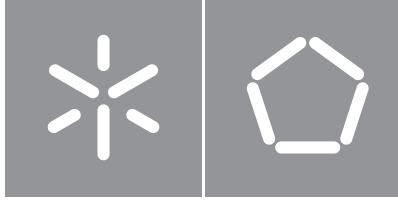




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Gabriel de Sousa Pereira Pontes

**Raciocínio Baseado na Ética Médica
na Decisão em Grupo**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Gabriel de Sousa Pereira Pontes

**Raciocínio Baseado na Ética Médica na
Decisão em Grupo**

Tese de Doutoramento

Doutoramento em Engenharia Biomédica

Trabalho efetuado sob a orientação do(a)

Professor Doutor José Manuel Ferreira Machado

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Creative Commons Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgual 4.0 Internacional
CC BY-NC-SA 4.0**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.pt>

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

_____, _____
(Localização) (Data)

(Gabriel de Sousa Pereira Pontes)

Agradecimentos

Alcancei com esta tese um marco muito importante na minha vida e tenho muito a agradecer!

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha profunda gratidão ao Professor José Machado pelo seu contínuo incentivo durante o meu percurso académico e no meu projeto de investigação, bem como pela sua paciência, entusiasmo e partilha de conhecimento. Recebi um excelente apoio durante as fases de investigação e escrita desta tese.

Para além do meu orientador, gostaria de expressar a minha gratidão à equipa do laboratório de Engenharia do Conhecimento do Centro ALGORITMI, em particular à Regina Sousa, Diana Ferreira, Cristiana Neto e Daniela Oliveira, pelas suas sugestões, assistência e inspiração.

Termino com sinceros e profundos agradecimentos a toda minha família e meus amigos mais próximos pelo apoio incondicional ao longo desta tese. Para a Laura e o Pedro, aquele agradecimento mais especial.

Resumo

O processo de tomada de decisões, em qualquer que seja a área envolvente, tem sempre por base regras baseadas no consentimento, que foram previamente trabalhadas por vários conselhos. Quando focamos em processos de decisões éticas, a chave para o sucesso deste processo está assente na partilha de valores (sejam eles morais ou não) e objetivos.

A ética aplicada à saúde surge nos anos 70 em resposta aos conflitos morais relacionados com os cuidados aos doentes, com a investigação médica e com as novas tecnologias. Desde então a ética, na relação médico-doente, evoluiu para várias outras áreas como a genética, a medicina reprodutiva, a alocação de recursos, entre outros.

Cada vez mais, as evoluções tecnológicas fazem com que a esperança média de vida aumente e, consequentemente, a população envelheça. Este facto faz com que, como consequência do aumento das doenças crónicas, da interação da saúde com outras áreas como a educação e o ambiente, na igualdade de acessos a serviços e medicamentos, sejam levantados desafios éticos aos profissionais da saúde que têm como tarefa diária a tomada de decisões. As agravantes disparam ainda mais quando aparece um vírus desconhecido, tal como o SARS-Cov-2, pondo em risco o princípio da medicina baseado na evidência, o que torna esta tarefa de tomar decisões ainda mais árdua. Assim sendo, o estudo de modelos para o raciocínio ético tem sido fonte de estudo e de discussão em diferentes comunidades científicas. No entanto nenhum modelo revelou superioridade indiscutível sobre os restantes. O contexto de aplicação da moral leva a preferir uma metodologia em relação a outras. Em áreas tais como a Medicina, onde a qualidade de vida e a própria vida de um paciente estão em jogo, a capacidade de tornar o processo de raciocínio transparente, justificável e dinâmico tem uma importância central. Neste documento, apresentam-se linhas orientadoras do raciocínio ético aplicado à Medicina e defende-se que a programação em Lógica Contínua apresenta grande potencial para o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão confiáveis, com base na moralidade. Apresentam-se ainda casos de estudo relativos à Unidade de Cuidados Intensivos, um serviço crítico onde a complexidade moral das decisões diárias é uma motivação para a análise e o desenvolvimento de metodologias para o suporte à decisão com base na moralidade.

Palavras-chave: Ética, Moral, Processo de Tomada de Decisões, Instituições de Saúde

Abstract

The decision-making process in any given area is always based on consent-based rules that have been previously worked out by various councils. When we focus on ethical decision-making processes, the key to success lies in shared values (whether moral or otherwise) and goals. Besides, this process must be based on transparency, trust, and above all, conscience.

Health ethics emerged in the 1970s in response to moral conflicts related to patient care, medical research, and new technologies. Since then, ethics, in the doctor-patient relationship, has evolved into several other areas such as genetics, reproductive medicine, resource allocation, among others. Today, in health care institutions, ethics focuses on respect for the person. This overlaps with the overall health of the population, which in turn is more determined by public health policies.

Increasingly, technological developments are causing the average life expectancy to increase and, consequently, the population to age. As a consequence of the increase in chronic diseases, the interaction of health with other areas such as education and the environment, and equal access to services and medicines, ethical challenges are raised for health professionals whose daily task is to make decisions. The aggravating factors get even worse when an unknown virus, such as SARS-Cov-2, appears, jeopardizing the principle of evidence-based medicine, which makes this task of making decisions even more arduous.

Therefore, the study of models for an ethical reasoning has been a source of study and discussion in different scientific communities. However, no model has revealed indisputable superiority over the others. The context in which morality is applied leads to a preference for one methodology over others. In areas such as medicine, where the quality of life and the very life of a patient are at stake, the ability to make the reasoning process transparent, justifiable, and dynamic is of central importance. In this paper, guidelines for ethical reasoning applied to Medicine are presented and it is argued that Continuous Logic programming has great potential for the development of reliable decision support systems based on morality. As an example, case studies are presented of situations related to an Intensive Care Unit, a critical service where the moral complexity of daily decisions is a motivation for the analysis and development of methodologies for decision support based on morality.

Keywords: Ethics, Morals, Decision Making Process, Health Care Institutions

Índice

Lista de Figuras	viii
Siglas	ix
1 Introdução	1
1.1 Âmbito e Contextualização	1
1.2 Motivação	6
1.3 Objetivos	7
1.4 Metodologia	8
1.5 Estrutura do Documento	9
2 Estado da Arte	10
2.1 Revisão da Literatura	10
2.2 Desafios das Instituições de Saúde	10
2.3 Unidades de Cuidados Intensivos	14
2.4 Tecnologias de Informação nos Cuidados de Saúde	14
2.5 Agentes Inteligentes	18
2.6 Inteligência Artificial	23
2.6.1 Machine Learning	24
2.6.2 Deep Learning	25
2.7 Sistemas de Suporte à Decisão Clínica	26
2.8 Ética na Medicina	27
2.9 Modelo Formal	29
3 Casos De Estudo	32
3.1 Modeling Intelligent Agents to Integrate a Patient Monitoring System	32
3.2 Morality in Group Decision Support System in Medicine	41
3.3 A Step Towards Medical Ethics Modeling	52
3.4 A Moral Decision Support System in Medicine	63

3.5	Intelligent Agents and Medical Moral Dilemmas	69
3.6	Agent Based Interoperability in Hospital Information Systems	76
3.7	Stand-Alone Electronic Health Record	82
3.8	Step Towards Predicting Length of Stay in Intensive Care Units	88
4	Conclusões e Trabalho Futuro	99
4.1	Conclusões	99
4.2	Trabalho Futuro	109
	Bibliografia	113

Lista de Figuras

1	Esquema ilustrativo da transformação dos dados em sabedoria. Adaptado de [37].	15
2	Estrutura e funcionamento de um sistema de informação.	17
3	Rede Neural Simples. Adaptado de [69].	25

Siglas

BI	Business Intelligence
CDSS	Clinical Decision Support System
CHUP	Centro Hospitalar Universitário do Porto
DINW	Data, Information, Knowledge, Wisdom
DL	Deep Learning
EHR	Electronic Health Record
HL7	Health Level Seven
IA	Inteligência Artificial
LPA	Lesão Pulmunar Aguda
ML	Machine Learning
MPR	Multi-Point Relaying
MupELP	Multi-valued Extended Logic Program
PaIMS	Perceptual and Adaptive Learning Modules
PaO2	tensão arterial parcial de oxigénio
PCE	Processo Clínico Eletrónico
PLC	Programação em Lógica Contínua
RFID	Radio Frequency IDentification

SAPS3	Simplified Acute Physiology Score III
SI	Sistema de Informação
SIS	Sistemas de Informação na Saúde
SMA	Sistemas Multi-Agente
SRaG	Síndrome Respiratória Aguda Grave
UCI	Unidade de Cuidados Intensivos

Introdução

Esta tese de doutoramento intitula-se "Raciocínio Baseado na Ética Médica e nas Decisões em Grupo". Este projeto é enquadrado no Programa Doutoral de Engenharia Biomédica da Universidade do Minho.

Durante este primeiro capítulo será apresentada a contextualização do tema bem como as motivações para a sua investigação. São também evidenciadas as questões de investigação que serviram de fio condutor para o desenvolvimento desta tese assim como os objetivos delineados para responder a estas questões. As questões de investigação serão respondidas no capítulo das conclusões, de forma clara e objetiva.

Para terminar, a última secção deste capítulo apresenta a estrutura da tese, fazendo um breve resumo ao conteúdo de cada um dos capítulos.

1.1 Âmbito e Contextualização

O contexto hospitalar é um ambiente de constante evolução desde os seus primórdios. A medicina é uma área do conhecimento que está presente na vida do ser humano desde 460 anos a.C [71].

A arte de curar e encontrar tratamentos para as doenças e perturbações do corpo humano é provavelmente o desafio mais antigo e mais complexo que a humanidade enfrentou. Apesar dos avanços científico-tecnológicos que foram alcançados ao longo dos anos, a medicina é uma prática universal que ainda está longe de ser explorada em toda a sua plenitude. Ao longo dos anos, a medicina tem sido exercida de forma reativa com base na interpretação de sintomas e na análise dos históricos clínicos dos pacientes. A incapacidade de o ser humano expressar corretamente os seus sintomas e descrever o seu historial médico na íntegra representam fortes limitações neste tipo de abordagem. Estas lacunas podem conduzir a efeitos adversos na prestação de cuidados de saúde e podem até mesmo comprometer a

sobrevivência do paciente. Neste sentido, as instituições de saúde estão progressivamente a caminhar para uma realidade diferente da atual, na qual a medicina é mais preventiva e preditiva e a prática clínica é uma mistura de ciência e tecnologia. O recurso à informática num ambiente hospitalar evoluiu de uma forma significativa nos últimos anos. A progressiva informatização dos hospitais conduziu ao enceto de uma nova fase, guiando à manifestação de novos conceitos, paradigmas e metodologias na resolução dos problemas existentes neste domínio do conhecimento. A par da informática, também as tecnologias de informação têm contribuído ao longo dos tempos para uma melhoria na prestação dos cuidados de saúde. Tem surgido uma crescente variedade de novas tecnologias que providenciam novas formas de organizar alguns aspetos importantes no ambiente clínico, como a obtenção de dados do paciente, do tratamento, da partilha de informação clínica entre unidades de prestação de serviços hospitalares ou entre unidades de saúde distintas, entre outras, visando a melhoria da qualidade de serviços de saúde prestados e a maior eficiência destes, assim como da gestão hospitalar. Um dos focos da aplicação das novas tecnologias em ambientes hospitalares prende-se com a monitorização do paciente e da unidade de serviço em que está inserido. Quando se trata de unidades como os Cuidados Intensivos, outros problemas surgem associados, como a gestão de camas e previsibilidade do fluxo de pacientes, que podem ser aplicados num eventual cenário de lotação da unidade hospitalar, por exemplo. Questões associadas à ética e moral emergem como “o que fazer se não há possibilidade de um paciente sobreviver, mas a família insistir na continuidade de cuidados avançados?” ou “o que fazer quando um paciente está a ocupar uma cama que é necessária para outro paciente com maior probabilidade de sobrevivência?”. As tecnologias da informação são por isso determinantes na evolução da medicina, já que podem salvar vidas, reduzir o tempo de espera e aumentar a segurança e a satisfação dos pacientes. Por este motivo, tem havido, nos últimos anos, uma adoção generalizada de sistemas informatizados nas instituições de saúde. Consequentemente, existe diariamente uma enorme quantidade de dados a ser produzidos e disseminados. Embora, esta vasta quantidade de dados possa parecer proveitosa, na realidade, os profissionais de saúde sentem-se sobrecarregados por este fluxo contínuo de dados, cuja análise é difícil, exigente e demorada. Por outro lado, é impossível ignorar o rápido crescimento dos dados, dada a sua riqueza e os conhecimentos que podem ser extraídos para salvar vidas. Sendo assim, é necessário procurar formas de garantir que estes dados sejam aproveitados ao seu potencial máximo para apoiar os profissionais de saúde no diagnóstico da gravidade de doenças, bem como na análise do seu prognóstico e na avaliação da eficácia das medidas de tratamento aplicadas.

Deste modo surge a necessidade de desenvolver ferramentas de registo e processamento de informação de foro clínico, que são vitais para melhorar as questões da informação relativa à monitorização do paciente e à gestão por parte do hospital dos seus diversos serviços. Sistemas de identificação sem fios tais como o [Radio Frequency Identification \(RFID\)](#) são um exemplo de nova tecnologia usada na saúde, e estão na vanguarda tecnológica para identificação e localização de pacientes, assim como da sua monitorização num ambiente de internamento. Sistemas de monitorização de pacientes e camas

ajudam a melhorar o próprio tratamento assim como proporcionam uma melhor resposta a eventuais necessidades que surjam como uma queda do paciente, além de permitirem aos gestores do hospital informação exata sobre a ocupação de camas das diferentes unidades e do fluxo de pacientes, que permitirá uma gestão criteriosa dos recursos alocados e/ou a alocar. Esta informação está na base de um modelo computacional de suporte à decisão que envolve a questão da decisão computacional baseada na ética e na moral, quando se analisam situações extremas como uma possível sobrelotação da unidade hospitalar de Cuidados Intensivos, para eventualmente decidir a que doentes atribuir camas, consoante os seus dados vitais e probabilidade de sobrevivência, entre outros.

As circunstâncias da mais recente pandemia salientaram a escassez de mecanismos eficazes no controlo e confinamento do vírus. Para além disso, em situações de pandemia, a medicina baseada na evidência é comprometida pela falta de evidências sobre mecanismos patogénicos, previsão de risco, falta de recursos e estratégias eficazes. Algumas unidades hospitalares foram projetadas para lidar da melhor forma possível com situações críticas do foro médico, mas não estão preparadas para esta falta de evidência (Machado, 2016). A conjuntura atual pode forçar a triagem continua de pacientes e a priorização do acesso aos cuidados de saúde devido ao esgotamento dos recursos clínicos. Face à ameaça do novo coronavírus, vários sistemas de saúde em todo o mundo foram desgastados até ao ponto de rutura, obrigando os profissionais de saúde a tomar decisões delicadas e complexas como a alocação de recursos clínicos e a iniciação/interrupção de tratamentos. Estas decisões afetam diretamente a vida humana e por isso devem ser baseadas em normas éticas e em previsões de resultados a curto e longo prazo.

A investigação teve como objetivo a aplicação de uma nova metodologia de resolução de problemas para a melhoria da qualidade de serviço no internamento hospitalar, em particular na unidade de cuidados intensivos ([Unidade de Cuidados Intensivos \(UCI\)](#)), com o objetivo de integrar inteligência moral com base na ética hospitalar, por exemplo no caso de ser necessário a hospitalização de um paciente numa [UCI](#), e esta se encontrar lotada. Nestas situações é requerido uma avaliação eficiente dos pacientes que mais necessitam de uma cama nesta unidade, determinando assim em que situação de sobrelotação é necessária a transferência de pacientes, tendo sempre em conta questões éticas. Este trabalho contou com a cooperação no projeto dos departamentos de sistemas de informação do Centro Hospitalar e Universitário do Porto (CHUP) e do Centro Hospitalar do Alto Ave (hoje Hospital Senhora da Oliveira de Guimarães), onde fui, neste segundo caso, membro do Conselho de Administração, assim como a participação do corpo médico.

Este trabalho apresenta trabalho relevante nas áreas de Inteligência Artificial, Representação do Conhecimento e Formas de Raciocínio, Lógica, assim como um trabalho extenso na área da Engenharia Biomédica (Informática Médica).

A literatura tem muitos estudos dedicados ao uso da Inteligência Artificial na área da saúde, mas não há conhecimento de algum que tenha implementado com sucesso um [Clinical Decision Support System \(CDSS\)](#) inteligente que considere princípios éticos. Durante a situação de pandemia, a complexidade

foi das mais intensas, sensíveis ao tempo, e houve uma exigência de recursos e riqueza de dados. Tal complexidade estende-se, em grande parte, aos imensos cenários clínicos que surgem diariamente nos hospitais, originando inúmeras questões e preocupações éticas. Assim, é de suma importância encontrar formas de estabelecer diretrizes éticas rigorosas e adequadas para esses cenários. Além disso, alguns cidadãos demonstraram ansiedade e preocupação com a criação de formas autônomas de inteligência computacional e argumentam que aumentar a dependência de agentes autônomos e inteligentes pode prejudicar a humanidade. O medo humano em relação aos agentes inteligentes decorre da preocupação em saber se o comportamento desses agentes será ético ou não [47] [46] [56]. Assim, o reconhecimento e a aceitação de formas superiores de IA dependem diretamente da possibilidade de desenvolver salvaguardas contra condutas anti-éticas. Dedicado a este assunto está a *Ética da Máquina*, um campo de especialização que busca implementar uma dimensão moral em sistemas computacionais, seja introduzindo princípios morais em máquinas ou descobrindo meios para fazer as máquinas funcionarem de forma eticamente responsável por conta própria [6] [7]. Neste projeto, procurou-se contribuir para encontrar maneiras diferentes e únicas de superar as atuais ineficiências e desvantagens dos CDSS, mesclando poderosas técnicas de IA e rigorosos princípios éticos.

Avaliando a evolução da tecnologia e dos sistemas de informação, é visível uma tendência para o crescimento da pro-atividade e da inteligência limitada que é responsável pelo expandir da relevância das entidades virtuais.

Diversas atividades são, hoje em dia, realizadas por entidades independentes, enquanto supervisionadas por humanos. Se bem que, a maior parte destas entidades são ainda bastante limitadas na aprendizagem, adaptação e autonomia, demonstrando somente reatividade a eventos previstos ou programados. Vários ramos da *Inteligência Artificial (IA)* investigam metodologias para embeber inteligência mais profunda.

A noção de uma entidade virtual é aqui utilizada para diferenciar entidades com altos níveis de autonomia, aprendizagem, predição e decisão de uma máquina maioritariamente reativa. Ainda mais, considerando os desenvolvimentos, na área da informática e da IA em particular, deve ser considerado que muitas destas entidades podem existir numa única instância física de uma máquina, ou uma única possa existir de forma distribuída num número infinito de máquinas. Por conseguinte, a noção de uma entidade virtual neste caso é similar ao conceito de um agente na área dos *Sistemas Multi-Agente (SMA)*.

À medida que as entidades virtuais se tornam mais complexas e possuem funções críticas, uma dúvida justificada e uma preocupação relacionada com o impacto destas ações relacionadas por entidades virtuais tornam-se mais emergentes. De inúmeros cenários onde estas entidades podem interagir com os ambientes que as cercam, algumas acarretam consequências morais e definem ações com nuances éticas segundo um ponto de vista humano.

Assim sendo, é necessário prevenir decisões imorais e assegurar a confiança relativamente a estas entidades virtuais. É então pretendido garantir uma compreensão mais aprofundada da capacidade moral

de uma agência moral e investigar sobre a modelação moral da complexidade ética humana.

A modelação de ética moral pode adicionalmente resultar numa compreensão de um ponto de vista diferente da ética humana, através da estruturação de regras morais e exceções, ou pela extração de conhecimento. Por exemplo, padrões que possam ser extraídos dos resultados de casos moralmente complexos usando diferentes algoritmos. A criação de modelos éticos segundo os princípios morais definidos depende da ajuda na definição e validação destes princípios morais. A utilização de algoritmos de aprendizagem e de extração de conhecimento de casos morais existentes pode aprofundar o conhecimento dos princípios morais que possam estar subjacentes a estes casos mas que possam ter passado despercebidos.

Estes processos que visam analisar a essência da moralidade podem ser utilizados para a sua simulação ou emulação, assim como para aprofundar e avaliar os princípios morais e os dilemas em sistemas éticos complexos. Os resultados destes sistemas não se encontram limitados aos resultados das decisões morais perante um problema ético complexo. Usando uma perspectiva de apoio à decisão, de uma base de conhecimento, seja esta proveniente de casos ou de peritos, os casos semelhantes podem ser agregados para a consideração humana, e as regras ou princípios podem ser induzidos com um determinado grau de certeza ou as condições de decisão podem ser obtidas. Não existe uma solução única para a modelação de entidades éticas virtuais, havendo nos dias de hoje uma apresentação e uma comparação de diferentes metodologias face aos resultados e requisitos.

Um estudo mais estruturado das metodologias existentes e baseadas em IA indica que estas podem ser segmentadas segundo as suas características principais [73]. Uma das disparidades mais concretas e importantes em metodologias é a utilização do raciocínio explícito ao invés de raciocínio de caixa-negra. No raciocínio explícito, os processos por detrás das decisões morais são claramente definidos como princípios, regras, exceções, ou outra estrutura definida por um modelo em particular. Quando as técnicas de IA, derivadas de metodologias simbólicas, sub-simbólicas ou estatísticas, são analisadas, existem algumas que são capazes de representar a sua linha de raciocínio, permitindo uma vista transparente do processo de decisão moral [62]. Uma destas técnicas é a programação em lógica, na qual cláusulas de Horn contêm os formalismos que moldam o raciocínio existente num predicado lógico. Investigação recente indica que a lógica não monótona, devido à sua capacidade de inferência que permite adicionar novos princípios morais e mesmo assim diminuir o conjunto de conclusões determinadas pela base de conhecimento, é uma técnica promissora para modelar o raciocínio moral [47, 55].

Desta forma, princípios como a benevolência e a não maleficência podem existir de acordo com outros princípios que podem ir contra o seu valor ou representar uma exceção para casos em que existam princípios que supra-cedam outros de menor valor ético. Independentemente do uso de lógica indutiva ou abductiva, as regras utilizadas ou obtidas são definidas explicitamente. No entanto, a utilização de cada uma destas técnicas de programação em lógica varia no objetivo e no contexto da aplicação.

Por outro lado, na utilização de raciocínio de caixa negra, o raciocínio por de trás de uma decisão

moral não pode ser compreendido de uma forma clara. Noutras palavras, no processo de raciocínio de caixa negra, perante um conjunto de valores de entrada, somente o conjunto de valores de saída pode ser obtido. Não é possível obter o processo que justifica os valores de saída. Esse é o caso das redes neuronais, onde independentemente das metodologias utilizadas para tentar descobrir ou justificar o raciocínio, acrescenta a incerteza na descoberta destes processos de raciocínio à incerteza da descoberta de conhecimento [62]. Se bem que as redes neuronais possam atingir resultados muito interessantes, em casos morais existentes e que implementam o raciocínio baseado em casos, a correção da solução é inverosímil [28].

Técnicas distintas podem ser utilizadas para através de engenharia-reversa compreender a estrutura interna de uma rede neuronal e as regras nesta embecida, no entanto, o resultado não é com toda a certeza o conjunto de regras associado a esta rede, mas uma indução ou um conjunto probabilístico destas [39]. Por outras palavras, como resultado deste processo de engenharia-reversa, são obtidos um conjunto de regras de um sistema que já por si usa indução ou meios probabilísticos para se treinar, revelando um valor de incerteza maior relativamente às regras extraídas. Um outra divergência na modelação ética é o processo de aprendizagem de regras ou metodologias de raciocínio em dilemas éticos. Quando considerando uma área específica como a medicina, a maior parte do conhecimento existente acerca do raciocínio moral é contido em princípios deontológicos ou em casos de estudo [8].

Em qualquer destes, o conhecimento encontra-se centrado em indivíduos ou em painéis de peritos. Com base nestas fontes, o modelo de decisão moral pode ser desenvolvido com base em princípios existentes, de princípios aprendidos ou em princípios híbridos. Enquanto que um considera princípios deontológicos existentes, os princípios que são aprendidos são aqueles que são extraídos de casos existentes. Estes comportamentos de "aprendizagem por computador" aplicados à ética são um tema bastante complexo, pois a aprendizagem de princípios éticos por parte de uma máquina virtual pode resultar em princípios imorais, ou por outro lado estes não podem ser explicitados de forma clara (caso da aprendizagem por algoritmos de raciocínio de caixa-negra). A lógica indutiva também demonstrou anteriormente o potencial de induzir princípios e as suas relações com os peritos [72].

1.2 Motivação

Quando se tenciona modelar comportamentos morais em entidades virtuais, os investigadores têm que ter sempre presente na sua mente o ambiente que molda estes princípios. Para propósitos de investigação, a seleção de uma área e um propósito de investigação é essencial para poder contextualizar as metodologias utilizadas. Com este princípio em mente, as disparidades entre o ambiente ideal e o real na área médica apresenta um conjunto de cenários complexos que são importantes para analisar de um ponto de vista ético. Por este motivo, esta investigação é centrada no raciocínio moral na medicina aplicado num contexto clínico.

1.3 Objetivos

Tendo como objetivo a exploração de todas as questões detalhadamente descritas nas secções anteriores, foram pensados vários objetivos de investigação. Os objetivos estão delineados desde o início do projeto já que assumem um papel importante no desenvolvimento e validação da investigação. Assim sendo é necessário destacar a principal questão de investigação:

De que forma pode a Inteligência Artificial aplicar-se à ética de forma a evitar decisões imorais e apoiar os profissionais de saúde na sua atividade diária, baseada na tomada de decisões?

De forma a responder a esta questão de investigação, de forma mais clara esta foi subdividida nas seguintes questões:

- **Questão 1.** De que forma se pode garantir os princípios éticos no contexto de um sistema de informação hospitalar?
- **Questão 2.** Qual é o papel, em contexto hospitalar, de um sistema de suporte à decisão clínica, baseado em regras éticas?
- **Questão 3.** Quais são os requisitos principais para a construção e a implementação de um sistema inteligente de apoio à decisão baseada em regras éticas?
- **Questão 4.** Qual é a metodologia adequada para incluir moralidade nas decisões em grupo?
- **Questão 5.** Qual é a metodologia adequada para a modelação do raciocínio ético?
- **Questão 6.** Qual é o processo de raciocínio sólido que permita causar um número mínimo de possíveis eventos adversos?
- **Questão 7.** Podem os dilemas morais serem resolvidos num quadro de poder computacional baseado no agente de software?
- **Questão 8.** Podem os dilemas morais serem resolvidos num quadro de poder computacional baseado na programação em lógica contínua?
- **Questão 9.** De que forma se garante a consolidação e a disponibilidade da informação de forma a tornar mais fiável a resolução de dilemas morais?
- **Questão 10.** Como se utiliza o conhecimento resultante de processos de previsão no raciocínio ético?

1.4 Metodologia

Uma metodologia formal e bem estruturada é necessária para realizar uma investigação de qualidade e produzir resultados válidos que garantam que um resultado válido seja obtido em cada etapa da investigação. O método de investigação-ação [33] foi escolhido e aplicado no presente trabalho. Destaca-se por ser orientado para a ação e a mudança, permitindo ao investigador focar-se em problemas bem definidos para produzir conhecimento baseado em outros trabalhos. É uma abordagem comum para a pesquisa empírica. O processo é o seguinte:

1. identificação do problema;
2. estudo das hipóteses possíveis, seleção de uma e desenvolvimento de uma proposta;
3. verificação da hipótese selecionada;
4. conclusões após a avaliação dos resultados obtidos.

No presente trabalho:

1. Identificação e descrição das características do problema. As características, os modelos formais e os programas utilizados são definidos e as hipóteses possíveis são propostas.
2. Estudo das hipóteses possíveis, seleção de uma e desenvolvimento de uma proposta. É realizado um estudo incremental do estado da arte e são analisadas as hipóteses anteriores. Obtém-se assim um quadro teórico e selecionam-se as hipóteses mais promissoras. Uma proposta é então apresentada.
3. Verificação da hipótese selecionada. Um projeto iterativo e progressivo de uma solução é então realizado. Os dados são reunidos, vários componentes que cuidam dos diferentes aspetos do problema são implementados e são combinados num modelo abrangente.
4. Conclusões após a avaliação dos resultados obtidos. Os modelos são testado para analisar os seus resultados: componentes, funcionalidades e cada uma das suas iterações são avaliados. Os resultados são analisados para realizar a formulação das conclusões.

Paralelamente às etapas mencionadas, foi realizada uma divulgação e publicação de conhecimentos, resultados e experiências. Este processo materializou-se na forma de publicações, participação em conferências internacionais e apresentação de trabalhos.

1.5 Estrutura do Documento

O presente documento tem como principal objetivo a apresentação de uma de tese de doutoramento. Assim sendo, para auxiliar a compreensão do leitor, o documento foi organizado em 4 capítulos: Introdução, Estado da Arte, Casos de Estudo e Conclusão.

- Capítulo 1: Introdução - Durante este primeiro capítulo são apresentadas a contextualização e enquadramento do tema abordado neste projeto, evidenciando as principais motivações, bem como os objetivos;
- Capítulo 2: Estado da Arte - No segundo capítulo é apresentado o estado da arte desta temática. É fornecida uma descrição detalhada, baseada em referências bibliográficas, de todos os conceitos teóricos e científicos que se consideraram relevantes para o tema de investigação;
- Capítulo 3: Casos de Estudo - São apresentados os casos de estudo e respetiva metodologia. A apresentação dos casos de estudo foca-se na temática da evolução dos sistemas hospitalares e na definição das arquiteturas das bases de dados em análise. Em relação à metodologia, são descritos os principais passos para a realização desta dissertação;
- Capítulo 4: Conclusão - Serão descritas as principais conclusões obtidas após a realização deste estudo. Para além disso, são apresentadas algumas sugestões como trabalho futuro.

Estado da Arte

Este capítulo apresenta uma revisão crítica e interpretativa sobre o estado da literatura bem como do estado da arte. Pretende-se que sejam esclarecidos os conceitos teóricos e científicos considerado relevantes no âmbito do projeto.

2.1 Revisão da Literatura

Como requisito fundamental para este projeto, foi realizada uma ampla revisão de literatura com o objetivo de analisar criticamente os trabalhos já publicados sobre o tema, obtendo uma ideia precisa sobre o estado atual do conhecimento sobre diretrizes éticas em ambientes de saúde, identificando as principais lacunas e limitações nos processos decisórios nas unidades de saúde, compreendendo quais as variáveis que podem afetar os objetivos, bem como identificar a contribuição desta investigação para o desenvolvimento do conhecimento. Isso é particularmente importante quando há um desejo de entender e explicar um fenômeno num tópico que ainda não é bem compreendido. É o caso deste estudo, já que a incorporação do raciocínio ético nos sistemas de informação em saúde é sabiamente pouco explorada.

2.2 Desafios das Instituições de Saúde

Em ambientes hospitalares de grande dimensão, o controle e a monitorização espacial das visitas dos pacientes, funcionários, prestadores de serviços e principalmente os próprios pacientes, são extremamente complexos e geralmente não respondem às necessidades, nem oferecem informações em tempo útil para o apoio à decisão. Além disso, as características únicas das unidades críticas em hospitais como as UCIs exigem informações em tempo real dos pacientes para uma melhor qualidade de tratamento,

disponibilidade de camas e previsibilidade para possíveis casos extremos de superlotação, tudo isso tentando fazer com que a tecnologia auxilie a equipa médica e e gerir essas unidades da melhor maneira possível. No entanto, essas unidades lidam com muitas questões morais relacionadas com os pacientes. Podem surgir questões como “o que fazer se não houver possibilidade de um paciente sobreviver, mas a família insistir na continuidade dos cuidados avançados?” ou “o que fazer quando um paciente está ocupando uma cama que é necessária para outro paciente com maior probabilidade de sobrevivência?” [56].

Atualmente, as organizações de saúde enfrentam um número crescente de desafios que envolvem preocupações financeiras, legais e de atendimento ao paciente. Além disso, há uma pressão crescente para descobrir novas abordagens para garantir serviços de saúde confiáveis e de qualidade. À medida que as organizações de saúde em todo o mundo se tornam cada vez mais digitalizadas, há diariamente enormes quantidades de dados sendo recolhidos sobre variáveis clínicas, demografia de pacientes e dispositivos e serviços de saúde [61].

Essas questões têm vindo a ser revolucionadas com a introdução de novas tecnologias e informática nas unidades de saúde. As pressões para melhorar a segurança do paciente e reduzir os custos operacionais para a saúde forçaram os hospitais a adotar novas tecnologias de informação para reduzir erros médicos e responder rapidamente a situações críticas [2]. Um exemplo dessas tecnologias em desenvolvimento aplicadas na saúde é a identificação por radiofrequência (RFID), uma inovação para a recolha automática de dados, identificação de objetos e rastreamento de ativos. Embora a RFID ainda esteja em estado inicial em aplicações na saúde, ela ganhou muita atenção nos últimos anos tanto de fornecedores de serviços como de fornecedores de tecnologia. O RFID permite a identificação e o rastreamento remoto de pacientes, funcionários, medicamentos e equipamentos. Essa tecnologia pode acelerar ou eliminar muitas operações manuais e aumentar a segurança, por exemplo, rastreando medicamentos ao longo da cadeia de fornecimento e verificando a sua conformidade com o histórico médico dos pacientes. Além disso, sistemas integrados com RFID são capazes de otimizar o fluxo de trabalho, gerindo em tempo real pessoal, equipamentos e inventários de medicamentos [81] [15].

Essencialmente, os sistemas RFID funcionam colocando identificadores eletrónicos exclusivos em objetos (na forma de adesivos embutidos com chips RFID) ou em pessoas (na forma de pulseiras ou crachás embutidos com chips RFID). Uma vez “marcados”, objetos e pessoas podem ser identificados, rastreados e geridos por meio de uma base de dados centralizada. Existem dois tipos principais de RFID: ativo e passivo. RFID ativos contêm uma bateria em miniatura e emitem ativamente frequências de rádio para o sistema; RFID passivos não contêm nenhuma fonte de bateria, mas consomem a energia necessária para emitir uma frequência através de dispositivos de “leitores” secundários, que são chamados de “interrogadores” na indústria [27]. Com o RFID, a equipa do hospital pode ter informações como a localização do paciente, o tempo que ele passou fora da cama (por exemplo, ele foi à casa de banho e demorou muito, sofreu uma queda no caminho, caiu da cama). Essas informações, juntamente com

o acompanhamento em tempo real do paciente, são de extrema importância para que os profissionais de saúde atuem da melhor forma possível para a boa saúde do paciente, e ao mesmo tempo tenham informações sobre ocupação de leitos e fluxo de pacientes nas diferentes unidades, informações cruciais para administrar os recursos hospitalares.

Muitos artigos referem a importância da monitorização de camas em tempo real e dos gráficos de ocupação de camas. Esses tópicos ganham importância ao considerar unidades como salas de cirurgia, ambulatório cirúrgico, unidades de terapia intensiva e pós-anestésica, onde os gestores procuram informações em tempo real sobre a ocupação das camas para tomar decisões sobre a gestão do fluxo de trabalho e coordenação de recursos. Essas decisões incluem transferências, gestão de recursos, agendamento, preparação de pacientes para a sala de cirurgia e limpeza dos quartos. Normalmente, os sinais vitais e os indicadores fisiológicos dos pacientes são monitorizados quando o paciente é admitido no serviço e são desligados na alta, e esses sistemas de monitorização são interligados por redes de computadores acessíveis remotamente. No entanto, há muito poucos relatos explorando a monitorização em tempo real para identificar a ocupação da unidade em tempo real [48] [80] [23].

Os hospitais enfrentam recursos limitados, incluindo camas para manter pacientes internados. Essa restrição de recursos é particularmente importante em áreas especializadas do hospital, como os cuidados intensivos (UCI) e unidades de cuidados intermédios. A gestão econômica do paciente depende criticamente da avaliação precisa do resultado individual do paciente e da utilização de recursos. Prever as informações do tempo de permanência (LOS) dos pacientes, por exemplo, é uma tarefa desafiadora, mas essencial para o sucesso operacional de um hospital, e a monitorização em tempo real é crucial para auxiliar nessa previsão [44] [76] [79].

A monitorização de camas em tempo real e a monitorização da ocupação de camas permite uma melhor resposta do hospital a situações de superlotação, e questões éticas e morais podem ser resolvidas com o auxílio computacional, como sistemas computacionais de apoio à decisão. Os profissionais de saúde, no dia a dia, enfrentam diversos dilemas éticos e morais envolvidos nas suas decisões. Muitos autores abordaram alguns desses dilemas, analisando alguns dos princípios éticos envolvidos em processos de tomada de decisão. Uma das principais questões éticas que têm sido investigadas está na retenção e na retirada de tratamento médico de prolongamento da vida na UCI [38] [35] [52] [66] [25] [26] [20] [75]. Apesar de muitos autores debaterem sobre essa questão, não há quem enfatize a moral envolvida quando um novo paciente chega com necessidades de cuidados na UCI e a UCI está superlotada. Esta é uma situação importante que deve ser considerada e deve ser avaliado o procedimento correto a ser feito nesses casos.

À medida que o número cresce, é importante pesquisar e desenvolver maneiras mais inovadoras e cada vez mais eficientes de mitigar os problemas e desafios do Big Data. A resposta está nos Sistemas de Informação (SIs), que são subsistemas sociotécnicos de uma organização que coletam, armazenam, processam, transmitem e exibem dados, informações e conhecimentos relevantes para ela [34] [40]. Na

área da saúde, os SI influenciam os procedimentos médicos na medida em que fornecem informações abrangentes e confiáveis aos profissionais de saúde e apoiam o processo de tomada de decisão, tanto clínica quanto administrativa, reduzindo assim os erros médicos associados a essas decisões [1] [14]. Os Sistemas de Informação em Saúde ([Sistemas de Informação na Saúde \(SIS\)](#)) funcionam como ferramentas de apoio que reúnem um conjunto de dados, informações e conhecimentos para apoiar e refinar o processo de tomada de decisão [17]. Assim, os [SIS](#) garantem a prestação eficiente de cuidados de saúde e melhoram a qualidade dos serviços, apoiando os profissionais de saúde com melhores evidências e reduzindo a incidência de eventos adversos e erros clínicos. Os [SIS](#) não devem automatizar as decisões médicas, mas sim reduzir a sobrecarga cognitiva dos profissionais de saúde e melhorar a base de suas decisões [5] [42].

Um Sistema de Apoio à Decisão Clínica ([CDSS](#)) é um [Sistema de Informação \(SI\)](#) informatizado que permite aos prestadores de cuidados de saúde o acesso rápido a informação considerada relevante através de um processo de personalização e configuração em função das necessidades de cada utilizador e do problema em causa, apoiando e melhorando o processo de tomada de decisão [65] [74]. O [CDSS](#) organiza e apresenta informações relevantes em *dashboards*, diagramas, documentos e relatórios para fornecer recomendações específicas e conhecimentos fundamentais necessários para auxiliar os médicos na aplicação desses *insights* ao atendimento ao paciente, facilitando, agilizando e melhorando a tomada de decisão clínica [45] [58]. A Inteligência Artificial ([IA](#)) tem o potencial de capacitar ainda mais esses sistemas para analisar e tomar decisões mais informadas, bem como realizar ações inteligentes para uma compreensão mais profunda do ambiente de saúde [53] [64] [19]. A [IA](#) é um ramo da ciência da computação que estuda o comportamento inteligente, bem como a relação entre computação e cognição [11] [60] [10] [16] [59]. O objetivo final da [IA](#) é uma teoria da inteligência que orienta a criação de programas que tentam simular entidades artificiais capazes de algum tipo de comportamento inteligente [11] [29]. Nos últimos anos, houve um aumento na aplicação da [IA](#) na área da saúde, principalmente devido à crescente disponibilidade de dados de [Electronic Health Record \(EHR\)](#)s e ao poder computacional em constante expansão.

Além disso, o [EHR](#) é uma excelente ferramenta para o processo de tomada de decisão e para avaliações, na realização de estudos epidemiológicos, investigações clínicas, entre outros, contendo ainda a informação clínica do paciente, o que permite gerir os episódios associados ao paciente, do ponto de vista clínico, mesmo que este tenha sido transferido entre diversos serviços do hospital. É um excelente suporte à assistência ao paciente (não só como fonte para a avaliação e para a tomada de decisão, mas também como fonte de informação a ser partilhado entre os diferentes agentes prestadores de cuidados de saúde). Para além destas vantagens, o [EHR](#) também é um instrumento legal sobre todos os atos médicos e procedimentos a que o paciente esteve sujeito, assim como de grande ajuda para efeitos de gestão ou avaliação de custos. O [EHR](#) é ainda importante para a formação dos profissionais de saúde

2.3 Unidades de Cuidados Intensivos

As UCI usam dispositivos que visam fornecer aos médicos melhores dados sobre a condição dos pacientes. Por exemplo, monitores de cabeceira mostram continuamente a pressão arterial, a saturação de oxigênio, a frequência cardíaca juntamente com os valores de outras variáveis. Esses dados apresentam uma riqueza em termos de fluxos de dados em vez da tabela de dados estática mais usual. De facto, para cada variável monitorizada na UCI existe um fluxo de dados e, para complicar ainda mais, muitas vezes os dados de diferentes sensores são recolhidos em diferentes intervalos de tempo, sendo importante a fusão sensorial. Por exemplo, dados em tempo real, adquiridos dos monitores de cabeceira, devem ser mesclados com dados de análise, que chegam apenas uma ou duas vezes por dia. Assim, enquanto tradicionalmente se teria um ou dois registos por paciente por dia, inseridos manualmente pela equipa de enfermagem e/ou médica, a aquisição automatizada de dados dá uma quantidade considerável de dados. De facto, na UCI já é possível recolher dados para cerca de 16 variáveis diferentes (quando aplicadas) com intervalo de 10 segundos entre as recolhas. Esse cenário permite enfrentar um número potencialmente elevado de dados por paciente, por dia. E, como já foi dito, esses dados chegam em diferentes momentos e com diferentes intervalos de tempo. Para que a aquisição automática de dados seja possível e eficiente em tal cenário, o pré-processamento de dados é de suma importância para garantir que dados importantes sejam mantidos e dados irrelevantes sejam filtrados. Por exemplo, não é necessário armazenar a mesma quantidade de dados para um paciente estável que é necessária para outro que está com mais problemas. Além disso, os médicos raramente precisam dos valores exatos, eles preferem raciocinar em termos de mudança (por exemplo, “a pressão arterial aumentou muito na última hora?”) do que em termos dos valores exatos de cada variável. Uma atividade de pré-processamento muito importante em tal contexto é a de identificar as situações que são potencialmente relevantes do ponto de vista médico, pois há um grande número de mudanças de valor e apenas um pequeno subconjunto é potencialmente relevante do ponto de vista médico. Os modelos utilizados para a previsão de resultados e a falência de órgãos dependem de informações sobre Eventos Críticos. Em testes que foram feitos esta investigação, para utilizar esses modelos num cenário real, mostrou-se ser necessário definir os procedimentos para calcular automaticamente valores críticos para cinco variáveis: Diálise, Pressão Arterial, Frequência Cardíaca, Respiratória e Temperatura.

2.4 Tecnologias de Informação nos Cuidados de Saúde

As tecnologias da informação revelaram-se desde muito cedo uma mais valia no processo de aumento da qualidade de vida dos cidadãos comuns. Ao longo dos últimos 15 anos têm existido avanços cruciais para o crescimento da investigação inovadora em todo o mundo. Chegamos agora uma era digital em que já não se coloca em causa a Tecnologia como o ponto de melhoria.

São várias as áreas do conhecimento onde se observam o dinamismo, a mudança de conhecimento, as opções, as crenças e até as diferentes percepções do mundo e da sociedade. A forma como a informação chega ao público tornou-se quase instantânea, mesmo com o crescimento abrupto da quantidade. É inquestionável que a tecnologia está presente na vida de todos nós e que desempenhou um papel importantíssimo no desenvolvimento e evolução da sociedade. No entanto, grande parte da informação que chega até nós é impercetível ou inesperada. A primeira reflexão que se deve fazer é acerca da diferença entre dados, informação, conhecimento e sabedoria. Estes conceitos são evolutivos, no entanto muito distintos.

Tal como representado na figura que se segue a estrutura mais simples que temos são os dados. Estes respondem à pergunta básica de: O quê? Ou seja, são a forma bruta, o resultado da simples recolha de fontes e, portanto, não tem ainda nenhum significado uma vez que não têm, ainda, qualquer relação [43]. Acima destes aparece a informação como sendo produto do processamento de dados. Durante o processamento, são evidenciadas as relações e, posto isto, é feita uma análise para encontrar várias respostas: a Quem?, O quê?, Onde? e Quando? Assim, a informação é um dado que foi dado significado através de uma ligação relacional [43]. Posto isto surge o conhecimento através da aplicação da informação, de forma a que se torne útil. A transformação da informação em conhecimento visa responder à questão: “Como?”. O conhecimento implica compreensão [43].

Por ultimo surge a sabedoria que, ao contrário dos anteriores, levanta questões para as quais não existe uma resposta fácil. A sabedoria é o nível superior da hierarquia **Data, Information, Knowledge, Wisdom (DINW)** e responde à pergunta “Porquê?”. O objetivo é encontrar o porquê de o conhecimento derivado ser aplicado por indivíduos de uma forma específica, ou seja, encontra a razão por detrás de qualquer tomada de decisão (códigos morais, ética, etc.). A sabedoria é o processo pelo qual se pode discernir ou julgar entre o certo e o errado, o bom e o mau [43].

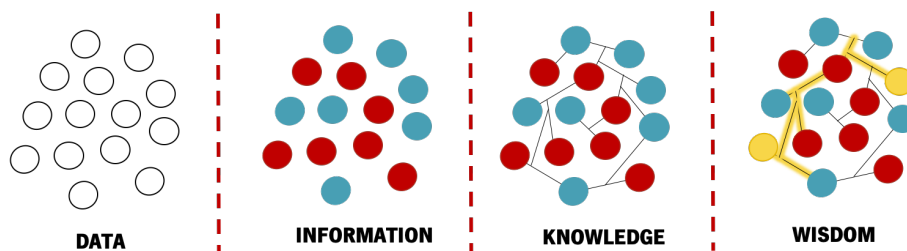


Figura 1: Esquema ilustrativo da transformação dos dados em sabedoria. Adaptado de [37].

É, portanto, claro e natural que haja necessidade de fornecer uma definição clara da relação entre estes conceitos com os relativos à tecnologia. Um sistema não é mais do que um conjunto de elementos que se relacionam dinamicamente, atuando sobre um determinado ambiente, com o objetivo de alcançar determinados objetivos [34]. Os sistemas de informação representam um mecanismo computacional com a capacidade de gerir fluxos de dados e informação, de uma determinada instituição. Desta forma,

um sistema de informação irá sempre ser responsável pela recolha, processamento, armazenamento e transmissão de dados até estes chegarem ao utilizador. Tal como qualquer outro sistema, o sistema de informação é constituído por entradas (dados) que depois de sofrerem uma determinada ação geram resultados (*Dashboards*, relatórios, ...).

Transpondo estas funções para o que é a atualidade e, devido ao volume crescente de dados, informações e conhecimento, a existência de sistemas capazes de garantir as funções previamente mencionada e posteriormente comunicação de todas as informações necessárias para a correta execução das atividades da organização, é uma exigência. Atendendo à dinâmica presente num sistema de informação este detém um elevado nível de complexidade. O caminho que os dados e informações seguem até à sua distribuição dentro da instituição pode ser descrito em dividido fases [31]:

- Recolha: Introdução de dados no sistema;
- Armazenamento: Verificação e registo de dados no sistema;
- Processamento: Tratamento dos dados de forma a cumprirem os requisitos de dados e informações;
- Representação: Certificação da representação com a qualidade dos dados e informação;
- Distribuição: Certificação o fluxo e resultado de dados no sistema;

Este ciclo de informação, bem como os seus intervenientes, estão representados no esquema que se segue:

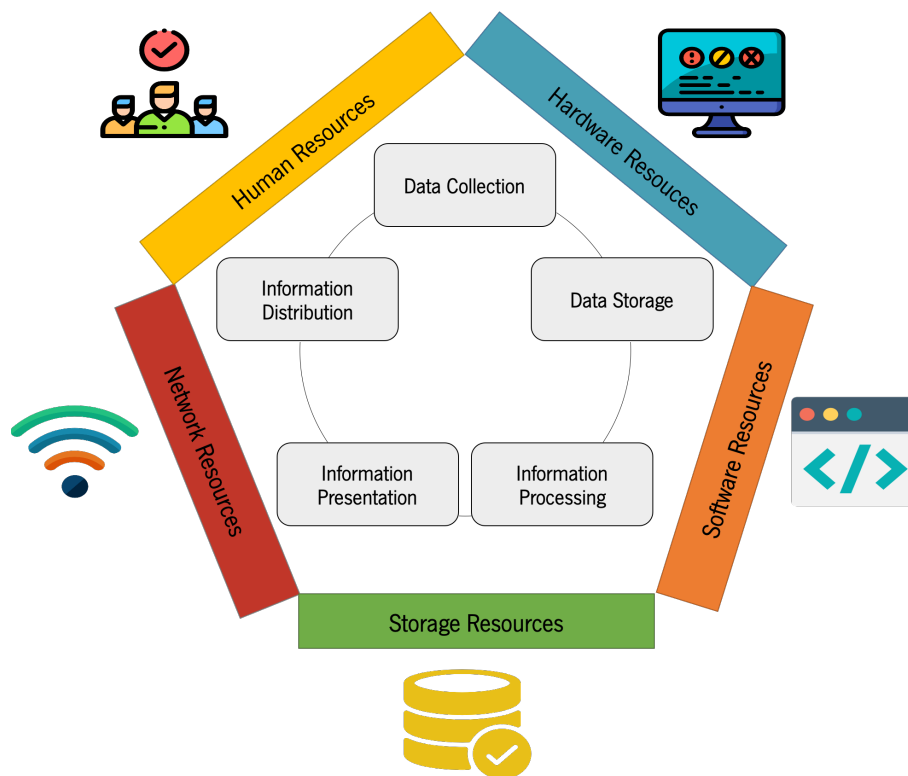


Figura 2: Estrutura e funcionamento de um sistema de informação.

A utilização de sistemas de informação traz uma série de vantagens para as instituições [49]:

- Redução de custos;
- Redução do tempo de resposta;
- Melhoria da comunicação interna;
- Otimização do processo de tomada de decisão;
- Recolha, seleção e processamento de dados para apoiar a decisão;

Todos estes pontos contribuem fortemente para a melhoria da qualidade dos produtos e/ou serviços e, conseqüentemente melhoria da satisfação do paciente.

A tecnologia da informação constitui um conjunto de atividades que dependem da interação de diferentes dispositivos (hardware, software, bases de dados) com o principal objetivo de produzir informação que garanta a sua gestão e segurança.

Resumindo, os termos sistema de informação e tecnologia da informação, embora muitas vezes confusos, são na realidade constituintes um do outro. Pode dizer-se que um sistema de informação se alimenta de uma tecnologia de informação. Sem um ao outro, eles perdem o seu significado [34].

No sector da saúde, os sistemas de informação têm estado a funcionar há cerca de 20 anos. Uma vez que é óbvio que a mudança tem tido lugar desde estes primeiros dias, partindo das metodologias de implementação para o objetivo do sistema, é essencial fazer um balanço de onde viemos e para onde vamos [78]. Na secção que se segue serão descritos e contextualizados os respetivos sistemas, evidenciando um breve resumo da sua história e evolução.

2.5 Agentes Inteligentes

A tecnologia multiagente está relacionada com os conceitos fundamentais que definem uma arquitetura distribuída. A computação baseada em agentes destaca-se pela capacidade de resolver problemas. É uma revolução no desenvolvimento e na análise de *software*. Embora não haja uma definição universal para agente, os agentes são entendidos como artefactos computacionais que apresentam certas propriedades:

Autonomia a capacidade de agir sem intervenção direta dos pares, mais especificamente humanos;

Reatividade capacidade de integração num ambiente, perceber através de sensores e atuar a partir de determinados estímulos;

Pró-atividade capacidade de resolver problemas inteligentes como planear as suas próprias atividades para atingir os seus objetivos;

Comportamento Social, Emocional e Moral capacidade de interagir com outros agentes e até mesmo mudar o comportamento em resposta a essa interação; os agentes podem comunicar por meio de construções e de protocolos de baixo ou alto nível, bem como meios de endereçamento e comunicação direta; eles podem cooperar para atingir um determinado objetivo comum, bem como objetivos individuais, ou seja, devem ter a capacidade de negociar com outros agentes.

Os agentes são definidos como entidades autónomas para a resolução de problemas computacionais e são capazes de operarem de uma forma eficaz em ambientes dinâmicos. Eles são utilizados em ambientes nos quais interagem e cooperam com outros agentes.

O *Software* baseado em agentes deve ser robusto, escalável e seguro. Para conseguir isso, as arquiteturas devem permitir que os agentes possam comunicar entre si e oferecerem serviços uns aos outros, tendo por isso a capacidade de interpretar as mensagens que trocam.

O *SMA* oferece uma nova forma de desenvolvimento de sistemas complexos, especialmente em ambientes abertos e dinâmicos. A autonomia e a pró-atividade são características que lhes permitem planear e executar tarefas definidas para atingir os objetivos propostos. As habilidades sociais permitem um agente interagir no *SMA* e cooperar para cumprir os seus objetivos. O *SMA* pode ser considerado como uma tecnologia rica e altamente adaptável com um grande interesse na área da Informática Médica.

Para desenvolver estes sistemas, são necessários métodos de especificação *standard*, e uma das principais características para a sua elevada aceitabilidade é a simplicidade. O uso de agentes inteligentes para simular a tomada de decisão humana no campo médico oferece potencial para *software* adequado para o desenvolvimento, análise prática e construção de metodologias que não distinguem os agentes dos seres humanos. Estes sistemas podem também tornar-se muito mais hábeis e eficazes para monitorizar o comportamento do seus próprios agentes, com um impacto significativo no processo de aquisição e validação do conhecimento, ou seja o SMA vem dar a conhecer o processo de evolução dos SI, e os elementos de substituição ou delegação de tarefas geralmente executadas por seres humanos.

O SMA é capaz de gerir o ciclo de vida do agente, a disponibilidade dos módulos dos SIS como um todo, mantendo-se os agentes livremente distribuídos. Novos agentes com as mesmas características e objetivos podem ser criados através do SMA, dependendo das necessidades do sistema em que está inserido. A estrutura desses agentes e do SMA pode ser desenvolvida de acordo com os serviços que prestam e da funcionalidade lógica dos sistemas que interagem com eles.

Os agentes numa unidade de saúde são úteis para configurarem aplicativos ou utilitários que recolhem informações na organização. Uma vez recolhidas, as informações podem ser fornecidas diretamente para outras entidades, por exemplo, para um médico ou para um servidor, armazenadas em repositórios estruturados ou não estruturados ou enviadas por e-mail ou outros meios de comunicação [18]. Este é também o primeiro passo para o *hospital sem papel* e para a preparação do repositório que permitirá o desenvolvimento de ferramentas de análise de dados ou de descoberta do conhecimento, implementando o *Business Intelligence* e desenvolvendo mecanismos de *Inteligência Artificial*, em particular *Machine Learning* ou *Deep Learning*. Os agentes devem ter a capacidade de desenvolver os mecanismos de raciocínio ético apresentados neste documento.

A maior parte do trabalho da área dos agentes de *software* pode ser colocado em duas categorias: (1) tratamento das capacidades e intenções dos agentes numa abordagem teórica; (2) construção de agentes específicos. Actualmente dependendo de quê e para quê, sistemas baseados em agentes de *software* requerem muito mais do que isto, e o processo de construção coloca muitos desafios e problemas de ordem técnica.

As linguagens de programação tradicionais não oferecem um nível específico de suporte para as acções típicas de alto nível em que os agentes estão envolvidos, por exemplo num interface gráfico onde é apresentada a informação para o utilizador em simultâneo com o estado do intercâmbio com outros agentes.

No seu funcionamento, os agentes envolvem geralmente uma aproximação multi-camada. Primeiro chama-se a atenção para a necessidade de especificar o sistema aos bocados, com sistemas de *software* isotéricos, protocolos de rede, sistemas de janelas. Segundo, a construção de sistemas de agentes envolve frequentemente a possibilidade de resposta a vários eventos simultaneamente com transações totalmente seguras e detecção automática de erros.

Um Sistema Dinâmico pode ser aproximado por um conjunto não hierarquizado de agentes, em que *modularidade*, *não-determinismo* e *aleatoriedade* são características centrais. Cada agente representa uma produção do tipo "se condição então ação"; i.e.,

- um conjunto de pré-condições, e
- um conjunto de ações.

Uma representação mais utilizada de um agente é dada a seguir:

$L::\text{Condicoes} \rightarrow \text{Mensagens} : \text{Remocoes} : \text{Insercoes} : \text{Intervalo_de_Tempo}$

em que *Condicoes*, *Mensagens*, *Remocoes* e *Insercoes* referenciam um multiconjunto de fórmulas lógicas, *Intervalo_de_Tempo* referencia um inteiro, *L* referencia o agente e (sem possibilidade de ambiguidades) \rightarrow referencia o símbolo \rightarrow . A semântica da linguagem de agentes é para ser entendida em termos de meta-programas. Integrando vários programas podem-se obter programas mais complexos. Meta-programas podem por conseguinte ser conjuntos definidos em termos de "clusters" de agentes, definindo uma relação entre objeto e meta-programas.

As arquiteturas de sistemas de agentes permitem a ativação de vários agentes em paralelo, desde que o estado da base de conhecimento possa satisfazer em simultâneo várias pré-condições, se isto acontecer em principio serão ativados vários padrões ao mesmo tempo. Uma estrutura deste tipo será portanto ideal para de um modo natural implementar a execução em paralelo, em que cada agente será fisicamente implementado pelo seu próprio processador. Por outro lado, e desde que o desenho do sistema não necessite do planeamento e definição prévia de todas as ligações entre os agentes, cada agente pode ser definido e implementado de uma forma relativamente autónoma. Este alto grau de modularidade é crítico em sistemas de bases de conhecimento complexas, onde é muito difícil prever todas as possíveis interações entre peças de conhecimento individuais. O funcionamento de um sistema computacional dirigido ao agente é o seguinte:

- unificação do agente: procurar na base de conhecimento todas as instanciações de condições de agentes, e
- execução: executa os agentes que foram ativados no passo anterior, insere as proposições negativas ou positivas na base de conhecimento temporal.

Um agente interatua com o seu ambiente através de um fluxo de dados constante que são assimilados sob a forma de regras de observação, regras envolvidas na construção de uma base de conhecimento. Quer a base de conhecimento, quer as entradas são formuladas sob a forma de regras na linguagem de representação interna dos agentes. Com o agente p , a prova A é determinada por um *attachment rule*, que associa a base de conhecimento (ou teoria) K_p e o sistema de inferência \vdash_p com p , designado por:

$K_p \vdash_p A$.

Aplicando diretamente a regra de inferência \vdash_p a K_p . Os termos do predicado $demo(S,A)$, expressa uma conclusão designada por A e que pode ser inferida a partir da teoria K_p . Este processo pode ser representado da seguinte forma:

```
demo(S,A) se select_pattern_from(A,L) e
           L::Condicoes---> Mensagens:Remocoes:Insercoes:Intervalo_de_Tempo e
           test(S,Condicoes) e execute(S,Mensagens) e
           delete(S,Remocoes) e NewS is S + Intervalo_de_Tempo e
           insert(NewS,Insercoes) e demo(S,A).
```

```
demo(S,A) se NewS is S+1 e
           demo(NewS,A).
```

...

```
test(S,[]).
```

```
test(S,[Head|Tail]) se believes(S,Head) e test(S,Tail).
```

```
delete(S,[]).
```

```
delete(S,[Head|Tail]) se assert(false(S,Head) e delete(S,Tail).
```

```
insert(S,[]).
```

```
insert(S,[Head|Tail]) se assert(true(S,Head) e insert(S,Tail).
```

...

Os meta-predicados *value*, *known* e *believes* são também escritos sob a forma de programas lógicos:

```
value(S,P e Q,V) se value(S,P,VP) e value(S,Q,VQ)
                  e lub(VP,VQ,V).
```

```
value(S,P or Q,V) se value(S,P,VP) e value(S,Q,VQ)
                  e glb(VP,VQ,V).
```

```
value(S,P,2) se true(S,P).
```

```
value(S,P,0) se false(S,P).
```

```
value(S,P,2) se value(S1,P,2) e S1 < S e
                  not(value(S2,P,0) e S1 < S2).
```

$\text{value}(S,P,0)$ se $\text{value}(S1,P,0)$ e $S1 < S$ e
 $\text{not}(\text{value}(S2,P,2)$ e $S1 < S2)$.

$\text{value}(S,P,2)$ se $(P$ se $Q)$ e $\text{value}(Q,2)$.

$\text{value}(S,P,2)$ se $\text{true}(S,(Q$ se $P))$ e $\text{value}(S,Q,2)$ e
 $\text{not}(\text{true}(S,(A$ se $P))$ e $\text{value}(S,A,V)$
e $V > 0$).

$\text{value}(S,P,1)$ se $\text{not}(\text{value}(S,P,0)$ or $\text{value}(S,P,2))$.

$\text{value}(S,\text{neg}(P),V)$ se $\text{value}(P,VP)$ e $V = 2 - VP$.

$\text{known}(S,P)$ se $\text{not}(\text{value}(S,P,1))$.

$\text{believes}(S,P)$ se $\text{value}(S,P,2)$.

em que:

- *value* mapeia o valor de uma regra no conjunto $\{0, 1, 2\}$,
- *known* mapeia o valor de uma regra no conjunto $\{\text{true}, \text{false}\}$,
- *believes* mapeia o valor de uma regra no conjunto $\{\text{true}\}$,
- *not* implementa a *negação por falha*,
- *neg* implementa a *negação forte*.

Os operadores temporais *nexttime*, *always*, *sometimes* e *atnext* são apresentados a seguir:

$\text{nexttime}(S,P)$ se $S1 = S + 1$ e $\text{believes}(S1,P)$.

$\text{always}(S,P)$ se $\text{not}(\text{not}(\text{believes}(S1,P))$ e $S \leq S1$).

$\text{sometime}(S,P)$ se $\text{believes}(S1,P)$ e $S \leq S1$.

$\text{atnext}(S,A,B)$ se $\text{not}(\text{always}(S,B))$.

$\text{atnext}(S,A,B)$ se $\text{setof}(K,\text{believes}(S,B),C)$ e

$\text{least-element}(C, K1)$ e
 $\text{believes}(K1, A)$.

em que $\text{setof}(X, P, C)$ implementa-se a ele próprio e $\text{least-element}(C, X)$ determina que X é o último elemento do multiconjunto C .

Igualmente importante é a implementação das ideias discutidas e materializadas em termos da apresentação de programas lógicos. Um problema interessante é o que envolve a cooperação entre programas lógicos, sejam agentes, sejam utilizadores. Perguntas e interrogações não habituais, podem ser a fonte de uma informação alternativa muito mais útil e mais fiável e confiável. Também interessante é a substituição dos estados por agentes de conduta. Ações e condutas são notações complementares e podem ser utilizadas para representar o momento em que as acções ocorrem, descrevendo os efeitos de cada acção. Estas técnicas têm um interesse crescente para a IA, com aplicações, entre outras, em Robótica, compreensão de linguagem natural, aquisição de conhecimento e desenho de bases de dados.

2.6 Inteligência Artificial

O termo IA surgiu em 1956, mas em 1950 foram já realizadas as primeiras investigações sobre temas associados à resolução automática de métodos e problemas. Desde então, foram geradas várias discussões em torno do IA, criando um mal-estar por parte dos mais céticos que temem que este evolua rapidamente, tornando-se uma ameaça para a humanidade [51] [50]. No entanto, a perspectiva de criar computadores inteligentes tem fascinado muitos estudiosos que têm vindo a desenvolver investigação sobre este assunto desde então. Até hoje, não existe consenso sobre a definição de IA, o que é compreensível uma vez que a definição de inteligência já não reúne consenso, quanto mais este termo associado à artificialidade. No entanto, existem algumas definições que são aceites pela comunidade científica como as mais corretas, por exemplo:

- Inteligência humana exibida por uma máquina [63];
- O estudo dos "agentes inteligentes", que são dispositivos que "percebem o seu ambiente e tomam medidas para maximizar as suas hipóteses de sucesso em algum objetivo"[13];
- A teoria e desenvolvimento de sistemas informáticos capazes de executar tarefas que normalmente requerem inteligência humana, tais como perceção visual, reconhecimento da fala, tomada de decisões e tradução entre línguas [24].

Deve também ser notado que o conceito de IA muda de acordo com o objetivo que se pretende alcançar. Normalmente, os objetivos estão dentro das três opções listadas abaixo [50]:

1. Construir sistemas que pensem como os humanos;

2. Construir sistemas que compreendam como funciona o raciocínio humano;
3. Construir sistemas que usem o raciocínio humano como referência.

Para terminar a compreensão do termo, deve entender-se que IA não existe para substituir o humano, mas para expandir as suas capacidades e ajudá-lo na sua vida quotidiana. A parceria entre a humanidade e o IA é a chave do sucesso.

A IA funciona através da combinação de grandes quantidades de dados com processamento rápido e interativo de algoritmos inteligentes, permitindo que o software aprenda automaticamente com padrões ou informações nos dados. IA é um vasto campo de estudo que engloba muitas teorias, métodos e tecnologias, bem como os seguintes subcampos:

- Machine Learning (ML);
- Redes Neurais;
- Deep Learning (DL);
- Computação Cognitiva;
- Visão por computador;
- Processamento em linguagem natural.

Nas secções seguintes, os termos ML e DL que estão diretamente associados ao IA serão brevemente explicados.

2.6.1 Machine Learning

O termo ML foi cunhado em 1959 pelo pioneiro dos jogos de computador e IA, Arthur Samuel [4]. Assim, nasceu como um ramo de ?? que se dedica, como o seu nome indica, à formação de máquinas para aprender com os dados. Desde então, a evolução do termo tem sido constante.

A base desta prática é fazer com que uma máquina aprenda com os dados a fim de identificar padrões e tomar decisões sem intervenção humana. Assim, é um método de análise de dados para automatizar modelos analíticos [54]. O sujeito evoluiu muito e atingiu níveis inicialmente impensáveis como, por exemplo, a condução autónoma. Resumidamente, os dois níveis de aprendizagem têm nos seus algoritmos de base que permitem a uma máquina tomar ações sem a intervenção do homem.

Os algoritmos de aprendizagem podem ser categorizados em supervisionados, semi-supervisionados e não supervisionados ou mesmo de acordo com o tipo de resultado que será gerado incluindo classificação, regressão, agrupamento, entre muitos outros [77]. Estes algoritmos aprendem a melhorar sucessivamente ao longo do tempo e com o aparecimento de novos dados.

O ML tem sido utilizado em *Big Data* e, de facto, esta relação tem um grande impacto no mundo real. No entanto, esta parceria levou também a uma série de desafios, incluindo a eficiência das iterações. De facto, a combinação dos dois termos não é algo simples e, portanto, necessita de um levantamento cuidadoso dos desafios e de um estudo mais aprofundado dos requisitos. No entanto, e apesar de todos os desafios associados à escalabilidade, adaptabilidade e usabilidade, a lista de oportunidades é muito mais longa [2].

2.6.2 Deep Learning

DL é um termo emergente que caracteriza um ramo de ML com o objetivo de treinar computadores para executar tarefas de forma semelhante aos seres humanos [30]. Este subcampo do ML é dedicado a algoritmos com a capacidade de modelar abstrações de alto nível, tais como dados de imagens, texto ou mesmo som. A principal inspiração estrutural e funcional do ML é o cérebro humano. Os algoritmos associados são chamados redes neurais [41][4].

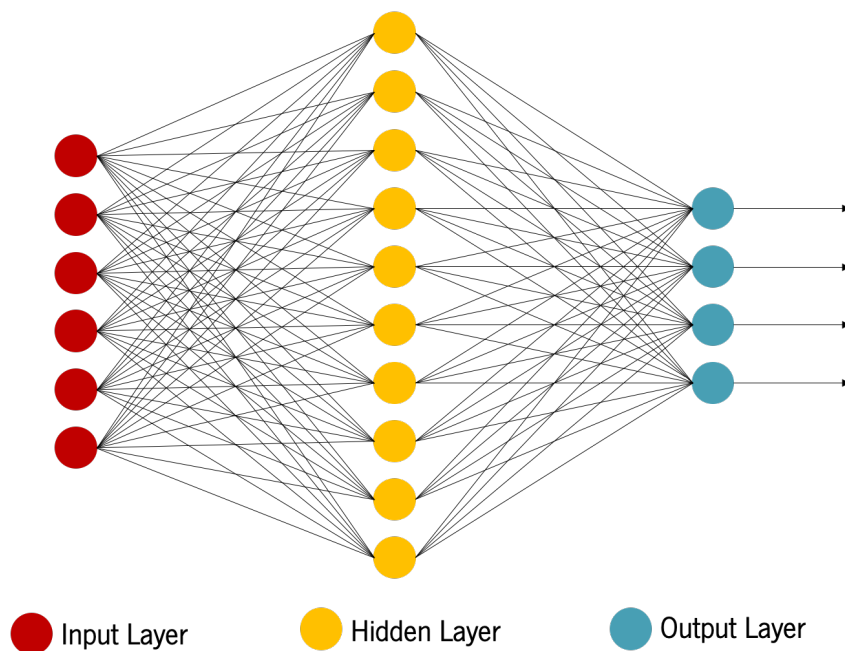


Figura 3: Rede Neural Simples. Adaptado de [69].

Em termos de funcionalidade, a camada de entrada é utilizada para receber os dados de entrada da rede. Esta camada não realiza qualquer tipo de processamento, apenas recebe e armazena o vetor de entrada. O número de neurónios nesta camada corresponde ao vetor de entrada. A camada de saída é utilizada para armazenar as respostas obtidas pela rede. O número de neurónios nesta camada corresponde ao vetor de saída. As camadas ocultas são o que confere a complexidade a este processo. Não há nenhum método ou fórmula que determine o número correto para as camadas e neurónios ocultos.

Portanto, existem 5 termos básicos para descrever uma rede neuronal [41] [21]:

- Tamanho: Número de nós;
- Largura: Número de nós de uma camada;
- Profundidade: Número de camadas;
- Capacidade: Funções que podem ser aprendidas por uma rede;
- Arquitetura: Arranjo entre as camadas e os nós de uma rede.

Dada a complexidade do método existem algumas restrições, não obrigatórias para a sua utilização. Por conseguinte, para utilizar o DL é necessário ter:

- Grandes quantidades de dados;
- Recursos complexos e difíceis de entender;
- Boas infra-estruturas.

2.7 Sistemas de Suporte à Decisão Clínica

Um sistema de suporte à decisão clínica dos mais básicos tem por base os conhecimentos médicos para fazer diagnósticos e ajudar na tomada de decisões de uma terapia. É ainda mais vantajoso para o paciente se o sistema incluir normas éticas pré definidas, de forma a eliminar possíveis subjetividades do diagnóstico e tratamento. O principal foco dos sistemas de apoio à decisão é fornecer ao profissional de saúde recursos para comparar, analisar, simular e apoiar a seleção de alternativas baseadas em cenários que envolvem numerosas variáveis [36] [67].

A definição ou significado destes sistemas nem sempre foi consensual. Os primeiros sistemas foram definidos como sistemas informáticos interativos que apoiavam o processo de tomada de decisão. Por outras palavras, estes sistemas funcionavam com base em regras bastante básicas nas quais, através da premissa de causalidade, escolhiam a melhor das alternativas, considerando as consequências que estas poderiam ter.

Em 1999, Perreault e Metzger defenderam que os sistemas de apoio à decisão deveriam ter quatro funções indispensáveis [68]:

- Administração: Apoiar principalmente toda a codificação e documentação;
- Complexidade clínica e gestão de detalhes: Armazenamento e gestão de dados dos doentes;
- Controlo de custos: Devem evitar a realização de exames em duplicado ou desnecessários;

- Apoio à decisão: Promover as práticas que tenham os melhores resultados, combinando sempre as condições do paciente.

Desde então, estes princípios básicos têm sido a base para a evolução destes sistemas [68].

Atualmente, existem vários ramos de aplicação dos serviços de apoio à decisão, mesmo se pensarmos apenas no ambiente clínico, existe um sistema de apoio à decisão para cada especialidade, grupo de pacientes ou mesmo para uma patologia específica. A implementação destes sistemas é complicada devido à falta de formação dos profissionais de saúde combinada com a cooperação de todas as especialidades para uma única decisão [67]. Para que um sistema de apoio à decisão seja útil, todos os pacientes devem ter um registo eletrónico, o que implica um imenso conjunto de interações.

Este processo é crucial para o sucesso do sistema de apoio à decisão, uma vez que depende da integração dos dados do paciente em questão para que a sua história clínica seja devidamente mapeada. Para que o sistema tome uma decisão, requer a aplicação de diferentes tipos de conhecimentos que podem ser obtidos através da recolha de dados do paciente ao longo do processo, conhecimentos específicos ou mesmo conhecimentos heurísticos [57]. É importante notar que por vezes não será viável utilizar estes sistemas na saúde, uma vez que certas situações requerem uma decisão imediata e o acesso à informação não será tão rápido como a decisão de um médico experiente.

Por conseguinte, o valor e interesse nestes sistemas aumentou exponencialmente devido ao desafio crescente de fornecer os melhores e mais rápidos cuidados de saúde a baixo custo [32]. Pode dizer-se que é uma das áreas mais pesquisadas no campo das tecnologias da informação e engloba outros conceitos essenciais, tais como o [Business Intelligence \(BI\)](#) e a interoperabilidade.

Atualmente, vários investigadores têm apostado em métodos de inferência que tem por base modelos formais, abordados nas próximas secções. [58].

2.8 Ética na Medicina

A ética médica é uma área de interesse público, onde temas tais como a eutanásia, o aborto e a recusa ou a futilidade do tratamento, entre outros, são constantemente discutidos à medida que dilemas específicos ocorrem ou opiniões ou crenças se alteram. Embora os princípios deontológicos do médico permanecem centrados em melhores práticas em relação ao paciente, a legislação e as decisões judiciais moldam os parâmetros que condicionam o comportamento dos médicos em casos específicos, que levam a consequências morais.

Na verdade, o contexto moral no qual um processo complexo se apresenta pode sustentar resultados completamente diferentes. Um estudo europeu analisou a frequência da implementação de maneiras a reter e a retirar do suporte de vida, dentro das [UCI](#) nos países europeus. Os resultados indicaram que países diferentes, com culturas diferentes, lidam de forma diferente com os diferentes dilemas éticos

decorrentes dessas mesmas terapias [22]. Podemos ir um passo mais além, e considerar hipoteticamente que o contexto de formação dos próprios médicos pode também afetar o processo de tomada da decisão moral. Na verdade, muitas vezes, estas decisões de reter e retirar a terapia (à semelhança de muitos outros casos na ética clínica), estão longe de ser uma situação hipotética e acontecem com frequência na área da saúde, não havendo tempo para a consulta jurídica ou ética pelo médico responsável por uma decisão crítica.

A exigência moral dos clínicos é imensa e pode-se tornar ainda mais complexa e duvidosa em contextos de urgência e de cuidados intensivos. Nestes contextos, os profissionais deparam-se constantemente com novos dilemas e desafios morais, que exigem uma resposta rápida e acertada [70]. A equipa médica deve, portanto, ser ensinada e treinada para lidar com estas situações. Estudos comprovam que os dilemas morais e as metodologias éticas de modelação podem servir de ajuda neste contexto, para reforçar as orientações já existentes e a compreensão das decisões morais. Na área da medicina, tanto na prática como nas atividades de investigação, têm de haver supervisão e limitações impostas pela legislação em vigor e pela jurisprudência. No entanto, as diretrizes jurídicas existentes podem facilitar uma decisão relativamente a uma situação moralmente complexa e de confronto ético, sem o temor de consequências civis [70].

Algumas limitações ocorrem em situações em que as decisões estão eticamente limitadas por lei, no entanto, os códigos de conduta profissional em geral, definem os comportamentos adequados dentro dos limites da lei [72]. Durante séculos, a ética clínica, com raízes nos princípios de Hipócrates, definiu como seu principal facto deontológico, a obrigação do médico dar ao paciente todos os conhecimentos da medicina e tratamentos que melhor se apliquem ao caso omissos. Hoje em dia, a decisão está mais centrada na vontade do paciente e no desenvolvimento das tecnologias médicas, porque através das suas descobertas, os médicos consideram as consequências de ordem física, mental e financeira [9]. Esta mudança de paradigma subjacente ao aumento da carga ética e civil das decisões no corpo clínico, criam sinergias entre a ética médica e a IA, facilitando o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão com capacidade moral. Uma interpretação do processo de aprendizagem e da prática da ética clínica é baseada num conjunto de regras e pedras angulares existentes (i. e. princípios morais) e completado pela interpretação dos numerosos casos em estudos existentes.

Pode-se considerar, portanto, que o comportamento moral dos médicos está integrado num complexo sistema de raciocínio interligado com casos de estudo ora com a moral, ora com as regras. Os casos em estudo podem representar para alguns extensões ou regras ou condições específicas que classificam exceções. Esta noção de exceção é central na programação em lógica, para representar situações em que valores conhecidos ou desconhecidos de um universo são exceções a um predicado existente. Os casos de estudo são um suporte para a validação dos princípios morais existentes, alterar a sua relação, ou definir um contexto no qual os princípios existentes foram desconsiderados.

Quando uma análise de um caso de estudo, no que diz respeito à ética na medicina, o contexto

envolvente que se materializa à ação da moral define um exemplo de uma decisão com consequências morais, onde os limites do certo ou errado é muito complicado de se verificar. A análise desses casos, é complexa, porém deve-se sempre ter em mente que as normas existentes e princípios morais da medicina são as fronteiras ou barreiras da ética clínica e não devem ser substituídas salvo raras válidas exceções que serão consideradas corretas.

Nas várias situações distintas dentro da área médica, a medicina intensiva encarna um ambiente onde as decisões morais são comuns e complexas. Neste contexto específico, as decisões devem ser tomadas dentro de curtos intervalos de tempo, enquanto têm em conta os limitados recursos dos doentes em estado crítico [70]. Este contexto possibilita uma modelagem na decisão moral em casos clínicos concernentes da UCI.

2.9 Modelo Formal

Relativamente ao modelo computacional, é considerada a Programação em Lógica na forma da [Programação em Lógica Contínua \(PLC\)](#), uma vez que os valores de verdade não definidos num intervalo entre 0 e 1, com dois tipos de negação, negação clássica (forte), \neg , e negação por falta de prova (fraca), *not*. Intuitivamente, seguindo o pressuposto do mundo fechado, *not p* é verdade quando não existe razão para acreditar em *p*, enquanto que \neg exige a prova de negação literal. Um programa em lógica contínua (programa, em forma abreviada) é uma coleção finita de regras e de restrições, representado a partir da seguinte forma:

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

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

onde $?$ é o átomo de domínio denotando a falsidade e p_i, q_j , e p são literais clássicos, i.e. átomos positivos, negativos ou precedidos pelo símbolo de negação clássica \neg . Cada programa é associado a um conjunto de inferências. Inferências podem ser definidas como hipóteses que providenciam soluções possíveis ou explicações de perguntas que são aqui assumidas sob a forma de exceções às extensões dos predicados que constituem o programa. Por conseguinte, sendo Γ um programa em PLC e $g(X)$ uma questão onde X contem as variáveis $X_1 \wedge \dots \wedge X_n (n \geq 0)$, resulta a seguinte resposta:

A resposta de Γ a $g(X)$ é *true* sse

$$g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{true}).$$

A resposta de Γ a $g(X)$ é *false* sse

$$\neg g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{false}).$$

A resposta de Γ a $g(X)$ é *unknown* sse

$$\text{not } \neg g(X) \wedge \text{not } g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{unknown}).$$

onde *unknown* representa um valor de verdade no intervalo 0...1. Sendo Γ um programa é possível definir o Conjunto Mínimo de resposta de Γ ($MAS(\Gamma)$):

$$\Gamma \vdash s \text{ iff } s \in MAS(\Gamma)$$

onde $\Gamma \vdash s$ denota que s é uma consequência lógica ou conclusão para Γ .

Sendo agora AS_i e AS_j dois diferentes conjuntos de resposta a Γ , sendo E_{AS_i} and E_{AS_j} , respectivamente, as extensões dos predicados de p em AS_i ee AS_j , é definido que AS_i é moralmente preferido a AS_j ($AS_i < AS_j$) onde $<$ denota a relação de preferência moral, o que significa que para cada p_1 existe um predicado p_2 tal que $p_1 < p_2$ e $E_{AS_i} \setminus E_{AS_j}$ é não vazio (\setminus representa o operador de diferença).

Nesta perspectiva, a relação de preferência moral é baseada na evolução e é construída num processo de quantificação da qualidade da informação que resulta de um programa em lógica contínua. Sendo $pi(i \in \{1, \dots, m\})$ o predicado cujas extensões constituem um programa em lógica contínua que modela o universo de discurso em termos das extensões dos predicados, sendo $aj(j \in \{1, \dots, n\})$ os atributos para esses predicados e sendo $x_j \in [min_j, max_j]$ um valor para o atributo aj . Para cada predicado é também associada uma função de $V_{ij}[min_j, max_j] \rightarrow 0 \dots 1$, que resulta numa avaliação do predicado pi designado a um valor do atributo aj que se encontra no intervalo dos seus valores aceitáveis, i.e. o seu domínio (por questões de simplicidade vamos manter o intervalo contínuo 0...1). A qualidade da informação respetivamente a um predicado genérico é desta forma definida por $Q_i = \frac{1}{Card}$, onde $Card$ representa a cardinalidade do conjunto de exceções para o predicado pi , se o conjunto de exceções não é disjuntivo. Se o conjunto de exceção é disjuntivo, a qualidade da informação é dada por $Q_i = \frac{1}{C_1^{card} + \dots + C_k^{card}}$ onde C_k^{card} é uma combinação de k subconjuntos de elementos $card$. A importância relativa que um predicado designa para cada atributo, w_{ij} , representa a relevância de aj para o predicado pi e é dado por $V^i(x) = \sum w^i_j = 1$, para todos os pi . Por outro lado, a função de avaliação do predicado, quando associada a um valor $x = (x_1, \dots, x_n)$ num espaço multi-dimensional definido pelo domínio dos atributos, é dada pela fórmula $V^i(x) = \sum w^i_j V^i_j(x)$. Por conseguinte, é agora possível medir a qualidade da informação proveniente de um programa em lógica contínua, aplicando diferentes Q_i num espaço multidimensional, cujos eixos representam um programa de predicados com uma numeração de 0 a 1. Toda a área delimitada pelos arcos dá uma medida da qualidade da informação contida por cada uma das soluções ao problema que podem estar sobre consideração, definindo desta forma um processo de quantificação da relação de preferência moral.

Caso 1 Sr. PD é um homem com 81 anos, com um longo histórico de cardiopatia e diabetes é admitido na UCI com febre, hipertensão e dispneia. A radiografia ao tórax mostra compatibilidade com o Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRaG) e a tensão arterial parcial de oxigénio (PaO2) é de 50

mmHg. Esta condição é muitas vezes fatal, e geralmente requer a utilização de uma ventilação mecânica e, embora a mortalidade a curto prazo nestes casos ter vindo a diminuir, a probabilidade de mortalidade é bastante elevada e, além disso, este procedimento resulta numa baixa da qualidade de sobrevivência que é ajustada pela qualidade no primeiro ano após a SRaG [8]. Na mesma reunião, ao meio dia, ao analisar os processos em curso, o médico assistente solicitou aos estagiários se, e à luz das taxas de sobrevivência, os custos de tratamento e provável baixa da qualidade de vida, os recursos deviam ser utilizados na UCI com este homem de 81 anos.

Caso 2 Durante essa reunião, a Sra. GB, uma mulher de 36 anos e internada no mesmo hospital devido a um acidente de carro e diagnosticada com a sepsis, complicações da Lesão Pulmular Aguda (LPA) e com uma escala de coma de Glasgow nível 3, mostra dificuldade em respirar e precisa de ser admitida na UCI . O nível da sua SRaG e da gravidade da LPA indicou uma necessidade premente da ventilação mecânica e cuidados intensivos. Contudo, o número de camas na UCI é limitado e por este motivo o Sr. PD terá que ser mudado para outro serviço. Devido ao estado frágil do Sr. PD este procedimento é deveras problemático, mas considerando o seu estado clínico, e as complicações relativamente à idade da Sra. GB, existe uma maior probabilidade que ela recupere por completo com melhor qualidade de vida. À luz deste contexto, como deve agir o médico assistente?

Programa em PLC para a extensão do predicado survival-rate: $\neg \text{survival-rate}(X, Y) \rightarrow \text{not survival-rate}(X, Y)$ and not exception(survival-rate(X, Y)), exception(survival-rate(X, Y)) $\rightarrow \text{survival-rate}(X, \text{unknown-survival-rate})$, survival-rate(X, Y) $\rightarrow \text{ards}(X)$ and PaO2(X, low) and evaluate(X,Y), exception(survival-rate(gb, 0.5)), ?((exception(survival-rate(X,Y)) or exception(survival-rate(X,Z))) and \neg (exception(survival-rate(X,Y)) and exception(survival-rate(X, Z))) /Este invariante define que as excepções ao predicado survival-rate estão definidas através de uma disjunção exclusiva XOR / agsurvival-rate

Programa em PLC para a extensão do predicado survival-quality:

$\neg \text{survival-quality}(X, Y) \rightarrow \text{not survival-quality}(X, Y)$ and not exception(survival-quality(X, Y)), exception(survival-quality(X, Y)) $\rightarrow \text{survival-rate}(X, \text{unknown-survival-quality})$, survival-quality(gb, 0.8), exception(survival-quality(pd, 0.1)), ?((exception(survival-quality(X,Y)) or exception(survival-quality(X,Z))) and \neg (exception(survival-quality(X,Y)) and exception(survival-quality(X, Z))) agsurvival-quality

Programa em PLC para a extensão do predicado cost: $\neg \text{cost}(X, Y) \rightarrow \text{not cost}(X, Y)$ and not exception(cost(X, Y)), exception(cost(X, Y)) $\rightarrow \text{cost}(X, \text{unknown-cost})$, cost(gb, unknown-cost), cost(pd, unknown-cost), ?((exception(cost(X,Y)) or exception(cost(X,Z))) and \neg (exception(cost(X,Y)) and exception(cost(X, Z))) agcost

Neste caso, assume-se que os custos são desconhecidos, sendo dessa forma considerados valores nulos para os cálculos.

Casos De Estudo

3.1 Modeling Intelligent Agents to Integrate a Patient Monitoring System

Autores: Gabriel Pontes, Filipe Portela, Rui Rodrigues, Manuel Santos, José Neves, António Abelha and José Machado

Título: Modeling Intelligent Agents to Integrate a Patient Monitoring System

Local: Practical Applications of Agents and Multiagent Systems Advances in Intelligent Systems and Computing Volume 221, Springer, 2013

Ano de Publicação: 2013

Índices:

- SCIMAGO SJR 0.13 - Q4
- SCOPUS
- SPRINGER

DOI: 10.1007/978-3-319-00563-8_17

Modeling Intelligent Agents to Integrate a Patient Monitoring System

Gabriel Pontes¹, Filipe Portela², Rui Rodrigues¹,
Manuel Santos², José Neves¹, António Abelha¹, and José Machado¹ *

¹ University of Minho, Computer Science and Technology Centre (CCTC),
Campus de Gualtar, Braga, Portugal

² University of Minho, ALGORITMI Center,
Campus de Azurem, Guimarães, Portugal

Abstract. ICU units are a good environment for the application of intelligent systems in the healthcare arena, due to its critical environment that require diagnose, monitor and treatment of patients with serious illnesses. An intelligent decision support system - *INTCare*, was developed and tested in CHP, a hospital in Oporto, Portugal. The need to detect the presence or absence of the patient in bed, in order to stop the collection of redundant data concerning about the patient vital status led to the development of an RFID locating and monitoring system - PaLMS, able to uniquely and unambiguously identify a patient and perceive its presence in bed in an ubiquitous manner, making the process of data collection and alert event more accurate. An intelligent multi-agent system for integration of PaLMS in the hospital's platform for interoperability (AIDA) was also developed, using the characteristics of intelligent agents for the communication process between the RFID equipment, the *INTCare* module and the Patient Management System, using the HL7 standard embedded in agent behaviours.

Key words: Ambient Intelligence, Intelligent Agents, Multi-Agent Systems, RFID, Patient Monitoring, Intensive Care Units, Medical Informatics

1 Introduction

HealthCare is an area of constant development towards better patient treatments and better quality of service provided. New demands are constantly arising, and computer technology is in the frontline of the responses to those demands, not only in the field of medical assistance, but also in an administrative and organizational point of view. Yet, classical computation paradigms fall short when trying to model an environment with a large number of users and complex processes and interactions [1]. *Multi-Agent Systems* (MAS) stands as an emerging technology focussing on the modelling, design and development of complex systems. The use of intelligent agents in Medicine has been shown as a complementary

* Contact Author: José Machado, Universidade do Minho, Braga, jmac@di.uminho.pt

technique to improve the performance of computer-based systems, in terms of interoperability, scalability and reconfigurability. Moreover, it is one of the main topics of international conferences in *Artificial Intelligence (AI)*. *Centro Hospitalar do Porto (CHP)*, a hospital facility in Oporto, in the north of Portugal, has developed and implemented *INTCare* [2] an intelligent decision support system (IDSS) for the *Intensive Care Unit (ICU)*, aiming the real-time monitoring of patients, predicting the dysfunction or failure of six organic systems within a short period of time, and the patient outcome in order to help doctors deciding on the better treatments or procedures for the patient. This system fails when the patient is out of bed. The data generated by the monitoring system becomes redundant when there is no one to monitor, and computational resources can be spared. *INTCare* uses the agent paradigm in the process of collection, analysis and process of data acquired in each bed from the unit.

This article is divided into five sections. Besides this introduction section where a brief description is given about the problem being dealt with and the project description, in section 2 we talk about the technologies that stand on the basis of the project, presenting some literature background and state-of-the-art of Ambient Intelligence, RFID technology, the interoperability and HL7 as a standard to overcome that issue, and the characteristics of intelligent agents and multi-agent systems. Section 3 relates to the *INTCare* project developed in *CHP*, its main characteristics and goals. *PaLMS* system is described in Section 4, where the method of message exchange between agents driven by different events, triggered according to specific situations is explained and detailed. Section 5 presents some conclusions about the project and the future work expected to be done in order to improve the project itself, and some hospital developments achievable using RFID technology and HL7 messages embedded in intelligent agents.

2 Background

Even with the ongoing increase in hospitals use of computerized tools such as powerful hospital information systems and connected laboratory results, these tools are not sufficient and new technologies should support a new way of envisaging the future hospital [3].

2.1 Monitoring Systems

As AmI is the vision that technology will become not simply embedded, but invisible, fully hidden in our natural surroundings, but present whenever we need it, enabled by simple and effortless interactions, wireless sensor networks (WSNs) are commonly recognized as one of the technological cornerstones of AmI [4] [5] [6]. The wireless requirements for pervasive healthcare services are comprehensive coverage, reliable access and transmission of medical information, location management, and support for patient mobility. Many of the existing and emerging wireless networks such as cellular-oriented (2G/3G/4G), wireless

LANs, satellites, and short range technologies such as sensors, RFID, Bluetooth, Zigbee, and personal area networks could support one or more of these requirements [7] [8].

2.2 RFID

RFID (Radio-Frequency Identification) is an emerging technology in health-care that can facilitate automating and streamlining safe and accurate patient identification, tracking, and processing important health related information in health care sector, therefore a contributing technology to the implementation of ambient intelligence scenarios in hospitals [9]. RFID technology mainly consists of a transponder (tag) which contains electronically stored information and is able to be read from up to several meters, an antenna reader and an information system.

2.3 Multi-Agent Systems

Agents and the *Agent-Oriented Programming* are concepts correlated to the field of Artificial intelligence, and their importance is growing in the healthcare environment, namely in the "quest" for interoperability. Shoham, Y. described in 1993 [10] an agent as "*an entity whose state is viewed as consisting of mental components such as beliefs, capabilities, choices and commitments*". The use of intelligent agents in Medicine has been shown as a complementary technique to improve the performance of a computerised system in terms of interoperability, scalability and reconfigurability [11].

2.4 Interoperability

One of the medical informatics' concerns nowadays is to ensure interoperability. With the grow of medical organizations, the need to manage information between many components also increases, and the most common scenario is to find such organizations with specialist sub-domains, each with its own vocabulary, knowledge base and software applications. These sub-domains contain multi-platform, multi-vendor application wrappers built around multi-variate data sources further adds to the complexity [12]. As patients change hospitals, and have multiple health episodes in multiple healthcare facilities, this results in patient related information fragmented into various systems. Besides, citizens move nowadays more often from one country to another for work or leisure fact that made the semantic interoperability³ of electronic healthcare records (EHR) systems a major challenge in eHealth. The semantic interoperability was, in fact, the target of recommendations from the European Commission, considering it an essential step towards the improvement of the quality and safety of patient care, public health, clinical research, and health service management. [13] [14].

³ Semantic interoperability of clinical information can be defined as the ability of information systems to exchange and understand clinical information independently of the system in which it was created

2.5 AIDA

AIDA stands for Agency for Integration, Diffusion and Archive of medical information, and was created by researchers both from University of Minho and CHP. AIDA can be described as an agency that provides intelligent electronic workers (agents) that present a pro-active behaviour, and are in charge of tasks such as: communications among the sub-systems that make the whole one, sending and receiving information (e.g. medical or clinical reports, images, collections of data, prescriptions), managing and saving the information and answering to information requests, in time [15].

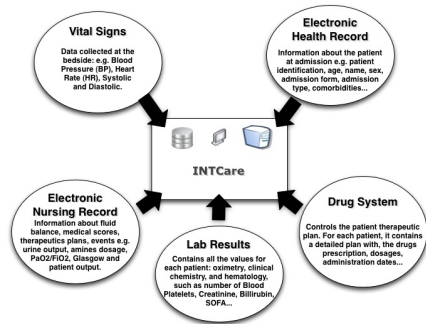


Fig. 1. Illustration of the five different types of input data to the INTCare system.

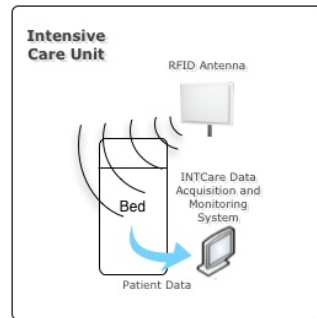


Fig. 2. ICU equipped with RFID antenna and screens to data consult and analysis from the medical staff.

3 INTCare

INTCare is an Intelligent Decision Support System (IDSS) developed for Intensive Medicine, with the main goal of predicting the organ failure and outcome in real time, improving the health care by allowing the physicians to take a proactive attitude in the best interest of patients. INTCare, developed and fully implemented in CHP, is capable of predicting organ failure probability, the outcome of the patient for the next day, as well as the best suited treatment to apply. Due to the new fine-grained time response requirements, it is very useful to have models to predict values for the next hour, which means that the system should be adapted to real-time data [16] [2].

INTCare project has five data sources concerning about the patient monitoring process and data management, described in Figure 1 [2] [17].

This system uses a Knowledge Discovery in Databases (KDD) process. In order to model information for KDD processing, there are some requirements that should be met: [16] [2]: Online Learning, Real-time, Adaptability, Data Mining Models, Decision Models, Optimization and Intelligent Agents.

4 PaLMS

When patient leaves the ICU for an exam, for the operating room, or any other place while technically he hasn't discharged the unit, a problem occurs. The alert system developed inside the INTCare to alert the medical professionals about the patient condition enters in a warning state, but no patient is in the bed. One of the causes is that some patient vital data collected gets out of the normal parameters when analyzed, thus starting the alert process. Other problem related to the patient's absence concerns about the computational resources used to analyze data in the case described earlier, when the patient is not in the unit. Analysis of vital signs are made, information is stored, but this data is simply redundant.

A system that perceives the patient presence in bed is needed. This perception of the physical environment by computation entities invokes Ambient Intelligence. We propose an intelligent system embedded in the environment, able to detect the patient presence in bed through a wireless technology: the radio-frequency identification. At this first stage of implementation, a single antenna is installed on the bedside of each bed in the ICU, assuring the full-bed coverage by the RFID beam emitted by the antenna. A study may be realized in order to test the RFID accuracy using a single antenna, and the possibility of placing two antennas to optimize the process is also to be considered, depending on the study's results. In both cases, a patient in the bed can be monitored, by simply using a bracelet containing one RFID tag. This way, the patient can be identified uniquely and unambiguously.

This method of patient identification and his detection in the unit must have a way to be connected to the hospital's Patient Management System (PMS)⁴, so that the process of patient admission and discharge, the RFID reading tag process, the INTCare data acquisition and the alert system all work together, in a synchronous way. When a patient is in the bed, the whole system must: 1) gather the patient vital sign data in order to be monitored and processed; 2) have its alert system enabled to detect abnormalities in the patient's vital signs; 3) have the RFID monitoring the patients presence in the bed, and if not, stop the earlier processes.

4.1 Event-Based Model

To manage all the communication between the different systems, we have chosen a multi-agent system, using intelligent agents and their unique capabilities to handle the information exchange. A system of messages are in the basis of the communications, informing each system about possible changes about the patient. These changes were considered in the present work as events. The five far most usual events occurring in the patient cycle inside the healthcare facility, since the patient arrival until his departure, are considered to be admission, discharge, transfer, leave of absence and return from leave of absence.

⁴ In Portugal, the patient management system adopted and implemented in almost all of healthcare institutions is SONHO [18]

Table 1. Description of the events used in PaLMS.

Event	Description
Admission Event (AE)	Event sent by AIDA to the ICU informing the admission of a patient, and an unused EPC code to be inserted in the RFID tag, to place in the patients' arm.
Discharge Event (DE)	Event sent by AIDA to the ICU informing the discharge of the patient, and the corresponding RFID's EPC code.
Transfer Event (TE)	Event sent by AIDA to the ICU informing the transfer of a patient to another unit, and the corresponding RFID's EPC code.
Leave of Absence Event (LoAE)	Event sent by AIDA to the ICU informing the leave of absence of the patient, as he goes, for instance, to take an exam outside the ICU, and the corresponding RFID's EPC code.
Return from Leave of Absence Event (RLoAE)	Event sent by AIDA to the ICU informing the return of the patient to the ICU, and the corresponding RFID's EPC code.
Warning Event (WE)	Event sent by the RFID equipment to the ICU warning about the fail to detect the tag in the ICU bed, and the corresponding RFID's EPC tag.

4.2 Multi-Agent System

The process of communication chosen, as it was said before, was a message exchange between entities, receiving and reacting accordingly to the characteristic of the message. This was the main reason under the option for intelligent agents. Their behaviour capabilities enable them to have different reactions according to the need expressed to them. In our case, when we send a message informing the admission of a patient, the entity must react in a different manner than if we are dealing with a discharge event.

5 Conclusions and Future Work

Being still in a development stage, PaLMS brings together many emergent technologies in healthcare in order to solve the problem we were dealing with: the need to recognize and monitor the patient presence in a specific bed, optimizing another system for medical assistance. Further to the development stage, tests will be done to evaluate the potenciality of such type of monitoring system and the possible failures. Although, multi agent systems bring many advantages if properly adapted, assuring the system persistence, versatility and reliability. Having HL7 embedded in the process of message exchange has so far bring no disadvantages nor problems in the process.

This type of monitoring system using RFID can be applied and tested in other units, to monitor the patients movements inside the hospital or in any particular

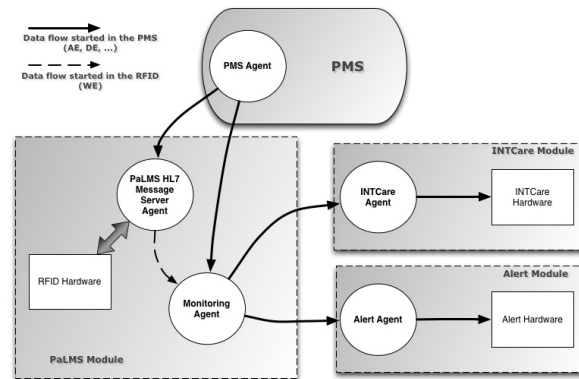


Fig. 3. Description of the communication of the three modules inside AIDA.

unit, to track a specific doctor needed at that time, etc. As the main framework is developed, such RFID systems are able to be inserted and implemented in the hospital facility, speeding up the process. The fact that intelligent agents are evolved with the hospital core of information, such as the patient management system, enables the hospital to get this kind of information collected by RFID systems available and capable of communication with any other system or unit, making the whole process interoperable.

An aspect that will require attention is the data persistence between the agent communications. Since we are dealing with patients, specially in the ICU, having their life at risk, such system cannot be unprepared to possible failures, systems containing the agents being shut down, losing the information about the start or stop or readings of the RFID or INTCare. Therefore, a way to store information about the agent status, agents received and sent messages, etc, is being prepared through data storage in databases.

Acknowledgements

This work is financed with the support of the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT), with the grant SFRH/BD/70549/2010 and within project PEst-OE/EEI/UI0752/2011.

References

1. Fox, J., Beveridge, M., Glasspool, D.: Understanding intelligent agents: Analysis and synthesis. *AI COMMUNICATIONS* **16** (2003) 139–152
2. Portela, F., Gago, P., Santos, M.F., Silva, Á.M., Rua, F., Machado, J., Abelha, A., Neves, J.: Knowledge discovery for pervasive and real-time intelligent decision support in intensive care medicine. In Filipe, J., Liu, K., eds.: *KMIS*, SciTePress (2011) 241–249

3. Bricon-Souf, N., Newman, C.R.: Context awareness in health care: A review. *International Journal of Medical Informatics* **76**(1) (2007) 2 – 12
4. Benini, L., Farella, E., Guiducci, C.: Wireless sensor networks: Enabling technology for ambient intelligence. *Microelectronics Journal* **37**(12) (2006) 1639 – 1649
5. Culler, D., Estrin, D., Srivastava, M.: Guest editors' introduction: Overview of sensor networks. *Computer* **37** (2004) 41–49
6. Zhao, F., Guibas, L.: 4.4 Localization and Localization Services. In: *Wireless Sensor Networks, an Information Processing Approach*. Elsevier (2004)
7. Alemdar, H., Ersoy, C.: Wireless sensor networks for healthcare: A survey. *Computer Networks* **54**(15) (2010) 2688 – 2710
8. Dağtaş, S., Pekhteryev, G., Şahinoğlu, Z., Çam, H., Challa, N.: Real-time and secure wireless health monitoring. *International Journal of Telemedicine and Applications* **2008**(135808) (2008)
9. Chowdhury, B., Khosla, R.: Rfid-based hospital real-time patient management system. In: *Computer and Information Science, 2007. ICIS 2007. 6th IEEE/ACIS International Conference on.* (2007) 363 –368
10. Shoham, Y.: Agent-oriented programming. *Artificial Intelligence* **60**(1) (1993) 51 – 92
11. Isern, D., Sánchez, D., Moreno, A.: Agents applied in health care: A review. *International Journal of Medical Informatics* **79**(3) (2010) 145 – 166
12. Orgun, B., Vu, J.: H17 ontology and mobile agents for interoperability in heterogeneous medical information systems. *Computers in Biology and Medicine* **36**(7-8) (2006) 817 – 836 Special Issue on Medical Ontologies.
13. epSOS: European ehealth project (May 2012)
14. Costa, C.M., Menárguez-Tortosa, M., Fernández-Breis, J.T.: Clinical data interoperability based on archetype transformation. *Journal of Biomedical Informatics* **44**(5) (2011) 869 – 880
15. Abelha, A., Analide, C., Machado, J., Neves, J., Santos, M., Novais, P.: Ambient intelligence and simulation in health care virtual scenarios. In Camarinha-Matos, L., Afsarmanesh, H., Novais, P., Analide, C., eds.: *Establishing The Foundation Of Collaborative Networks*. Volume 243 of *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. Springer Boston (2007) 461–468
16. Santos, M.F., Portela, F., Vilas-Boas, M., Machado, J., Abelha, A., Neves, J., Silva, A., Rua, F.: Information architecture for intelligent decision support in intensive medicine. *W. Trans. on Comp.* **8**(5) (May 2009) 810–819
17. Vilas-Boas, M., Gago, P., Portela, F., Rua, F., Silva, Á., Santos, M.F.: Distributed and real time data mining in the intensive care unit. *19th European Conference on Artificial Intelligence - ECAI Lisbon* (2010) 51–55
18. Ribeiro, J.V., Geirinhas, P.M.: Icnp in sonho. In Mortensen, R.A., ed.: *ICNP in Europe: Telenurse. Technology and Informatics*. IOS Press (1997) 131– 136

3.2 Morality in Group Decision Support System in Medicine

Autores: José Machado, Miguel Miranda, Gabriel Pontes, António Abelha e José Neves

Título: Morality in Group Decision Support Systems in Medicine

Local: 4th International Symposium on Intelligent Distributed Computing, INTELLIGENT DISTRIBUTED COMPUTING IV, Studies in Computational Intelligence, Volume: 315, Springer, 2010.

Ano de Publicação: 2011

Índices:

- SCIMago SJR 0.193-Q4 - ISI
- SCOPUS
- DBLP
- SPRINGER

DOI: 10.1007/978-3-642-15211-5_20

Morality in Group Decision Support Systems in Medicine

José Machado, Miguel Miranda, Gabriel Pontes, António Abelha and José Neves

Abstract In this paper it is addressed the problem of morality and behavior when using multi-agent systems in Group Decision Support Systems in Medicine, where the universe of discourse is modeled in terms of an extension to the language of Logic Programming, in terms of Multi-Valued Extended Logic Programs or Theories. It is also presented a formal model to evaluate moral decisions and moral behavior in terms of a process of quantification of the morally preferable relation, based on a process of quantification of the Quality-of-Information that stems from a multi-valued extended logic program. On the other hand, it was also presented a process of integration of an extension of a logic program into the framework of the relational data model, therefore taking advantage of the power of relational algebra for problem solving purposes, i.e to set the reason for which something is done or created or for which something exists.

1 Introduction

The healthcare arena is to be understood as a multi-disciplinar environment, where teams with distinct backgrounds and knowledge have to cooperate towards the solu-

José Machado
University of Minho, Braga, Portugal, e-mail: jmac@di.uminho.pt

Miguel Miranda
University of Minho, Braga, Portugal, e-mail: miranda@di.uminho.pt

Gabriel Pontes
Centro Hospitalar do Alto Ave, Guimarães, Portugal, e-mail: gabrielpontes@chaa.min-saude.pt

António Abelha
University of Minho, Braga, Portugal, e-mail: abelha@di.uminho.pt

José Neves
University of Minho, Braga, Portugal, e-mail: jneves@di.uminho.pt

tion of particular problems and/or to set guidelines for future practices. The notion of teams is not limited to the daily cooperation in each service of an healthcare unit. These teams include elements from different scientific domains and backgrounds. Moreover, considering the moral complications and the complexity of medical practice, argumentation through the use of auxiliary indicators or a multidisciplinary team to support the decision making process, presents itself as a mean towards the validation and perhaps improvement of such processes.

The multi-disciplinary teams are intrinsically related with decision support, and information platforms supporting decision support systems are one of the tools with the most potential to adapt and improve such services. Moreover, the organizational and functional schema inherent to an healthcare unit configures a distributed computational environment, where different services and people communicate, exchange data and knowledge (e.g. surgery experiences, patient records, management indicators). This approach to problem solving may be seen as a Multi-Agent System (MAS), where each entity, virtual or human, change arguments with other partakers. Under this happening, each team can intertwine in all healthcare related areas using argumentation and expertise in order to present unbiased plausible explanations, which may be relevant for a particular decision making process. These experts, either human or software agents, presenting their specific knowledge about their expertise area, whenever a requested is made.

On the other hand, Group Decision Support Systems (GDSS) are computer-based systems that aim to support collaborative work, and particularly to increase the benefits and decrease the losses associate to collaborative work; here a meeting is defined as a set of processes necessary to the completion of a specific collaborative task. A meeting is a consequence or an objective of the interaction between two or more persons, which may introduce a moral dimension in all the processes of decision making. Although most of these virtual entities are still rather limited in learning, adaptation and autonomy, displaying solely reactance to predicted or programmed events, several threads of Artificial Intelligence (AI) research methodologies for embedding further intelligence. As virtual entities intervene in decision making processes with moral complications, a justified doubt and concern regarding the impact of actions performed by these entities arises. From the numerous scenarios where they can interact with their surrounding environment, some carry moral consequences and describe ethically intricate actions from a human point of view. From the need to prevent immoral decisions and ensure confidence regarding these virtual entities, further understanding of the capacity of moral agency, moral modeling and the complexity of human moral ethics must be taken into consideration.

2 Multi-Agent based Intelligent Systems in Medicine

The development of an intelligent system is adamantly complex in every area, however in the healthcare arena it has a different context due to the moral value inherent to the human being condition. All agents (human or virtual) have to be aware of

the immeasurable value of an human life and the ethical complexity existing when dealing with this sensible area. From the different paradigms in AI applied to healthcare information systems, Agent Oriented Programming (AOP) has encountered a sheer growth in number and advances. These MAS are capable of implementing distributed autonomous virtual entities, which can integrate other AI techniques such as genetic algorithms, neural networks or case based reasoning. An individual agent or a network of agents based on different MAS possess a class of characteristics that allows them to be independent from the will, desires and objectives of other virtual agents, humans or other simple software devices [9]. Although limited, this degree of individuality is the essence of the independence and autonomy to be expected from a moral agent. However, the use of AI learning techniques enables the agents to alter its state and evolve dynamically, making the underlying behavior dependent of the environment itself, which may very well go out of the scope of the initial parameters defined in their process of initialization. This possibility rises issues concerning the ethical and legal responsibility of the initial programmer, in light of the software based agents and of its signature, namely intelligence, autonomy, self-learning and dynamic capabilities, as well as the influence of other external dependencies, which might have influenced the agents in different forms. The use of MAS in Medicine has increasingly occupied an higher level of notoriety, with the introduction of intelligence, pro-activity and efficiency in the healthcare arena. The distributed and heterogeneous nature of this environment makes the best use of this technology [17] [9] [11] [4].

On the other hand, the adoption of an ontology that follows the definitions and requirements for interoperation in healthcare [12] [1], allows the agents to be integrated with the healthcare environment and opens further opportunities to MAS.

3 Principles that define a Moral Agent and Moral Decision Evaluation

A moral agency is defined by the moral requisites presents in its behavior. By this mean, the underlying concept of a Moral Agent (MA), is the existence of moral premisses that rule its behavior, differentiating good from evil. It's important not to misunderstand the concept of MA with Moral Patient (MP). While the first has moral obligations, a PM is an entity in which moral rights relate to. MA are in most of the cases MP, however this relation is non-reciprocal, as the discussion on delimitating the grounds of MA considers that only a part of MP are in fact capable of being MA. An adult is a MA although a recently born child is solely a MP, being capable however of becoming one during his growth [8]. This notion that an entity may become during its development a MA, is indeed very important, as it allows in an analogous form, state that an agent, at a given stage of development, acquire such property. It is necessary to understand what is an virtual intelligent agent and its central characteristics that will allow it to become a MA.

According to Wooldridge, an agent embodies a computational system capable of revealing an autonomous and flexible action, developed in a determined universe of speech. The flexibility of the agent is related with the capacity of reaction, initiative, learning and socialization [23]. Although the definition is not universal, for an organic or software based entity, there exists two levels of intrinsic characteristics, which define in a weak or strong form, whether or not in fact that entity is an intelligent agent. On the one hand, the weak notion of agent represents the minimum characteristics of an agent, centering in its capacities of autonomy, reactivity, proactivity and sociability. On the other hand, in the strong notion of an agent, it is defined imminently cognitive characteristics, that may result in the development of a self-consciousness by part of the agent and in the enablement of other valuable properties such as perception, sentimentality, emotions [22]. The establishment of this characteristics is an important factor in the contextualization of the designation of intelligent agents in a way to normalize what is in fact an object, as well as any other form of software based intelligent agents.

The comprehension of these characteristics has to be analyzed relatively to a Level of Abstraction (LoA) that unifies them and limit the possibility of relativism in their analysis. Turing first used the notion of LoA to, according to a level established by him, define intelligence. This concept was used by Floridi and Sander to analyze, according to different LoA the characteristics of intelligent agents, their capacity to undertake moral decisions. Although LoA is a concept derived from computer science, more concretely from formal methods and uses of discrete mathematics to specify and analyze the behavior of information system. A LoA consists in a collection of observables, being each one defined by a group of values and results. In another words, to each entity there exists different LoA that characterize it in a distinct way without adding any type of relativity in the resulting observation. Given a set of values of X well defined, an observable of the type X is the variable whose response values are contained in X . A LoA consists then in a collection of observable that are considered on the observation. In a less abstract level, in the case of a car, there can be defined different LoA such as of the buyer, mechanic, insurance officer, all of which present different points and characteristics, while being distinct [6].

Depending on the LoA, just as an entity can be considered an object or an intelligent agent, defining the proper LoA the properties that define a MA that may be of use. The three criteria considered in this LoA are interactivity (a), autonomy (b) and adaptability (c), being the synchronous existence of these characteristics what enables an intelligent agent to become a MA [6]. In order to better analyze these characteristics, one must specify and adequate them with the definition of an agent and, as well, with the state of the art of the development of intelligent agents [22].

Modeling moral behaviors in agents is also a field where different agent development methodologies are now being tested, trying to simulate human moral behaviors. Although this simulation may bring a greater understanding of human ethical choices and give a new perspective on moral in general, the lines of by which an agent evolves its moral codes are yet to be used as a mean towards building moral agents [18].

4 Modeling Moral Behavior in Extended Logic Programing

There exists no definite solution for modeling ethical virtual entities, and presently several approaches are being presented and some compared against one another. Looking at the present and the ongoing research in this area, different methodologies for modeling moral capabilities using AI techniques can be segmented according to their main characteristics [21]. One of the most definite and important disparity in methodologies is the usage of explicit reasoning versus black-box reasoning. In explicit reasoning, the processes underneath a moral decision are clearly defined as principles, rules, exceptions, or other structure defined for one particular modeling. When analyzing AI techniques derivatives of symbolic, sub-symbolic or statistical approaches, there exist some that are able to represent their line of thought, allowing a transparent view of the moral decision process [16]. One of these techniques is based on the potential of logic programming, in which Horn clauses set the formalism that model the reasoning process subsumed by an existing logical predicate. Current research indicates that non-monotonic logic, due to its ability to implement defeasible inference, enabling moral principles to add and still diminish the set of conclusions determined by the knowledge base, is an interesting and promising technique to model moral reasoning [16] [19] [7] [3]. Indeed, principles of benevolence and non-malificence can exist in accordance with other principles that are against their value or state an exception for superseding context principles. Regardless of the use of deductive, inductive or abductive logic, the rules used or attained are explicitly defined. However, the usage of each of these techniques of logic programming varies on the objective and context of application.

With respect to the computational model 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 (close world assumption), 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 [2]. Every program is associated with a set of abducibles. Abducibles may 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.

Therefore, being Γ a program in Extended Logic Programming (ELP) and $g(X)$ a question where X contains variables $X_1 \wedge \dots \wedge X_n (n \geq 0)$, one gets as an answer:

The answer of Γ to $g(X)$ is *true* iff
 $g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{true})$.
 The answer of Γ to $g(X)$ is *false* iff
 $\neg g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{false})$.
 The answer of Γ to $g(X)$ is *unknown* iff
 $\text{not } \neg g(X) \wedge \text{not } g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{unknown})$.

where *unknown* stands for a truth value in the interval $0 \dots 1$. Being Γ a Program it is possible to define the Minimal Answer Set of Γ ($MAS(\Gamma)$):

$$\Gamma \vdash s \text{ iff } s \in MAS(\Gamma)$$

where $\Gamma \vdash s$ denotes that s is a logical consequence or conclusion for Γ .

Being now AS_i and AS_j two different answer sets of Γ , being E_{AS_i} and E_{AS_j} , respectively, the extensions of predicates p in AS_i and AS_j , it is defined that AS_i is morally preferable to AS_j ($AS_i \prec AS_j$) where \prec denotes the morally preferable symbol, if for each predicate p_1 it exists a predicate p_2 such that $p_1 < p_2$ and $E_{AS_i} \setminus E_{AS_j}$ is not empty (\setminus denotes the difference set operator).

Case 1

Mr. PD is a man with 81 years, a long background of cardiopathy and diabetes is admitted in an ICU with fever, hypertension and dyspnea. The thorax radiography is compatible with Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) and the arterial partial oxygen tension (PaO₂) is of 50 mmHg. This condition is often fatal, usually requiring mechanical ventilation and although the short-time mortality in these cases has been decreasing, the probability of mortality is considerably high and moreover this procedure results in a low quality-adjusted survival in the first year after ARDS [8, 13]. At the noon service meeting, while analyzing the current cases, the assistant physician asks the interns whether in light of the survival rates, treatment costs and probable low quality of life, should the ICU resources be used with this 81 years old men.

Case 2

During this meeting Mrs. GB, a woman with 36 years interned at the same hospital due to a car accident and diagnosed with sepsis, Acute Lung Injury (ALI) and Glasgow coma scale of 3, shows breathing complications and needs to be admitted an ICU. The level of its PaO₂ and the severity of the ALI indicated a pressing need for mechanical ventilation and intensive care. However the number of beds in the ICU is limited and for this matter Mr. PD would have to be changed to another service. Due to the fragile state of Mr. PD this procedure is problematical, but considering

his clinical status, complications and age with Mrs. GB, the greater probability of her to full recover with better quality of life tends to tip the balance from a critical point of view.

The Program

The continuous logic program for the extension of the agent *survivalrate*:

```
{
  ¬survivalrate(X,Y) ← not survivalrate(X,Y) and
  not exception(survivalrate(X,Y)),
  exception(survivalrate(X,Y)) ← survivalrate(X,unknownsurvivalrate),
  survivalrate(X,Y) ← ards(X) and pao2(X,low) and evaluate(X,Y),
  exception(survivalrate(gb,0.5)),
  ?((exception(survivalrate(X,Y)) or
  exception(survivalrate(X,Z))) and
  ¬(exception(survivalrate(X,Y)) and
  exception(survivalrate(X,Z))))
  /This an invariant that states that the exceptions to the predicate survivalrate fol-
  low an exclusive or/
}agsurvivalrate
```

The continuous logic program for the extension of agent *survivalquality*:

```
{
  ¬survivalquality(X,Y) ← not survivalquality(X,Y) and
  not exception(survivalquality(X,Y)),
  exception(survivalquality(X,Y)) ← survivalrate(X,unknownsurvivalquality),
  survivalquality(gb,0.8),
  exception(survivalquality(pd,0.1)), ?((exception(survivalquality(X,Y)) or
  exception(survivalquality(X,Z))) and
  ¬(exception(survivalquality(X,Y)) and
  exception(survivalquality(X,Z))))
}agsurvivalquality
```

The Moral Decision

In light of this context, how should the GDSS act?

In our approach, the morally preferable relation is based on evolution and it is built on a quantification process of the quality of information that stems from a logic program or theory. Indeed, let $i(i \in \{1, \dots, m\})$ denotes the predicates whose extensions make an extended logic program or theory that model the universe of discourse, as it is given above for predicates *survivalquality* and *survivalrate*, where

$j(j \in \{1, \dots, n\})$ denotes 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 gives the score predicate i assigns to a value of attribute j in the range of its acceptable values, i.e. its domain (for sake of simplicity, scores are kept in the interval $0 \dots 1$). The quality of the information with respect to a generic predicate it is therefore given by $Q_i = \frac{1}{Card}$, where $Card$ denotes the cardinality of the exception set for the predicate i , if the exception set is not disjoint. If the exception set is disjoint, the quality of information is given by $Q_i = \frac{1}{C_1^{card} + \dots + C_{card}^{card}}$ where C_k^{card} is a k -combination subset, with $card$ elements. The relative importance that a predicate assigns and to each of its attributes under observation: $w^i j$ stands for the relevance of the j for the predicate i and is given by $V^i(x) = \sum w^i j = 1$, for all i . The predicate scoring function, i.e. for a value $x = (x_1, \dots, x_n)$ in the multi-dimensional space defined by the attributes domains, is given in the form $V^i(x) = \sum w^i j V^i j(x)$.

It is now possible to measure the quality of the information that stems from a logic program or theory, by posting Q_i values into a multi-dimensional space, whose axes denote the logic program predicates with a numbering ranging from 0 (at the center) to 1. The area delimited by the arcs gives a measure of the quality of information carried out by each problems solution under consideration. This was done for the program listed above, therefore defining the process of quantification of the morally preferable relation, as expected. In [20], it is shown a new way to represent incomplete information in ELP using the relational data model in order to use the power of relational algebra or the Structured Query Language to make inferences.

5 Conclusion

The first aim of this work was to go through a simple example to present a computational model to select and quantify the quality-of-information of logic programs or theories to solve specific problems of ethical reasoning in a group meeting. With the increasing use of Web applications to perform the Electronic Health Record (EHR) [15] on healthcare facilities, the GDSS has the potential to be easily integrated in order to support the medical and clinical e-learning and to provide life assistance. In fact, the usual need for documentation and specific information by the medical staff can be easily provided by these systems, making a new step towards a paper free healthcare system. Moreover, this system allows a better performance, saving time and effort while tutoring the users at the same time. For example, this system has demonstrated great potential in the area of cancer staging [13], the elderly [5] and Intensive Care, where moral dilemmas have a high level of importance. Since we specify a threshold to reduce the combinatory explosion of the solutions we are discarding non-promising search paths that can be the best route to the results. In future, through implementing convergence methods within creativity programs, in terms of ELP, we will create an evolution model to optimize the best theories quantified by the approach of the computational model presented in this work. Using

the Evolutionary paradigm and multi-valued ELP we will be able to predict a program evolution employing the methodologies for problem solving that benefit from abducibles [10] [14].

References

1. Abelha, A., Analide, C., Machado, J., Neves, J., Santos, M., Novais, P.: Ambient intelligence and simulation in health care virtual scenarios. Establishing the Foundation of Collaborative Networks **243**, 461–468 (2007). CamarinhaMatos, LM 8th Working Conference on Virtual Enterprises SEP 10-12, 2007 Guimaraes, PORTUGAL
2. Analide, C., Abelha, A., Machado, J., Neves, J.: An agent based approach to the selection dilemma in cbr. In: C. Badica, G. Mangioni, V. Carchiolo, D.D. Burdescu (eds.) IDC, *Studies in Computational Intelligence*, vol. 162, pp. 35–44. Springer (2008)
3. Anderson, M., Anderson, S.L., Armen, C.: An approach to computing ethics. IEEE Intelligent Systems **21**(4), 56–63 (2006)
4. Andrade, F., Novais, P., Machado, J., Neves, J.: Contracting agents: legal personality and representation. Artif. Intell. Law **15**(4), 357–373 (2007)
5. Costa, A., Novais, P., Costa, R., Machado, J., Neves, J.: A memory assistant for the elderly. Intelligent Distributed Computing III **237**, 209–214 (2009). Papadopoulos, GA Badica, C., 3rd International Symposium on Intelligent and Distributed Computing (IDC 2009) OCT 13-14, 2009 Univ Cyprus, Dept Comp Sci, Syia Napa, CYPRUS
6. Floridi, L., Sanders, J.W.: On the morality of artificial agents. Minds Mach. **4**(3), 349–679 (2004)
7. Guarini, M.: Particularism and the classification and reclassification of moral cases. IEEE Intelligent Systems **21**(4), 22–28 (2006)
8. Himma, K.E.: Artificial agency, consciousness, and the criteria for moral agency: what properties must an artificial agent have to be a moral agent? In: Ethics and Information Technology. Springer (2008)
9. Isern, D., Sanchez, D., Moreno, A.: Agents applied in health care: A review. International Journal of Medical Informatics **79**(3), 145 – 166 (2010)
10. Kakas, A.C., Michael, A.: Applications of abductive logic programming. In: IJCSLP, pp. 343–344 (1998)
11. Machado, J., Abelha, A., Novais, P., Neves, J., Neves, J.: Improving patient assistance and medical practices through intelligent agents. In: Workshop on Health Informatics. AAMAS (2008)
12. 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)
13. Miranda, M.F.M., Abelha, A., Santos, M., Machado, J., Neves, J.: A group decision support system for staging of cancer. In: D. Weerasinghe (ed.) eHealth, *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol. 1, pp. 114–121. Springer (2008)
14. Neves, J., Machado, J., Analide, C., Abelha, A., Brito, L.: The halt condition in genetic programming. Progress in Artificial Intelligence, Proceedings **4874**, 160–169 (2007). Neves, J 13th Portuguese Conference on Artificial Intelligence DEC 03-07, 2007 Guimaraes, PORTUGAL
15. Neves, J., Santos, M., Machado, J., Abelha, A.: Electronic health records - organizational, regional, national, or worldwide? In: C. Long, P. Anninos, T. Pham, G. Anastassopoulos, N. Mastorakis (eds.) 1st WSEAS International Conference on Biomedical Electronics and Biomedical Informatics, pp. 116–121. World Scientific and Engineering Acad and Soc (2007)

16. Nugent, C., Cunningham, P.: A case-based explanation system for black-box systems. *Artif. Intell. Rev.* **24**(2), 163–178 (2005)
17. Nwana, H.S.: Software agents: An overview. *Knowledge Engineering Review* **11**(3), 1–40 (1996)
18. Pereira, L.M., Saptawijaya, A.: Modelling morality with prospective logic. In: J. Neves, M.F. Santos, J.M. Machado (eds.) *Progress in Artificial Intelligence*, pp. 99–111. Springer (2007)
19. Powers, T.M.: Prospects for a kantian machine. *IEEE Intelligent Systems* **21**(4), 46–51 (2006)
20. Ribeiro, J., Machado, J., Abelha, A., Neves, J., Fernández-Delgado, M.: Integrating incomplete information into the relational model. In: To be published (2010)
21. Tonkens, R.: A challenge for machine ethics. *Minds Mach.* **19**(3), 421–438 (2009). DOI <http://dx.doi.org/10.1007/s11023-009-9159-1>
22. Wooldridge, M., Jennings, N.R.: *Intelligent agents: Theory and practice*. *Knowledge Engineering Review* **10**, 115–152 (1995)
23. Wooldridge, M.J.: *Multiagent Systems – A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, chap. 1. MIT Press (1999)

3.3 A Step Towards Medical Ethics Modeling

Autores: Miguel Miranda, José Machado, António Abelha, Gabriel Pontes and José Neves

Título: A Step Towards Medical Ethics Modeling

Local: 1st IMIA/IFIP Joint Symposium, E-Health 2010, IMIA; IFIP, E-HEALTH, IFIP Advances in Information and Communication Technology, Volume: 335, Takeda H (ed), Springer, 2010

Ano de Publicação: 2010

Índices:

- SCIMago SJR 0.193-Q4 ISI
- SPRINGER

A Step Towards Medical Ethics Modeling

Miguel Miranda¹, José Machado¹,
António Abelha¹, Gabriel Pontes² and José Neves¹

¹ CCTC, Departamento de Informática, Universidade do Minho
miranda, jmac, abelha, jneves@di.uminho.pt

² Centro Hospitalar do Alto Ave, Guimarães, Portugal
gabriel.pontes@cha.min-saude.pt

Abstract: Modeling of ethical reasoning has been a matter of discussion and research among distinct scientific fields, however no definite model has demonstrated undeniable global superiority over the others. However, the context of application of moral reasoning can require one methodology over the other. In areas such as medicine where quality of life and the life itself of a patient may be at stake, the ability to make the reasoning process understandable to staff and to change is of a paramount importance. In this paper we present some of the modeling lines of ethical reasoning applied to medicine, and defend that continuous logic programming presents potential for the development of trustworthy morally aware decision support systems. It is also presented a model of moral decision in two situations that emerge recurrently at the Intensive Care Units, a service where the moral complexity of regular decisions is a motivation for the analyze and development of moral decision support methodologies.

Keywords: Clinical Ethics, Ethical Modeling, Logic Programming, Artificial Intelligence

1 Introduction

Over viewing the evolution of technology and information systems thematic, a trend of growing pro-activeness and limited intelligence is pushing the role of virtual entities, on a step-by-step basis, higher and higher. Many activities are nowadays performed by automated entities, while supervised by humans. Although most of these virtual entities are still rather limited in learning, adaptation and autonomy, displaying solely reactance to predicted or programmed events, several threads of Artificial Intelligence research methodologies for imbedding further intelligence.

The notion of virtual entity is here used to differentiate entities with higher levels of autonomy, learning, prediction and decision from a mainly reactive and controlled machine. Moreover, considering developments in the area of informatics and Artificial Intelligence (AI) in particular, it must be considered that many of these entities can exist within a single physical machine or even that a single one can be distributed within limitless machines. Therefore, the notion of a virtual entity in this case is similar to the concept of an agent in the area of Multi-Agent Systems.

As virtual entities become more complex and hold critical functions, a justified doubt and concern regarding the impact of actions performed by these entities arises. From the numerous scenarios where they can interact with their surrounding environment, some carry moral consequences and describe ethically intricate actions from a human point of view. From the need to prevent immoral decisions and ensure confidence regarding these virtual entities, further understanding of the capacity of moral agency, moral modeling and the complexity human moral ethics.

Modeling machine ethics can result in further understanding of human ethics itself, either by defining rules and exceptions, or by knowledge extraction, case classification and patterns search over existing cases and outcomes using different algorithms. One can in fact consider that from the numerous methodologies that exist for the study of moral capacity, for each of them different subsequent potential outcomes can be found. While modeling ethics based on defined moral principles can help defining ethical principles and validate the resulting decision process, using learning algorithms and knowledge extraction over existing moral cases and outcomes can deepen the understanding of the underlying moral rules and patterns that may go unnoticed, but define moral decisions. In other words, these processes aiming to analyze the essence of morality can be used not only to study their simulation/emulation, but also to deepen and evaluate the moral standards and dilemmas in ethically complex systems. The results from these systems are not limited outcome decisions before an ethical complex problem. Using a perspective of decision support or decision optimization, from a knowledge-base (either by previous studied cases or expert input), bearing in mind a specific scenario, similar cases can be aggregated for human user consideration, rules/principles involved in the decision can be induced with a certain degree of certainty, or conditions can be abduced.

There exists no definite solution for modeling ethical virtual entities, and presently several approaches are being presented and some compared against one another. Studying the present study and investigation in the area, different methodologies for modeling moral capabilities using artificial intelligence techniques can be segmented according to their main characteristics [1]. One of the most definite and important disparity in methodologies is the usage of explicit reasoning versus black-box reasoning. In explicit reasoning, the processes underneath a moral decision are clearly defined as principles, rules, exceptions, or other structure defined for one particular modeling. When analyzing AI techniques derivatives of symbolic, sub-symbolic or statistical approaches, there exist some that are able to represent their "line of thought", allowing a transparent view of the moral decision process [2].

One of these techniques is logic programming, in which horn clauses contain the formalisms that mold the reasoning within an existing logical predicate. Current research indicates that non-monotonic logic, due to its ability to implement defeasible inference, enabling moral principles to add and still diminish the set of conclusions determined by the knowledge base, is an interesting and promising technique to model moral reasoning [3] [4] [5]. By this mean, principles of benevolence and non-maleficence can exist in accordance with other principles that are against their value or state an exception for superseding context principles. Regardless of the use of deductive, inductive or abductive logic, the rules used or attained are explicitly defined. However, the usage of each of these techniques of logic programming varies on the objective and context of application.

On the other hand, while using black-box reasoning, the reasoning behind the moral decision itself cannot be perceived in a clear manner. In other words, within the process of a black-box technique, facing a set of inputs, only a set of outputs can be obtained, not the process or reason behind it. That is the case of neural networks, regardless of the methodologies used to attempt to understand the reasoning behind them, the fact remains that no certainty of the processing underneath the trained neural network exists [2]. Although interesting results can be achieved using neural networks trained on existing moral cases and consequently implementing case based reasoning, the understanding of the moral principles within these black boxes is unknown [6]. Different techniques can be used to reverse-engineer neural network's inner structure and imbedded rules, however, the result is not exactly the rules used but rather an induced or a probabilistic set of them [7]. In the end of this reverse-engineer process, it is attained an induced set of rules of a systems that already uses induction or probabilistic methods to train its processing, revealing a certainty of doubt over the extracted rules.

Another divergence in ethical modeling is the learning process of rules or reasoning methodologies in ethical dilemmas. When considering a specific area such as medicine, most of the existing knowledge essential to model moral reasoning is contained in deontological principles or case studies [8]. In either of these cases the core of this knowledge is based on individuals or panels of experts. In light of these sources, the moral decision model can be developed from existing principles, from learnt principles or from hybridization of both sources. While one can consider existing deontological principles as existing principles, learnt principles are those extracted from existing cases. These machine-learning behaviors applied to ethics are a rather complex theme as principle learning may result in immoral principles and depending of the methodology used it may not be possible to clearly understand the underlying principles (e.g. black-box machine learning). Inductive logic programming has also expressed in existing research potential to induce principles and their relations from experts reasoning.[9]

When modeling moral behavior in virtual entities, researchers must always bare in mind the environment that molds its principles. For research purposes selection of an area and a purpose is of the essence in order to evaluate results and contextualize the used approach. With this in mind, the disparity between ideal and real environments in the medical arena creates a complex set of scenarios, which are pressing and interesting to analyze from an ethical point of view. Therefore, this article will address moral reasoning in medicine, and apply it in clinical context.

2 Medical Ethics Modeling – Analysis and Applications

Clinical ethics is an arena of public interest, where themes such as end of life, abortion and refusal or futility of treatment, among others, are constantly discussed as specific dilemmas occur or opinions and beliefs change. Although the deontic principles of a physician remain centered in the best practice towards the patient, legislation and court decisions mold the parameters of how physicians should behave in specific cases, which bare moral consequences. In fact, the context in which a

morally complex case presents itself may uphold different results. One European study analyzing the frequency and types of withholding and withdrawal of life-sustaining therapies within the Intensive Care Units (ICU) of European countries, indicated that different countries and cultures deal in diverse ways with ethical dilemmas arising from these therapies [10]. One can go a step further, and consider the hypothesis that the physicians' training and context can as well affect the moral decision-making process. In fact, these decisions of withholding and withdrawal of therapy, similarly to many others in clinical ethics, are far from hypothetical situations; they happen frequently in the healthcare arena and allow no time for extensive legal or ethical consulting by the physician responsible for this decision. The moral demands of clinical staff are overwhelming and can become even more complex and dubious in contexts of intensive and emergency care. Intensivists are constantly presented with new moral dilemmas, which demand for a quick and asserted answer [11]. Medical staff must therefore be taught and trained to deal with these situations. Studies analyzing moral dilemmas and ethics modeling methodologies can be of help in this matter, to enhance the existing guidelines and understanding of moral decisions.

In the area of medicine, both practice and research activities have been actively overviewed and ultimately limited by existing legislation and court jurisprudence. This legislative effort is deeply connected to the existing moral principles and ethical concerns [11]. However, the existing legal directives can ease a decision concerning a morally complex situation and ethical confrontation, without fear for civil consequences. Some limitations occur on situations, in which decisions that sound ethically sound are limited by law, nevertheless professional conduct codes generally defined the proper conduct within the limits of the law [8].

For centuries, the clinical ethics with roots on Hippocrates' principles defined as its main deontological fact, the obligation of the physician to give to the patient all treatments medicine knowledge considered the best fit. Nowadays, the decision is centered on the patient's will, moreover, with the development of medical technologies, through their breakthrough and shortcomings, physicians have also to take in consideration consequences of physical, mental and financial order [12]. This change of paradigm and the subsequent increment of ethical and civil load to the decisions of clinical staff, is an environment where synergies of medical ethics and AI, in order to understand how moral processing should be designed and how tutoring and decision support systems can be developed and implemented.

One interpretation of the process of learning and practicing clinical ethics is based on a set of corner-stone rules (i.e. moral principles), completed by the interpretation of existing facts in light of the existing numerous case studies. One can therefore consider that the moral behavior of physicians is a complex intertwined system of both rule-based and case-based reasoning. Case studies can represent to some extent either rules or specific conditions which classify exceptions. This notion of exception is one of a logical programming point of view, where a context of known and unknown values of an universe can result in an exception to an existing predicate. Case studies can concur with the existing moral principles, alter their relationship, or define a context in which the existing principles were disregarded. When one analyzes an ethical case study in medicine, the surrounding context that materializes the moral action defines an example of a decision with moral consequences, where the

boundaries of right or wrong are complex to ascertain. The analysis of such cases is complex, however one should always bear in mind that the existing moral rules and principles of medicine are the barebones of clinical ethics and should not be superseded unless valid exceptions are deemed correct.

From the distinct environments within the medical arena, intensive care medicine embodies an environment where moral decisions are usual and complex. In this specific context, decisions must be taken within short time spans while also regard limited resources and patients in critical conditions [11]. This context enables interest in using moral decision modeling in clinical cases appertaining to the ICU.

3 Modeling Clinical Ethics

With respect to the computational paradigm, it was considered Logic Programming in the form of a Continuous Logic Programming (CLP), once the truth values are defined in the range $0...1$, with two kinds of negation, classical negation, \neg , and default negation, *not*. Intuitively, following the close world assumption, *not* p is true whenever there is no reason to believe p, whereas \neg p requires a proof of the negated literal. A continuous 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:

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

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 may 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.

Therefore, being Γ a program in CLP and $g(X)$ a question where X contains variables $X_1 \wedge \dots \wedge X_n \quad (n \geq 0)$, one gets as an answer:

$$\begin{aligned} &\text{The answer of } \Gamma \text{ to } g(X) \text{ is true iff} \\ &\quad g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{true}) \\ &\text{The answer of } \Gamma \text{ to } g(X) \text{ is false iff} \\ &\quad \neg g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{false}) \\ &\text{The answer of } \Gamma \text{ to } g(X) \text{ is unknown iff} \\ &\quad \text{not } \neg g(X) \wedge \text{not } g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{unknown}) \end{aligned}$$

where unknown stands for a truth value in the interval $]0...1[$. Being Γ a Program, it is possible to define the Minimal Answer Set of Γ (MAS(Γ)):

$$\Gamma \vdash s \text{ iff } s \in \text{MAS}(\Gamma)$$

where $\Gamma \vdash s$ denotes that s is a logical consequence or conclusion for Γ .

Being now AS_i and AS_j two different answer sets of Γ , being E_{AS_i} and E_{AS_j} , respectively, the extensions of predicates p in AS_i and AS_j , it is defined that AS_i is morally preferable to AS_j ($AS_i < AS_j$) where $<$ denotes the morally preferable relation, denoting that for each predicate p_1 there exists a predicate p_2 such that $p_1 < p_2$ and $E_{AS_i} \setminus E_{AS_j}$ is not empty (\setminus denotes the difference set operator).

In our approach, the morally preferable relation is based on evolution and it is built on a quantification process of the quality-of-information that stems from a continuous logic program. Indeed, let p_i ($i \in \{1, \dots, m\}$) denotes the predicates whose extensions make a continuous logic program that models the universe of discourse, in terms of the extensions of predicates and let a_j ($j \in \{1, \dots, n\}$) stands for the attributes for those predicates. Let $x_j \in [\min_j, \max_j]$ be a value for attribute a_j . To each predicate it is also associated a scoring function $V^i_j: [\min_j, \max_j] \rightarrow 0 \dots 1$, that gives the score of predicate p_i assigned to a value of attribute a_j in the range of its acceptable values, i.e. its domain (for sake of simplicity, scores are kept in the continuous interval $[0, \dots, 1]$). The quality-of-information with respect to a generic predicate it is therefore given by

$Q_i = \frac{1}{Card}$, where $Card$ denotes the cardinality of the exception set for the predicate p_i , if the exception set is not disjoint. If the exception set is disjoint, the quality of

information is given by $Q_i = \frac{1}{C_1^{card} + \dots + C_{card}^{card}}$ where C_k^{card} is a k -combination subset, with $card$ elements. The relative importance that a predicate assigns to each of its attributes under observation, w^i_j , stands for the relevance of a_j for the predicate p_i

and it is given by $V^i(x) = \sum w^i_j V^i_j(x)$, for all p_i . On the other hand, the predicate scoring function, when associated to a value $x = (x_1, \dots, x_n)$ in a multi-dimensional space defined by the attribute domains, is given in the form

$$V^i(x) = \sum w^i_j V^i_j(x)$$

Therefore, it is now possible to measure the quality-of-information that stems from a continuous logic program, by posting Q_i values into a multi-dimensional space, whose axes denote the program predicates with a numbering ranging from 0 (at the center) to 1. The area delimited by the arcs gives a measure of the quality-of-information carried out by each problem solution that may be under consideration, therefore defining the process of quantification of the morally preferable relation, as it is stated above in formal terms.

4 Model Behavior

Case 1

Mr. PD is a man with 81 years, a long background of cardiopathy and diabetes is admitted in an ICU with fever, hypertension and dyspnea. The thorax radiography is compatible with Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) and the arterial partial

oxygen tension (PaO₂) is of 50 mmHg. This condition is often fatal, usually requiring mechanical ventilation and although the short-time mortality in these cases has been decreasing, the probability of mortality is considerably high and moreover this procedure results in a low quality-adjusted survival in the first year after ARDS [8, 13]. At the noon service meeting, while analyzing the current cases, the assistant physician asks the interns whether in light of the survival rates, treatment costs and probable low quality of life, should the ICU resources be used with this 81 years old men.

Case 2

During this meeting Mrs. GB, a woman with 36 years interned at the same hospital due to a car accident and diagnosed with sepsis, Acute Lung Injury (ALI) and Glasgow coma scale of 3, shows breathing complications and needs to be admitted an ICU. The level of its PaO₂ and the severity of the ALI indicated a pressing need for mechanical ventilation and intensive care. However the number of beds in the ICU is limited and for this matter Mr. PD would have to be changed to another service. Due to the fragile state of Mr. PD this procedure is problematical, but considering his clinical status, complications and age with Mrs. GB, the greater probability of her to full recover with better quality of life tends to tip the balance from a critical point of view. In light of this context, how should the assistant physician act?

The continuous logic program for the extension of the predicate survival-rate:

```
{
¬survival-rate(X, Y) ← not survival-rate(X, Y ) and
    not exception(survival-rate(X, Y)),
exception(survival-rate(X, Y)) ← survival-rate(X,
unknown-survival-rate),
survival-rate(X, Y) ← ards(X) and pao2(X, low) and
evaluate(X, Y),
exception(survival-rate(gb, 0.5)),
?((exception(survival-rate(X, Y)) or
exception(survival-rate(X, Z))) and ¬(exception(survival-
rate(X, Y)) and exception(survival-rate(X, Z)))
/This invariant states that the exceptions to the
predicate survival-rate follow an exclusive or/
}agsurvival-rate
```

The continuous logic program for the extension of predicate survival-quality:

```
{
¬survival-quality(X, Y) ← not survival-quality(X, Y )
and not exception(survival-quality(X, Y)),
exception(survival-quality(X, Y)) ← survival-rate(X,
unknown-survival-quality),
survival-quality(gb, 0.8),
exception(survival-quality(pd, 0.1)),
?((exception(survival-quality(X, Y)) or
```



```

exception(survival-quality(X,Z)) and
¬(exception(survival-quality(X,Y)) and
exception(survival-quality(X, Z)))
}agsurvival-quality

```

The continuous logic program for the extension of predicate cost:

```

{
¬cost(X, Y) ← not cost(X, Y ) and
not exception(cost(X, Y)),
exception(cost(X, Y)) ← cost(X, unknown-cost),
cost(gb, unknown-cost),
cost(pd, unknown-cost),
?((exception(cost(X,Y)) or exception(cost(X,Z))) and
¬(exception(cost(X,Y)) and exception(cost(X, Z))))
}agcost

```

In this specific case we assume that the costs are unknown, so they will be considered as null values for the calculi.

5 Discussion

The extensions of the predicates that make the universe of discourse have to be generated and considered in the CLP program construction, in order to have a basis for decision making. This is a bi-directional process because beyond the organizational, functional, technical and scientific requisites, one may have also to attend the ethical and the legal ones, as well as data quality, information security, access control and privacy. This generation is made from the nosocomial Electronic Health Records (EHR). 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, bringing to healthcare units new computational models, technologies and tools, based on data warehouses, agents, multi-agent systems and ambient intelligence. 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 other health professionals; a register of integral 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.

Whatever form of an information society related to healthcare we can imagine, it will be based on three basic components, namely raw medical data, reconstructed medical data and derived medical data. Indeed, clinical research and practice involve a process to collect data to systematize knowledge about patients, their health status and the motives of the health care admittance. At the same time, data has to be registered in a structured and organized way, making effective automation and supporting using Information Technologies. For example, from an information repository, one may have collected patient data, which are registered in an efficient, consistent, clear and

structured way to improve disease knowledge and therapy; the medical processes for registering data are complemented with the information interchange between the different physicians that work around the patient; and the clinical data recording are guaranteed in the EHR application and procedural context. Interoperability will allow for sharing information among several information systems.

The process to collect data comes from 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; formulation of problems; and devising a management plan; and reviewing the situation and revising the plan if necessary.

6 Conclusion

Different methodologies for problem solving based on the AI paradigm have been proposed to model ethical reasoning, however we consider that continuous logic programming expresses characteristics that overcome the main shortcomings of other techniques such as black-box techniques. One of the main advantages of using CLP concern the context of ethical modeling itself, as most of the trustworthy knowledge is based on deontological principles and is oriented towards experts consideration. The principle and exception modeling demonstrated presents a modeling clearly understandable by experts, traceable through proof trees and which processing is clearly identifiable, predictable and updatable.

The ultimate goal of using CLP is not to simulate moral reasoning itself, but rather enable decision support architectures, which take into account moral context. That is the reason why the possibility to justify moral decision and doubt on real-time to clinical staff is of the essence. Using such modeling principles, this staff could recur to moral decision support on real time and understand the line of reasoning implicit in the decision advised by the system.

Although a long path has to be walked before such moral aware decision support systems are implemented, this study of moral modeling and representation is of the essence to set the basilar structure in which morality can be imbedded in future systems.

7 References

1. Tonkens, R., *A Challenge for Machine Ethics*. Minds and Machines, 2009. **19**(3): p. 421-438.
2. Nugent, C. and P. Cunningham, *A Case-Based Explanation System for Black-Box Systems*. Artificial Intelligence Review, 2005. **24**(2): p. 163-178.

3. Horty, J.F., *Moral Dilemmas and Nonmonotonic Logic*. Journal of Philosophical Logic, 1994. **23**(1): p. 35-65.
4. Powers, T.M., *Prospects for a kantian machine*. IEEE Intelligent Systems, 2006. **21**(4): p. 46-51.
5. Machado, J., et al., *Modeling Medical Ethics through Intelligent Agents*, in *I3E*. 2009. p. 112-122.
6. Guarini, M., *Particularism and the classification and reclassification of moral cases*. IEEE Intell. Syst., 2006. **21**(4): p. 7.
7. Floares, A.G., *A reverse engineering algorithm for neural networks, applied to the subthalamopallidal network of basal ganglia*. Neural Networks. **21**(2-3): p. 379-386.
8. Jonsen, A.R., M. Siegler, and W.J. Winslade, *Clinical Ethics*. 4th Edition ed. 1997: McGraw-Hill.
9. Anderson, M., S.L. Anderson, and C. Armen, *An approach to computing ethics*. Ieee Intelligent Systems, 2006. **21**(4): p. 56-63.
10. Sprung, C.L., et al., *End-of-Life Practices in European Intensive Care Units: The Ethicus Study*. Journal Of the American Medical Association, 2003. **290**(6): p. 790-797.
11. Danbury, C.M. and C.S. Waldmann, *Ethics and law in the intensive care unit*. Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology, 2006. **20**(4): p. 589-603.
12. Serrão, D. and R. Nunes, *Ética em Cuidados de Saúde*. 1998: Porto Editora.
13. ANGUS, D.C., et al., *Quality-adjusted Survival in the First Year after the Acute Respiratory Distress Syndrome*. Am. J. Respir. Crit. Care Med., 2001. **163**(6): p. 1389-1394.

3.4 A Moral Decision Support System in Medicine

Autores: Gabriel Pontes, Ana Duarte, David Cuevas, Maria Salazar, Miguel Miranda, António Abelha and José Machado

Título: A Moral Decision Support System in Medicine

Local: ESM 2011 - 2011 European Simulation and Modelling Conference: Modelling and Simulation 2011

Ano de Publicação: 2011

A Moral Decision Support System in Medicine

Gabriel Pontes, Ana Duarte, David Cuevas, Maria Salazar,
Miguel Miranda, António Abelha and José Machado
Universidade do Minho, CCTC, Departamento de Informática, Braga, Portugal
gabrielpontes@di.uminho.pt {pg17654,pg18566}@alunos.uminho.pt msalazar@chporto.min-saude.pt
{miranda,abelha,jmac}@di.uminho.pt

KEYWORDS

Moral Agents, Decision Support Systems, Reasoning

ABSTRACT

Intensive Care Units are, in hospitals, special units where the use of ethics is common. Usually, there are few available beds and financial costs are huge. In this paper, it is presented a model for the simulation of the allocation of resources, in an Intensive Care Unit. Since it is a problem that deals with human life, decisions must be supported by a sound reasoning process in order to cause the minimum damage. Therefore, it is important to introduce the concept of ethics and moral reasoning, in particular taking the maximum advantage of moral agents, which are entities capable of making intelligent decisions based on moral guidelines. These entities have also an intelligent behaviour, simulating a physician conduct when there is an overcrowding of patients in the Unit. The decision process is carried out based on the computation of some critical factors, including a death rate, the survival quality and financial costs. The death rate is achieved using SAPS3 algorithm.

INTRODUCTION

An Intensive Care Unit (ICU) is a specialized section of a hospital which provides intensive medicine and treatments to people in critical health conditions. If a patient, in critical conditions, needs to benefit from the ICU services, which patient should be transferred in order to turn a bed available? Since it is a problem that deals with human life, decisions must cause the minimum damage. On the other hand, usually decision support systems are based in rational or emotional intelligence (Rady and Johnson 2004). In ICUs, moral and legal judgements must also be taken under consideration to take decisions on the fly (Andrade 2008). Most of the patients in the ICU are unable to help in making a decision despite of the information that might be presented by the physician, being either incompetent due to the nature of the critical illness or because of the sedative drugs widely used in ICU (Danbury and Waldman 2006). Furthermore, the medical team needs to consider other constraints such as the rights of relatives in

the decision process, futility of treatment and resources management in very dynamic situations where time is a major constraint. The notion of virtual entity is here used to differentiate entities with higher levels of autonomy, learning, prediction and decision from a mainly reactive and controlled machine. Moreover, considering developments in the area of informatics and Artificial Intelligence (AI) in particular, it must be considered that many of these entities can exist within a single physical machine or even that a single one can be distributed within limitless machines. Therefore the notion of a virtual entity in this case is similar to the concept of an agent in the area of Multi-Agent Systems (Wooldridge and Jennings 1995, Rao and Georgeff 1995).

As virtual entities become more complex and hold critical functions, a justified doubt and concern regarding the impact of actions performed by these entities arises. From the numerous scenarios where they can interact with their surrounding environment, some carry moral consequences and describe ethically intricate actions from a human point of view. From the need to prevent immoral decisions and ensure confidence regarding these virtual entities, further understanding of the capacity of moral agency, moral modelling and the complexity of human moral ethics (Torrance 2007, Machado et al. 2008). Also, it will make sure that the affective component that typically characterizes human beings will be put aside, thus preventing decisions less exempt. The notion of teams is not limited to the daily cooperation in each service of an healthcare unit. These teams include elements from different scientific domains and backgrounds. Moreover, considering the moral complications and the complexity of medical practice, argumentation through the use of auxiliary indicators or a multidisciplinary team to support the decision making process, presents itself as a mean towards the validation and perhaps improvement of such processes.

Ethics pursues in supporting the proper way of living by human thought, and it can be defined as the science of human conduct. And it is this kind of reasoning that is required by the system as in mentioned situations it is intended an ethical behaviour, namely, that behaviour that is considered good (Anderson et al. 2006, Machado et al. 2010, Pereira and Saptawijaya 2007). There exists no definite solution for modeling ethical virtual entities,

and presently several approaches are being presented and some compared against one another. Looking at the present and the ongoing research in this area, different methodologies for modeling moral capabilities using AI techniques can be segmented according to their main characteristics (Tonkens 2009, Himma 2008). Thus, the aim of this paper is focused on developing a Decision Support System, which allows an assistance to doctors in decision making, in view of the impossibility of directly allocate beds to patients in ICU. That is, it is intended to carry out a simulation of doctor conduct as a decision agent.

Finally, another aim is also to take advantage of some learning techniques used in AI, such as Rules-based Reasoning and Case-based Reasoning, thereby building up over time, a large and complete database of cases and rules.

QUALITY OF INFORMATION - A LOGIC PROGRAMMING APPROACH

It is more and more important to have a decision making process with quality (Machado et al. 2008). For reaching this goal, ones have to evaluate the completeness and the soundness of knowledge that can be extracted from medical databases. Intelligence is frequently rational but emotions and morality have also to be attended. In medicine, moral values are sometimes more important than economical ones and some attributes must be evaluated beside their subjective levels.

A program in Extended Logic Programming (ELP) is a finite collection of rules and invariants, defined by its extensions, 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 an atom denoting falsity, p_i , q_j , and p are literals, i.e. positive atoms or atoms preceded by the strong negation symbol \neg .

Let Γ a program in ELP and $g(X)$ a query where X contains variables $X_1 \wedge \dots \wedge X_n (n \geq 0)$:

- the answer of Γ to $g(X)$ is *true* iff $g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{true})$
- the answer of Γ to $g(X)$ is *false* iff $\neg g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{false})$
- the answer of Γ to $g(X)$ is *unknown* iff $\text{not } \neg g(X) \wedge \text{not } g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{unknown})$

where *unknown* is a truth value in $]0 \dots 1[$.

It is now possible to evaluate or compute the quality-of-information QoI of p in situations where the information is known:

$$QoI_p = 1$$

The QoI of p in situations where the information is unknown is:

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

where N is the cardinality of the set of terms of the universe of discourse with respect to a given predicate.

The QoI of p where the information is disjunctive is:

$$QoI_p = \frac{1}{C_1^{card} + \dots + C_{card}^{card}}$$

where C_k^{card} is a subset of k -combination with $card$ elements:

$$C_k^{card} = \frac{k!}{card!(k-card)!}$$

The relative importance that a predicate assigns to each one of the attributes under observation is $w_p k$, which denotes the relevance of the attribute k in the predicate. The weights are normalized:

$$\sum_p w_p k = 1$$

A predicate scoring function is related to a value $x = (x_1, \dots, x_n)$ through the attribute representation in a multi-dimensional space with a projection on a cartesian space:

$$V_p^k(x) = w_p k \times QoI_p(x).$$

As an example, it is shown the extension of the predicates $survival_{rate}$ in ELP for the case of the patients gb and pd :

$$\begin{aligned} \{ & \neg survival_{rate}(X, Y) \leftarrow \text{not } survival_{rate}(X, Y) \wedge \text{not} \\ & \text{exception}(survival_{rate}(X, Y)), \\ & \text{exception}(survival_{rate}(X, Y)) \leftarrow \\ & \text{survival}_{rate}(X, \text{unknown}_{survival_{rate}}), \\ & \dots \\ & survival_{rate}(X, Y) \leftarrow \text{srag}(X) \text{ and } \text{pao2}(X, \text{low}) \wedge \\ & \text{evaluate}(X, Y), \\ & \text{exception}(survival_{rate}(gb, 0.5)), \\ & ?((\text{exception}(survival_{rate}(X, Y))) \vee \\ & \text{exception}(survival_{rate}(X, Z))) \wedge \\ & \neg(\text{exception}(survival_{rate}(X, Y)) \wedge \\ & \text{exception}(survival_{rate}(X, Z))) \\ & \} ag_{survival_{rate}} \end{aligned}$$

The queries can be written as follows:

$$?demo(\Gamma, survival_{rate}(gb, R), V)$$

$$?demo(\Gamma, survival_{rate}(pd, R), V)$$

With this methodology it is possible to define scenarios for each patient, to generate hypothesis for each patient and to measure the quality of information for each hypothesis.

METHODOLOGY

First, it was important getting familiarity with some concepts like the operating of ICU and its management tools. It was necessary to get into the subject related to the evaluation of illness severity and study some scoring systems. After the whole study and investigation, it was necessary to define a methodology for the development of the application. For the increase of flexibility and to allow a reduction of system maintenance costs, it was used a Three Layer Model for the system development (Presentation Layer, Business Layer and Data Layer). After analyzing the concerned problem, and adapting the system to the architecture model mentioned above, it is concluded the importance of a module capable of storing all the information related to the cases and rules; a module capable of conciliating the data received with the information stored in the database; and a module capable of displaying/requesting what it is required in the aims. So, the domain of the application boils down to the following scheme:

There is a moral agent with the ability to make decisions based on ethics, and that uses for that purpose, any information it needs from the database. Apart from making use of the database, it also helps it becoming more complete, allowing it to add all the fresh information derived from agent decisions. At the time of making decisions, it will be produced several hypotheses containing potential solutions. These components will be discussed more further in the following chapters.

PATIENT RECORDS

First of all, we need to record the information of the patients. This task is performed using AIDA-EHR, an Electronic Health Record Application used in Centro Hospitalar do Porto (CHP), one of the portuguese major hospital and which is a product of a research partnership between the University of Minho and CHP. Whenever a new patient admittance, the database stores historical and actual information using interoperability services available in AIDA-EHR. A patient also has associated the information of his presence (or not) in the ICU. Besides, it is included in his patient form, a range of measurements that have been made or monitored since his entry in the unit. These measurements consist in a set of parameters used for the calculation of the rates required to obtain the final decision. Either the probability of death, the rate of life quality, or the rate of the treatment costs, are dependent on a particular number of factors. This will be explored in the moral agent section.

RULE BASE

In order to complement these applications, some models have been developed to evaluate the patients with

respect to their survival/death rates, such as, for instance, SAPS3 (Simplified Acute Physiology Score 3) (Metnitz et al. 2008). Other scoring models were also taken into account, such as APACHE II or SAPS2. We chose SAPS3 since it is a more recent and more complete model than SAPS2, and is intrinsically related to the evaluation of the patients received in Intensive Care Units. To calculate the probability of death is then used the SAPS3 algorithm. After a set of entries of values in a form, it is generated a final score. This score is then converted into a rate by the moral agent. Thus, the attributes of SAPS3 match those that take part of the measurements of each patient, already mentioned. With the support of the documentation provided by SAPS3, we could obtain the scoring values for each attribute value (Metnitz et al. 2008). Therefore, and knowing that the final score arises from the different scorings found, it was necessary to create rules that associate an attribute value to a score. Thus, not only the a measurement is associated with its values, but also with the scores that arise from them, facilitating the final calculation. It was also necessary to establish rules that would support the calculation of life quality and the total treatment costs. Unlike what was done for the death rate, in these two cases, we do not apply known algorithms, being then necessary an imaginative creation of those rules.

CASE BASE

In order to increase the potential of the Case-based Reasoning (CBR) developed for this application, it is important to record all the cases that doctors will be facing. Each case consists in two measurements: one that belongs to a patient already occupying an ICU bed; other belonging to the patient that just arrived and waits for a bed. Upon insertion of the recent case, it is also expected further information, including the solution adopted, and the respective justification. Each time the CBR module is executed, it can easily access the information related to the cases, being then able to analyze and compare all the characteristics that compose a measurement (from each patient).

MORAL AGENT

The moral agent is the one who takes the responsibility for the decisions displayed in a suggestive way to the user. It uses ethical reasoning in order to attempt to address its behaviour to what is considered to be a behaviour, and thus meeting the best way of living and coexisting in the society. To be able to solve any ethical dilemma, it is necessary the fulfillment of a variety of tasks. So, the methodology followed by this entity shall be the one described below. IN particular, it may attend to the particularism and the classification and reclassification of moral cases (Guarini 2006).

THE PROBLEM

This is the first task present in the decision process. This phase illustrates the gathering of all possible and relevant information, that will be used in a subsequent phase. In this particular case, this information corresponds to the measurement data of the patients. Namely, identifying the problem is to make a detailed description of the case in hands.

RESPONSE ACTIONS

After the problem identification, it is necessary a comprehensive analysis of all possible solutions. That is, it takes into account the possibility of withdrawing any of the patients of the ICU, or even none. After analyzing all the potential solutions, it is important to considerate all of their consequences.

It is analyzed the consequences through the measurements results. These are reached by calculating the three weighting factors, that were mentioned along the document. The death rate is considered the most severe consequence. Before removing a patient from the ICU, it is necessary to take into consideration this result, and attempt to understand if he is going to die or not. This calculation is performed on the basis of the rules base, which in turn is supported by SAPS3. So, after summed up all the points from the measurements, the death rate can be calculated by the moral agent, based on the following receipts:

$$\text{Logit} = -32.6659 + \ln(\text{SAPS3score} + 20.5958) * 7.3068 \quad (1)$$

$$\text{Probability of death} = \text{elogit} / (1 + \text{elogit}) \quad (2)$$

The first equation relates the SAPS3 score with the vital status at hospital discharge. The second illustrates the probability of mortality. With regard to the life quality rate, this calculation is performed in the basis of the rules stored in the database. Although not as crucial as the death rate, it is also a factor that shall be taken into account.

For example, knowing that a patient has a high probability of dying, but otherwise could stay into a vegetative state, would it compensate the loss of other patient at the price of this decision, that would possibly have a better quality of life than the previous one? This is an example of an ethical dilemma, very hard to handle. But it will be solved by the moral agent, based on the consideration of several factors. We assume a major importance to the factor *age*, namely, the older, lower the quality of life. Since in the death rate, the age participates in the total scoring, and since the older patients stay in advantage with regard to getting a bed because of the lower value of the death rate when compared to younger ones, the rule implemented for life quality is an attempt to overcome this fact. Also, it is important

to take into account the possibility of getting critical diseases, or even to stay in vegetative state.

Treatment costs are the least important factor with respect to human life. However they do exist, and sometimes cannot be supported: either due to monetary issues, whether to temporal affairs. These two characteristics are present in the rules of costs, in the database. After calculating these three rates, we are prepared to the final rate, which is a consequence of the balance of all the factors at play. The death rate is worth 70% of the total rate; the life quality rate is worth 20%; and the costs rate takes the other 10% of the total percentage. In the final rate, the higher the score is, the most conditions the patient meets to abandon the Intensive Care Unit.

THE *lesser* EVIL

After analysis of the previous points, the agent is prepared to make a decision. The solutions chosen are those which lead to a *lesser* evil, having less bad consequences. Although it is found the solution most advisable, others are also displayed to the user, giving the doctor, choice assumption. After the selection of an item, the moral agent implements the solution chosen, updating the whole system.

However, when many cases of this sort begin to be solved, it also starts creating the database of cases, that will assist the Case-based Reasoning module. Thus, even before performing the actions that will lead to the allocation of the patient, the agent will confirm if perhaps there will be a similar case in the current case base. If so, it is applied the same solution as the most similar case. If not, the moral agent will proceed with the normal execution of the allocation, explained in the previous scheme.

CASE BASE REASONING

One of the most natural ways of reasoning is know nowadays as the Case-based Reasoning (CBR) (Nugent and Cunningham 2005). CBR allows reasoning by remembering past events. This is a problem-solving methodology that consists in identifying and justifying the solution to a given problem, by the rebuilding of similar situations, reusing and adapting knowledge of such situations.

CONCLUSIONS

From a large data set and from the estimates of weights of all alternatives to solve a problem, it is possible the development of a generic model of decision making capable of quickly assist the user.

The resources used during the project were the Java language and Oracle database, which revealed to be very useful for the creation of three-layer applications. It was developed and validated a database capable of storing

all the information needed and supporting the required queries. It was also developed a moral agent that is able to analyze and consider the several hypothesis, picking the most advisable ones.

A major difficulty that was found was related to the measurement and rules information, and consequently the calculation of the rates, due to the limited knowledge in medicine area. A disadvantage of this fact was the use of rules that were not real, but even so revealed to be useful in the context of the simulation. It was found that the application is able to do what has been objectified. Nevertheless, it is still necessary some further features, in order to make the application more robust, strong and complete.

There were also certain implementations based on different approaches, but they were abandoned.

BIOGRAPHIES

Gabriel Pontes, **Maria Salazar** and **Miguel Miranda** are PhD students in Biomedical Engineering (Medical Informatics), in University of Minho, Portugal.

Ana Duarte and **David Cuevas** are MsC students of the departamento de Informática of Universidade do Minho, in Braga, Portugal.

António Abelha and **José Machado** are professors at the Department of Informatics, Universidade do Minho, Braga, and researchers of CCTC (Scientific Center for Computation Technologies).

REFERENCES

- Anderson M.; Anderson S.L.; and Armen C., 2006. *An Approach to Computing Ethics*. *IEEE Intelligent Systems*, 21, no. 4, 56–63.
- Andrade F., 2008. *Da Contratação Electrónica - Em Particular da Contratação Electrónica Inter-Sistémica Inteligente*. Ph.D. thesis, Universidade do Minho.
- Danbury C.M. and Waldman C.S., 2006. *Ethics and law in the intensive care unit*. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 20, 598–603.
- Guarini M., 2006. *Particularism and the Classification and Reclassification of Moral Cases*. *IEEE Intelligent Systems*, 21, no. 4, 22–28.
- Himma K.E., 2008. *Artificial agency, consciousness, and the criteria for moral agency: what properties must an artificial agent have to be a moral agent?* In *Ethics and Information Technology*. Springer.
- Machado J.; Abelha A.; Novais P.; Neves J.; and Neves J., 2008. *Improving Patient Assistance and Medical Practices through Intelligent Agents*. In *Workshop on Health Informatics*. AAMAS.
- Machado J.; Abelha A.; Novais P.; Neves J.; and Neves J., 2008. *Quality of Service in Healthcare Units*. In Bertelle, C and Ayesh, A (Ed.), *EUROPEAN SIMULATION AND MODELLING CONFERENCE 2008*. European Simulat Soc; Ghent Univ; Univ Havre; LITIS, EUROSIS, GHENT UNIV, COUPURE LINKS 653, GHENT, B-9000, BELGIUM. ISBN 978-90-77381-44-1, 291–298. European Simulation and Modelling Conference, Havre, FRANCE, OCT 27-29, 2008.
- Machado J.; Miranda M.; Pontes G.; Abelha A.; and Neves J., 2010. *Morality in Group Decision Support Systems in Medicine*. In M. Essaaidi; M. Malgeri; and C. Badica (Eds.), *Intelligent Distributed Computing IV*, Springer Berlin / Heidelberg, *Studies in Computational Intelligence*, vol. 315. 191–200.
- Metnitz B.; Schaden E.; Moreno R.; Gall J.R.L.; Bauer P.; and Metnitz P.G.H., 2008. *Austrian validation and customization of the SAPS 3 Admission Score*. *Intensive Care Medicine*, 35, no. 4, 616 – 622.
- Nugent C. and Cunningham P., 2005. *A Case-Based Explanation System for Black-Box Systems*. *Artif Intell Rev*, 24, no. 2, 163–178.
- Pereira L.M. and Saptawijaya A., 2007. *Modelling Morality with Prospective Logic*. In J. Neves; M.F. Santos; and J.M. Machado (Eds.), *Progress in Artificial Intelligence*. Springer, 99–111.
- Rady M.Y. and Johnson D.J., 2004. *Admission to intensive care unit at the end-of-life: is it an informed decision?* *Palliative Medicine*, 18, no. 8, 705–711. doi:10.1191/0269216304pm959oa. URL <http://pmj.sagepub.com/content/18/8/705.abstract>.
- Rao A. and Georgeff M.P., 1995. *BDI Agents: from Theory to Practice*. In *Proceedings of the First International Conference on Multi Agent Systems*. IC-MAS'95, MIT Press, San Francisco EUA.
- Tonkens R., 2009. *A Challenge for Machine Ethics*. *Minds Mach*, 19, no. 3, 421–438. ISSN 0924-6495. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11023-009-9159-1>.
- Torrance S., 2007. *Ethics and consciousness in artificial agents*. In *AI & Soc*. Springer-Verlag, London, 495–521.
- Wooldridge M. and Jennings N.R., 1995. *Intelligent agents: Theory and practice*. *Knowledge Engineering Review*, 10, 115–152.

3.5 Intelligent Agents and Medical Moral Dilemmas

Autores: José Machado, Miguel Miranda, Gabriel Pontes, Dias dos Santos, Manuel Santos, António Abelha, José Neves.

Título: Intelligent Agents and Medical Moral Dilemmas

Local: Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on APPLIED COMPUTER & APPLIED COMPUTATIONAL SCIENCE (ACACOS '09), Hangzhou, China, May 20-22, 2009

Ano de Publicação: 2009

Índices:

- SCIMago SJR 0.193-Q4 ISI

Intelligent Agents and Medical Moral Dilemmas

José Machado
Departamento de Informática
Universidade do Minho
Braga, Portugal
jmac@di.uminho.pt

Miguel Miranda
Departamento de Informática
Universidade do Minho
Braga, Portugal
miranda@di.uminho.pt

Gabriel Pontes
Centro Hospitalar do Alto Ave
Guimarães, Portugal
gabrielpontes@hguimaraes.min-saude.pt

Dias dos Santos
Centro Hospitalar do Alto Ave
Guimarães, Portugal
dir.clinica@hguimaraes.min-saude.pt

Manuel Santos
Departamento de Sistemas de Informação
Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
mfs@dsi.uminho.pt

António Abelha
Departamento de Informática
Universidade do Minho
Braga, Portugal
abelha@di.uminho.pt

José Neves
Departamento de Informática
Universidade do Minho
Braga, Portugal
jneves@di.uminho.pt

Abstract: In this work Moral Dilemmas in Medicine will be analysed under the perspective of an emerging framework for problem solving, that bases its computational power on the concept of agent, under the Extended Logic Programming paradigm to knowledge representation and reasoning. Indeed, it is not always clear how to judge which consequences are the best, and how they are achieved. Which principles conflict and how to decide which should prevail. How to take account of the importance of the emotional element and the human experience. How moral ethics focuses on the character of the moral agent rather than the rightness of an action. Therefore, in considering these relationships, emotional sensitivities, and motivations, it is understood that the role of computer based applications may be better studied in terms of a process of quantification of the quality of information that stems out the logical theories or programs that make an agent and will drive its behavior under a computational framework as the one referred to above.

Keywords: Medical ethics; Moral agents; Morality modeling; Extended logic programming; Computer applications in medicine, healthcare and bioengineering.

1 Introduction

The role of computer based applications is rapidly evolving from a passive and reactive assistant on trivial matters to a pro-active and autonomous decision maker on the most relevant matters. Such decision may carry moral consequences as well as pose as an ethical dilemma to developers presented with such a panorama, leading to an imperious need of analyzing the questions of morality and moral actions. Moral standards are created by and define society, philosophy, religion or individual conscience, usually asso-

ciated with the fundamental questions concerning the complexities of the human soul, being thereby a complex field of study and modeling [1].

Considering the healthcare environment, interoperability is defined as the ability to move clinical data from place to place. Bringing interoperability to these facilities can possibly reduce costs and give to clinical and medical staff more powerful tools for patient assistance, in particular in the decision support and problem solving procedures. In Medicine, physicians and nurses have daily to deal with incomplete information, which in association with moral

judgements and emotivism, turn decisions sometimes wrong, slow, expensive or unacceptable. This leads us to the need of defining formalisms to identify and evaluate morality and ethics in Medicine.

Medical ethics is primarily a field of applied ethics, the study of moral values and judgments as they apply to Medicine and encompasses its practical application in clinical settings, as well as work on the fields of History, Philosophy, Theology, and Sociology. Some core ethical attributes such as autonomy, beneficence, non-maleficence, justice, dignity and truthfulness must be quantified and its importance can not sub-estimate in the decision making process. All the ethical questions around virtual entities or agents, have to be taken under a practical perspective and are related with the embedded environment. This study has been performed before in terms of electronic commerce, considering the case of the legal and ethical context of contract made by means of intelligent agents [2][3]. Nonetheless, there exists the need to undergo a particular approach when considering morally dubious areas, where every little may have great moral consequences. This is the case of Medicine, where interoperability and decision support are presently in continuous development. Following this thread of thought and taking in consideration the state of the art of the Agent Oriented Computational Paradigm, it will be analyzed in this study the moral context of agents, discussing the possibility of an agent at a given state of development, have the moral capacity and legal responsibility for its actions.

Modeling moral agent behavior is in line with the procedures being used to simulate human moral behavior. Although this simulation may provide a better understanding of human ethical choices and give a new perspective on moral in general, the lines under which an agent evolves its moral codes are yet to be set in order to be used as a mean towards building moral agents [4]. It is convenient to set a moral time-line.

2 Modelling Morality with Extended Logic Programming

With respect to the computational paradigm 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 (close world assumption), 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 [5]. Every program is associated with a set of abducibles. Abducibles may 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.

Therefore, being Γ a program in ELP and $g(X)$ a question where X contains variables $X_1 \wedge \dots \wedge X_n (n \geq 0)$, one gets as an answer:

The answer of Γ to $g(X)$ is *true* iff
 $g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{true})$.

The answer of Γ to $g(X)$ is *false* iff
 $\neg g(X) \rightarrow \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{false})$.

The answer of Γ to $g(X)$ is *unknown* iff
 $\text{not } \neg g(X) \wedge \text{not } g(X) \rightarrow \\ \text{demo}(\Gamma, g(X), \text{unknown})$.

where *unknown* stands for a truth value in the interval $0..1$. Being Γ a Program it is possible to define the Minimal Answer Set of Γ ($MAS(\Gamma)$):

$$\Gamma \vdash s \text{ iff } s \in MAS(\Gamma)$$

where $\Gamma \vdash s$ denotes that s is a logical consequence or conclusion for Γ .

Being now AS_i and AS_j two different answer sets of Γ , being E_{AS_i} and E_{AS_j} , respectively, the extensions of predicates p in AS_i and AS_j , it is defined that AS_i is morally preferable to AS_j ($AS_i \prec AS_j$) where \prec denotes the morally preferable relation, denoting that for each predicate p_1 there exists a predicate p_2 such that $p_1 < p_2$ and $E_{AS_i} \setminus E_{AS_j}$ is not empty (\setminus denotes the difference set operator).

For example, let us suppose that a Knowledge Base (KB) is given in terms of the logic program:

The extended logic program for predicate *itch*

$$\{ \\ \neg \text{itch}(X, Y) \leftarrow \text{not } \text{itch}(X, Y) \wedge \text{not} \\ \text{exception}_{\text{itch}}(X, Y), \\ \text{exception}_{\text{itch}}(X, Y) \leftarrow \text{itch}(X, \text{itch}), \\ \text{itch}(\text{john}, \text{itch}), \\ \text{itch}(\text{carol}, 1), \\ \text{exception}_{\text{itch}}(\text{kevin}, 0.6), \\ \text{exception}_{\text{itch}}(\text{kevin}, 0.8),$$

$$\begin{aligned} &?((exception_{itch}(X, Y) \vee \\ &exception_{itch}(X, Y)) \wedge \neg(exception_{itch}(X, Y) \wedge \\ &exception_{itch}(X, Y)) \\ &\quad \}ag_{itch} \end{aligned}$$

The extended logic program for predicate *fever*

$$\begin{aligned} &\{ \\ &\quad \neg fever(X, Y) \leftarrow \text{not } fever(X, Y) \wedge \\ &\text{not } exception_{fever}(X, Y), \\ &\quad exception_{fever}(X, Y) \leftarrow fever(X, fever), \\ &\quad fever(kevin, fever), \\ &\quad fever(john, 1), \\ &\quad exception_{fever}(carol, 0.5), \\ &\quad exception_{fever}(carol, 0.75), \\ &\quad ?((exception_{fever}(X, Y) \vee \\ &exception_{fever}(X, Y)) \wedge \neg(exception_{fever}(X, Y) \wedge \\ &exception_{fever}(X, Y)) \\ &\quad \}ag_{fever} \end{aligned}$$

The extended logic program for predicate *pain*

$$\begin{aligned} &\{ \neg pain(X, Y) \leftarrow \text{not } pain(X, Y) \wedge \\ &\text{not } exception_{pain}(X, Y), \\ &\quad exception_{pain}(X, Y) \leftarrow pain(X, pain), \\ &\quad pain(carol, pain), \\ &\quad pain(kevin, 1), \\ &\quad exception_{pain}(john, 0.3), \\ &\quad exception_{pain}(john, 0.45), \\ &\quad ?((exception_{pain}(X, Y) \vee \\ &exception_{pain}(X, Y)) \wedge \\ &\neg(exception_{pain}(X, Y) \wedge exception_{pain}(X, Y)), \\ &\quad \}ag_{pain} \end{aligned}$$

The extended logic program for predicate *pathology*

$$\begin{aligned} &\{ \\ &\quad \neg pathology(X, Y, Z) \leftarrow \\ &\text{not } pathology(X, Y, Z) \wedge \\ &\text{not } exception_{pathology}(X, Y, Z), \\ &\quad pathology(john, flu, ((itch, 0), (fever, 1), \\ &(pain, 0.785))), \\ &\quad pathology(kevin, thrombosis, ((itch, 0.785), \\ &(fever, 0), (pain, 1))), \\ &\quad pathology(carol, heartattack, ((itch, 1), \\ &(fever, 0.785), (pain, 0))), \\ &\quad \}ag_{pathology} \end{aligned}$$

In our approach, the morally preferable relation is based on evolution and it is built on a quantification process of the quality-of-information that stems from a logic program or theory. Indeed, let $i(i \in \{1, \dots, m\})$ denotes the predicates whose extensions make an extended logic program or theory

that models the universe of discourse, as it is given above in terms of the extensions of predicates *itch*, *fever*, *pain* and *pathology*, where $j(j \in \{1, \dots, n\})$ stands for 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 gives the score predicate i assigns to a value of attribute j in the range of its acceptable values, i.e. its domain (for sake of simplicity, scores are kept in the interval $0 \dots 1$). The quality-of-information with respect to a generic predicate it is therefore given by $Q_i = \frac{1}{Card}$, where $Card$ denotes the cardinality of the exception set for the predicate i , if the exception set is not disjoint. If the exception set is disjoint, the quality of information is given by $Q_i = \frac{1}{C_1^{card} + \dots + C_k^{card}}$ where C_k^{card} is a k -combination subset, with $card$ elements. The relative importance that a predicate assigns to each of its attributes under observation, $w^i j$, stands for the relevance of j for the predicate i and it is given by $V^i(x) = \sum w^i j = 1$, for all i . On the other hand, the predicate scoring function, when associated to a value $x = (x_1, \dots, x_n)$ in a multi-dimensional space defined by the attributes domains, is given in the form $V^i(x) = \sum w^i j V^i j(x)$.

Therefore, it is now possible to measure the quality-of-information that stems from a logic program or theory, by posting Q_i values into a multi-dimensional space, whose axes denote the logic program predicates with a numbering ranging from 0 (at the center) to 1. The area delimited by the arcs gives a measure of the quality-of-information carried out by each problem solution that may be under consideration, therefore defining the process of quantification of the morally preferable relation, as it is stated above in formal terms [5].

3 Intelligent Agents and Medical Ethics

Palliative care is presently a main concern of the healthcare area, regarding the increasingly aged population of developed countries and the continual treatment of chronic patients. In order to give to those patients a greater level of independence and to improve their quality of life, new systems are being developed in order to maintain a continuous monitoring of the patients undergoing, i.e. their healthcare state. This is the case of the VirtualECare project [6]. The VirtualECare architecture is a dynamic distributed one, made on a series of different elements, eventually geographically distributed. Dynamic because its building blocks, or the services they provide, may *enter*, *leave* it or change at all the time. The archi-

architecture main components are: the SupportedUser and his/her Premise (SUP), the Monitoring System (MS), the Recommendation System (RS), the Group Decision Support System (GDSS), the Database (DB) and the HL7 translator module among others, which leads us to an ubiquitous computational environment. The architecture is distributed, but, at the same time, modular, dynamic, extensible, flexible, scalable, heterogeneous and compatible. To achieve this, it was decided to adopt open, widely used and standard technologies, such as OSGi, R-OSGi, FIPA and XML combined with Web Services (WS) methodologies.

Agents would be able to manage the patients tasks and meals, ensuring that they follow the guidelines adapted to their health condition. These agents are also able to interact with its environment and evolve, acquiring new information and improving their own qualities and competences, i.e. to solve different problems according to its duties and patients needs. This system must deal with incomplete information, regarding the clinical patient data. Indeed, incomplete information about allergy, diet or drug dosage may lead to different clinical outcomes, and puts outstanding questions, like: may a recommender agent be morally responsible for the subsequent problems having moral and legal consequences?

Another important topic in medical ethics is the concept of futility. What should be done if there is no chance that a patient will survive but the family members insist on advanced care? And what should be made if a patient is in a Intensive Care Unit, using a bed that is necessary to save another patient with more chance to survive? Rational decisions has to be taken to solve this particular kind of problems, following legal or practical rules, either by physicians or by intelligent agents. But who will be responsible for taking such moral decisions?

Facing with such situations, different questions and doubts arise, namely: What is the definition of a Moral Agent? Is an intelligent agent a Moral Agent? Will these agents have at any point in time either the capacity and ability to take moral decisions or being capable to handle with decisions which carry a great ethical dilemma? Which are the legal and moral responsibilities in an agent based system? Can a recommender agent be responsible of bad moral and legal decisions?

These practices are being studied, and embedded in applications of different areas, from Commerce to Medicine. Indeed, Artificial Intelligence (AI) techniques which imbue software systems with a considerable degree of intelligence, autonomy and proactivity, and the ability to adapt to the environment being populated are growing, being essential to attain a superior level of utility and interactivity. In fact, it urges the

necessity to evaluate and regulate the scope of the capacities of this software systems, either when they are called to execute different tasks or to take decisions which may have any arguable moral value. The field of ethics associated to non-organic entities, Machine Ethics, thereby lacks of a more practical oriented and cautious reflexion, that will analyze the state of the art of AI in all its vast extension. It will be then possible to defined moral competences and restrictions to its use in any environment, where morality and reputation are to be questionable.

4 Intelligent Moral Agents in Medicine

The requirements of software applications for the healthcare arena, although being rather similar to those of other areas, it develops in a completely different dimension due to the value inherent to the moral good, i.e. the health condition of a human being. All agents, either human beings or software agents need to be aware of the immeasurable value of an human life and the ethical complexity existing when dealing with this specific good. As information systems continue to disseminate and strengthen in the healthcare sector, the significance of their use increases and so does their moral responsibilities, i.e. a great part of the scope of intervention of agents in this area carries a moral context and ethical responsibility, which it is made aware, even in software artifacts that inevitably will be designed to automatize and manage the larger loading of information generated by medical practices and underlying activities. In fact, this amount of information is so huge that it becomes impracticable to store and extract any sort of knowledge, without the use of computational methods and AI based techniques.

From the different computational paradigms in use in AI, Agent Oriented Programming has pursued a sheer growth considering the level and number of the available systems, being capable of integrating other technologies and techniques for problem solving, such as Neural Networks or Case Based Reasoning. An individual agent or a network of agents based on different communities of agent possess a class of characteristics that allows them to be independent from the will, desires and objectives of other virtual agents or human beings, granting a certain degree, although limited, of individuality [7]. On the other hand, an agent method cannot be invoked by other than the entity itself, being determined by its will and degree of responsibility. Only the agent is in charge of its own behavior. Regardless, the use of learning techniques from AI, enable the agent to contextualize and evolve dynamically, making the under-

lying behaviors dependent of the environment, as well as from other circumstances, which may go out of the scope of its initial parameterization. This possibility rises issues concerning the ethical and legal responsibility of the agent owner, in line with the characterization of intelligent agents as autonomous, self-learning and dynamic entities.

The distributed and heterogeneous nature of this environment, makes the best use of this technology [8], which is being applied to different services and situations, going from heterogeneous system integration to decision support systems [9]. A great effort of academic and corporate synergies allowed the use of intelligent agents in several medical centers which aggregate several hospitals and health units, which use an Agency for Integration, Archive and Diffusion of Medical Information (AIDA), an agent based software artifact, that intends to integrate and aggregate information from different systems and locations [10].

On the other hand, the use of intelligent agents for integration of systems may not seem to hold a great deal of ethical significance. However, although these tools improve the security and functionality of the medical information as a whole, the consequences of the loss or adulteration of clinical information or the permissiveness towards this sort of actions, carries a unmeasurable ethical and moral value. A lot more can be said about the decision support systems whose action, although being in support of a decision, contributes indirectly to the diagnose and the treatment of patients. Taken these situations into consideration, it is paramount an objective discussion about the capacities and characteristics of these systems, in order to define the moral competences of an intelligent agent.

5 Moral Capacity and Moral Decisions

A moral agency is defined by the moral requisites that drive its behavior. In this way, the underlying concept of a Moral Agent (MA), relies on the existence of moral premisses that rule its behavior, differentiating good from evil. It is important not to misunderstand the concept of MA with Moral Patient (MP). While the first has moral obligations, a MP is an entity in which moral rights speak for themselves. Moral agents are in most of the cases moral patients, however this relation is non-reciprocal, as the discussion on delimitating the grounds of MA considers that only a part of MP are in fact capable of being MA. An adult is a MA, although a recently born child is solely a MP, being capable, however, of becoming one during his/her life time [11]. This statement that an entity may become during its life time a MA, is indeed very

important, once it allows, in an analogous way, to state that an agent, at a given moment, acquire such a property. It is necessary to understand what is a intelligent software agent and which are the characteristics that will allow it to become a MA.

According to Wooldridge, an agent embodies a computational system capable of revealing an autonomous and flexible action, developed in a determined universe of discourse. The flexibility of the agent is related with its capacity of reaction, initiative, learning and socialization [12]. Although the definition may not be considered an universal one, for an organic or software based entity, there exists two levels of intrinsic characteristics, which define in a weak or strong form, whether or not that entity is an intelligent agent. On the one hand, the weak notion of agent represents the minima characteristics of an agent, centering in its capacities of autonomy, reactivity, proactivity and sociability. On the other hand, in the strong notion of agent, are defined imminently cognitive characteristics, that can result in the development of a self-consciousness by part of the agent and in the enablement of other valuable properties such as perception, sentimentality and emotions [13]. The establishment of this characteristics is an important factor in the contextualization of the designation of intelligent agents in a way to normalize what is in fact and object, and any other form of software based intelligent entities.

The comprehension of these characteristics has to be analyzed relatively to a Level of Abstraction (LoA) that uniforms them and limit the possibility of relativism on their analysis. Turing first used the notion of LoA to, according to a level established by him, to define intelligence. This concept was used by Floridi and Sander to analyze, according to different LoA the characteristics of intelligent agents before their capacity to undertake moral decisions. Although LoA is a concept derived from Computer Science, more concretely from the disciplines of Formal Methods, that uses discrete mathematics to specify and analyze the behavior of information systems. A LoA consists in a collection of observable, being each one defined by a group of values and results considered on the observation. In a less abstract level, in the case of a car, there can be defined different LoA such as of the buyer, mechanic, insurance officer, all of which present different points and characteristics that, even being distinct, do not present relativity [14].

6 Conclusions

It is understood that being the study of morality endorsed by a significative number of researchers, it be-

longs, no more, only to the realm of the community of philosophers. Indeed, and as it has been presented in this work, morality is being studied from a computational point of view, which may lead to systems that may endorse moral theories, which in turn encompass the use of software agents. We intend to ensure that the behavior of machines towards human users, and perhaps other machines as well, is ethically acceptable. We also present an example of our current research in the field that shows that it is possible, for a machine, to abstract an ethical principle from examples of correct ethical judgments, given in terms of logic theories or programs, and use that principle to guide its own behavior.

Acknowledgement

Special thanks are due to the *Centro Hospitalar do Alto Ave*, a major portuguese healthcare facility located in the North of Portugal, for their help and advise, which make possible the present work.

References:

- [1] John Deigh, editor. *Ethics and Personality: Essays in Moral Psychology*. Chicago University Press, 1992.
- [2] F. Andrade, J. Neves, P. Novais, and J. Machado. Software agents as legal persons. *Virtual Enterprises and Collaborative Networks*, 149:123–132, 2004. CamarinhaMatos, LM 18th World Computer Congress AUG 22-27, 2004 Toulouse, FRANCE.
- [3] F. Andrade, J. Neves, P. Novais, J. Machado, and A. Abelha. Legal security and credibility in agent based virtual enterprises. *Collaborative Networks and Their Breeding Environments*, 186:503–512, 2005. CamarinhaMatos, LM 6th Working Conference on Virtual Enterprises SEP 26-28, 2005 Valencia, SPAIN.
- [4] Luís Moniz Pereira and Ari Saptawijaya. Modelling morality with prospective logic. In José Neves, Manuel Filipe Santos, and José Manuel Machado, editors, *Progress in Artificial Intelligence*, pages 99–111. Springer, 2007.
- [5] Cesar Analide, António Abelha, José Machado, and José Neves. An agent based approach to the selection dilemma in cbr. In C. Badica, G. Mangioni, V. Carchiolo, and D. Burdescu, editors, *Intelligent Distributed Computing, Systems and Applications*, volume 162. Studies in Computer Science, Springer-Verlag, 2008.
- [6] P. Novais, R. Costa, D. Carneiro, J. Machado, L. Lima, and J. Neves. Group support in collaborative networks organizations for ambient assisted living. *Towards Sustainable Society on Ubiquitous Networks*, 286:353–362, 2008. Oya, M Uda, R Yasunobu, C 8th IFIP International Conference on e-Business, e-Service, and e-Society SEP 24-26, 2008 Tokyo, JAPAN.
- [7] J. Machado, V. Alves, A. Abelha, and J. Neves. Ambient intelligence via multiagent systems in medical arena;. *International Journal of Engineering Intelligent Systems, Special issue on Decision Support Systems*, 15(3):167–173, 2007.
- [8] Hyacinth S. Nwana. Software agents: An overview. In *Knowledge Engineering Review*, volume 11, pages 1–40. Cambridge University Press, 1996.
- [9] José Machado, Antonio Abelha, Paulo Novais, João Neves, and José Neves. Improving patient assistance and medical practices through intelligent agents. In *Workshop on Health Informatics*. AAMAS 2008, 2008.
- [10] Miguel Miranda, António Abelha, Manuel Santos, José Machado, and José Neves. A group decision support system for staging of cancer. In Dasun Weerasinghe, editor, *Electronic Healthcare*. Springer-Verlag, Series Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, 2009.
- [11] Kenneth Einar Himma. Artificial agency, consciousness, and the criteria for moral agency: what properties must an artificial agent have to be a moral agent? In *Ethics and Information Technology*. Springer, 2008.
- [12] Michael J. Wooldridge. *Multiagent Systems – A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, chapter 1. MIT Press, 1999.
- [13] Michael Wooldridge and Nicholas R. Jennings. Intelligent agents: Theory and practice. volume 10, pages 115–152. Cambridge University Press, 1995.
- [14] Luciano Floridi and J. W. Sanders. On the morality of artificial agents. volume 4, pages 349–679, Hingham, MA, USA, 2004. Kluwer Academic Publishers.

3.6 Agent Based Interoperability in Hospital Information Systems

Autores: Miguel Miranda, Gabriel Pontes, António Abelha, José Neves and José Machado.

Título: Agent Based Interoperability in Hospital Information Systems

Local: Proceedings of the 2012 5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI 2012)

Ano de Publicação: 2012

Índices:

- ISI SCOPUS

Agent Based Interoperability in Hospital Information Systems

Miguel Miranda*, Gabriel Pontes[†], António Abelha*, José Neves* and José Machado*

*Universidade do Minho

Centro de Ciências e Tecnologias da Computação

Braga, Portugal

{miranda,abelha,jneves,jmac}@di.uminho.pt

[†]Universidade do Minho

Department of Informatics, Braga, Portugal

gabrielpontes@amave.pt

Abstract—The healthcare area configures an environment of both complexity and cooperation. Numerous and distinct information systems must exchange information in a expedite and consolidated manner. Where healthcare interoperability is concerned numerous techniques, methodologies, architectures and standards exist, having also some which are more common. However subjects such as service distribution, fault tolerance, standards, communication flavoring and tightly-bound systems still are a major issue of concern. This paper aims to propose and explain 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.

Keywords—Medical Informatics, Healthcare Interoperability, Multi-agent Systems.

I. HEALTH INFORMATION SYSTEM AND INTEROPERABILITY

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 heterogeneous 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 [1]. 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 to-

wards 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. [2] 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. [3] [4]

Congruently with these concerns, present tendencies regarding research and industry in interoperability applied to healthcare information systems, indicate the potential of agent oriented architecture [5] [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 [7]. Although healthcare standards like HL7 are completely distinct from agent communication standards, HL7 services can be also implemented under the agent paradigm [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.

II. 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 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 artefact. 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 [9].

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 artefacts. 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 cancelling 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 defined 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.

III. 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 of interest for healthcare interoperability and a tool towards intelligent interoperability systems.

IV. 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 equipments 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 communicate 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

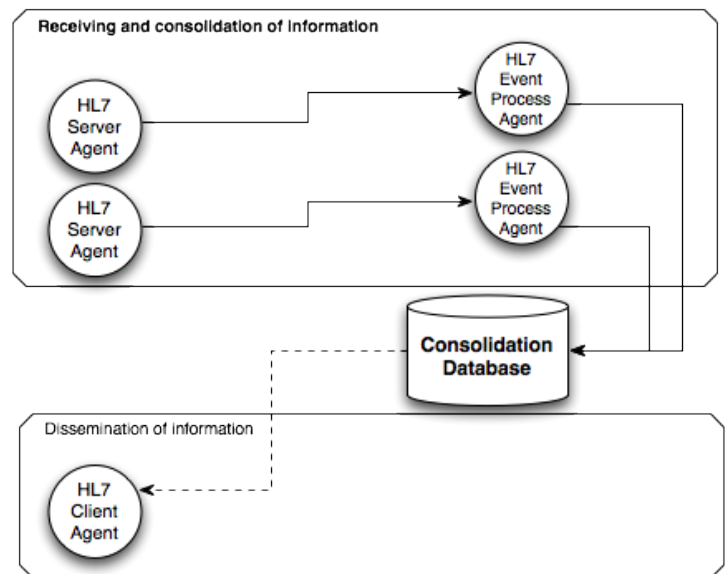


Fig. 1. Information flow inherent to the developed HL7 service using a multi-agent system

sort of equipment usually follows a client/server architecture, in which the equipment is in most cases solely a client.

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 to create 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

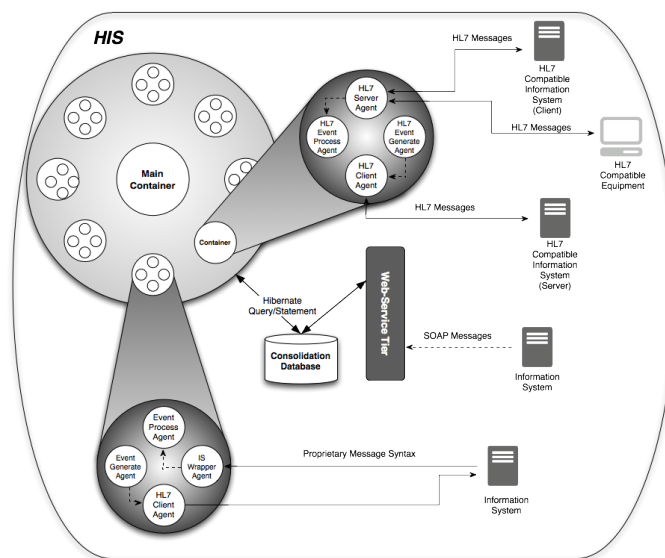


Fig. 2. Overall architecture of the HL7 communication using a multi-agent system

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 agents life-cycle, to process the message immediately and to grant that the socket is freed as soon as possible.

As demonstrated in Figure 2 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 parametrization 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.

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 from 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.

This mentioned architecture in Figure 2 is oriented towards the concepts of dissemination and consolidation of HIS information in order to synergistically improve the quality of all information system involved. 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. The consolidation of this information generates events that are disseminated throughout the systems that are registered as servers in the parametrization of the multi-agents system. 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 from 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 to communicate with others.

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.

V. 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 instead 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 the establishment of a complete electronic health record in an environment in which heterogeneous information systems exist.

ACKNOWLEDGEMENT

This work is funded by National Funds through the FCT - Portuguese Foundation for Science and Technology within project PEst-OE/EEI/UI0752/2011. Work of Miguel Miranda is supported by FCT with the grant SFRH/BD/65023/2009.

REFERENCES

- [1] W. Kirsh, Ed., *Encyclopedia of Public Health*. Springer Science, 2008, vol. 1.
- [2] S. Aier and M. Schönherr, "Evaluating integration architectures –a scenario-based evaluation of integration technologies," *Trends in Enterprise Application Architecture*, pp. 2–14, 2006.
- [3] M. Berg, *Health Information Management: Integrating Information Technology in Health Care Work*. Routledge, 2004.
- [4] PHII, "Guiding principles for effective health information systems," Public Health Informatics Institute, Decatur Institute, GA, 2004.
- [5] D. Isern, D. Sanchez, and A. Moreno, "Agents applied in health care: A review," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 79, no. 3, pp. 145 – 166, 2010.
- [6] J. Machado, V. Alves, A. Abelha, and J. Neves, "Ambient intelligence via multiagent systems in the medical arena," *ENGINEERING INTELLIGENT SYSTEMS FOR ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATIONS*, vol. 15, no. 3, pp. 151–157, Sep 2007.
- [7] J. Machado, M. Miranda, A. Abelha, J. Neves, and J. Neves, "Modeling medical ethics through intelligent agents," in *I3E*, ser. IFIP, C. Godart, N. Gronau, S. K. Sharma, and G. Canals, Eds., vol. 305. Springer, 2009, pp. 112–122.
- [8] M. Miranda, G. Pontes, P. Gonçalves, H. Peixoto, M. Santos, A. Abelha, and J. Machado, "Modelling intelligent behaviours in multi-agent based hl7 services," in *Computer and Information Science*, ser. Studies in Computational Intelligence, R. Y. Lee, Ed., 2010, vol. 317, pp. 95–106.
- [9] D. M. Lopez and B. G. Blobel, "A development framework for semantically interoperable health information systems," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 78, no. 2, pp. 83 – 103, 2009. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T7S-4T08051-1/2/c0d0e805481c88849c83652fa504097b>

3.7 Stand-Alone Electronic Health Record

Autores: Júlio Duarte, Gabriel Pontes, Maria Salazar, Manuel Santos, António Abelha and José Machado

Título: Stand-Alone Electronic Health Record

Local: 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management

Ano de Publicação: 2013

Índices:

- ISI SCOPUS

Stand-Alone Electronic Health Record

Júlio Duarte*, Gabriel Pontes†, Maria Salazar‡, Manuel Santos§, António Abelha* and José Machado*

*Universidade do Minho, CCTC, Braga, Portugal

jduarte,abelha,jmac@di.uminho.pt

†Vale do Ave Association of Municipalities, Guimarães, Portugal

gabrielpontes@amave.pt

‡Centro Hospitalar do Porto, Porto, Portugal

msalazar@chporto.min-saude.pt

§Universidade do Minho, ALGORITMI, Guimarães, Portugal

mfs@dsi.uminho.pt

Abstract—Hospitals have made an effort to ensure the permanent availability of data, with the reliance on the information and scalability at the lowest price. Quality and information access speed are guaranteed. On the other hand, information systems become core systems and progressively clinical paper based records has been dematerialized. The single access to information about patients and electronic media, even in critical situations, are now a reality. Despite the efforts referred to above, there remains the possibility of difficulty in accessing information in case of network or electricity failures, or in the event of a local unpredictable disaster. In this paper, we present an extension to the Electronic Health Record, called stand-alone module, to ensure the hospital's access to patient's minimal clinical record in a breakdown scenario.

I. INTRODUCTION

A. Biomedical Informatics

Biomedical Informatics (BMI) is a result of the combination of two main subjects: Information Technology (IT) and Medicine and Health Sciences. Thus, BMI can be called as a multi-disciplinary area. The BMI is an issue of growing importance worldwide. One of the most notable medical advances of the last few years is the application of the technology information to healthcare. This contribution can provide the modernization and improvement of the quality of delivering health services through better management of health information resources [1]. In the context of the hospitals, they need the management and organization of information, Hospital Information Systems (HIS) have been emerged. HIS have become the solution of the problem of poor organization of the medical information at hospitals environment [2].

B. Hospital Information Systems

HIS can be defined as a subsystem hospital with a socio-technological development, which covers all information processing as well as the role of clinicians [2]. Its main purpose is to contribute to the quality and efficiency of healthcare. This objective is primarily oriented to the patient after being directed to health professionals as well as the functions of management and administration [3]. It is very important that a HIS is designed and implemented efficiently especially when it concerns the high quality of healthcare [3]. This implementation requires the existence of a management structure whose

specific function focuses on the proper allocation of resources in order to ensure the efficient production of information [4]. Thus, the planning of HIS will cover, in a systematic way, each of the components in order to provide the complex clinical decision making capability. In fact, if requirements of appropriate access to relevant data are not met, it becomes difficult to take decisions, diagnoses and other procedures resulting in fatal consequences for the patient. The HIS also assumes much importance in relation to costs since the sector of communication technologies in healthcare is increasingly important [3]. There are four basic functional processes, which the most important is healthcare itself. This process list begins with the patient's admission and ends in discharge or transfer to another institution. The other categories will serve to support the healthcare with the primary objective of improving quality. The four functional categories are characterized as follows: care; clinical process management; work organization and resource planning; and hospital management [5, 6].

C. Electronic Health Record

In general, Electronic Health Record (EHR) can be defined as the computerized records of patients clinical data i.e. all information provided by demographic data, medical history, laboratory data, and more information sources. These data are 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 purposes such as cost management [7, 8, 9,]. Thus, EHR can be assumed as a HIS for excellence and has replaced the traditional manual recording in Paper Clinical Process (PCP). EHR may include all hospital areas with a need for registration information. This information can be clinical, administrative and financial [7, 8]. Historically, the first systems appeared in the 60's giving the first impulse of EHR in history, although these early systems are not yet focused specifically on the clinical [10, 11]. In Portugal, the first breakthrough in the electronic record hospital came up with a system called SONHO. This system is geared to managing only administrative information. Currently, there are already systems in clinical information management the Medical Support System (SAM in Portuguese) and Support

System for Nursing Practice (SAPE in Portuguese). There are also several implementations of EHR in Portugal but still with little dissemination [7].

EHR brought many advantages; the most advantage of the physical EHR is a small footprint device capable of storing an enormous amount of information. This advantage may still become more accentuated with the development of computer science [7, 12]. Another positive point is the duplication and sharing of information. This task becomes simpler and more immediate. This advantage enables the sharing of Clinical Process (CP) for different task synchronous implementation of clinical files to backup information and safeguarded the chance of loss and/or damage, which often happens with the Paper based Clinical Process (PCP) [7, 12]. Analysing the advantages at a structural level, the electronic record supports customizing 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. The EHR also ensures the readability of data (it does not happen with the PCP, since the data are entered manually and their legibility depends on the handwriting of health professionals). At this level, another important advantage is that the EHR can perform the processing of continuous data, facilitating the detection of errors and issuing alarms in situations of possible pathologic abnormality. Finally, the EHR enables the automated collection of clinical parameters from monitors, imaging equipment, chemical analysis, among others [7, 12]. In order to facilitate and improve care in health establishments, the EHR performs some features, some of which are similar to the PCP. These features include: to maintain a history of each patient serving as a support assistance for the purpose of decision support or as a source of information for clinicians; to reduce the frequency of the loss of records or record data as well as to reduce the occurrence of medical errors; to support communication between external sources of medical information, management and resource planning; to improve procedures for assessing the cost control. The main difference with operation of the EHR and the PCP is related to the interaction between several heterogeneous information sources. The linkage of information sources and the EHR is bidirectional; i.e. there is a feedback that does not exist for the PCP. Thus an electronic record in addition to the containing of the information set also allows the sharing of information among different users, as well as the interaction between information sources [9]. Another very important feature is the need of these systems to work 24 hours a day and 7 days a week. The health professionals can need to consult the information for a patient at any time and without notice. In these cases, the HIS can not fail and must keep the health information of a patient always available. Actually the failures of electronic systems are always happening, but in hospitals environments these failures can be vital for the patients' health [7].

This paper presents a solution in overstepping failures in order to keep the quality of treatment. The main goal is to ensure the access of critical patient health 24 hours a day.

This project was realized in 'Centro Hospitalar do Porto', one of the major Portuguese hospitals center. Thus, the project was tested with real cases and is nowadays used in real world environment.

II. AIDA

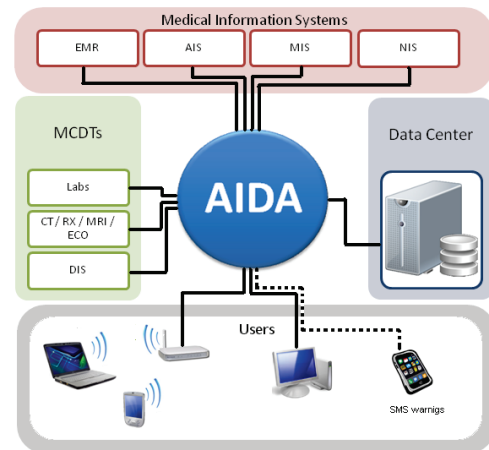


Fig. 1. HIS Structure

AIDA means Agency for Integration, Diffusion and Archive of Medical Information. It is a platform that consists of a Multi-Agent System (MAS) that ensures the integration and interoperation between all the HIS. The AIDA's main goal is to overcome difficulties in achieving uniformity of clinical systems, as well as medical and administrative complexity of different Hospital information sources [8]. AIDA was created by a group of researchers from the University of Minho and is currently installed at the 'Centro Hospitalar do Porto', 'Centro Hospitalar do Alto Ave', 'Centro Hospitalar do Tãmega e Sousa', 'Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Vila Verde' and 'Unidade Local de Saúde do Alto Alentejo'. It is a good example of the successful teamwork between the University and the hospitals. In order to overcome its goals, AIDA's platform is based on front-office and back-office methodologies. It is an electronic platform that provides employees with intelligence, the agents. This platform features a pro-active behaviour in its main functions: communication between heterogeneous systems, storage management and hospital information; response to requests in time; sending and receiving information from hospital sources like laboratories (labs) (medical reports, images, prescriptions, etc.). Thus, AIDA enables interoperability between hospital subsystems, assuming a main and central role where it is installed, as shown in figure 1 [13, 14]. It can be seen in Figure 1 that AIDA has an easy user access, allowing the ubiquitous management of clinical information. In addition, the platform enables the sending of messages via phone or e-mail. The same way, AIDA establishes connection with all Systems of medical information: EHR; Administrative Information System (AIS); Medical Information System (MIS); and Nursing Information

System (NIS) [10]. AIDA has been extended with a monitoring module to prevent malfunction scenarios [21].

The AIDA's main goal on front-office is the register of Complementary Methods of Diagnosis and Therapeutic (in Portuguese MCDT). This platform covers each one of the needed tasks to execute a medical examination. Since the first task, the medical examination request, until the last one, the results evaluation made by the same clinical professional. Table 1 shows the tasks that occur during a whole process of medical examination and it also shows the responsible clinical professional of each task.

Table 1 - Medical Examination Execution Process

Task	Clinical
medical exam request	requesting medical
examination confirmation	performer medical
examination scheduling	administrative staff
patient receipt	administrative staff
execution performing	performer nurse or technic
executing report	performer medical
evaluation results	requesting medical

At the same time, AIDA's agents ensure that information is shared with other hospital subsystems. Thus, clinical professionals can also access information through their specific systems of recording, i.e., although clinical professionals can view information on AIDA's platform, doctors, nurses and administrative staff can also find the same information at the Medical Information System (MIS), the Nurse Information System (NIS) and the Administrative Information System (AIS), respectively.

III. AIDA-PCE

A. AIDA-PCE scope

The AIDA-PCE is an EHR and was implemented first in the 'Centro Hospitalar do Porto'. It is working as a subsystem of the main HIS, as it's represented on top upper left of Figure 1. The AIDA-PCE follows a problem-oriented organization suggested by Lawrence Weed in the 60's. This information organization is known as the Problem Oriented Medical Record (POMR) and it assumes that registration is a production of clinical scientific documents. In this type of organization, clinical information (annotations, therapeutic, diagnostic) should be recorded for specific problem solving, creating a list of issues organized in a tree structure, where each new problem derives from the main branch [7, 9, 15]. It is noted that problems can be classified as active or inactive, in which active problems are those where the disease is still active or even when intervention is required immediately. On the other hand, inactive problems require no urgent action. In this EHR problems assets are monitored and recorded daily using a SOAP (Subjective, Objective, Assessment and Planning) framework. Thus, each record contains the patient's symptoms, a doctor's observation, an analysis of diagnosis and a treatment plan that the patient is subject to [7, 15].

The AIDA-PCE implementation follows a set of requirements that must be considered in order to be beneficial for the health staffs job and patient health. The AIDA-PCE has many common features with PCP but it has a response, which is fast, reliable and safe. The structure of this EHR allows seamless integration with existing HIS by promoting the ubiquity of records between different specialties and services. The ubiquity of the AIDA-PCE allows access to mechanisms for monitoring alarm systems and decision support. The electronic record allows generation of documents and customized reports for specific purposes. It becomes easier to configure interfaces for registration and more. The information contained herein is standardized and uniform [7, 13, 16].

In the hospitals where AIDA and AIDA-PCE was installed, it was made a substantial investment to ensure the availability, reliability and scalability of the system. However, in some situations, users may not have access to the system due to network problems, communications or electricity failures or local disasters.

B. AIDA and AIDA-PCE Failures

AIDA platform and AIDA-PCE are working in critical real environment with real cases, and some problems have emerged. The problems are not related directly to AIDA or AIDA-PCE but they interfere directly with AIDA and AIDA-PCE operation and, consequently, influence the quality of the medical records and patient care. The main problems are due to communication failures and are related to peak hours. The failures of network connections may not even be total, i.e., there may be very slow data exchanges. At critical cases these slowdowns data access can be critical for the patient. Other situations are related to database failures. Database crashes can be related to several factors: bad management of datacenters; many users accessing at the same time; breaks on energy are some example. Some of these crashes cab to be avoided using monitoring and preventing systems [21], but problems will continue to happen [19, 20]. Based on evidence, a stand-alone module was created and implemented at AIDA and AIDA-PCE. This module guarantees that critical information about health state of patients can be accessed in breakdown scenarios.

IV. IMPLEMENTATION

A. Implementation Process

In order to realize this project, it was used the AIDA and the AIDA-PCE like test platform. It was used also two units of the Hospital Center of Oporto as a pilot service: intensive care unit and medicine unit. The purpose of this project was to ensure that the critical health information about patients is always available. The first step was to evaluate what kind of information must be object of attention. Critical information is the information that is really needed to keep the quality of treatment. Numerous meetings were made with professionals of each pilot-service in order to define the minimal critical information that would be necessary. This information depends on the kind of patients; there are patients of inpatients and

outpatients. On the first group it was considered inpatient cases. For these patients it's possible to obtain a list of all hospitalized patients. The most important information for inpatient cases is medication, what kind of diet and the last diary. On the second group it was taken into account the outpatient process. For these cases it is possible to obtain a list of all patients through scheduled appointments for the current day. In the case of an outpatient service, reports of additional means of diagnosis requested in the previous episode and summary of the last appointment is considered the critical information. In both cases the list of patients admitted and needed for information can be obtained directly from the AIDA or the AIDA PCE, using a set of web services that implements operations on the HIS.

The destination of critical informations also depends on the patients. For each inpatient service and for each physician a folder is created. In each of these folders are created sub-folders, one for each patient. In the case of hospitalization, each sub-folder corresponds to an inpatient service. In the case of outpatient, each sub-folder corresponds to a patient who has an appointment with the doctor. Thus, the information about specific patients list (from inpatient or outpatient) is saved locally on specific health service. Deposited in these folders are the files that are considered fundamental to the event of any difficulty in accessing the patient's clinical process.

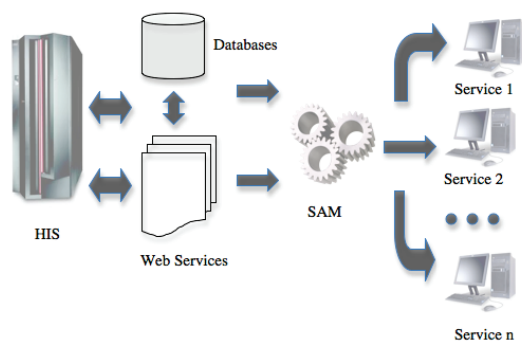


Fig. 2. HIS Stand Alone Module Architecture

The Stand Alone Module (SAM) should regularly update the contents of each folder for each computer, thus ensuring that in each service or each medical office, there is a minimal clinical electronic version of the patient's process. This goal is reached through a synchronization model. The synchronizing is made on fixed hours, but it is turned on always a critical information is updated through EHR or another system. This ensures that information is always updated regardless the time when some unpredictable failure occurs. The SAM is very important on various conditions such as:

- there is no network;
- there is no connectivity to databases;
- there is no access to the HIS, AIDA, AIDA-PCE or other systems;
- There may be no electric power and the machine is

connected to a UPS.

On local computers, it will not be necessary to install any additional software. Existing network, but in the presence of any other situation that prevents access to records, updating the folders should be possible (e.g., in case of problems that affect only one area of the hospital). It was developed a system for synchronizing files between machines, using a technology inspired by HL7 [7]. We developed a standard similar to HL7, with simple messages and an acknowledgment scheme to ensure the success of the system. The architecture is shown in Figure 2.

Summarizing, the deployment followed an iterative process based on three phases: Information Gathering and Specification; Implementation; and Testing. Previous literature searches and subsequent meetings with clinicians in the pilot services created the first phase, called Data Collection and Specification. Research led to the vocabulary knowledge and the general functioning of the intensive care unit and medicine unit. The meetings with the physicians responsible guaranteed the collection of information on practices and methods used in this hospital service. This stage allowed defining what kind of information was constituted in module stand-alone. The Implementation phase, or codification, was based on the digitization of all information collected by this stage. The result of this stage was a first prototype of the module. The next phase, called testing phase, has proved to be of great importance to the whole process. At this stage, the module was submitted to various tests, at a computer level, and testing of clinical level, where it was evaluated the functionality of the forms under a health professional point of view. The first tests were carried out by a form designer and served to correct function errors. The next tests were performed in the presence of medical professionals involved in the project. At the end of this stage the stand-alone module was already to work in real data.

B. Features of the Stand-Alone Module

This module presents a solution to keep the quality in healthcare units in case of HIS failures. Some of these failures are unexpected, inevitable and may have various reasons and causes. So, the Stand-Alone Module was designed to always be available to be used by health professionals. Thus, the health professionals might use the module when there is one of these three situations: unavailability of systems application servers; crashes of management database; and unavailability of the communications infrastructure. In order to solve this issue of the spontaneity of failures, with Stand-Alone Module the critical information is exported of AIDA and AIDA-PCE databases then this information is stored locally. The information contained in Stand-Alone Module is stored so as to be easily accessed. This allows that any health professional might easily access the critical information without any kind of previous formation and training. Another point discussed was what kind of information can be considered as the critical information. Each unit defined their critical information. The information selected it mostly was similar but there was some

different information. The similar information was such as diagnoses; medication plans; diet plans for example. The other information was most specific form each unit. Thus, the module allows that stored information depends of each service. The Stand-Alone Module also ensures that the stored information is updated whenever this information is updated on AIDA and AIDA-PCE datacenter.

C. Advantages of the Stand-Alone Module

Such as mentioned above, the main benefit of SAM is to keep access to critical information even in case of HIS failures. In the other hand there are many advantages when this module is compared with others conventionally backup systems. The module is independent of the applications that manages the information. The storage of critical information in an accessible format allows that any user to consult this information, even if accessing software doesn't work. For the same reason SAM does not depend on the technical support. Any health professional without specific training might to access the critical information [20]. Another advantage is the independence of AIDA's and AIDA-PCE databases. The information contained in the SAM is locally stored in respective units of healthcare. Thus, this information can be accessed in the event of failure of a database. Similarly, the SAM does not depend of the networks connections. It allows the access to information in cases of network breaks [20].

V. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

In this paper it was presented a solution to keep the continuity of the quality of patients treatment in cases of information systems failures. The module allows the access to critical information about health state of patients at anytime and in the case of HIS failures. Thus, the critical information can be easily accessed during a network failure or database crash. Indeed this module is more advantageous than conventional backup systems and it can be assumed like a key feature in the proper working of a HIS. Similarly, this project improves the confidence level on electronic health records by health professionals. This system has been included in the set of systems that are monitored in order to prevent malfunction scenarios.

In case of failure, the information is not updated but the previous versions continue to be available. This can be another important step to achieving the so-called paper free hospital. Based on the success of this implementation, the next step will be to extend this work for all services of the 'Centro Hospitalar' of Oporto and then to other health institutions where the AIDA's platform are installed.

On the other hand, this project will be implemented in the context of the Municipalities of the Vale do Ave. The problem is similar despite the criticism is lower. In case of failures, the minimal services will be provided.

VI. ACKNOWLEDGMENT

This work is financed with the support of the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT), with

the grant SFRH/BD/70549/2010 and within project PEst-OE/EEI/UI0752/2011.

REFERENCES

- [1] Van Bommel, J.H., Musen, M.A. (1999). Handbook of Medical Informatics. Springer-Verlag Heidelberg.
- [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.
- [3] Machado J., Abelha A., Novais P., Neves J. and Neves J., Quality of service in healthcare units, Int. J. Computer Aided Engineering and Technology, Vol. 2, No. 4, pp.436 to 449.
- [4] 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.
- [5] Duarte, J., Portela, C.F., Abelha, A., Machado, J., Santos, M.F., Electronic health record in dermatology service, Communications in Computer and Information Science, 221 CCIS (PART 3), 2011.
- [6] Ammenwerth E., Buchauer A., Haux R. (2002). A requirements index for information processing in hospitals. Methods of Information in Medicine. 41:282-288.
- [7] Miguel Miranda, Gabriel Pontes, Pedro Gonçalves, Hugo Peixoto, Manuel Santos, António Abelha and José Machado, Modelling Intelligent Behaviours in Multi-agent Based HL7 Services, Studies in Computational Intelligence, Volume 317, Springer 2010.
- [8] Coiera, E. (2003). Guide to Health Informatics (2nd ed). London: Hodder Arnold.
- [9] Miranda, M; Duarte, J; Abelha, A, et al., Interoperability and Healthcare, European Simulation and Modelling Conference, Leicester, UK, 2009.
- [10] Slee, V., Slee, D., Schmidt, J. (2000). The Endangered Medical Record: Ensuring Its Integrity in the Age of Informatics. Tringa Press k Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [11] Dick, R. & Steen, E. (1991). The Computer-based Patient Record - An Essential Technology for Health Care. Washington, DC: National Academy Press.
- [12] Kay, S. & Purves, I. (1996). Medical Records and Other Stories: A Narrational Framework. Methods of Information in Medicine. 35:72-87.
- [13] Duarte J., Neves J., Cabral A., Gomes M., Marques V., Santos M., Abelha A. and Machado J., Towards Intelligent Drug Electronic Prescription, in Modelling and Simulation 2011, Novais P., Machado J., Analide C., Abelha A., (Eds.), European Simulation and Modelling Conference, Guimarães, Portugal, 2011.
- [14] Duarte J., Salazar M., Quintas C., Santos M., Neves J., Abelha A. and Machado J., Data Quality Evaluation of Electronic Health Records in the Hospital Admission Process, IEEE ACIS-ICIS 2010, Japan.
- [15] Häyrynen K, Saranto K, Nykänen P. 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, 2008.
- [16] Bossen, C. Evaluation of a computerized problem-oriented medical record in a hospital department: Does it support daily clinical practice?. International Journal of Medical Informatics. 76:592-600, 2007.
- [17] International Organization for Standardization. Requirements for an Electronic Health Record Reference Architecture - ISO 18308. Geneva: International Organization for Standardization.
- [18] José Machado, Victor Alves, António Abelha and José Neves; Ambient Intelligence via Multiagent Systems in Medical arena; International Journal of Engineering Intelligent Systems, Special issue on Decision Support Systems; vol. 15, n.3, pp. 167-173, 2007
- [19] Drake, S., Hu, W., Mcinnis, D., Skold, M., Srivastava, A., Thalmann, L., Tikkanen, M., Torbjørnsen, Ø., Wolski, A., Malek, M., Reitenspieay, M. & Kaiser, J. R. (2005) Architecture of Highly Available Databases Service Availability. Springer Berlin/ Heidelberg.
- [20] Hu K., Mehrotra S., Kaplan S. M.: Failure Handling in an Optimized Two-Safe Approach to Maintaining Primary-Backup Systems. Symposium on Reliable Distributed Systems 1998: 161-167.
- [21] Paulo Silva, Cesar Quintas, Pedro Gonçalves, Gabriel Pontes, Manuel Santos, António Abelha and José Machado, Intelligent Systems based in Hospital Database Malfunction Scenarios, 4th IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong, 2012.

3.8 Step Towards Predicting Length of Stay in Intensive Care Units

Autores: Cristiana Neto, Gabriel Pontes, Alexandru Domente, Francisco Ferreira and José Machado

Título: Step Towards Predicting Length of Stay in Intensive Care Units

Local: WorldCist'21 - 9th World Conference on Information Systems and Technologies

Ano de Publicação: 2021

Índices:

- SCOPUS

DOI: 10.1007/978-3-030-72654-6_28

Step Towards Predicting Patient Length of Stay in Intensive Care Units

Cristiana Neto¹[0000-0001-8736-7443], Gabriel Pontes¹[0000-0002-6099-2959],
Alexandru Domente²[0000-0001-9204-9933], Francisco
Reinolds²[0000-0001-5012-3701], José Costa²[0000-0003-4115-6442], Diana
Ferreira¹[0000-0003-2326-2153], and José Machado¹[0000-0003-4121-6169]

¹ Algoritmi Research Center, University of Minho, Campus of Gualtar, Braga,
Portugal
{cristiana.neto,gabriel.pontes,diana.ferreira}@algoritmi.uminho.pt
{jmac}@di.uminho.pt

² University of Minho, Campus of Gualtar, Braga, Portugal,
{pg41063,a82982,a82136}@alunos.uminho.pt

Abstract. Increasingly, hospitals are collecting huge amounts of data through new storage methods. These data can be used to extract hidden knowledge, which can be crucial to estimate the length of stay of admitted patients in order to improve the management of hospital resources. Hence, this article portrays the performance analysis of different data mining techniques through the application of learning algorithms in order to predict patients' length of stay when admitted to an Intensive Care Unit. The data used in this study contains about 60,000 records and 28 features with personal and medical information. A full analysis of the results obtained with different Machine Learning algorithms showed that the model trained with the Gradient Boosted Trees algorithm and using only the features that were strongly correlated to the patient's length of stay, achieved the best performance with 99,19% of accuracy. In this sense, an accurate understanding of the factors associated with the length of stay in intensive care units was achieved.

Keywords: Length of Stay; Hospitalization Stay; Intensive Care Unit; Data Mining; Classification; CRISP-DM

1 Introduction

Hospitals have been benefiting from a technology revolution, particularly through the increasing adoption of health information systems [1]. With the enormous growth of data and the complexity of the stored information, processing and analysing it to improve hospital management becomes difficult but very important. Data Mining (DM) is a powerful tool that can help healthcare institutions to extract useful knowledge from a great amount of data [2,3].

Since hospitals are faced with very limited resources including beds to receive patients, specially during this time of the COVID-19 pandemic, the Length of

Stay (LOS) is a crucial factor for a better planning and management of hospital resources. In this context, the prediction of a patient's LOS will help hospitals achieve many goals, such as better benchmark performance in terms of profitability and patient care efficiency, due to the fact that LOS is an essential measure of healthcare utilization and a determining factor in hospitalization costs [4,5].

Several studies have focused on predicting the LOS in ICU [5,6]. Although, the results observed in these studies showed an opportunity for improvement. Thus, this article will focus on the application of DM techniques to define a model capable of predicting the LOS of patients admitted to an Intensive Care Unit (ICU). All the results obtained are going to be interpreted taking into consideration the impacts on medical and management purposes.

This article is organized in four sections. The following section describes the problem and the methodology used to address it. The next section details every phase of the chosen DM methodology. The third section contains the analysis and discussion of the results. Finally, the last section highlights the contributions of this research and potential future work.

2 Methodologies, Material and Methods

The chosen methodology to conduct this DM process was CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) which contemplates six distinguished and flexible phases: Business Understanding, Data Understanding, Data Preparation, Modeling, Evaluation and Deployment [7]. It is also imperative to support this study by using technologies whose features guarantee an effective execution in each phase of the established DM methodology. Thus, the KNIME data analytic platform was used in order to transform and modify the data (Data Preparation). Unlike other DM tools, KNIME holds a wide range of simple and optimized data transformation features. On the other hand, the development of the remaining CRISP-DM phases was made on the RapidMiner software, a data platform that provides an integrated environment for Machine Learning (ML) and Predictive Analytics, being widely used in DM due to its high usability compared with other alternatives. So, after data preparation occurs on KNIME, its output data is allocated as input on RapidMiner, which is then used to model a set of ML algorithms and to individually assess each one's performance. Thus, this study used different supervised algorithms which can be divided in three major groups: tree-based ML algorithms, namely Decision Tree (DT), Random Forest (RF) and Gradient Boosted Trees (GBT), neural network-based ML algorithms, namely Neural Net (NN) and Deep Learning (DL) and, lastly, two more algorithms: k-Nearest Neighbour (k-NN) and Naïve Bayes (NB).

2.1 Business Understanding

At this stage, the understanding of the objectives and the requirements from the business' point of view is of utmost importance.

In this work, the focus resides on the problem of scheduling hospital admissions, where the greatest difficulty is maintaining an adequate number of beds for patients who need intensive care and reducing the high costs that the hospital presents due to a poor management of the resources.

In order to provide ICUs with valuable information, this study will include several aspects, such as the detection of the highest correlated features to the LOS, the determination of the optimal parameter values of the given ML algorithm and the prediction of the LOS by constructing different DM models (DMM). Afterwards, it is going to be exposed a one-to-one comparative analysis for each DMM, with or without optimized parameters and strongly correlated features. In this work, different techniques will be compared in terms of their performance and the results obtained for the different metrics selected in order to find the approach that best suited the problem and the data used.

2.2 Data Understanding

In this phase, the analysis of the collected data is performed, as well as the identification of the relevant attributes, so that a better perception of the existing data can be obtained.

The used dataset contains about 60,000 records from a clinical computer system that was used between 2001 and 2008 on Beth Israel Deaconess Medical Center, a medical care unit located in Boston. Most of the stored attributes are essential for determining the length of hospitalization in the ICU of this hospital, including patients' details as well as reasons for admission, discharge details, laboratory test results, and other medical features [8]. Each of the records is described by a total of 28 attributes as presented in Table 1.

Through a more detailed analysis of Table 1, the similarity between the LOSdays and LOSgroupNum features stands out. While the first one records the number of days each patient stayed in the ICU, the second one discretizes the LOSdays attribute in four bins, giving a four-day range to each category, except for the last label (as seen on the table footnote). As these two attributes are completely related, which of these features should be abandoned will be discussed during the next phase of this DM process, so that any inconsistencies in the models can be avoided. In this phase, it was also noticed that all numerical features needed some correction regarding inconsistencies on high standard deviation values relatively to the feature's average value.

2.3 Data Preparation

The first step on the data preparation was to ensure that raw data did not contain any duplicate, inconsistent or incomplete information. After a quick overview, neither of these situations were verified on the used data. Next, all nominal personal information was transformed into numerical features with the purpose of allowing the use of ML algorithms like Neural Net, that only runs over numerical features.

Attribute	Description	Attribute	Description
hadm_id	Hospital admission identifier	NumOutput	Number of outputs performed
gender	Patient's gender	NumCPTevents	Number of performed current procedural terminology (CPT) events
age	Patient's age (in years)	NumInput	Number of performed inputs
insurance	Patient's insurance type	NumLabs	Number of performed laboratory tests
religion	Patient's religion	NumMicroLabs	Number of performed microbiology tests
marital_status	Status Patient's Marital status	NumNotes	Number of written notes and summaries
ethnicity	Patient's ethnicity	NumRx	Number of performed x-rays
admit_type	Admission type	NumProcEvents	Number of performed procedure events
admit_location	Admission location	NumTransfers	Number of performed transfers
AdmitDiagnosis	Diagnosis Admission Diagnosis	NumChartEvents	Number of performed chart events
NumDiagnosis	Number of diagnoses entered to the system	ExpiredHospital	Indicates if the patient has died or not
NumCallouts	Number of performed callouts	TotalNumInteract	Total number of performed interactions
NumProcs	Number of performed procedures	LOSdays	Length of Stay in Intensive Care Unit
AdmitProcedure	Performed procedure on admission	LOSgroupNum	Length of Stay in Intensive Care Unit ¹

¹ 0: LOS 0-4 days; 1: LOS 4-8 days; 2: LOS 8-12 days; 3: LOS > 12 days

Table 1: Dataset attributes description

Thenceforth, a search to detect and manage potential outliers among the data was performed using a simple interquartile range algorithm capable of detecting and later removing outliers. This algorithm relies on data's interquartile range value, measured with Eq. 1, where Q1 (first quartile) and Q3 (third quartile) represent, respectively, a quarter and three quarters of all data records [9].

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (1)$$

However, to detect outliers, a few more steps must be taken. After calculating the IQR values, each one must be multiplied by a constant named Interquartile Range Multiplier (IQRM). This constant's correct value is 1.5 in order to discern outliers, as shown in Eq. 2.

$$C = IQR * 1.5 \quad (2)$$

Lastly, the C is subtracted to Q_1 and added to Q_3 , establishing a range of non-outlier records. So, any record located outside this range is labelled as an outlier, as represented in Eq. 3 and Eq. 4.

$$x < Q_1 - C \rightarrow \text{Outlier} \quad (3)$$

$$x > Q_3 + C \rightarrow \text{Outlier} \quad (4)$$

After detecting and removing all outliers, the continuous features of the dataset were discretized so that a better performance is attained during the modelling phase. In what regards the discretization, only the age feature was affected, applying a binning process with equivalent ranges of 10 years.

Then it was necessary to equip the data with more valuable features to the forecast of a patient's LOS in an ICU. To do so, two new medical information features were generated, representing respectively the number of diagnosis and procedures made to a patient per internment day. These two features were calculated based on Eq. 5 and Eq. 6, respectively.

$$\text{NumProcsPerDay} = \frac{\text{NumProcs}}{\text{LOSdays}} \quad (5)$$

$$\text{NumDiagsPerDay} = \frac{\text{NumDiagnosis}}{\text{LOSdays}} \quad (6)$$

In an opposite direction, but with the same purpose of improving the model's performance, an overview of every feature was made to understand each one's relevance. During this analysis, it was found that *ExpiredHospital*, a binary feature that indicates if a patient died or not in the ICU, only presents records of patients who have not died (value = 0). So, in this situation, the approach was to remove this feature due to its lack of ability to influence the DMM.

On the other hand, the aforementioned *LOSdays* feature indicates the number of days a patient has spent in the ICU, whilst the feature *LOSgroupNum* gives the same exact information with the only difference of being discretized. Therefore, it is easy to understand that these two attributes are strongly correlated and the use of one in order to forecast another might bias the developed models and, in a worst-case scenario, inducing the model to return corrupted and invalid results. So, to avoid the preceding described complications, the *LOSdays* attribute was removed from the data. Another removed feature was *hadm_id* since it represents an identifier and does not add predicting value to the DMM.

Lastly, every feature was normalised into a value range between 0 and 1, using RapidMiner in order to have the possibility of denormalizing the features when the model's execution is complete, allowing a better data analysis.

2.4 Modeling

After the data preparation, we are able to begin the construction of the DMM and, in the next phase, to compare different their performances.

The first step of this phase was to acknowledge which features were more correlated to the target attribute using the *Weight by Correlation* in RapidMiner. Two of the features – *NumTransfers* and *NumDiagsPerDay* – were evaluated with a strong negative correlation, with values of -0.71 and -0.69, respectively. From this point forth, the DMM will be compared with and without these two features, in order to study its influence in the forecast.

Ultimately, each ML algorithm has many parameters for its execution, and the results may vary with a different set of values assigned to each parameter field. Therefore, a model tuning is paramount, before the model’s execution, using the RapidMiner *Optimize Parameters* operator for each algorithm.

Along with the optimized parameters being fed to each algorithm, it is also beneficial to execute the models with and without the strong correlated features. Therefore, a total of four scenarios were created: S1 - Without correlated attributes and the default parameters; S2 - With correlated attributes and the default parameters; S3 - Without correlated attributes and the optimized parameters; S4 - With correlated attributes and the optimized parameters.

Cross Validation with 10 folds was the sampling method chosen. Taking into account that seven ML algorithms were selected to be executed during the modeling phase, it is simple to deduce that a total of 28 models were developed.

2.5 Evaluation

During this phase, the DMM were evaluated using several statistical metrics in order to provide a quality assessment of the model. Thus, the confusion matrix was analyzed, showing in a tabular structure the True Negatives (TN), the True Positives (TP), the False Negatives (FN) and the False Positives (FP).

As a multiclass prediction – the *LOSgroupNum* feature have four distinct possible outcomes –, the confusion matrix diagonal exposes all the TP entries referred to every successful forecast, while each result’s line and column exhibit the FN and FP entries, respectively. In our case of study, these two are worrisome fields when taking into account the fact that both represent wrong forecasts of the target feature. Lastly, the other values in the confusion matrix refer to TN records or, in other words, instances correctly labelled as having a different length of stay. Through confusion matrix values, it’s possible to estimate many other performance metrics. First, the model’s accuracy is estimated through Eq. 7 [2].

$$Accuracy(\%) = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} * 100 \quad (7)$$

With this metric correctly estimated, it is very simple to deduce the classification error, that refers to the accuracy’s complementary (1 - Accuracy).

Precision and Sensitivity (or Recall) metrics were also evaluated. While Precision tries to measure the proportion of positive identifications that were correct, Recall indicates the proportion of actual positives correctly identified. These two metrics are represented in Eq. 8 and Eq. 9 [2].

$$Precision(\%) = \frac{TP}{TP + FP} * 100 \quad (8)$$

$$Recall(\%) = \frac{TP}{TP + FN} * 100 \quad (9)$$

Outdistancing from the metrics derived from the confusion matrix, other metrics were evaluated. The kappa coefficient is one of them and it's useful to multi-class and imbalanced problems or when measures like accuracy, precision or recall are not able to provide a complete performance overview of a classifier. Its values vary between 0 and 1.

In addition, the RMSE (Root-mean-square error) was also used to evaluate the models. Although this measure is more common and useful on regression models, which is not the case, it measures the standard deviation of the predictions from the ground-truth, so this measure is taken as well. This metric is presented in Eq. 10, where N is the number of elements on our dataset and O_i represents the observed value whereas e_i shows the actual value of the entry [10].

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(O_i - A_i)^2}{N}} \quad (10)$$

3 Results and Discussion

After an extended overview of the results present on Table 2, some deductions become possible. Starting with the observation of each scenario, major improvements are acknowledged from models executed over algorithms with optimized parameters (S3 and S4) while worse results were recorded with default parameters (S1 and S2), which reveals the importance of an optimal running environment for each one of the used ML algorithms. So, in order to continue this topic's analysis, for each algorithm, only the last two columns of Table 2 will be minutely analysed from now on.

Paying closer attention to Table 2, an uplift from S3 to S4 stands out, which can be attributed to the two features detected as strongly correlated to the prediction attribute. In other words, the inclusion of both strongly correlated attributes in S4, allows a model to improve its results as expected, resulting in a 5% accuracy improvement.

In order to understand the real behaviour of the created models, it is important to analyse other metrics. For instance, a 90% accuracy would not be "real" if 90% of the cases would pertain to only one class and an hypothetical model could only predict that class. However, the obtained results for Sensitivity and Recall reveal a striking similarity to all the Accuracy values recorded with tiny variances, allowing us to verify the Accuracy's veracity.

Lastly, for the remaining measures, it is worth noting that both Kappa Coefficient and RMSE values followed Accuracy behaviour, respectively. While the first one assigns higher coefficients to models using both optimized parameters on their algorithm and the two correlated attributes – *NumTransfers* and *NumDiagsPerDay* –, the other one reduces its error coefficient when evaluating this same kind of models.

Category	ML Algorithm	S1	S2	S3	S4
Accuracy(%)	Naïve Bayes	62,44	67,39	69,10	78,69
	k-NN	55,50	59,15	57,08	61,54
	Neural Net	91,46	93,59	91,46	95,09
	Deep Learning	90,10	95,60	92,45	96,87
	Decision Tree	70,94	72,20	87,90	96,82
	Random Forest	67,42	75,07	90,90	94,42
	Gradient Boosted Trees	92,07	96,85	97,47	99,19
Precision(%)	Naïve Bayes	62,65	68,34	82,01	85,22
	k-NN	57,30	61,31	61,58	65,98
	Neural Net	91,57	93,75	91,68	95,06
	Deep Learning	90,42	95,85	92,31	96,60
	Decision Tree	75,37	76,38	87,37	96,62
	Random Forest	74,68	81,18	91,50	94,80
	Gradient Boosted Trees	92,69	96,92	97,53	99,25
Recall(%)	Naïve Bayes	61,23	67,30	56,52	70,54
	k-NN	51,87	56,00	49,83	55,11
	Neural Net	90,43	93,54	90,18	94,74
	Deep Learning	88,71	94,96	91,57	96,79
	Decision Tree	68,17	68,85	87,08	96,63
	Random Forest	61,80	70,85	89,58	93,61
	Gradient Boosted Trees	91,10	96,32	97,13	99,07
Kappa	Naïve Bayes	0,466	0,540	0,518	0,680
	k-NN	0,355	0,410	0,362	0,432
	Neural Net	0,878	0,909	0,878	0,930
	Deep Learning	0,858	0,937	0,892	0,956
	Decision Tree	0,579	0,594	0,828	0,955
	Random Forest	0,507	0,630	0,869	0,920
	Gradient Boosted Trees	0,886	0,955	0,964	0,988
RMSE	Naïve Bayes	0,538	0,492	0,512	0,420
	k-NN	0,589	0,560	0,592	0,564
	Neural Net	0,259	0,214	0,257	0,195
	Deep Learning	0,268	0,179	0,239	0,154
	Decision Tree	0,502	0,483	0,336	0,172
	Random Forest	0,572	0,508	0,317	0,254
	Gradient Boosted Trees	0,368	0,298	0,147	0,078

Table 2: Algorithm's Performance in Several Categories

From this point forth, another approach is taken, comparing each algorithm's performance. Starting with k-NN, the results prove its ineffectiveness in dealing with our classification problem. It is considered to be a sensitive algorithm, which means the results can be impacted by noise or irrelevant data and as a sampling was not developed in our data, its lackluster performance is understandable on this algorithm, due to its aforementioned shortcomings.

Although NB achieved better results than k-NN, it also was incapable of obtain high accuracy, precision or recall percentages. Despite being a swift and simple classifier, its assumption that every attribute is independent, thus failing to establish relations between them, results in it having a subpar performance.

Analysing the two neural network-based algorithms (NN and DL), it is observed that these two live up to the expectations as a powerful, complex and high computational effort type approach, as the results shows a 90+ percentage of Accuracy in every data set executed. One can't disregard that, for most scenarios, a small gain on the DL classifier is observed which can represent a tiebreaker on an hypothetical decision regarding the use of a NN algorithm.

Proceeding to the analysis of each one of the three tree-based algorithms implemented, among which lies the best model achieved. The first one, DT, uses a single decision tree to support its decisions whereas RF uses sequentially built multiple trees. Taking this into consideration, one could erroneously come to a conclusion that RF would achieve better results, while the results proved otherwise. This outcome proves the great overall performance returned by DT, and its better usability over RF for this specific context.

Finally, GBT, a RF variation capable of building its multiple decision trees at once, became our model's benchmark. With a 99+% Accuracy, Precision and Recall allied to an emphasized small RMSE comparatively to the rest, this is the ML algorithm selected to model this DM process. Although the ability of building its decision trees increases the algorithm complexity and computational effort concurrently, when compared to a neural network algorithm such as DL, the costs are similar generating however better results for the cost it poses.

4 Conclusion

Hospitals institutions face daily challenges that come with very limited resources, specially in this COVID-19 pandemic time, and LOS is a crucial factor for better planning and management. In this context, the prediction of a patient's LOS can help a hospital to achieve many goals such as better benchmark performance in terms of profitability, patient care and process efficiency. With that purpose, this study tried to illustrate every stage behind CRISP-DM methodology, clarifying all the steps that helped the achievement of satisfactory results in predicting how long will a patient stay in an ICU. With this study, it was also proved the success of DMM in attaining this classification goal.

Overall a great result was obtained using the GBT algorithm with optimized parameters and with the presence of all attributes, achieving an accuracy of 99,19%, a precision of 99,25% and a recall of 99,07%, percentages high enough to prove that the main goal was successfully accomplished.

This study proves that, for the used dataset, the GBT algorithm is capable of predicting LOS in ICU with an accuracy of approximately 99%. However, this result does not mean that the model would be able to predict LOS in ICU with the same accuracy when using other data, being required a larger volume of data to assess the model's generalization ability. In this sense, it should be noted that the process described in this study lacks a few requirements that reveal potential in improving the obtained results and, consequently, achieving more rigorous conclusions through valuable information. Firstly, during the data preparation stage, a step of sampling could have been developed in order to balance the

dataset. For instance, with a SMOTE sampling technique capable of generating new records of the minority class. With this, algorithms such as k-NN would see a big increase in performance due to its better results over balanced data. Secondly, the data extraction from the hospital could be improved in order to record patient's individual data concerning previous entries in ICU and whether those occurred in recent years, especially at this time of the COVID-19 pandemic, where the collection of data related to this context would be of high importance. Although being relevant to conduct this study with data from the ICU during COVID-19, the acquisition of the data is still challenging. With a recent and more detailed raw data, a more precise model could be developed.

Acknowledgements

This work has been supported by FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia within the R&D Units Project Scope: UIDB/00319/2020.

References

1. Lee, T., Liu, C., Kuo, Y., Mills, M., Fong, J., Hung, C.: Application of data mining to the identification of critical factors in patient falls using a web-based reporting system. *International Journal of Medical Informatics*, p. 141-150 (2011).
2. Neto, C., Brito, M., Lopes, V., Peixoto, H., Abelha, A., Machado, J.: Application of Data Mining for the Prediction of Mortality and Occurrence of Complications for Gastric Cancer Patients. *Entropy* 21(12), 1163 (2019).
3. Han, J., Pei, J., Kamber, M.: *Data Mining: Concepts and Techniques*. 3rd edn. Elsevier (2011).
4. Baek, H., Cho, M., Kim, S., Hwang, H., Song, M., Yoo, S.: Analysis of length of hospital stay using electronic health records: A statistical and data mining approach. *PLOS ONE*, p. 16 (2018).
5. Veloso, R., Portela, F., Santos, M., Machado, J. M., Abelha, A., Silva, Á., Rua, F.: Real-time data mining models for predicting length of stay in intensive care units. *KMIS 2014 - Proceedings of the International Conference on Knowledge Management and Information Sharing*, p. 245-254 (2014).
6. Navaz, A. N., Mohammed, E., Serhani, M. A., Zaki, N.: The use of data mining techniques to predict mortality and length of stay in an ICU. In *12th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*, pp. 1-5. IEEE (2016).
7. Neto, C., Peixoto, H., Abelha, V., Abelha, A., Machado, J.: Knowledge Discovery from Surgical Waiting lists. *Procedia Computer Science* 121, 1104-1111 (2017).
8. Scarlet, A.: MIMIC3d aggregated data - ICU aggregated data as number of interactions between patient and hospital , Version 1, <https://www.kaggle.com/drscarlat/mimic3d>.
9. Whaley, D. L.: *The Interquartile Range: Theory and Estimation*. Electronic Theses and Dissertations. Paper 1030 (2005).
10. Martins, B., Ferreira, D., Neto, C., Abelha, A. and Machado, J.: Data Mining for Cardiovascular Disease Prediction. in *Journal of Medical Systems*. Volume 45(1). Springer. 2021

Conclusões e Trabalho Futuro

4.1 Conclusões

Várias metodologias têm surgido em resposta à procura do melhor método para representar o raciocínio ético e, desta forma, resolver o problema com base no paradigma da Inteligência Artificial. Após todos os anos de investigação defende-se ainda através deste documento que a [PLC](#) expõe características que superam as principais deficiências de outras técnicas, tais como a técnica da *blackbox*. Uma das grandes vantagens é a introdução do contexto da modelação da ética. Sendo que, a maioria dos conhecimentos da confiança baseia-se em princípios deontológicos e é voltada para análise de peritos, este é de facto um ponto de relevo a favor da [PLC](#).

O princípio da exceção da modelação apresenta uma modelação que é claramente compreendida pelos peritos e especialistas, apresentada através de árvores de prova e em que o tratamento é claramente identificável, previsível e atualizável. O objetivo primordial do uso do [PLC](#) não é simular o raciocínio moral em si, mas sim permitir que a decisão conjete estruturas de apoio, que levam em conta o contexto moral. Essa é a principal razão que para o corpo clínico é essencial, ou seja, a possibilidade de justificar a decisão moral e as suas dúvidas em tempo real. Usando tais princípios de modelação, o corpo clínico poderia recorrer ao apoio da decisão moral, em tempo real e entender a linha de raciocínio implícito na decisão aconselhada pelo sistema.

Embora ainda exista um longo caminho a percorrer antes que tais sistemas de apoio sejam implementados, neste estudo de modelação e de representação moral é essencial para definir a estrutura primordial em que a moral pode ser introduzida em sistemas futuros.

Este último capítulo denominado de Conclusão apresenta as principais 8 contribuições científicas publicadas.

1. "Modeling Intelligent Agents to Integrate a Patient Monitoring System" - Modelação de Agentes Inteligentes para a Integração de um Sistema de Monitorização de Pacientes

As unidades de cuidados intensivos são um bom ambiente para a aplicação de sistemas inteligentes na área da saúde, devido ao seu ambiente crítico que requer diagnóstico, monitorização e tratamento de pacientes com doenças graves. Um sistema inteligente de apoio à decisão - INTCare, foi desenvolvido e testado no Centro Hospitalar Universitário do Porto, um hospital no Porto, Portugal. A necessidade de detetar a presença ou ausência do paciente na cama, a fim de interromper a colheita de dados redundantes sobre o estado vital do utente, levou ao desenvolvimento de um sistema de localização e monitorização de **RFID**, chamado **Perceptual and Adaptive Learning Modules (PaIMS)**, capaz de identificar de forma única e inequívoca um paciente e perceber a sua presença na cama de uma maneira omnipresente, tornando o processo de colheita de dados e alerta mais preciso. Também foi desenvolvido um sistema multi-agente inteligente para integração do **PaIMS** na plataforma de interoperabilidade do hospital (AIDA), utilizando as características de agentes inteligentes para o processo de comunicação entre o equipamento **RFID**, o módulo INTCare e o Sistema de Gestão de Utentes, usando o **Health Level Seven (HL7)** padrão incorporado nos comportamentos do agente.

O **PaIMS** reúne muitas tecnologias emergentes na área da saúde para resolver o problema com o qual estamos lidando: a necessidade de reconhecer e monitorizar a presença do paciente no local específico, otimizando o sistema de assistência médica. Além da fase de desenvolvimento, foram feitos testes para avaliar a potencialidade desse tipo de sistema de monitorização e as possíveis falhas. Porém, os sistemas multiagente trazem muitas vantagens se devidamente adaptados, garantindo ao sistema persistência, versatilidade e confiabilidade. Ter o **HL7** embutido no processo de troca de mensagens não trouxe desvantagens nem problemas no processo. Este tipo de sistema de monitorização utilizando **RFID** pode ser aplicado e testado em outras unidades de saúde, para monitorizar a movimentação de pacientes dentro do hospital ou em alguma unidade específica, para rastrear um médico específico necessário naquele momento, etc. À medida que a plataforma principal é desenvolvida, tais sistemas **RFID** podem ser inseridos e implementados nas instalações hospitalares, agilizando o processo. O facto de os agentes inteligentes serem evoluídos com o núcleo de informações hospitalares, como o sistema de gestão de pacientes, possibilita que o hospital tenha esse tipo de informação coletada por sistemas **RFID** disponíveis e capazes de se comunicar com qualquer outro sistema ou unidade, tornando todo o processo interoperável. Um aspeto que exige atenção é a persistência dos dados entre as comunicações dos agentes. Como estamos lidando com pacientes, principalmente em **UCI**, que correm risco de vida, tal sistema não pode estar não preparado para possíveis falhas, sistemas contendo os agentes sendo desligados, perdendo as informações de partida ou parada ou falhas de leituras do **RFID** ou do sistema de informação. Portanto, uma forma de armazenar informações sobre o estado dos agentes, mensagens recebidas e enviadas por agentes, entre outros, consiste no passo seguinte, a partir do armazenamento de dados em bases de dados analíticas.

2. "Morality in group decision support systems in medicine" - Moralidade nas decisões de grupo, nos sistemas de suporte à decisão médica

O principal objetivo deste artigo foi abordar os problemas de moralidade e do comportamento ao usar sistemas multiagente como metodologia para a resolução de problemas, quando aplicados a Sistemas de Apoio à Decisão em Grupo em Medicina, onde o universo do discurso é modelado em termos da [Multi-valued Extended Logic Program \(MupELP\)](#). Também se apresentou um método formal para avaliar decisões morais e o comportamento moral, aceite como um processo de quantificação da PLC, medido como a quantidade de Qualidade da Informação resultante dos programas lógicos que fazem a extensão de PLC. Por outro lado, inclui-se também um processo de qualificação. Uma extensão de um programa lógico como uma base de dados relacional, aproveitando o poder da álgebra relacional para fins de solução de problemas, ou seja, para definir o motivo pelo qual algo é feito ou criado ou para o qual algo existe.

O primeiro objetivo deste estudo foi apresentar um exemplo simples para discutir um modelo computacional para selecionar e quantificar a qualidade da informação de programas lógicos ou teorias para resolver problemas específicos de raciocínio ético numa reunião de grupo. Com o crescente uso de aplicativos da Web para realizar o Registo Eletrónico de Saúde (EHR) em estabelecimentos de saúde, o suporte à decisão em grupo tem o potencial de ser facilmente integrado para apoiar o *e-learning* médico e clínico e fornecer assistência à vida. De facto, a habitual necessidade de documentação e informações específicas por parte da equipe médica pode ser facilmente suprida por esses sistemas, dando um novo passo em direção a um sistema de saúde sem papel. Além disso, este sistema permite um melhor desempenho, economizando tempo e esforço enquanto orienta os utilizadores ao mesmo tempo. Por exemplo, este sistema tem demonstrado grande potencial na área de estadiamento do câncer, idosos e Terapia Intensiva, onde os dilemas morais têm um alto nível de importância. Como especificamos um limite para reduzir a explosão combinatória das soluções, estamos descartando caminhos de pesquisa não promissores que podem ser o melhor caminho para os resultados. Futuramente, através da implementação de métodos de convergência dentro de programas de criatividade, em termos de PLC, criaremos um modelo de evolução para otimizar as melhores teorias quantificadas pela abordagem do modelo computacional apresentado neste trabalho. Usando o paradigma Evolucionário e PLC multivalorizado poderemos prever a evolução de um programa empregando as metodologias de resolução de problemas que beneficiam do uso da abdução.

3. "A Step Towards Medical Ethics Modeling" - Um Passo em Direção à Modelação Ética na Medicina

A modelação do raciocínio ético é uma questão de debate e pesquisa entre os investigadores de diversas áreas científicas. Ainda assim, nenhum modelo definido demonstrou superioridade global sobre os outros. Conclui-se por isso que o contexto de aplicação do raciocínio moral, não aplicado a nenhum dos modelos já definidos, pode exigir uma metodologia diferente. Em áreas como a medicina, onde a

qualidade de vida e a própria vida de um utente podem estar em risco, a capacidade de tornar o processo de raciocínio compreensível e justificável para a equipa e de mudar é de suma importância. Neste artigo, apresentam-se algumas das linhas de modelação do raciocínio ético aplicadas à medicina e defendemos que a programação em lógica apresenta potencial para o desenvolvimento de sistemas confiáveis de apoio à decisão moralmente conscientes. Também é apresentado um modelo de decisão moral aplicado a duas situações bastante recorrentes nas Unidades de Cuidados Intensivos, que se reconhece ser um serviço em que a complexidade moral das decisões regulares. Este facto é visto como uma motivação para a análise e o desenvolvimento de metodologias de apoio à decisão moral.

Diferentes metodologias de resolução de problemas baseadas no paradigma de IA têm sido propostas para modelar o raciocínio ético, porém consideramos que a programação em lógica contínua expressa características que superam as principais deficiências de outras técnicas como as técnicas de caixa preta. Uma das principais vantagens do uso do PLC diz respeito ao próprio contexto da modelagem ética, pois a maior parte do conhecimento confiável é baseado em princípios deontológicos e é orientado para a consideração de especialistas. A modelação de princípio e exceção demonstrada apresenta uma modelação claramente compreensível por especialistas, rastreável por meio de árvores de prova e cujo processamento é claramente identificável, previsível e atualizável. O objetivo final do uso do PLC não é simular o raciocínio moral em si, mas sim possibilitar arquiteturas de suporte à decisão, que levam em conta o contexto moral. Essa é a razão pela qual a possibilidade de justificar a decisão moral e a dúvida em tempo real para o corpo clínico é essencial. Usando tais princípios de modelação, essa equipe poderia recorrer ao suporte à decisão moral em tempo real e entender a linha de raciocínio implícita na decisão aconselhada pelo sistema. Embora um longo caminho tenha que ser percorrido antes que tais sistemas de apoio à decisão com consciência moral sejam implementados, este estudo de modelação e representação moral é essencial para definir a estrutura basilar na qual a moralidade pode ser embutida em sistemas futuros.

4. "A Moral Decision Support System in Medicine" - Um Sistema de Apoio à Decisão Moral em Medicina

As UCI são, nos hospitais, unidades especiais onde o uso da ética é comum. Normalmente, existem poucas camas disponíveis e os custos financeiros são enormes. Neste artigo, é apresentado um modelo para a simulação da alocação de recursos, numa UCI. Sendo um problema que trata da vida humana, as decisões devem ser apoiadas por um processo de raciocínio sólido, a fim de causar um número mínimo de possíveis eventos adversos. Portanto, é importante introduzir o conceito de ética e de raciocínio moral, em particular, tirando o máximo proveito da moral ao nível do agentes de software, que são entidades capazes de tomar decisões baseadas em requisitos morais. Essas entidades têm também um comportamento inteligente, simulando um médico em caso de superlotação de pacientes na Unidade. O processo

de decisão é realizado com base no cálculo de fatores críticos, incluindo uma taxa de mortalidade, a qualidade de sobrevivência e os custos financeiros. A taxa de mortalidade é calculada com base no algoritmo SAPS3.

A partir de um grande conjunto de dados e das estimativas de pesos de todas as alternativas para resolver um problema, é possível o desenvolvimento de um modelo genérico de tomada de decisão capaz de auxiliar rapidamente o utilizador. Os recursos utilizados durante este projeto foram a linguagem Java e a base de dados Oracle, que se revelaram muito úteis para a criação de aplicações de três camadas. Foi desenvolvida e validada uma base de dados capaz de armazenar a informação necessária e suportar as consultas requeridas. Foi também desenvolvido um agente com raciocínio moral capaz de analisar e ponderar as várias hipóteses, escolhendo as mais aconselháveis. Uma grande dificuldade encontrada foi com relação às informações de medidas e regras e, conseqüentemente, o cálculo das taxas, devido ao conhecimento limitado na área de medicina. Uma desvantagem deste facto foi o uso de regras que não eram reais, mas mesmo assim revelaram-se úteis no contexto da simulação. Constatou-se que o sistema é capaz de fazer o que foi objetivado. No entanto, ainda são necessárias algumas funcionalidades adicionais, de forma a tornar a aplicação mais robusta, confiável e completa. Foram feitas também algumas implementações baseadas em diferentes abordagens, que foram abandonadas.

5. "Intelligent Agents and Medical Moral Dilemmas" - Agentes Inteligentes e Dilemas Morais Médicos

Neste trabalho, encontram-se debatidos os dilemas morais em Medicina sob a perspectiva de um quadro emergente para a solução de problemas, que baseia seu poder computacional no conceito de agente, sob o paradigma da Programação em Lógica Estendida para a representação do conhecimento e raciocínio. De facto, nem sempre é clara a opção de como escolher as melhores conseqüências e como elas são alcançadas. Existem algumas questões que devem ser levantadas neste processo, tais como:

- Quais são os princípios que entram em conflito e como decidir quais são os que devem prevalecer?
- Como levar em consideração a importância do elemento emocional e a experiência humana?
- Como é que a ética moral se concentra no carácter do agente moral, e não na correção de uma ação?

Em suma e, considerando essas relações, sensibilidades emocionais e motivações, entende-se que o papel das aplicações baseadas em computador pode ser melhor estudado em termos de um processo de quantificação da qualidade da informação que deriva das teorias lógicas ou programas que criam o agente e direciona o seu comportamento sob uma estrutura computacional como a mencionada acima.

Entende-se que sendo o estudo da moral endossado por um número significativo de investigadores, a área não pertence apenas à comunidade dos filósofos. De facto, e como é apresentado neste estudo, a moralidade está sendo estudada do ponto de vista computacional, o que pode levar a sistemas que podem endossar teorias morais, que por sua vez englobam o uso de agentes de software. Pretendemos garantir

que o comportamento das máquinas em relação aos utilizadores humanos, e talvez a outras máquinas também, seja eticamente aceitável. Apresentamos também um exemplo de nossa investigação no campo que mostra que é possível, para uma máquina, abstrair um princípio ético de exemplos de julgamentos éticos corretos, dados em termos de teorias ou programas lógicos, e usar esse princípio para guiar o seu próprio comportamento.

6. "Agent Based Interoperability in Hospital Information Systems" - Interoperabilidade Baseada em Agente em Sistemas de Informação Hospitalar

A área da saúde configura um ambiente de complexidade e cooperação. Os sistemas de informação devem trocar inúmeras e distintas informações de forma rápida e de forma consolidada. No que diz respeito à interoperabilidade dos cuidados de saúde, inúmeras técnicas, metodologias, arquiteturas e padrões são as mais comuns. No entanto assuntos como distribuição de serviços, tolerância a falhas, padrões, comunicação e sistemas fortemente ligados ainda são questões de preocupação. Este artigo tem como objetivo propor e explicar uma arquitetura baseada em multiagente que usa o padrão HL7 como um meio para a implementação da interoperabilidade em ambientes de saúde. São definidos os conceitos de distribuição, consolidação da informação, visando sistemas heterogêneos para comunicar para benefício mútuo, através de agentes de *middleware* que validam e consolidam informações.

O uso de sistemas multiagente para resolver problemas de interoperabilidade constitui uma oportunidade significativa de pesquisa para melhorar a comunicação entre sistemas heterogêneos. Vários dos interesses de pesquisa da tecnologia de agentes como ontologias, 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 voltado para um SIS com formas aprimoradas de interoperabilidade, é de grande importância e interesse, pois o HL7 é o padrão mais comum para a comunicação em saúde entre sistemas heterogêneos. Este módulo foi introduzido gradualmente no sistema multiagente de produção. A característica mais importante desta arquitetura e deste modelo é que ao invés de uma malha de comunicação ponto a ponto ou uma grande centralização de processamento, este paradigma é por natureza distribuído mas permite uma consolidação da validação processual e clínica da informação. Essa consolidação é essencial para o estabelecimento de um registo eletrônico completo num ambiente em que existem sistemas de informação heterogêneos.

7. "Stand-Alone Electronic Health Record" - Processo Clínico Eletrônico Autônomo

Os hospitais têm feito um esforço para assegurar a disponibilidade contínua de dados, mantendo a confiança na informação e na escalabilidade ao mais baixo preço possível. A qualidade e a rapidez de acesso à informação são garantidas. Por outro lado, os sistemas de informação estão a tornar-se centralizados, e as diretrizes clínicas estão gradualmente a ser desmaterializadas. O acesso apenas à informação dos pacientes e aos registos médicos eletrônicos, mesmo em situações críticas, é agora uma

realidade. Apesar dos esforços acima mencionados, existe ainda a possibilidade de dificuldades de acesso à informação em caso de falhas de rede ou de energia, ou no caso de uma catástrofe local imprevisível. Neste documento, apresenta-se uma extensão ao [Processo Clínico Eletrónico \(PCE\)](#), apelidado de módulo autónomo, para assegurar o acesso hospitalar ao mais pequeno registo clínico. Esta solução mantém a continuidade da qualidade do tratamento dos pacientes em casos de falhas dos [SIS](#).

O módulo desenvolvido permite o acesso a informação crítica sobre o estado de saúde dos pacientes em qualquer altura e em caso de falhas dos sistemas de informação. Assim, a informação crítica pode ser facilmente acedida durante uma falha da rede ou uma falha da base de dados. De facto, este módulo é mais vantajoso do que os sistemas de backup convencionais e pode ser assumido como uma característica chave no funcionamento adequado de um [SIS](#). Da mesma forma, este projeto melhora o nível de confiança nos registos de saúde eletrónicos por parte dos profissionais de saúde. Este sistema foi incluído no conjunto de sistemas que são monitorizados a fim de evitar cenários de mau funcionamento. A construção prévia do Processo Clínico Eletrónico Autónomo é por isso muito importante para o desenvolvimento dos sistemas inteligentes que utilizam o raciocínio ético.

8."Step Towards Predicting Patient Length of Stay in Intensive Care Units" - Passo em Direção à Previsão do Tempo de Permanência de Pacientes nas Unidades de Cuidados Intensivos

A quantidade de dados recolhidos, diariamente nos hospitais crescem de dia para dia, sendo necessários novos métodos de armazenamento. Estes dados podem ser utilizados para extrair ou inferir conhecimento oculto, que pode ser crucial para estimar o tempo de estadia dos pacientes internados, a fim de melhorar a gestão dos recursos hospitalares. Assim, o artigo apresentado mostra a análise do desempenho de diferentes técnicas de *data mining* através da aplicação de algoritmos de aprendizagem para prever o tempo de estadia dos pacientes quando admitidos a uma Unidade de Cuidados Intensivos. Os dados utilizados neste estudo contêm cerca de 60.000 registos e 28 características com informações pessoais e médicas. Uma análise completa dos resultados obtidos com diferentes algoritmos de Aprendizagem Mecânica mostrou que o modelo treinado com o algoritmo *Gradient Boosted Trees* e utilizando apenas as características fortemente correlacionadas com o tempo de estadia do paciente, alcançou o melhor desempenho com 99,19% de exatidão. Neste sentido, foi alcançada uma compreensão precisa dos fatores associados ao tempo de estadia em unidades de cuidados intensivos.

As instituições hospitalares enfrentam desafios diários com recursos muito limitados, principalmente neste momento de pandemia de COVID-19, e o tempo de internamento é um fator crucial para um melhor planeamento e gestão. Nesse contexto, a previsão do tempo de permanência de um paciente pode ajudar um hospital a atingir muitos objetivos, como melhor desempenho de *benchmark* em termos de lucro, atendimento ao paciente e eficiência do processo. Com esse objetivo, este estudo procurou ilustrar todas as etapas por trás da metodologia *CRISP-DM*, esclarecendo todas as etapas que auxiliaram na obtenção de resultados satisfatórios na previsão de quanto tempo um paciente permanecerá em uma [UCI](#). Com

este estudo, comprovou-se também o sucesso do *DMM* em atingir este objetivo de classificação. No geral foi obtido um ótimo resultado utilizando o algoritmo *GBT* com parâmetros otimizados e com a presença de todos os atributos, alcançando uma acuidade de 99,19%, uma precisão de 99,25% e um *recall* de 99,07%, percentuais altos o suficiente para provar que o objetivo principal foi alcançado com sucesso. Este estudo comprova que, para o conjunto de dados utilizado, o algoritmo *GBT* é capaz de prever o tempo de internamento em *UCI* com uma precisão de aproximadamente 99%. No entanto, esse resultado não significa que o modelo seria capaz de prever o tempo de permanência em *UCI* com a mesma precisão ao utilizar outros dados, sendo necessário um volume maior de dados para avaliar a capacidade de generalização do modelo. Nesse sentido, deve-se notar que o processo descrito neste estudo carece de alguns requisitos que revelam potencial para melhorar os resultados obtidos e, conseqüentemente, chegar a conclusões mais rigorosas por meio de informações valiosas. Em primeiro lugar, durante a etapa de preparação dos dados, uma etapa de amostragem poderia ter sido desenvolvida para balancear o conjunto de dados. Por exemplo, com uma técnica de amostragem *SMOTE* capaz de gerar novos registros da classe minoritária. Com isso, algoritmos como o *k-NN* teriam um grande aumento no desempenho devido aos seus melhores resultados sobre dados balanceados. Em segundo lugar, a extração de dados do hospital poderia ser melhorada para registrar os dados individuais do paciente referentes a entradas anteriores em *UCI* e se ocorreram nos últimos anos, principalmente neste momento de pandemia de COVID-19, onde a recolha de dados neste contexto seria de grande importância. Apesar de ser relevante realizar este estudo com dados da *UCI* durante a COVID-19, a aquisição dos dados ainda é um desafio. Com dados brutos recentes e mais detalhados, um modelo mais preciso poderia ser desenvolvido.

Relativamente às perguntas de investigação, concluiu-se que os oito estudos apresentados no capítulo de "Casos de Estudo" permitiram a obtenção das respectivas respostas:

- **Questão 1.** De que forma se pode garantir os princípios éticos no contexto de um sistema de informação hospitalar?

Considerando todas as variedades dos princípios éticos entende-se que a garantia dos princípios éticos pode ser atingida através de processos de quantificação, qualidade e segurança da informação.

- **Questão 2.** Qual é o papel, em contexto hospitalar, de um sistema de suporte à decisão clínica, baseado em regras éticas?

A quantidade de dados recolhidos, diariamente nos hospitais cresce de dia para dia, sendo necessários novos métodos de armazenamento e de modelação. Estes dados podem ser utilizados para extrair ou inferir conhecimento oculto desde que sejam garantidas as regras éticas previamente definidas. Esta tarefa é facilmente atingida através dos sistemas de suporte à decisão.

- **Questão 3.** Quais são os requisitos principais para a construção e a implementação de um sistema inteligente de apoio à decisão baseada em regras éticas?

Nos casos de estudos, é feita referência a um sistema inteligente de apoio à decisão - *INTCare*, que foi desenvolvido e testado no Centro Hospitalar Universitário do Porto. A necessidade de detetar a presença ou ausência do paciente na cama, a fim de interromper a colheita de dados redundantes sobre o estado vital do utente, levou ao desenvolvimento de um sistema de localização e monitorização usando *RFID - PalMS*, capaz de identificar de forma única e inequívoca um paciente e perceber a sua presença na cama de uma maneira omnipresente, tornando o processo de colheita de dados e alerta mais preciso. Também foi desenvolvido um sistema multi-agente inteligente para integração do *PalMS* na plataforma de interoperabilidade do hospital (*AIDA*), utilizando as características de agentes inteligentes para o processo de comunicação entre o equipamento *RFID*, o módulo *INTCare* e o Sistema de Gestão de Utentes, usando o *HL7* padrão incorporado nos comportamentos do agente. Nos sistemas de informação hospitalar, a interoperabilidade é o primeiro passo para a construção do processo clínico eletrónico, mais fiável, mais disponível e mais preciso. Foram também identificados e definidos esses requisitos nos estudos apresentados. A recolha de informação com qualidade é também fundamental para a construção de sistemas de previsão, que permitam reduzir os riscos associados à tomada de decisão e à ocorrência de eventos adversos.

- **Questão 4.** Qual é a metodologia adequada para incluir moralidade nas decisões em grupo?

Foi proposto um sistema multiagente como metodologia para a resolução de problemas, quando aplicados a Sistemas de Apoio à Decisão em Grupo em Medicina. O universo do discurso foi modelado em termos de uma linguagem lógica e foi definido um modelo computacional para selecionar e quantificar a qualidade da informação de programas lógicos ou teorias para resolver problemas específicos de raciocínio ético numa reunião de grupo.

- **Questão 5.** Qual é a metodologia adequada para a modelação do raciocínio ético?

A modelação do raciocínio ético é uma questão de debate e pesquisa entre os investigadores de diversas áreas científicas. Ainda assim, nenhum modelo definido demonstrou superioridade global sobre os outros. Conclui-se por isso que o contexto de aplicação do raciocínio moral, não aplicado a nenhum dos modelos já definidos, pode exigir uma metodologia diferente. A programação em lógica contínua expressa características que superam as principais deficiências de outras técnicas como as técnicas de caixa preta. Uma das principais vantagens do uso do *PLC* diz respeito ao próprio contexto da modelagem ética, pois a maior parte do conhecimento confiável é baseado em princípios deontológicos e é orientado para a consideração de especialistas. A modelação de

princípio e exceção demonstrada apresenta uma modelação claramente compreensível por especialistas, rastreável por meio de árvores de prova e cujo processamento é claramente identificável, previsível e atualizável.

- **Questão 6.** Qual é o processo de raciocínio sólido que permita causar um número mínimo de possíveis eventos adversos?

As decisões devem ser apoiadas por um processo de raciocínio sólido, fiável e confiável, a fim de causar um número mínimo de possíveis eventos adversos. A modelação de princípio e exceção demonstrada apresenta uma modelação claramente compreensível por especialistas, rastreável por meio de árvores de prova e cujo processamento é claramente identificável, previsível e atualizável.

- **Questão 7.** Podem os dilemas morais serem resolvidos num quadro de poder computacional baseado no agente de software?

Encontram-se debatidos os dilemas morais em Medicina sob a perspetiva de um quadro emergente para a solução de problemas, que baseia o seu poder computacional no conceito de agente de software. A moralidade é estudada do ponto de vista computacional, o que pode levar a sistemas que podem endossar teorias morais, que por sua vez englobam o uso de agentes de software. Pretendemos garantir que o comportamento das máquinas em relação aos utilizadores humanos, e talvez a outras máquinas também, seja eticamente aceitável.

- **Questão 8.** Podem os dilemas morais serem resolvidos num quadro de poder computacional baseado na programação em lógica contínua?

O paradigma da Programação em Lógica Contínua permite resolver o problemas de representação do conhecimento e raciocínio. Apresentamos um exemplo que mostra que é possível, para uma máquina, abstrair um princípio ético de exemplos de julgamentos éticos corretos, dados em termos de teorias ou programas lógicos, e usar esse princípio para guiar o seu próprio comportamento.

- **Questão 9.** De que forma se garante a consolidação e a disponibilidade da informação de forma a tornar mais fiável a resolução de dilemas morais?

O uso de sistemas multiagente para resolver problemas de interoperabilidade constitui uma oportunidade significativa para melhorar a comunicação entre sistemas heterogéneos. Pelo outro lado, a consolidação é essencial para o estabelecimento de um registo eletrónico completo num ambiente em que existem sistemas de informação heterogéneos. Esta solução mantém a continuidade da qualidade do tratamento dos pacientes em casos de falhas dos sistemas. A construção prévia do Processo Clínico Eletrónico Autónomo é também muito importante para o desenvolvimento dos sistemas inteligentes que utilizam o raciocínio ético.

- **Questão 10.** Como se utiliza o conhecimento resultante de processos de previsão no raciocínio ético?

Dados dos sistemas de informação heterogêneos podem ser utilizados para extrair ou inferir conhecimento oculto, que pode ser crucial para estimar o tempo de estadia dos pacientes internados, a fim de melhorar a gestão dos recursos hospitalares e de contribuir para o raciocínio ético. A qualidade dos processos de previsão é fundamental para reduzir a possibilidade de ocorrência de eventos adversos que possam comprometer os resultados das decisões.

4.2 Trabalho Futuro

Os próximos passos são o estudo e a conceção de uma plataforma inovadora com capacidade analítica e preditiva que possa transformar a avaliação da condição clínica dos pacientes admitidos ou em fase de triagem, com aplicação à área do internamento hospitalar. A plataforma deverá ser utilizada como um sistema de apoio à decisão clínica capaz de integrar, em tempo real, dados de diferentes origens, técnicas avançadas de análise e processamento de dados, normas éticas, algoritmos de inteligência artificial e técnicas avançadas de visualização de informação. Os dados relevantes dos pacientes serão extraídos do **EHR**, que regista continuamente grandes conjuntos de dados estruturados. As regras éticas são um requisito crucial desta plataforma. Uma forma de satisfazer estas aspirações é dotar o sistema com a capacidade de registar automaticamente regras éticas, as quais devem ser previamente verificadas. Para além disso, a plataforma deverá oferecer acesso a um vasto conjunto de informações descritivas e preditivas como indicadores clínicos e de desempenho que são determinantes no processo de tomada de decisão. Assim, foi dado o primeiro passo para a construção de um sistema inteligente, independente e imparcial, capaz de examinar as diversas condições clínicas, as inúmeras possibilidades de diagnóstico e terapêutica, os recursos clínicos disponíveis, os eventuais resultados dos cuidados prestados aos pacientes, bem como as consequências benéficas e adversas que cada decisão trará. Este sistema deverá ter a capacidade de auxiliar a gestão clínica e a prestação de cuidados de saúde, oferecendo grandes benefícios aos pacientes e profissionais de saúde, já que reduz a morbilidade, a duração do internamento e a mortalidade, visando assim a melhoria contínua dos processos e dos recursos.

A quantidade de dados artilhados dentro e entre ambientes clínicos (dados integradas em sistemas e processos do ambiente clínico) podem afetar a prestação de cuidados de saúde de alta qualidade. A disponibilidade desta informação está condicionada pelos níveis de interoperabilidade nos **SIS**. A abordagem da *OpenEHR Foundation* para **EHR** é considerada um padrão de interoperabilidade muito completo e ganhou atenção na comunidade de informática em saúde. O principal objetivo do *openEHR* é permitir a construção de sistemas que possam comunicar entre si sem perder o significado do conteúdo (interoperabilidade semântica) para facilitar a criação e a partilha de registos de saúde do paciente para a comunidade médica [3] [12].

O projeto de investigação será desenvolvido no Centro de Investigação ALGORITMI, uma unidade de investigação da Universidade do Minho que tem colaborações com hospitais de todo o país. A solução será inicialmente concebida, implementada e avaliada no Centro Hospitalar e Universitário do Porto (CHUP).

No futuro, deve-se alargar o número de casos de estudo para confirmar e reforçar a credibilidade da solução, nomeadamente com parcerias com outras unidades de Saúde, com as quais o Centro de Investigação ALGORITMI tem colaborações em todo o país. Está previsto a realização de um estudo sob uma metodologia de trabalho orientada para problemas e usando o paradigma do pragmatismo, procurando descobrir conhecimentos com o objetivo de melhorar as ações e as práticas humanas em ambientes do mundo real. Particularmente, como a investigação envolve medicina e tecnologia, as colaborações com instituições de saúde são cruciais para o desenvolvimento de soluções orientadas para os problemas.

Em relação à recolha de dados, deverá incluir-se dados primários e secundários. Os dados primários serão obtidos por meio de observação, questionários, entrevistas semi-estruturadas e grupos focais. Os princípios éticos são um aspeto central desse estudo e, logicamente, na recolha de dados primários, as considerações éticas serão salvaguardadas através da garantia de privacidade, confidencialidade e preocupações de sensibilidade para todos os participantes. Por sua vez, os dados secundários abrangerão materiais de fontes primárias, como teses e atas de congressos, e fontes secundárias, como revistas e livros. Como o estudo decorrerá em ambiente hospitalar real, uma pesquisa-ação contínua é essencial para o sucesso do projeto. Uma pesquisa-ação contínua permitirá uma exploração aprofundada do fenómeno no seu ambiente natural e um equilíbrio entre a solução de investigação encontrada para solucionar o problema e a sua constante experimentação nas unidades de saúde. Além disso, esta investigação colaborativa baseada em dados promove o entendimento das causas subjacentes que permitirão prever futuras mudanças no ambiente das unidades de saúde. A certeza de uma proposição teórica intensifica-se com o teste empírico repetido da hipótese correspondente em diferentes situações. Nesse sentido, esta investigação utilizará uma abordagem de estudo de caso. Os casos de estudo correspondem às várias unidades de internamento dos hospitais portugueses que colaboram com o Centro de Investigação ALGORITMI. O facto de estas parcerias já estarem estabelecidas há algum tempo significa um maior conhecimento destas instituições e das suas necessidades, bem como uma maior agilidade e flexibilidade na comunicação entre os diferentes intervenientes. Quanto maior o número de estudos de caso, maior a diversidade de dados e, conseqüentemente, maiores as chances de desenvolver uma solução generalizada adequada para ambientes de saúde semelhantes. Nesse sentido, está prevista a realização de diversas reuniões com essas instituições de saúde, com equipas multidisciplinares, incluindo médicos e enfermeiros de diferentes especialidades, tanto para discutir possíveis decisões a serem tomadas sobre as melhores para a resolução dos problemas, quanto para receber *feedback* de possíveis implementações piloto. Por fim, vislumbra-se a utilização de testes de usabilidade do sistema através de um processo iterativo feito por diferentes tipos de profissionais de saúde e, através de um estudo transversal, uma Prova de Conceito (*PoC*), nomeadamente, uma análise *SWOT* para confirmar a utilidade e a precisão do CDSS ético.

Através do estudo dos dados resultantes da monitorização de [RFID](#) armazenados em repositórios *Big Data*, usando técnicas de otimização e descoberta de regras, como *Self-Organizing Migrating Algorithm (SOMA)*, *Particle Swarm (PS)*, *Self-Organizing Map (SOM)*, *Simulated Annealing (SA)* e *Algoritmo Genético (GA)*, podem ser encontrados procedimentos para otimizar procedimentos administrativos, detetar inconsistências nos dados armazenados e elaborar padrões e regras dinamicamente para aumentar a tolerância a erro dos sistemas detetando erros de leitura. Os resultados desses algoritmos devem ser estudados enquanto as regras e os procedimentos de aprendizagem são incorporados no sistema. Para o desenvolvimento do [SMA](#) propõe-se a utilização de plataformas tais como o *Java Agent Development Framework (JADE)*, de forma a que o bom desempenho na comunicação de agentes e em ambientes distribuídos demonstrados em projetos anteriores possa ser aproveitado para a solução desenvolvida. As vastas bibliotecas *OpenSource* já desenvolvidas serão essenciais para o projeto. A plataforma multi-agente deve permitir argumentação rápida e aplicação de modelos usando a sua estrutura de mensagens. Deverá haver uma relação importante com as instituições piloto no desenho do sistema apresentando e explicando as necessidades do setor e também dando acesso à sua [UCI](#). A contribuição médica e administrativa concedida por esta cooperação é um dos pilares para o sucesso de um projeto com estas características. Como principais resultados diretos espera-se:

- Monitorização das camas do internamento;
- Implementação de um sistema de aquisição automática de dados;
- Desenvolvimento de uma base de conhecimento para informar sobre o estado dos pacientes;
- Implementação da monitorização [RFID](#);
- Definição das normas éticas;
- Aplicação para ajudar os profissionais de Saúde em caso de conflito.

Os sistemas de monitorização de camas permitem que os sinais vitais dos pacientes sejam monitorizados e melhorem a qualidade dos cuidados administrados aos doentes. Esses sistemas também possibilitam a gestão da ocupação das camas por meio de notas de admissão e alta. O registo dos sinais vitais por meio de [HL7](#) na base de dados do hospital e no [EHR](#) do paciente, permite a criação de uma base de conhecimento a partir da qual é possível extrair informações, hipóteses e conclusões, sobre os tratamentos e resultados dos pacientes. Com essa base de conhecimento, é possível que os profissionais médicos conheçam o estado de saúde dos pacientes e prevejam o que acontecerá a seguir, a partir de casos semelhantes anteriores.

A tecnologia [RFID](#) é utilizada para monitorizar as entradas e saídas dos pacientes de um quarto ou do serviço, bem como identificá-los. Isso permite um melhor controlo e monitorização da ocupação das camas e uma melhoria da segurança do paciente. São monitorizados os períodos de tempo que um

paciente leva para sair da cama, por exemplo, para ir à casa de banho, para ser transferido para cirurgia ou para uma sala de exames. A interoperabilidade entre os sistemas existentes e os novos dispositivos de monitorização também deve ser planeada numa fase inicial, e posteriormente desenvolvida, de forma a registar o doente (e todas as suas informações) no [EHR](#).

De acordo com os casos anteriores de pacientes no serviço hospitalar, será possível prever o tempo de internamento mínimo, médio e máximo, tendo em conta o diagnóstico na admissão. As regras éticas poderão ser inferidas a partir de casos anteriores. A recuperação de casos anteriores de pacientes que permaneceram no serviço é uma etapa crucial. Com esses casos, é possível definir os tempos previstos de internamento para cada diagnóstico. Além disso, também é possível estimar a média. Esses valores serão inseridos na base de conhecimento, que fornecerá informação mais precisa para a admissão de novos pacientes no serviço. A recuperação de casos anteriores envolvendo situações em que houve necessidade de aplicar regras éticas será essencial. Estas situações serão de grande interesse para a base de conhecimento.

Bibliografia

- [1] A. Abelha, C. Analide, J. Machado, J. Neves, M. Santos e P. Novais. “Ambient Intelligence and Simulation in Health Care Virtual Scenarios”. Em: *Establishing the Foundation of Collaborative Networks*. Ed. por L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, P. Novais e C. Analide. Boston, MA: Springer US, 2007, pp. 461–468.
- [2] O. Y. Al-Jarrah, P. D. Yoo, S. Muhaidat, G. K. Karagiannidis e K. Taha. “Efficient machine learning for big data: A review”. Em: *Big Data Research* 2.3 (2015), pp. 87–93.
- [3] R. A. Alkimim, F. S. Parreiras, M. R. dos Santos, Z. S. N. Reis e C. F. De Muylder. “Modelo openEHR: avaliação da qualidade de Projeto Orientado a Objeto”. Em: *Journal of Health Informatics* 9.1 (2017), pp. 27–36.
- [4] E. Alpaydin. *Introduction to machine learning*. MIT press, 2020.
- [5] E. Ammenwerth, S. Gräber, G. Herrmann, T. Bürkle e J. König. “Evaluation of health information systems—problems and challenges”. Em: *International journal of medical informatics* 71.2-3 (2003), pp. 125–135.
- [6] M. Anderson e S. L. Anderson. “Machine ethics: Creating an ethical intelligent agent”. Em: *AI magazine* 28.4 (2007), p. 15.
- [7] M. Anderson, S. L. Anderson e C. Armen. “Towards machine ethics”. Em: *Proceedings of AAAI 2004 Workshop on Agent Organizations: Theory and Practice* (2004).
- [8] M. Anderson, S. L. Anderson e C. Armen. “An approach to computing ethics”. Em: *IEEE Intelligent Systems* 21.4 (2006), pp. 56–63.
- [9] D. C. Angus, A. A. Musthafa, G. Clermont, M. F. Griffin, W. T. Linde-Zwirble, T. T. DREMSIZOV e M. R. Pinsky. “Quality-adjusted survival in the first year after the acute respiratory distress syndrome”. Em: *American journal of respiratory and critical care medicine* 163.6 (2001), pp. 1389–1394.
- [10] I. Aqra, N. Abdul Ghani, C. Maple, J. Machado e N. Sohrabi Safa. “Incremental Algorithm for Association Rule Mining under Dynamic Threshold”. Em: *Applied Sciences* 9.24 (2019).
- [11] A. Barr e E. A. Feigenbaum. *The handbook of artificial intelligence*. Vol. 2. Butterworth-Heinemann, 2014.

- [12] T. Beale, S. Heard, D. Kalra e D. Lloyd. *OpenEHR architecture overview*. The OpenEHR Foundation, 2006.
- [13] S. A. Bini. “Artificial intelligence, machine learning, deep learning, and cognitive computing: what do these terms mean and how will they impact health care?” Em: *The Journal of arthroplasty* 33.8 (2018), pp. 2358–2361.
- [14] W. Bonney. “Impacts and Risks of Adopting Clinical Decision Support Systems”. Em: *Efficient Decision Support Systems*. Ed. por C. Jao. Rijeka: IntechOpen, 2011. Cap. 2. doi: [10.5772/16265](https://doi.org/10.5772/16265). url: <https://doi.org/10.5772/16265>.
- [15] M. Bouet e G. Pujolle. “RFID in eHealth systems: applications, challenges, and perspectives”. Em: *Annals of Telecommunications* 65 (2010), pp. 497–503.
- [16] C. Brito, M. Esteves, H. Peixoto, A. Abelha e J. Machado. “A Data Mining Approach to Classify Serum Creatinine Values in Patients Undergoing Continuous Ambulatory Peritoneal Dialysis”. Em: *Wireless Networks* 28 (2022).
- [17] L. Cardoso, F. Marins, F. Portela, M. Santos, A. Abelha e J. Machado. “The Next Generation of Interoperability Agents in Healthcare”. Em: *Int. J. Environ. Res. Public Health* 11.5 (2014).
- [18] L. Cardoso, F. Marins, C. Quintas, F. Portela, M. Santos, A. Abelha e J. Machado. “Interoperability in Healthcare”. Em: *Cloud Computing Application for Quality Health Care Delivery*. Ed. por A. Moumtzoglou. IGI Global Book (accepted of publication).
- [19] J. Carneiro, P. Saraiva, L. Conceição, R. Santos, G. Marreiros e P. Novais. “Predicting satisfaction: Perceived decision quality by decision-makers in Web-based group decision support systems”. Em: *Neurocomputing* 338 (2017).
- [20] R. Curtis e J.-L. Vincent. “Ethics and end-of-life care for adults in the intensive care unit”. Em: *The Lancet* 376.9749 (2010), pp. 1347–1353.
- [21] I. N. Da Silva, D. H. Spatti e R. A. Flauzino. “Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas curso prático”. Em: *São Paulo: Artliber* (2010).
- [22] C. Danbury e C. Waldmann. “Ethics and law in the intensive care unit”. Em: *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology* 20.4 (2006), pp. 589–603.
- [23] F. Dexter, R. Epstein, R. Traub e Y. Xiao. “Making management decisions on the day of surgery based on operating room efficiency and patient waiting times”. Em: *Anesthesiology* 101 (2004), pp. 1444–53.
- [24] O. E. Dictionary. “Oxford english dictionary”. Em: *Simpson, JA & Weiner, ESC* (1989).
- [25] L. Eidelman, D. Jakobson, R Pizov, D Geber, L Leibovitz e C. Sprung. “Forgoing life-sustaining treatment in an Israeli ICU”. Em: *Intens Care Med* 24 (1998).

- [26] E. Ferrand, R. Robert, P. Ingrand e F. Lemaire. "Withholding and withdrawal of life support in intensive-care units in France: a prospective survey". Em: *The Lancet* 357.9249 (2001), pp. 9–14.
- [27] J. Fisher e T. Monahan. "Tracking the social dimensions of RFID systems in hospitals". Em: *International Journal of Medical Informatics* 77.3 (2008), pp. 176–183.
- [28] A. G. Floares. "A reverse engineering algorithm for neural networks, applied to the subthalamopallidal network of basal ganglia". Em: *Neural Networks* 21.2-3 (2008), pp. 379–386.
- [29] M. R. Genesereth e N. J. Nilsson. *Logical foundations of artificial intelligence*. Morgan Kaufmann, 2012.
- [30] I. Goodfellow, Y. Bengio e A. Courville. *Deep learning*. MIT press, 2016.
- [31] L. B. Gouveia e J. Ranito. *Sistemas de informação de apoio à gestão*. 2004.
- [32] R. A. Greenes, D. W. Bates, K. Kawamoto, B. Middleton, J. Osheroff e Y. Shahar. "Clinical decision support models and frameworks: Seeking to address research issues underlying implementation successes and failures". Em: *Journal of biomedical informatics* 78 (2018), pp. 134–143.
- [33] *Handbook of action research: Participative inquiry and practice*. Sage, 2001.
- [34] R. Haux, E. Ammenwerth, A. Winter e B. Brigl. *Strategic information management in hospitals: an introduction to hospital information systems*. Springer Science & Business Media, 2004.
- [35] M. Heaney, C. Foot, W. D. Freeman e J. Fraser. "Ethical issues in withholding and withdrawing life-prolonging medical treatment in the ICU". Em: *Current Anaesthesia and Critical Care* 18.5-6 (2007), pp. 277–283.
- [36] R. Heinzle, F. A. O. Gauthier e F. A. P. Fialho. "Semântica nos sistemas de apoio a decisão: o estado da arte". Em: *Revista da UNIFEBE* 1.8 (2017), pp. 225–248.
- [37] G. Jifa e Z. Lingling. "Data, DIKW, Big data and Data science". Em: *Procedia Computer Science* 31 (2014), pp. 814–821.
- [38] J. Jones. "Ethical dilemmas in intensive care — a case history". Em: *Intensive and Critical Care Nursing* 11.1 (1995), pp. 32–35.
- [39] A. R. Jonsen, M. Siegler e W. J. Winslade. "Clinical ethics: a practical approach to ethical decisions in clinical medicine". Em: (1982).
- [40] K. C. Laudon e J. P. Laudon. *Management information systems: managing the digital firm*. Pearson, 2017.
- [41] Y. LeCun, Y. Bengio e G. Hinton. "Deep learning". Em: *nature* 521.7553 (2015), pp. 436–444.
- [42] R. Lenz e M. Reichert. "IT support for healthcare processes—premises, challenges, perspectives". Em: *Data and Knowledge Engineering* 61.1 (2007).

- [43] A. Liew. “DIKIW: Data, information, knowledge, intelligence, wisdom and their interrelationships”. Em: *Business Management Dynamics* 2.10 (2013), p. 49.
- [44] S. J. Littig e M. W. Isken. “Short term hospital occupancy prediction”. Em: *Health Care Manage Sci* 10 (2007), pp. 47–66.
- [45] J. Machado e A. Abelha. *Applying Business Intelligence to Clinical and Healthcare Organizations*. IGI Global, 2016.
- [46] J. Machado, M. Miranda, G. Pontes, A. Abelha e J. Neves. “Morality in group decision support systems in medicine”. Em: *Studies in Computational Intelligence* 315.1 (2010).
- [47] J. Machado, M. Miranda, A. Abelha, J. Neves e J. Neves. “Modeling medical ethics through intelligent agents”. Em: *Conference on e-Business, e-Services and e-Society*. Springer. 2009, pp. 112–122.
- [48] M. Mackay. “Practical experience with bed occupancy management and planning systems: an Australian view”. Em: *Health Care Management Science* 4 (2001), pp. 47–56.
- [49] M Malliarou e S Zyga. “Advantages of information systems in health services”. Em: *SMIJ* 5.2 (2009), pp. 43–54.
- [50] B. Marr. “The Key Definitions Of Artificial Intelligence (AI) That Explain Its Importance”. Em: *Forbes Magazine* (2018).
- [51] P. McCorduck e C. Cfe. *Machines who think: A personal inquiry into the history and prospects of artificial intelligence*. CRC Press, 2004.
- [52] K. M. Melia. “Ethical issues and the importance of consensus for the intensive care team”. Em: *Social Science and Medicine* 53.6 (2001), pp. 707–719.
- [53] R. Mendes, J. Kennedy e J. Neves. “The Fully Informed Particle Swarm: Simpler, Maybe Better”. Em: *IEEE Transactions ON Evolutionary Computation* 8.3 (2022).
- [54] D. Michie, D. J. Spiegelhalter, C. Taylor et al. “Machine learning”. Em: *Neural and Statistical Classification* 13.1994 (1994), pp. 1–298.
- [55] T. Mills, R. Lawton e L. Sheard. “Advancing complexity science in healthcare research: the logic of logic models”. Em: *BMC medical research methodology* 19.1 (2019), pp. 1–11.
- [56] M. Miranda, J. Machado, A. Abelha, G. Pontes e J. Neves. “A Step towards Medical Ethics Modeling”. Em: *IFIP Advances in Information and Communication Technology* 335 (2010), pp. 27–36.
- [57] A. A. Montgomery, T. Fahey, T. J. Peters, C. MacIntosh e D. J. Sharp. “Evaluation of computer based clinical decision support system and risk chart for management of hypertension in primary care: randomised controlled trial”. Em: *Bmj* 320.7236 (2000), pp. 686–690.

- [58] M. A. Musen, B. Middleton e R. A. Greenes. "Clinical decision-support systems". Em: *Biomedical informatics*. Springer, 2021, pp. 795–840.
- [59] C. Neto, M. Brito, V. Lopes, H. Peixoto, A. Abelha e J. Machado. "Application of Data Mining for the Prediction of Mortality and Occurrence of Complications for Gastric Cancer Patients". Em: *Entropy* 21 (2019).
- [60] J. Neves, M. Martins, J. Vilhena, J. Neves, S. Gomes, A. Abelha, J. Machado e H. Vicente. "A Soft Computing Approach to Kidney Diseases Evaluation". Em: *Journal of Medical Systems* 39.10 (2015).
- [61] J. Neves, H. Vicente, M. Esteves, F. Ferraz, A. Abelha, J. Machado, J. Machado, J. Neves, J. Ribeiro e L. Sampaio. "A Deep-Big Data Approach to Health Care in the AI Age". Em: *Mobile Networks and Applications* 23 (2022).
- [62] C. Nugent e P. Cunningham. "A case-based explanation system for black-box systems". Em: *Artificial Intelligence Review* 24.2 (2005), pp. 163–178.
- [63] P. Ongsulee. "Artificial intelligence, machine learning and deep learning". Em: *2017 15th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)*. IEEE. 2017, pp. 1–6.
- [64] S. Pereira, R. Meier, R. McKinley, R. Wiest, V. Alves, C. A. Silva e M. Reyes. "Enhancing interpretability of automatically extracted machine learning features: application to a RBM-Random Forest system on brain lesion segmentation". Em: *Medical Image Analysis* 44 (2017).
- [65] D. J. Power. "Understanding data-driven decision support systems". Em: *Information Systems Management* 25.2 (2007).
- [66] T. Prendergast e J. Luce. "Increasing incidence of withholding and withdrawal of life support from the critically ill". Em: *Am J Respir Crit Care Med* 155 (1997).
- [67] A. Rocha, R. Gomes e J. Braga de Vasconcelos. "Sistemas de Informação de Apoio à Decisão Clínica: Estudo de um caso de uma Instituição de Saúde". Em: jan. de 2004.
- [68] A. S. Sado. "Electronic medical record in the intensive care unit". Em: *Critical Care Clinics* 15.3 (1999), pp. 499–522.
- [69] N Samani, M Gohari-Moghadam e A. Safavi. "A simple neural network model for the determination of aquifer parameters". Em: *Journal of Hydrology* 340.1-2 (2007), pp. 1–11.
- [70] D. Serrão e R. Nunes. *Ética em cuidados de saúde*. 1998.
- [71] H. E. Sigerist. *A history of medicine*. Vol. 2. Oxford University Press, 1987.
- [72] C. L. Sprung, S. L. Cohen, P. Sjukvist, M. Baras, H.-H. Bulow, S. Hovilehto, D. Ledoux, A. Lippert, P. Maia, D. Phelan et al. "End-of-life practices in European intensive care units: the Ethicus Study". Em: *Jama* 290.6 (2003), pp. 790–797.

-
- [73] R. Tonkens. "A challenge for machine ethics". Em: *Minds and Machines* 19.3 (2009), p. 421.
- [74] E. Turban. *Decision support and expert systems: management support systems*. Prentice Hall PTR, 1993.
- [75] A. Uhlmann e D. Uhlmann. "Distress of clinicians with decisions to withhold or withdraw life-support measures". Em: *Journal of Critical Care* 19.2 (2004), pp. 118–119.
- [76] S. Walczak, W. E. Pofahl e R. J. Scorpio. "A decision support tool for allocating hospital bed resources and determining required acuity of care". Em: *Decision Support Systems* 34.4 (2003), pp. 445–456.
- [77] L. Wang e C. A. Alexander. "Machine learning in big data". Em: *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences* 1.2 (2016), pp. 52–61.
- [78] C. A. Weaver, M. J. Ball, G. R. Kim e J. M. Kiel. *Healthcare information management systems: Cases, strategies, and solutions*. Springer, 2015.
- [79] C. Weissman. "Analyzing intensive care unit length of stay data: problems and possible solutions". Em: *Critical Care Medicine* 25.9 (1997), pp. 1594–1599.
- [80] Y. Xiao, P. Hu, H. Hu, D. Ho, F. Dexter, C. Mackenzie, S. FJ e R. Dutton. "An Algorithm for Processing Vital Sign Monitoring Data to Remotely Identify Operating Room Occupancy in Real-Time". Em: *International Anesthesia Research Society* 101 (2005), pp. 823–829.
- [81] W. Yao, C. Chu e Z. Li. "Leveraging complex event processing for smart hospitals using RFID". Em: *Journal of Network and Computer Applications* 34.5 (2011), pp. 799–810.