the production MAS.

The most important characteristic of this architecture and model is that ins-

stead of a mesh of end-to-end system communication or a major centralisation of processing, this paradigm is by nature distributed but allows a consolidation of processual and clinical validation of information. This consolidation is of the essence for the establishment of a complete electronic health record in an environment in which heterogeneous information systems exist.

3.4.7 References

[IV-1] Aier, S., Schönherr, M.: Evaluating integration architectures - a scenario-based evaluation of integration technologies. *Trends in Enterprise Application Architecture* pp. 2-14 (2006).

[IV-2] Berg, M.: *Health Information Management: Integrating Information Technology in Health Care Work*. Routledge (2004).

[IV-3] Isern, D., Sanchez, D., Moreno, A.: Agents applied in health care: A review. *International Journal of Medical Informatics* 79(3), 145-166 (2010).

[IV-4] Kirsh, W. (ed.): *Encyclopedia of Public Health*, vol. 1. Springer Science (2008).

[IV-5] Lopez, D.M., Blobel, B.G.: A development framework for semantically interoperable health information systems. *International Journal of Medical Informatics* 78(2), 83-103 (2009).

[IV-6] Machado, J., Alves, V., Abelha, A., Neves, J.: Ambient intelligence via multiagent systems in the medical arena. *Engineering Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications* 15(3), 151-157 (Sep 2007).

[IV-7] Machado, J., Miranda, M., Abelha, A., Neves, J., Neves, J.: Modeling medical ethics through intelligent agents. In: Godart, C., Gronau, N., Sharma, S.K., Canals, G. (eds.) *I3E. IFIP*, vol. 305, pp. 112-122. Springer (2009).

[IV-8] Miranda, M., Pontes, G., Gonçalves, P., Peixoto, H., Santos, M., Abelha, A., Machado, J.: Modelling intelligent behaviours in multiagent based hl7 services. In: Lee, R.Y. (ed.) *Computer and Information Science, Studies in Computational Intelligence*, vol. 317, pp. 95-106 (2010).

[IV-9] PHII: Guiding principles for effective health information systems. Public Health Informatics Institute, Decatur Institute, GA (2004).

Capítulo 4

Conclusão e Trabalho Futuro

4.1 Conclusão

Este trabalho abraça o desafio de definir e aplicar um modelo formal para avaliar a qualidade de informação registada em sede do Processo Clínico Eletrónico (PCE) por forma a garantir que as decisões dos profissionais sejam tomadas com base nos cenários mais apropriados ? aqueles que apresentam uma maior qualidade de informação. Neste contexto foi explorada a programação em lógica estendida.

Por outro lado, é explorada a aplicação de Sistemas Multiagente (SMA) na interoperação de sistemas por forma a garantir que estes partilham a informação necessária e em condições adequadas (e.g. tempo real) à tomada de decisão em grupo envolvendo profissionais de várias classes (e.g. pessoal médico, pessoal de enfermagem, administradores).

Os principais resultados deste trabalho, assim como a sua contribuição científica, emergem dos quatro estudos efetuados e que foram alvo de publicação. De seguida apresenta-se uma sinopse destes estudos.

- **Estudo I** - *Step Towards Paper Free Hospital through Electronic Health Record*

Neste documento apresenta-se uma avaliação do Processo Clínico Eletrónico (PCE), com a ajuda do modelo de maturidade EMRAM fornecida pela HIMSS. A consciência do nível de maturidade do sistema PCE é vital para saber o que tem de ser feito a fim de melhorar o sistema para alcançar o objetivo principal de transformar o hospital em um ambiente sem papel. Foi apurado que o PCE do CHP se encontra no patamar 6 da escala, o que é de grande mérito. Neste estudo são definidos os passos a dar para que seja atingido o patamar máximo (7). Após a aplicação destas medidas, terá que ser realizada uma nova avaliação para aferir até que ponto os objetivos foram atingidos.

- **Estudo I** - *SWOT Analysis of a Portuguese Electronic Health Record*

Neste trabalho é apresentado um possível planejamento estratégico para um sistema PCE, tendo em consideração os resultados de uma avaliação de usabilidade realizada em trabalhos anteriores [9]. Os resultados mostram que o sistema tem uma série de pontos fortes bem como menos fracos. Com a identificação de pontos fracos do sistema, é possível contorná-los. Essa avaliação mostrou ser uma excelente ferramenta, que forneceu informações úteis para melhorar a qualidade do PCE, relevantes para obter melhores condições não só para os profissionais de saúde, mas também para os pacientes.

- **Estudo I - *Data Quality Evaluation of Electronic Health Records in the Hospital Admission Process***

Neste estudo endereçou-se o problema de avaliar a qualidade de informação associada ao PCE utilizando um modelo que soluciona o problema com base na prova formal (programação em lógica estendida). é apresentada uma medida de qualidade da informação (QI).

- **Estudo I - *Multi-agent systems for HL7 interoperability services***

O uso de Sistemas Multiagente (SMA) em problemas de interoperabilidade constitui uma oportunidade de pesquisa significativa para melhorar a comunicação entre sistemas heterogêneos. Vários dos interesses de pesquisa de tecnologia de agentes, tais como ontologias, a mobilidade e tolerância a falhas entre muitos outros podem ser de grande utilidade e interesse para serem aplicados nesta área. Embora este módulo represente apenas uma parte de um projeto maior em torno de um sistema de informação hospitalar com formas melhoradas de interoperabilidade, que é de grande importância e interesse como HL7 é o padrão mais comum para a comunicação de saúde entre sistemas heterogêneos. Este módulo está atualmente em fase de validação para ser introduzida gradualmente na produção como um SMA. A característica mais importante desta arquitetura é que em vez de uma malha de comunicação do sistema end-to-end ou uma grande centralização do processamento, este

paradigma é, por natureza, distribuído, mas permite uma consolidação de validação processual e clínico de informações. Esta consolidação é essencial para o estabelecimento de um registro completo de saúde eletrônico num ambiente em que existem sistemas de informação heterogêneos.

4.2 Trabalho Futuro

Os resultados obtidos permitem sustentar novos desenvolvimentos e novas investigações, estendendo a abordagem proposta para avaliação da QI a outros domínios, nomeadamente:

- O refinamento dos modelos desenvolvidos;
- A aplicação da abordagem a outros domínios de informação clínica.

Bibliografia

- [Abelha, 2004] Abelha, A. (2004). *Multi-Agent Systems to Support Cooperative Work in Health Care Units*. PhD thesis, Universidade do Minho.
- [Abelha et al., 2002] Abelha, A., Machado, J., Santos, M., Allegro, S., Rua, F., Paiva, M., and Neves, J. (2002). Agency for integration, diffusion and archive of medical information. In *Proceedings of the Third IASTED International Conference - Artificial Intelligence and Applications*, ISBN: 0-88986-390-3, Malaga, Spain.
- [Ammenwerth et al., 2003] Ammenwerth, E., Haux, R., Kulikowski, C., Bohne, A., Brigl, B., Fischer, G., Garde, S., Knaup, P., Ruderich, F., Schubert, R., Singer, R., and Wolff, A. (2003). Medical informatics and the quality of health: New approaches to support patient care - findings from the imia yearbook of medical informatics 2003. *Methods Inf Med* 2003, 42(2):185–189.
- [Analide et al., 2006] Analide, C., Novais, P., Machado, M., and Neves, J. (2006). Quality of knowledge in virtual entities. *Encyclopedia of Communities of Practice in Information and Knowledge Management*, pages 436–442.
- [andG. Zhang et al., 2007] andG. Zhang, J. L., Ruan, D., and Wu, F. (2007). Multi-objective group decision making: Methods, software and applications with fuzzy set techniques. *Series in Electric and Computer Engineering*.

- [Bemmel, 1984] Bemmel, J. H. V. (1984). The structure of medical informatics: Bibliography on educational courses at the free university, amsterdam. *Informatics for Health and Social Care*, 9(3-4):175–180.
- [Bremmel and Musen, 1999] Bremmel, J. and Musen, M. (1999). *Handbook of Medical Informatics*. Springer-Verlag Heidelberg.
- [Coiera, 2003] Coiera (2003). *Guide to Health Informatics*. CEC Press.
- [Dick and Steen, 1991] Dick, R. and Steen, E. (1991). *The Computer-based Patient Record - An Essential Technology for Health Care*. National Academy Press, Washington, DC.
- [Duarte, 2008] Duarte, J. (2008). Qualidade e normalização do registo no processo clínico electrónico. Master’s thesis, Universidade do Minho.
- [Duarte, 2014] Duarte, J. (2014). *Improving Quality of Information in Health Records with Medical Ontologies*. PhD thesis, Universidade do Minho.
- [Duarte et al., 2014] Duarte, J., Castro, S., Santos, M., Abelha, A., and Machado, J. (2014). Improving quality of electronic health records with snomed. *Procedia Technology 16*, pages 1342–1350.
- [EU, 2013] EU (2013). *Benchmarking Deployment of eHealth among General Practitioners (2013)*. European Commission.
- [Ginsberg, 1991] Ginsberg, M. L. (1991). *Readings in Nonmonotonic Reasoning*. Los Altos, Califórnia, EUA. Morgan Kauffman Publishers.
- [Greene et al., 2002] Greene, F., Page, D., Fleming, I., Fritz, A., Balch, C., Haller, D., and Morrow, M. (2002). *AJCC Cancer Staging Forms for Microsoft Word, From the AJCC Cancer Staging Manual*. Originally published by Lippincott Williams and Wilkins, 1998.

- [Häyrynen et al., 2008] Häyrynen, K., Saranto, K., and Nykänen, P. (2008). Definition, structure, content, use and impacts of electronic health records: A review of the research literature (review). *International Journal of Medical Informatics*, (77):291–304.
- [Hommersom et al., 2008] Hommersom, A., Lucas, P. J. F., and van Bommel, P. (2008). Checking the quality of clinical guidelines using automated reasoning tools. *Theory and Practice of Logic Programming*, 8(5-6):611–641.
- [Hsiao et al., 2009] Hsiao, C., Beatty, P., Hing, E., Woodwell, D., Rechtsteiner, E., and Sisk, J. (2009). Electronic medical record/electronic health record use by office-based physicians: United states. Technical report, Division of Health Care Statistics.
- [ISO, 2003] ISO (2003). Electronic health record definition, scope, and context. tech. rep. 2. Technical report, International Organization for Standardization.
- [Jones and Humphreys, 2005] Jones, G. and Humphreys, P. (2005). The decision hedgehog: Enhancing contextual knowledge for group decision authoring and communication support. In *Fifth International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context.*, Paris, France.
- [Kakas et al., 1998] Kakas, A., Kowalski, R., and f. Toni (1998). The role of abduction in logic programming. handbook of logic. *Artificial Intelligence and Logic Programming*.
- [Kowalski, 2006] Kowalski, R. (2006). The logical way to be artificially intelligent. In *Toni, F., Torroni, O. (eds), Proceedings of the CLIMA VI.LNCS (LNAI)*, pages 1–22, Heidelberg. Springer.
- [Lima et al., 2009] Lima, L., Novais, P., and Cruz, J. B. (2009). A process model for group decision making with quality evaluation, in distributed computing. *Arti-*

- ficial Intelligence, Bioinformatics, Soft Computing and Ambient Assisted Living, Omatiu S., et al.*, pages 566–573.
- [Machado et al., 2010] Machado, J., Abelha, A., Novais, P., and Neves, J. (2010). Quality of service in healthcare units. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 2(4):436–449.
- [MS, 2009] MS (2009). *RSE – Registo de Saúde Electrónico - R1: Documento de Estado da Arte*. Ministério da Saúde.
- [Nappelbaum, 1997] Nappelbaum, E. (1997). Systems logic for problem formulation and choice. In *IFIP TC8 WG8.3, P. Humphreys, et al.*
- [Neves, 1984] Neves, J. (1984). A logic interpreter to handle time and negation. In *Logic Data Bases, in Proceedings of ACM'84, The Fifth Generation Challenge*, pages 50–54.
- [Neves et al., 2008] Neves, J., Santos, M., Machado, J., Abelha, A., Sollari, A., , and Salazar, M. (2008). Electronic health records - organizational, regional, national, or worldwide? In *1st WSEAS International Conference on Biomedical Electronics and Biomedical Informatics*, pages 116–121.
- [Novais et al., 2009] Novais, P., Costa, R., Carneiro, D., Machado, J., Lima, L., and Neves, J. (2009). Group support in collaborative networks organizations for ambient assisted living. *Towards Sustainable Society on Ubiquitous Networks, Makoto Oya, Ryuya Uda, Chizuko Yasunobu*, pages 353–362.
- [Ollapally, 2010] Ollapally, V. (2010). Meaningful use of electronic health records. *Bulletin of the American College Surgeons*, 95(5):7–9.
- [Pereira, 2012] Pereira, R. (2012). Avaliação da usabilidade de aplicações informáticas em hospitais – um passo efetivo para um hospital sem papel. Master's thesis, Universidade do Minho.

- [Sheridam, 1991] Sheridam, F. (1991). A survey of techniques for inference under uncertainty. *Artificial Intelligent Review*, 1(5):89.
- [Simon, 1982] Simon, H. (1982). *Models of Bounded Rationality: Empirically Grounded Economic Reason.*, volume 3. MIT Press.
- [Slee et al., 2000] Slee, V., Slee, D., and Schmidt, J. (2000). *The Endangered Medical Record: Ensuring Its Integrity in the Age of Informatics.* Trinca Press.
- [Subrahmanian, 2001] Subrahmanian, V. (2001). Probabilistic databases and logic programming. In *Proceedings of the 17th International Conference of Logic Programming.*